



**Evaluación de la mezcla de sustratos lignocelulósicos como bagazo de caña en la
producción de microgreens de lechuga, frijol mungo y cebolla puerro**

Calispa Bolagay, Karla Pamela

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal, Mgtr.

18 de agosto del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Evaluación de la mezcla de sustratos lignocelulósicos como bagazo de caña en la producción de microgreens de lechuga, frijol mungo y cebolla puerro**, fue realizado por la señorita: **Calispa Bolagay, Karla Pamela**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 18 de agosto del 2023



Firmado digitalmente por:
PABLO ANÍBAL
LANDÁZURI ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal, Mgtr.

C. C:1708262348

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos



AVANCE_ DE TESIS_ CALISPA PAMELAFi...

Scan details

Scan time: August 18th, 2023 at 19:44 UTC Total Pages: 37 Total Words: 9197

Plagiarism Detection

7.7%		Types of plagiarism	Words
		Identical	5.3% 491
		Minor Changes	1.4% 128
		Paraphrased	1% 92
		Omitted Words	0% 0

AI Content Detection

N/A Text coverage: AI text, Human text



Generado digitalmente por:
PABLO ANIBAL
LANDAZURI ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Anibal, Mgtr.

C. C:1708262348



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría:

Yo, **Calispa Bolagay, Karla Pamela**, con cédula de ciudadanía No 1724914559, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Evaluación de la mezcla de sustratos lignocelulósicos como bagazo de caña en la producción de microgreens de lechuga, frijol mungo y cebolla puerro**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 18 de agosto del 2023

.....
Calispa Bolagay, Karla Pamela

C.C.: 1724914559



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Autorización de Publicación:

Yo, **Calispa Bolagay, Karla Pamela**, con cédula de ciudadanía No. 1724914559 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Evaluación de la mezcla de sustratos lignocelulósicos como bagazo de caña en la producción de microgreens de lechuga, frijol mungo y cebolla puerro**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 18 de agosto del 2023

Karla Pamela Calispa

Calispa Bolagay, Karla Pamela

C.C.: 1724914559

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a mi madre Patricia que ha sido padre y madre para mí y mis hermanas que ha estado siempre a mi lado brindándome su mano amiga dándome a cada instante una palabra de aliento para llegar a culminar mi profesión, por ayudarme a convertirme en la persona que soy ahora fue un arduo trabajo, pero hoy puede apreciar los frutos. Espero de ahora en adelante poder retribuir no solo su amor sino todo lo que ha dado por mí.

Mis hermanas María José y Wendy que han sido una parte fundamental en mi vida me han sabido guiarme y su presencia, respaldo y cariño me han impulsado a seguir adelante.

A mi sobrina Camilita que ha sido el mejor regalo que ha llegado a mi vida y es mi motivación, inspiración y felicidad.

A mi mejor amigo Manuel C. por ser una de las personas más importantes en mi vida, por siempre estar presente, su valiosa amistad, apoyo incondicional y colaboración fueron primordiales a la hora de realizar este trabajo.

Calispa Bolagay Karla Pamela

Agradecimiento

A lo largo de mi carrera universitaria son muchas las personas que de una u otra forma han contribuido con mi proceso y conclusión profesional. En mi primer lugar, a mi tutor de tesis Ing. Pablo Landázuri, le agradezco muy profundamente por haberme dado la oportunidad de realizar el trabajo de integración curricular, que, con su apoyo, paciencia y sus conocimientos impartidos impulsaron a obtener resultados positivos en la realización del trabajo.

A todos mis amigos y amigas que hice en el transcurso de mi formación profesional, que me apoyaron en las materias y no me dejaron decaer en ellas.

Grace Jayo y Kerly Tipan quiero agradecerles por todo el apoyo brindado durante mi trayectoria de la universidad por estar conmigo en las buenas y en las malas.

Mayra Marcalla por brindarme tu amistad, por darme siempre ánimos cuando más lo necesite, por apoyarme y ayudarme a no dejarme vencer ante las adversidades.

Marlon Q. por haberme apoyado y ayudado en el desarrollo de este trabajo de investigación, sin su conocimiento, consejos, dedicación y correcciones precisas no hubiese logrado llegar a esta instancia tan anhelada.

A una persona que en el poco de tiempo que estamos saliendo me ayudado, apoyado y la aprecio bastante.

Calispa Bolagay Karla Pamela

Índice de contenidos

Carátula	1
Certificación	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos.....	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Índice de contenidos	8
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras.....	13
Resumen	14
Abstract.....	15
CAPÍTULO I	16
INTRODUCCIÓN	16
Antecedentes	16
Justificación.....	17
Objetivos	19
Objetivo General.....	19
Objetivo Específico	19
Hipótesis	19
CAPÍTULO II	20
REVISIÓN DE LITERATURA	20
Microgreens.....	20
Beneficios de los microgreens.....	20

Cultivos Microgreens	21
Parámetros implicados en la producción de microgreens	21
Densidad de siembra	21
Bandejas de cultivo de microgreens:	21
Sustratos	22
Fibra de coco	22
Bagazo de Caña	22
Siembra y Germinación	23
Llenado de bandejas de sustrato	23
Riego de sustrato	23
Siembra de semillas	23
Agregado de sustrato y riego	23
Tapado de bandejas	24
Riego	24
Suplementos de nutrientes	24
Plagas y enfermedades	24
Cosecha y almacenamiento	24
Microgreens implementados	25
Frijol Mungo	25
Lechuga	25
Cebolla Puerro	26
CAPÍTULO III	27
METODOLOGÍA	27
Ubicación del sitio de estudio	27
Establecimiento del experimento	27

Preparación de las semillas.....	27
Preparación de sustrato	28
Desinfección del sustrato	29
Propiedades físicas de los sustratos	29
Densidad aparente (Da)	29
Densidad real (Dr).....	29
Capacidad de retención de humedad (CRH).....	30
Granulometría de los sustratos	30
Propiedades Químicas de los sustratos.....	30
Potencial Hidrogeno (pH) y Conductividad Eléctrica (CE).....	30
Siembra.....	31
Riego.....	32
Diseño experimental.....	32
Tipo de diseño	33
Análisis estadístico.....	33
Croquis experimental.....	34
Variables a Evaluar	35
Porcentaje de Germinación	35
Días a la germinación	35
Rendimiento biológico	36
Altura del microgreens.....	36
Masa fresca y masa seca	36
Contenido de clorofila.....	36
CAPÍTULO IV	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38

Propiedades físicas	38
Propiedades químicas	39
Variables fisiológicas	40
Masa fresca.....	41
Masa Seca.....	41
Rendimiento biológico	41
Variables agronómicas	41
Porcentaje de Germinación	42
Altura de microgreens	43
Días de germinación	43
Contaminación del sustrato	43
Contenido de clorofila	44
Frijol Mungo.....	45
Cebolla.....	45
Lechuga.....	45
Video Demostrativo	46
CAPÍTULO V	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
Conclusiones.....	47
Recomendaciones.....	47
Bibliografía.....	48

Índice de tablas

Tabla 1 Descripción de los sustratos en las diferentes especies para el presente estudio, cebolla puerro y lechuga	33
Tabla 2 Características físicas de los sustratos lignocelulósicos para la producción de microgreeens de frijol mungo, cebolla puerro y lechuga	38
Tabla 3 Propiedades químicas (pH y CE) de los sustratos para la producción de microgreens de frijol mungo, cebolla puerro y lechuga	39
Tabla 4 Análisis de la varianza (ANAVA) medias \pm desviación estándar del efecto en las variables de masa fresca, masa seca y rendimiento biológico en frijol mungo, cebolla puerro y lechuga.....	40
Tabla 5 Análisis de la varianza (ANAVA) medias \pm desviación estándar del efecto en las variables de germinación en frijol mungo, cebolla puerro y lechuga	42

Índice de figuras

Figura 1 <i>Ubicación del proyecto de investigación.....</i>	27
Figura 2 <i>Proceso de desinfección de las semillas de microgreens.....</i>	28
Figura 3 <i>Proceso de siembra de los microgreens.....</i>	31
Figura 4 <i>Proceso de riego de los microgreens</i>	32
Figura 5 <i>Disposición de los tratamientos en el estudio de la evaluación.....</i>	34
Figura 6 <i>Porcentaje de germinación de las especies.....</i>	35
Figura 7 <i>Días a la germinación de las diferentes especies.....</i>	35
Figura 8 <i>Determinación de la clorofila de las diferentes especies</i>	37
Figura 9 <i>Contenido de clorofila ± error estándar de la producción de microgreens de las diferentes especies.....</i>	44
Figura 10 <i>Video demostrativo de la producción de microgreens</i>	46

Resumen

La presente investigación se realizó con el fin de evaluar los sustratos lignocelulósicos como el bagazo de caña y la fibra de coco en combinaciones porcentuales: T1. 100% Bagazo de caña, T2. 50% Bagazo de caña/50% Fibra de coco, T3. 25% Bagazo de caña/75% Fibra de coco, T4. 75% Bagazo de caña/25%Fibra de coco y T5. 100% Fibra de coco, como una alternativa en la producción de microgreens de frijol mungo, cebolla puerro y lechuga. Esta investigación se realizó bajo un diseño bifactorial completamente al azar (DCA) con cuatro repeticiones por cada tratamiento y especie donde su fase experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de fisiología vegetal y principios activos de la Hacienda el Prado donde se llevó a cabo la desinfección de las semillas y su siembra en tarrinas de polietileno de 300 cm³ de cada uno de los tratamientos y su fase de campo se realizó en el Invernadero de Horticultura. A los 21 días después de la siembra de las diferentes especies de microgreens fueron cosechadas y llevadas al Laboratorio de Suelo para evaluar las diferentes variables como son: % germinación, días a la germinación, Altura de microgreens, masa fresca y masa seca, contenido de clorofila y rendimiento biológico, cabe recalcar que también se realizó la caracterización física y química de las combinaciones porcentuales de los sustratos. Se determinó que en las variables fisiológicas masa seca, masa fresca y rendimiento biológico no presentó diferencias significativas en la interacción especie* sustrato teniendo los mejores resultados con el tratamiento T2. 50% bagazo de caña/50% fibra de coco en comparación a los otros y en el caso de las variables agronómicas, los días a la germinación presentaron diferencias significativas entre la interacción especie* sustrato teniendo los mejores resultados con el tratamiento T1. 100% Bagazo de caña y T5. 100% fibra de coco presentaron menores días de germinación a diferencia de los otros tratamientos.

Palabras Clave: MICROGREENS, SUSTRATOS, RENDIMIENTO, PRODUCCIÓN

Abstract

The present investigation was carried out in order to evaluate lignocellulosic substrates such as sugarcane bagasse and coconut fiber in percentage combinations: T1. 100% sugarcane bagasse, T2. 50% sugarcane bagasse/50% coconut fiber, T3. 25% sugarcane bagasse/75% coconut fiber, T4. 75% sugarcane bagasse/25% coconut fiber and T5. 100% coconut fiber, as an alternative in the production of mung bean, onion, leek and lettuce microgreens. This research was carried out under a completely randomized bifactorial design (DCA) with four repetitions for each treatment and species where its experimental phase was carried out in the Plant Physiology and Active Principles Laboratory of the Hacienda el Prado where the disinfection of the seeds and their sowing in 300 cm³ polyethylene tubs of each one of the treatments and their field phase was carried out in the Horticulture Greenhouse. At 21 days after sowing, the different species of microgreens were harvested and taken to the Soil Laboratory to evaluate the different variables such as: % germination, days to germination, height of microgreens, fresh mass and dry mass, content of chlorophyll and biological performance, it should be noted that the physical and chemical characterization of the percentage combinations of the substrates was also carried out. It was determined that in the physiological variables dry mass, fresh mass and biological yield, there were no significant differences in the species*substrate interaction, having the best results with the T2 treatment. 50% sugarcane bagasse/50% coconut fiber compared to the others and in the case of the agronomic variables, the days to germination presented significant differences between the species*substrate interaction, having the best results with the T1 treatment. 100% sugarcane bagasse and T5. 100% coconut fiber presented fewer germination days than the other treatments.

Keywords: MICROGREENS, SUBSTRATES, YIELD, PRODUCTION

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Los microgreens son plántulas jóvenes comestibles hechas de semillas de varios vegetales, cultivos herbáceos, hierbas aromáticas y plantas silvestres. Dependiendo de la especie utilizada, se pueden cosechar después de sólo 7-21 días después de la germinación, cuando los cotiledones están completamente expandidos y se han formado las primeras hojas. La parte comestible está representada por el tallo, los cotiledones y, por lo general, la primera hoja verdadera (Bafumo, 2017).

La importancia histórica de los micro vegetales se remonta a la década de 1930, cuando la hierba de trigo se secaba y se vendía como medicamento en la mayoría de las farmacias de América del Norte. En la década de 1960, los girasoles, el trigo, los rábanos entre otros, se cultivan ampliamente para que en el año de 1970 estos cultivos se hicieron populares por sus beneficios para la salud y los chefs comenzaron a cultivar berros y plántulas para adornar los platos (Kumar *et al.*, 2018).

El uso de microgreens comenzó a mediados de los años 90 en el sur de California, Estados Unidos, como una novedad culinaria, ya que los chefs más conocidos se enfrentaron por su incapacidad para servir a sus invitados platos con diferentes variedades de ingredientes utilizando así diferentes variedades de microgreens como rúcula, albahaca, acelgas, donde comenzó a extenderse hacia el este desde California y ahora se cultiva en la mayor parte de los Estados Unidos (Natarén, 2017).

Luego, en la década de 2000, los productores locales de América del Norte comenzaron a distribuir micro vegetales frescos a sus minoristas locales, donde comenzaron a aparecer en las tiendas de comestibles para que los amantes de la comida pudieran disfrutarlos en casa. El consumo de micro vegetales ha ido aumentando con el tiempo por su textura suave, sabor fresco y su contenido de vitaminas, minerales y compuestos antioxidantes en comparación con

las verduras de hojas verdes maduras, las variedades más comunes son: albahaca, perejil, rábanos, mostaza, col rizada, remolachas, zanahorias y remolachas (Pinto *et al.*, 2015).

Los micro vegetales se pueden cultivar en invernaderos, o en interiores, con fuentes de luz artificial, en el suelo o, más comúnmente, en sistemas sin suelo, usando cultivo sólido orgánico o inorgánico a pesar del ciclo corto, cabe destacar que los sustratos más utilizados en estos cultivos son la turba y la fibra de coco por presentar una excelente germinación y crecimiento de estos (Di Gioia *et al.*, 2017).

Lechuga (*Lactuca sativa*) y la Cebolla puerro (*Allium porrum*) son hortalizas originarias de Europa y Asia que se han ido consumiendo a lo largo del tiempo ya sea en ensaladas, cremas, sopas gracias a su contenido nutricional que cada una aporta en la salud humana como son: vitamina A, C, E, fuente de potasio, calcio, entre otros (Padilla *et al.*, 2020).

Frijol Mungo (*Vigna radiata L. Wilezek*) Pertenece a la familia de las leguminosas y es originaria de India y Pakistán, donde su importancia económica se basa en sus granos ricos en proteínas. Es un cultivo que se produce y consume principalmente en países asiáticos, Europa y Estados Unidos. Los granos verdes o secos a menudo se comen como brotes secos o verdes, pero su uso más común es como germinado y se utilizan a menudo en la cocina asiática (Fernández y Gomez, 2022).

Justificación

En el tiempo de la pandemia, esta tendencia de micro vegetales se ha acelerado ya que los consumidores prefieren alimentos que promueven la salud, y ofrecen esta alternativa emocionante y sostenible para cultivar micro vegetales en casa de una manera fácil y práctica sin necesidad de envío, reduciendo el consumo de combustibles fósiles para las entregas de los productores y brindando a los consumidores acceso a productos altamente frescos y ricos en nutrientes que se pueden cosechar a pedido para usar en la preparación de comidas, convirtiéndose así en un mercado mundial cada vez más competitivo (Ebert, 2022).

Los microgreens generalmente se producen utilizando sistemas de cultivo sin suelo, es decir, sistemas en que el suelo es reemplazado por un sustrato o un medio líquido donde la calidad del sustrato garantiza una germinación uniforme. Los sustratos más utilizados para el cultivo de microgreens son la turba y la fibra de coco ya que permiten una excelente germinación, sin embargo, el alto costo de estos sustratos a llevado a los productores a buscar materiales alternativos, incluidos materiales desechados o reciclados (Di Gioia *et al.*, 2017).

El bagazo de caña que es un material que queda como residuo de la caña de azúcar, una vez que se ha extraído de esta el jugo que presenta donde sus residuos son utilizados para control de malas hierbas, cobertura entre calles, mejora las condiciones físico-químicas del suelo, promueven la actividad microbiológico y en otros países es utilizado como sustrato ya que presenta características físicas óptimas como lo es buen espacio poroso total, agua total disponible, densidad aparente y capacidad de retención de agua (Hernández, 2015).

El estudio se realizó con semillas de Frijol mungo, lechuga y cebolla puerro por su contenido nutricional, fácil adaptabilidad y presentan sabores y texturas diferentes como es el caso de la lechuga que por su diminuto follaje ayuda a fortalecer el sistema nervioso y mejora los procesos digestivos, la cebolla puerro presenta un sabor un poco más dulce, una textura fibrosa y contiene vitamina C, vitamina E, mejora la salud de los huesos, el frijol mungo es rico en vitamina C, A y complejo B, presenta un sabor suave y una textura fina y delicada.

Se pretende evaluar el efecto de 5 mezclas de sustratos: T1. Fibra de coco (100%), T2. Fibra de coco (50%) y caña (50%), T3. Fibra de coco (75%) y caña (25%), T4. Fibra de coco (25%) y caña (75%) y T5. Caña (100%) en microgreens de frijol mungo, lechuga y cebolla puerro para analizar el porcentaje de germinación, porcentaje de contaminación, masa seca y masa fresca, contenido de clorofila y rendimiento biológico.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la mezcla de sustratos lignocelulósicos como bagazo de caña en la producción de microgreens de lechuga, frijol mungo y cebolla puerro

Objetivo Específico

Analizar variables agronómicas y fisiológicas en la producción de microgreens de lechuga, frijol mungo y cebolla puerro

Establecer la mejor alternativa de sustrato para la producción de microgreens de lechuga, frijol mungo y cebolla puerro

Caracterizar las variables físicas y químicas de los sustratos lignocelulósicos a diferentes mezclas porcentuales

Difundir a través de plataformas digitales la producción de microgreens en bagazo de caña, como alternativa de producción

Hipótesis

Ho: La producción de microgreens para lechuga, frijol mungo y cebolla puerro es similar en bagazo de caña y fibra de coco en sus combinaciones (25:75%,50:50%,75:25%).

Hi: La producción de microgreens para lechuga, frijol mungo y cebolla puerro difiere al menos en uno de los sustratos y combinaciones (25:75%,50:50%,75:25%).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Microgreens

Los micro vegetales son vegetales comestibles jóvenes cuyos cotiledones se han desarrollado y pueden o no haber desarrollado sus primeras hojas verdaderas. La altura media es de 2.5-10 cm, según la variedad, y el tiempo de cosecha varía entre 7 y 21 días según el cultivo (Treadwell *et al.*, 2016).

Representan una nueva clase de vegetales que contribuyen a la conservación y mejoramiento de variedades locales que ahora están genéticamente extintas, ya que se utilizan variedades mejoradas en busca de características deseables para la comercialización, tales como: alto rendimiento, calidad y postcosecha óptima (Di Gioia *et al.*, 2017).

Beneficios de los microgreens

Los microgreens, son considerados alimentos funcionales o superalimentos ya que además del aporte de nutrientes, pueden brindar componentes bioactivos capaces de mejorar algunas funciones del organismo y/o reducir los riesgos de enfermedades, además de su elevado contenido en vitaminas y compuestos antioxidantes, los microgreens pueden brindar un buen aporte de elementos minerales, fundamentales de potasio y calcio; mientras que el contenido de fibras y proteínas, es más bajo a los que se encuentran en las hortalizas convencionales (Di Gioia *et al.*, 2017).

La producción de micro vegetales presenta las siguientes ventajas: ciclo de cultivo corto, producción durante todo el año, facilidad de cultivo, idoneidad para la tecnología de cultivo de interior, alto potencial de rendimiento/ rentabilidad para los productores y mayor sostenibilidad, en comparación con el cultivo de hierbas y hortalizas maduras (Castagnino y Castro, 2020).

Cultivos Microgreens

Para tomar en cuenta que variedades se pueden cultivar es importante saber que semillas ayudan a garantizar un buen porcentaje de germinación que no hayan sido tratadas para inhibir o perjudicar la germinación.

Según (Fuentes, 2017) las diferentes especies que se pueden cultivar son:

- **Hierbas aromáticas:** Perejil, Cilantro, Albahaca, Cebollín.
- **Verduras de hoja:** Lechuga, Berros, Espinacas, Mostaza, Apio, Acelga.
- **Hortalizas:** Rábanos, Zanahorias, Remolacha, Brócoli, Pepino, Nabo.
- **Flores comestibles:** Girasol.
- **Legumbres:** Alforfón, Linaza, Trébol, Garbanzos.

Parámetros implicados en la producción de microgreens

Densidad de siembra

Para microgreens, la densidad de siembra varía según el tamaño de las semillas, por lo que se recomienda sembrar 1 semillas por cm^2 para hortalizas grandes y 4 semillas por cm^2 para hortalizas pequeñas. La densidad óptima de los micro vegetales depende de los tipos de cultivo que se van a sembrar, su peso promedio de semilla, su tasa de emergencia y su rendimiento, donde existe un problema al implementar densidades de siembra insuficientes ya que puede afectar directamente a su calidad y elongación del hipocótilo (Ebert, 2022).

Bandejas de cultivo de microgreens:

La producción de microgreens se lleva a cabo en invernadero utilizando sistemas de cultivo sin suelo que presentan bandejas generalmente de material plástico no más de 6 cm de altura, en la parte inferior de las bandejas es recomendable hacerle huecos para el drenaje del agua y evitar que se encharque, su riego puede hacerse por aspersión o subirrigación. Estas bandejas son muy recomendables ya que facilitan la comercialización del producto aumentando la vida útil y calidad del producto (Fernández y Gomez, 2022).

Sustratos

Los microgreens se producen generalmente utilizando sistemas sin suelo, sistemas en los que se reemplaza un suelo por un sustrato o medio líquido que ayude a promover un crecimiento más rápido y mayores rendimientos frescos. La calidad de este sustrato se ve reflejada en un alto porcentaje de germinación uniforme donde ayude al crecimiento de las raíces y a la nutrición de la planta como sustratos alternativos para el rendimiento del cultivo de microgreens es la turba y la fibra de coco ya que presentan condiciones similares (Arellano, 2017).

Fibra de coco

La fibra de coco es un subproducto el cual se origina del pericarpio de este fruto, presenta un pH de 5.5 a 6.5, además tiene un alto contenido de fósforo (6 a 60 ppm) y de potasio (170 a 600 ppm), este material puede contener nueve veces su peso en agua, teniendo una capacidad de retención de humedad del 80% (González, 2017).

Es un sustrato renovable y abundante que posee una buena porosidad al crecimiento de raíces, esta puede manejarse suelta o semicomprimida. La fibra suelta se comprime en bloque que ayudan a reducir su costo de transporte y puede ser utilizada suelta o en mezclas mientras que la semicomprimida no se utiliza en mezclas (Reyna *et al.*, 2016).

Bagazo de Caña

El bagazo de caña es un residuo del proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña, posee grandes cantidades de fibras que son utilizadas para producir papel, para su preparación como sustrato es recomendable secarlo por 6 días volteándole dos veces al día para perder humedad y evitar que se fermente ya pasado este tiempo se procede a molerlo en una trituradora de forraje (Zea-Barahona *et al.*, 2019).

Según el estudio realizado en el cultivo de pepino el bagazo utilizado como sustrato presentó características físicas óptimas como es un buen espacio poroso, disponibilidad de

agua, densidad aparente y una capacidad de retención de agua que ayudo a obtener buenos resultados en el rendimiento de este cultivo (Hernández, 2015).

Siembra y Germinación

Una vez ya definido el tipo de sistema, tipo de contenedores, sustratos y que densidad de siembra se va plantear para la producción se procede a realizar la siembra. Primero se realiza un tratamiento pre germinativo que ayuda con la desinfección de semillas donde es recomendable esterilizar con hipoclorito de sodio al 2.2% durante 15 min y luego lavarlas a las semillas con agua durante 2 min para proceder a sembrarlas en el sustrato (Mondino, 2015).

Según (Mondino, 2015) los pasos utilizados para la siembra y germinación son los siguientes:

Llenado de bandejas de sustrato

Se recomienda colocar el sustrato de manera uniforme para que ocupe todas las bandejas y llenarlas hasta una altura adecuada, considerando el sistema elegido y por último se da unos golpes que ayuden a que este sustrato este bien parejo.

Riego de sustrato

Se debe mojar el sustrato durante 10 segundos para que la semilla tome contacto con el sustrato y pueda tener una buena germinación.

Siembra de semillas

Se debe colocar las semillas sobre el sustrato uniformemente para evitar competencia entre ellas.

Agregado de sustrato y riego

Después de colocar las semillas se debe agregar una capa de sustrato 0.5cm y regalarlas durante 10 segundos, este paso es importante ya que no se debe sembrar muy profundo para que las semillas no tarden en germinar o no germinen.

Tapado de bandejas

Se deben colocar las bandejas en una parte oscura para ayudar en el tiempo de germinación e hidratadas, después de la germinación de las semillas se debe quitar la cubierta y colocarlas a condiciones de luz para ayudar en el crecimiento de los microgreens.

Riego

Es recomendable regarlas por riego subterráneo ya que ayuda a prevenir el exceso de agua y posibles enfermedades ya que no se encuentra en contacto directo con las plántulas, durante la germinación se deben humedecer las semillas cada 3 días o una vez al día en caso de escasez de agua (Mir *et al.*, 2017).

Suplementos de nutrientes

Como los microgreens se cosechan a una etapa inmadura la utilización de fertilizantes no es necesario ya que las semillas tienen suficiente nutrición para el joven cultivo, los suplementos que se podrían utilizar fuera compost, vermicompost o soluciones en agua derivados de los compost para mejorar el crecimiento de las plántulas (Xiao *et al.*, 2014).

Plagas y enfermedades

Existen pocos problemas de plagas y enfermedades asociados a este cultivo ya que es un cultivo de ciclo corto donde las densidades grandes pueden tener problemas de flujo de aire y una saturación de agua en la raíz, en cantidades bajas de luz y temperatura puede causar una germinación baja, muerte de la plántula o también puede ocasionar un amarillento en sus hojas y sus tallos pueden volverse débiles, en cambio a temperaturas altas sus hojas se pueden encrespar y retardar el crecimiento (Kaiser, 2012).

Cosecha y almacenamiento

Los microgreens se cosechan utilizando tijeras limpias o podadoras pequeñas, las alturas recomendadas para su cosecha varían entre 5 a 10 cm cuando se desarrollan ya las primeras hojas verdaderas, esta altura es muy importante ya que garantiza que las partículas

del medio no contaminen al producto, lo que se realiza es un pequeño corte al ras del sustrato y su consumo es inmediato.

El tiempo de germinación varía entre 1 y 3 semanas dependiendo de la especie ya cosechadas se deben lavarse con agua limpia para eliminar cualquier residuo de sustrato y restos de plantas (Mir *et al.*, 2017).

Microgreens implementados

Frijol Mungo

El frijol mungo (*Vicia Radiata*) es nativo del continente asiático, este frejol es conocido con otros nombres como Frijol Mungo, Frijol Chino, Sija Falsa y en el Ecuador se le conoce como Frejol Paciencia es una de las leguminosas más cultivadas a nivel mundial y es consumido principalmente en regiones del continente asiático ya que posee diversos nutrientes que le brindan su poder terapéutico como compuestos bioactivos, proteínas, minerales y fibra, se caracteriza por ser un cultivo de ciclo corto que es muy utilizado como: comestible en grano y germinado, abono verde, sus semillas germinan a los 3 o 4 días después de la siembra (Hou *et al.*, 2019).

La composición nutricional del frijol mungo es aproximadamente 20-24% de proteína, siendo la globulina y albúmina las principales proteínas de almacenamiento que se encuentran en los germinados de frijol mungo y constituyen más del 60% y el 25% de la proteína total, son ricos en vitaminas C, A y complejo B su sabor es suave de textura fina y delicada (Lopes *et al.*, 2018).

Lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa L*) es una planta anual que posee un sistema radicular profundo y poco ramificado, en sus hojas se puede observar que son de forma alargadas o redondas, es una de las hortalizas más populares ya que se consume durante todo el año y es muy demandado por el gran mercado. Las semillas de lechuga germinan alrededor de 1 a 7 días (Castagnino y Castro, 2020).

Los micro vegetales de lechuga son muy populares por su diminuto follaje y por ser un alimento saludable ya que contiene grandes cantidades de nutrientes, vitaminas, minerales que ayudan a fortalecer el sistema nervioso y mejorar sus procesos digestivo, son de corto periodo de vegetación y se pueden cultivar con una mínima inversión y son cada vez más aceptados por los consumidores (Rusu *et al.*, 2021).

Cebolla Puerro

La cebolla (*Allium cepa* L) es una hortaliza más popular que conforma una dieta diaria, sus semillas germinan y brotan en 3-4 días y se utiliza ya sea de forma cruda o deshidrata, desempeña un papel importante en la prevención de enfermedades del corazón. La cebolla contiene proteínas y vitaminas C se debe colocar los microgreens de puerro directamente debajo de la luz para ayudar en su coloración verde brillante y su riego debe ser cuidadoso para no mojar sus hojas (Mir *et al.*, 2017).

Los micro vegetales de puerro presentan una altura de 3-4 pulgadas de alto y se puede obtener 3 cosechas por cultivos donde se podría demorar en 10-12 días, su tamaño se reduce, presenta un sabor un poco más dulce (Paradiso *et al.*, 2018).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Ubicación del sitio de estudio

La investigación se desarrolló en dos fases: una en el laboratorio de Fisiología Vegetal y Principios Activos y otra en el Invernadero de Horticultura de la Carrera de Agropecuaria IASA I, ubicados en la Hacienda “El Prado”, parroquia Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

La Hacienda “El Prado” se encuentra ubicada dentro del barrio San Fernando, en las coordenadas UTM Latitud: 0°, 23', 20" S y Longitud: 78°, 24', 44" O a una altitud de 2748 m.s.n.m.

Figura 1

Ubicación del proyecto de investigación



Nota. “IASA Map”. Recuperado de (Google Earth, 2023)

Establecimiento del experimento

Preparación de las semillas

Se adquirieron semillas de frijol mungo, cebolla puerro y lechuga que no hayan tenido tratamientos previos de desinfección con agroquímicos con la finalidad de preservar la salud.

Primero se desinfectó las semillas de las tres especies con hipoclorito de sodio (NaClO) al 0.5% en un volumen de 24ml en una probeta de 250 ml por un lapso de 7 minutos en constante agitación en la cámara de flujo laminar, luego se procedió a lavar las semillas con agua auto clavada por periodos de 1,3 y 3 minutos en constante agitación con la finalidad de retirar todo el exceso de cloro, una vez desinfectadas las semillas se las dejó en remojo con agua auto clavada durante 24 horas.

Figura 2

Proceso de desinfección de las semillas de microgreens



Nota. Desinfección de las semillas. Autoría propia.

Preparación de sustrato

En el experimento se utilizaron dos sustratos: “bagazo de caña y fibra de coco”. La obtención del bagazo de caña fue a partir de los residuos de cosechas de un cultivo de caña obtenidos de la “Fábrica de producción de Panela” ubicada en la Parroquia de García Moreno, cantón Cotacachi, una vez cosechadas se llevó a la picadora del IASA para reducir su tamaño, el bagazo de caña presenta un alto contenido de azúcar y para poder eliminarlo se procedió a voltearlo durante 4 días con lavados de dos veces al día para que pueda desprender toda la azúcar y así llevarlo a un molino para su trituración y obtención del sustrato. En el caso de la fibra de coco se adquirió en el vivero pasiflora ubicado en la zona de Nayón.

Desinfección del sustrato

Para este proceso se tomó un volumen de aproximadamente 9 litros de fibra de coco y 9 litros de bagazo de caña en bolsas plásticas resistentes a la autoclave, los cuales fueron auto clavados un día previo a la siembra de las semillas a una temperatura de 121° C y presión de 120 bares durante 15 minutos.

Propiedades físicas de los sustratos

Densidad aparente (Da)

Para calcular la densidad se secaron los sustratos en la estufa a 105°C por un lapso de 24 horas, después se colocó en un vaso de precipitación los diferentes sustratos utilizados en el experimento hasta alcanzar los 200cm³ para ser pesados y determinar la densidad aparente utilizando la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{Ps}{Vs}$$

Donde:

Da: Densidad aparente del sustrato

Ps: Peso del sustrato

Vs: Volumen del sustrato

Densidad real (Dr)

Para el cálculo de la densidad real de los sustratos se compacto el espacio poroso existente dentro del vaso de precipitación con el mismo peso que se obtuvo en la densidad aparente, para el cálculo de la densidad real se utilizó la siguiente ecuación:

$$Dr = \frac{Ps}{VSsp}$$

Donde:

Dr: Densidad real del sustrato

Ps: Peso del sustrato

VSsp: Volumen del sustrato sin espacio poroso

Capacidad de retención de humedad (CRH)

Para el cálculo de la capacidad de retención de humedad se utilizó muestras de 100gr de cada uno de los sustratos previamente secados en la estufa a 105°C por 24 horas para que el sustrato este en punto de marchitez permanente (PMP), a cada uno de los sustratos se le añade 100 ml de agua en un vaso con un fondo hueco y papel filtro es su base para alcanzar la capacidad de campo (CC). A los 15 minutos se tomó el peso de cada uno de los sustratos, para el cálculo de la capacidad de retención de humedad se utilizó la siguiente ecuación:

$$CRH = CC - PMP$$

Donde:

CRH: Capacidad de retención de humedad

CC: Capacidad de campo

PMP: Punto de marchitez permanente

Granulometría de los sustratos

Para el cálculo de la granulometría de los sustratos se utilizó 100 gr de cada uno para llevarlos a un tamizador automático de 5 tamices con malla de diferentes diámetros en su apertura ordenados de la siguiente manera: N5,4mm; N12,1.7mm; N30,0.6mm; N80,0.18mm y el recolector al final por el lapso de 5 minutos, el peso obtenido en cada uno de los tamices se lo expreso como porcentaje de partículas.

Propiedades Químicas de los sustratos

Potencial Hidrogeno (pH) y Conductividad Eléctrica (CE)

Para la determinación de pH y CE, se mezcló cada uno de los sustratos con agua destilada en un vaso de precipitación de 300ml, a una relación 1:1 (v/v), se removió con una varilla de vidrio hasta homogenizar la muestra para tomar la lectura con el equipo marca HANNA.

Siembra

La siembra se realizó en la cámara de flujo laminar con la finalidad de evitar posibles contaminaciones, las combinaciones que se utilizaron fueron: T1. 100% bagazo de caña, T2. 50% bagazo de caña- 50% fibra de coco, T3. 25% bagazo de caña - 75% fibra de coco, T4. 75% bagazo de caña - 25% fibra de coco y T5. 100% fibra de coco, en tarrinas de polietileno con un área de 150 cm^2 y un volumen de 900 cm^3 .

Se utilizó 300 cm^3 de sustrato en sus diferentes combinaciones ocupando así la tercera parte de su capacidad, en las tarrinas se les realizó perforaciones homogéneas en la parte basal para ayudar en el riego y drenaje del experimento.

Las semillas que se utilizaron para el experimento fueron: 300 semillas de Frijol Mungo, 600 semillas de Lechuga y 600 semillas de Cebolla Puerro, las cuales fueron contadas y pesadas previamente a la siembra para ser colocadas en las diferentes tarrinas, la forma que se sembró fue de manera homogénea para que todas las semillas tengan las mismas condiciones de germinación.

Finalmente, se hermetizó las tarrinas con Parafilm para evitar posibles contaminaciones, en la parte superior de las tarrinas se colocó sarán negro para estimular la germinación de las semillas.

Figura 3

Proceso de siembra de los microgreens



Nota. Siembra de microgreens. Autoría propia.

Riego

Al momento de la siembra con un atomizador se realizó el riego previo a hermetizar con el Parafilm las tarrinas con la finalidad de generar humedad en el sustrato, los siguientes riegos se lo realizaron a los 7 y 15 días después de la siembra.

Figura 4

Proceso de riego de los microgreens



Nota. Riego de microgreens. Autoría propia.

Diseño experimental

El tipo de experimento se dispuso bajo el diseño completamente al azar DCA bifactorial con 4 repeticiones obteniendo así 60 unidades experimentales.

Donde:

Y_{ij} = Evaluación de la mezcla de sustratos lignocelulósicos como bagazo de caña en la producción de microgreens.

u = media general.

S_i = efecto i -esimo de los sustratos.

E_j = efecto j -esimo de las especies.

SE_{ij} = efecto de la interacción entre las especies x sustratos sobre la producción de microgreens.

E_{ij} = error experimental.

Tipo de diseño

El presente estudio se realizó bajo un diseño completamente al azar bifactorial donde su modelo matemático fue el siguiente:

$$\text{Producción de microgreens: } Y_{ij} = u + S_i + E_j + SE_{ij} + E_{ij}$$

Análisis estadístico

Todos los datos fueron procesados usando el software estadístico INFOSTAT obteniendo análisis de varianza (ANAVA) y pruebas de Test Duncan con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$

Tabla 1

Descripción de los sustratos en las diferentes especies para el presente estudio

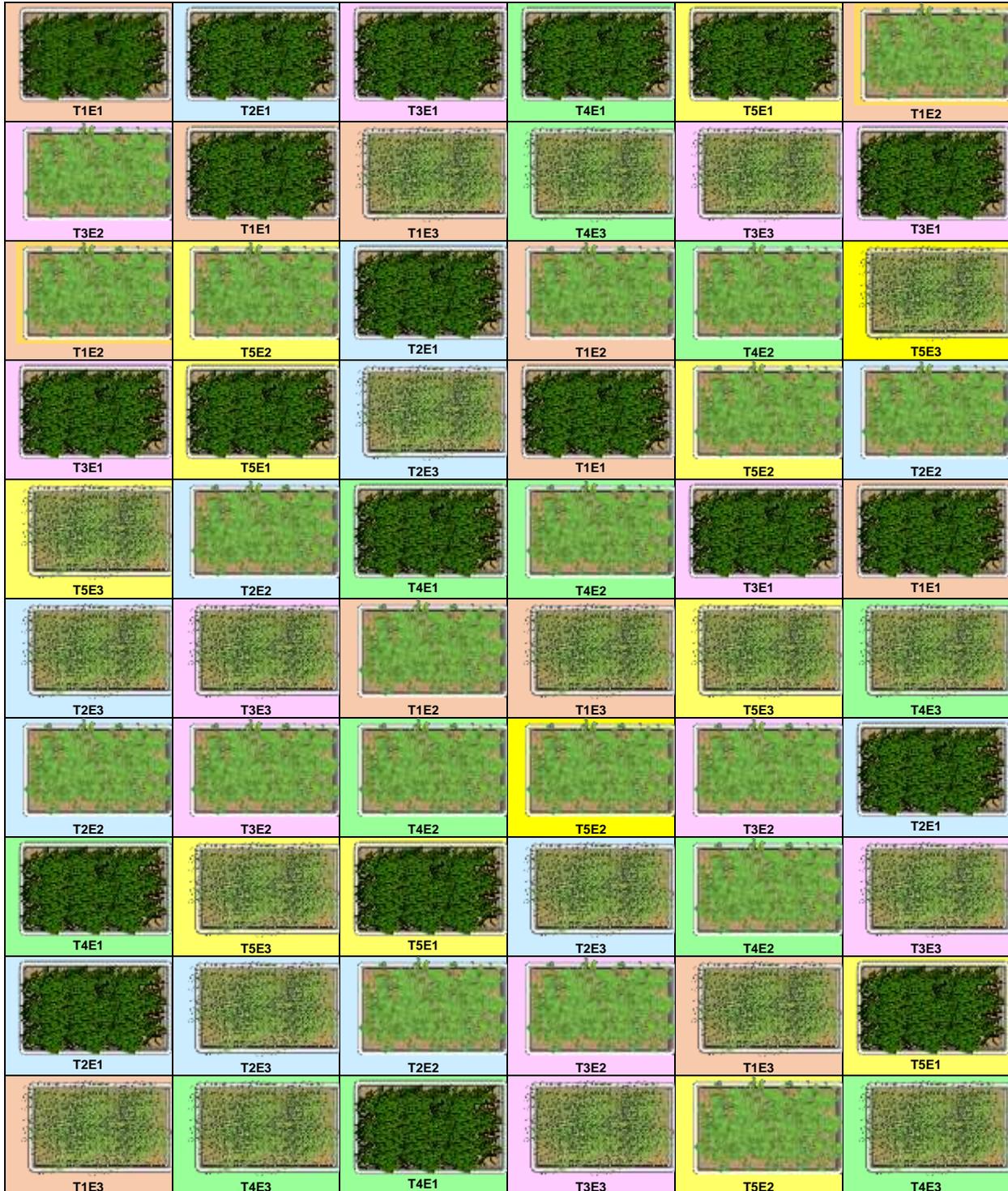
Código	Sustratos	Especies
T1E1	100% Bagazo de caña	Frijol Mungo
T2E1	50% Bagazo de caña/ 50% Fibra de coco	Frijol Mungo
T3E1	25% Bagazo de caña/ 75% Fibra de coco	Frijol Mungo
T4E1	75% Bagazo de caña/ 25% Fibra de coco	Frijol Mungo
T5E1	100% Fibra de coco	Frijol Mungo
T1E2	100% Bagazo de caña	Cebolla Puerro
T2E2	50% Bagazo de caña/ 50% Fibra de coco	Cebolla Puerro
T3E2	25% Bagazo de caña/ 75% Fibra de coco	Cebolla Puerro
T4E2	75% Bagazo de caña/ 25% Fibra de coco	Cebolla Puerro
T5E2	100% Fibra de coco	Cebolla Puerro
T1E3	100% Bagazo de caña	Lechuga
T2E3	50% Bagazo de caña/ 50% Fibra de coco	Lechuga
T3E3	25% Bagazo de caña/ 75% Fibra de coco	Lechuga
T4E3	75% Bagazo de caña/ 25% Fibra de coco	Lechuga
T5E3	100% Fibra de coco	Lechuga

Nota. Descripción de las combinaciones asignadas para cada tratamiento y evaluadas en el presente ensayo. Autoría propia

Croquis experimental

Figura 5

Disposición de los tratamientos en el estudio de la evaluación



Nota. Croquis del experimento con distribución DCA de los tratamientos. Autoría Propia.

VARIABLES A EVALUAR

Porcentaje de Germinación

El porcentaje de germinación se evaluó cuando se cosechó los microgreens de las diferentes especies, se contaron las plantas jóvenes germinadas y para el cálculo se utilizó la ecuación detallada por (Wei et., al 2012) que describe al porcentaje de germinación como:

$$\text{Porcentaje de germinación \%} = \left(\frac{\# \text{ semillas germinadas}}{\text{semillas total}} \right) * 100$$

Figura 6

Porcentaje de germinación de las especies



Nota. Semillas de frijol mungo. Autoría propia.

Días a la germinación

Para determinar los días a la germinación de cada una de las especies se consideró el tiempo que demoraron en aparecer las primeras hojas cotiledóneas que fue cuando se procedió a retirar el Parafilm y exponerlas a un medio natural.

Figura 7

Días a la germinación de las diferentes especies



Nota. Bandejas de microgreens. Autoría propia

Rendimiento biológico

Para la evaluación del rendimiento biológico se aplicó la ecuación como:

$$\text{Rendimiento biológico} = \left(\frac{\text{Peso fresco total de los brotes}}{\text{Peso de la semilla}} \right) * 100$$

Altura del microgreens

Para la toma altura de las diferentes especies se seleccionaron al azar 10 plántulas de cada tarrina para ser colocadas en un papel milimétrado y luego ser medidas con la ayuda de una regla, para luego sacar un promedio de alturas con la siguiente formula.

$$\text{altura de microgreens} = \frac{n1 + n2 + n3 + n4 + \dots + n10}{10}$$

Masa fresca y masa seca

El contenido de masa fresca de las diferentes especies de microgreens se pesó con la ayuda de una balanza en el laboratorio de suelos del IASA I donde se consideró útil el tallo y las hojas después de ser cosechadas, para el contenido de masa seca se procedió a colocar todo el material vegetal en fundas de papel respectivamente etiquetadas con los diferentes tratamientos y repeticiones para luego ser llevados a una estufa durante 24 horas a una

Contenido de clorofila

En la extracción de clorofila se pesó 0.25 gramos de material vegetal de cada una de las especies para luego ser colocadas en un mortero con una sustancia del etanol al 95% y una dosis de 2.52 ml trituradas, donde el macerado se colocó en tubos de ensayos que fueron etiquetados con los diferentes tratamientos y repeticiones para ser llevados a una refrigerado por un día.

Al otro día se sacaron los tubos de ensayo de la refrigeradora y se colocó la segunda dosis de 4ml de etanol al 95%, luego estos tubos fueron llevados a la centrifugadora durante 15 minutos para homogeneizar las muestras.

Para la lectura de clorofila se utilizó una micropipeta donde se fue colocando 3 ml de la solución de las diferentes especies en un tubo de cuarzo para posteriormente colocarle en un espectrofotómetro para su lectura.

$$\text{Clorofila A} = 13.36a * 664 - 5.19a * 649$$

$$\text{Clorofila B} = 27.43a * 649 - 8.12 * 664$$

Figura 8

Determinación de la clorofila de las diferentes especies



Nota. Contenido de clorofila. Autoría propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas

En la tabla 2 se observa la determinación de los diferentes parámetros físicos como la densidad aparente, densidad real, porcentaje de poros, capacidad de retención de la humedad y granulometría de los diferentes sustratos.

Tabla 2

Características físicas de los sustratos lignocelulósicos para la producción de microgreens de frijol mungo, cebolla puerro y lechuga

Sustratos	Da	Dr	PT	CRH	Granulometría (%)					
	(g. cm ³)	(g. cm ³)	(%)	(%)	>4 mm	1.7-4mm	0.6-1.7mm	0.28-0.6mm	0.18-0.25mm	<0.18mm
T1	0.05	0.11	55	27.2	11.6	31	46.46	7.76	1.68	1.5
T2	0.10	0.18	44	54	4.78	23.32	47.2	18.7	3.2	2.8
T3	0.15	0.23	35	42.4	3.8	21.66	50.5	20.6	2.6	0.84
T4	0.07	0.13	46	32.7	11.4	25.84	45.94	13.1	1.94	1.72
T5	0.15	0.17	12	46	1.2	17.58	47.94	28.54	3.44	1.3

Nota. T1= 100% caña, T2= 50% caña/ 50% fibra, T3= 25% caña/75% fibra, T4= 75%caña/25%fibra, T5= 100% fibra, Da= Densidad aparente, Dr= Densidad real, PT=Porosidad total. Autoría Propia.

Para las propiedades físicas, la densidad aparente (Da) de los sustratos presentaron valores entre 0.05 a 0.15 g * cm³, su densidad real (Dr) entre 0.11 a 0.23 (g * cm³), la porosidad total (PT) varía los valores de 12 a 55 % y la capacidad de retención de humedad (CRH) entre 27.2 a 54% Además, la granulometría (G%) de las partículas medidas en sustratos >4mm fluctuaron entre 1.2% a 11.4%, las de 4 a 1.7mm entre 17.58% a 31%, las de 0.6-1.7mm entre 45.94% a 50.5%, las de 0.18-0.25mm entre 1.68% a 3.44%, las de 0.18-0.25mm entre 1.68% a 3.44% y <0.18mm de 0.84% a 2.8%. Estos datos son casi similares a los obtenidos por (Arellano *et al.*, 2020) quien afirma que las propiedades físicas más importantes para el

crecimiento y desarrollo de un cultivo son, la porosidad total ya que esta permite una mejor circulación de aire y el drenaje del agua en el sustrato y la capacidad de retención de humedad ya que ayudan a proporcionar un suministro constante de agua a las plantas, esto se vio evidenciado con el tratamiento 2 compuesto por 50% caña/50% fibra que presentó los mejores resultados.

Propiedades químicas

En la tabla 3 se presenta la determinación de los parámetros químicos, el pH y la conductividad eléctrica de los diferentes sustratos.

Tabla 3

Propiedades químicas (pH y CE) de los sustratos para la producción de microgreens de frijol mungo, cebolla puerro y lechuga

Sustratos	pH	CE ($ds * m^{-1}$)
T1	7	0.029
T2	7.2	0.033
T3	7.2	0.052
T4	7.4	0.062
T5	7.2	0.178

Nota. T1=100% caña, T2= 50% caña/50% fibra, T3=25% caña/75% fibra, T4= 75%caña/25% fibra, T5= 100% fibra, Ph= Potencial de hidrogeno, CE= Conductividad eléctrica. Autoría propia

Estas propiedades son esenciales para entender como los sustratos pueden influir en el entorno químico en el que crecen las plantas, los datos revelan que todos los sustratos en general tienen valor de pH ligeramente alcalinos, oscilando entre 7 a 7,4 y la CE fluctúa entre $0.029 ds * m^{-1}$ a $0.178 ds * m^{-1}$. Los datos obtenidos son similares (Escobar y Lozada, 2005) quien menciona que, un rango de pH permite que los nutrientes esenciales estén más disponibles en la absorción de las raíces.

VARIABLES FISIOLÓGICAS

Las variables fisiológicas de los microgreens como masa seca, masa fresca y rendimiento biológico no presentaron diferencias significativas entre la interacción doble, pero si presentaron diferencias significativas entre especies al realizar el análisis de varianza (ANOVA) como se muestra en la (Tabla 4).

Tabla 4

Análisis de la varianza (ANOVA) medias \pm desviación estándar del efecto en las variables de masa fresca, masa seca y rendimiento biológico en frijol mungo, cebolla puerro y lechuga

Fuentes de Variación	Masa Fresca (g)	Masa Seca (g)	Rendimiento biológico (%)
Sustrato	NS	NS	NS
Especie	*	*	*
S x E	NS	NS	NS
Especie			
Frijol Mungo	39.48	4.38	148.16
Sustratos			
100% caña	43.1 \pm 4.55a	4.68 \pm 0.33a	165.06 \pm 18.8a
50% caña/50% fibra	35.08 \pm 6.48a	4.33 \pm 0.66a	132.15 \pm 25.6a
25% caña/75% fibra	37.3 \pm 12.77a	4.15 \pm 0.7a	139.64 \pm 53.04a
75% caña/25% fibra	37.18 \pm 12.32a	4.05 \pm 1.29a	139.19 \pm 46.38a
100% fibra	44.8 \pm 1.20a	4.7 \pm 0.14a	164.78 \pm 5.09a
Especie			
Cebolla puerro	14.66	1.39	827.53
Sustratos			
100% caña	12.65 \pm 4.24ab	1.35 \pm 0.34ab	728.92 \pm 221.54a
50% caña/50% fibra	18.03 \pm 2.68a	1.63 \pm 0.12a	966.27 \pm 128.62a
25% caña/75% fibra	16.43 \pm 4.5ab	1.6 \pm 0.39a	965.63 \pm 254.5a
75% caña/25% fibra	12.13 \pm 3.11b	1.15 \pm 0.24b	676.01 \pm 109.33a
100% fibra	14.08 \pm 2.45ab	1.2 \pm 0.18ab	800.86 \pm 213.71a
Especie			
Lechuga	21.99	1.16	8.04
Sustratos			
100% caña	22.31 \pm 0.89a	1.28 \pm 0.35a	9.03 \pm 3.30a
50% caña/50% fibra	22.15 \pm 4.10a	1.15 \pm 0.21a	6.26 \pm 0.75a
25% caña/75% fibra	21.4 \pm 5.89a	1.13 \pm 0.17a	7.79 \pm 4.63a
75% caña/25% fibra	21.28 \pm 3.59a	1.23 \pm 0.13a	9.16 \pm 0.27a
100% fibra	22.83 \pm 2.41a	1.03 \pm 0.19a	7.94 \pm 3.92a

Nota. * Significativo al $p \leq 0.05$. Letras con una letra en común no son significativamente ($p \leq 0.05$); obtenidos por prueba de DUNCAN. Autoría propia.

Masa fresca

No se encontró un efecto significativo entre la interacción Especie x Sustrato ($f_{8,45} = 1.10$ y $p = 0.3815$), La cantidad de masa fresca de la cebolla puerro del tratamiento 2 compuesta por un sustrato 50% caña/50% fibra de coco presento un mayor rendimiento a diferencia del tratamiento 4 compuesto por 75%caña/25% fibra (Tabla 4).

Masa Seca

No se encontró un efecto significativo entre la interacción Especie x Sustrato ($f_{8,45} = 1$ y $p = 0.4478$), la cantidad de materia seca de la cebolla puerro de los tratamientos 2 y 3 compuestos por 50% caña/50% fibra y 25% caña/75% fibra presentaron mayores rendimientos a diferencia del tratamiento 4 compuesto por 75%caña/25%fibra. Estos datos son similares a (Rodríguez-Delfín *et al.*, 2005) donde afirma que, la acumulación de materia seca en plantas de cebolla pueda estar relaciona con la porosidad y capacidad de retención de humedad ya que permite tener una gran cantidad de aire y agua ayudándole a la planta a crecer.

Rendimiento biológico

En la tabla 4 se puede observar que el rendimiento biológico de las diferentes especies no presentó diferencias significativas en los tratamientos, en las especies de frijol mungo se muestra un rendimiento biológico mayor en comparación con la cebolla puerro y lechuga. Estos datos son casi similares a (Rodríguez-Delfín *et al.*, 2005) donde afirma que, el rendimiento biológico de las especies puede estar influenciado a su capacidad de aprovechamiento de los nutrientes.

Variables agronómicas

La variable agronómica de días de germinación presento diferencias significativas en la doble interacción ($f_{8,45} = 2.7$ y $p = 0.0163$) al realizar el análisis de varianza (ANAVA) como se muestra en la (Tabla 5).

Tabla 5

Análisis de la varianza (ANAVA) medias \pm desviación estándar del efecto en las variables de germinación, altura microgreens y días de germinación en frijol mungo, cebolla puerro y lechuga

Fuentes de Variación	Germinación (%)	Altura microgreens (cm)	Días de germinación (días)
Sustrato	NS	*	*
Especie	NS	*	*
S x E	NS	NS	*
Especie			
Frijol Mungo	91.25	8.71	6.9
Sustratos			
100% caña	92 \pm 2.94a	7.9 \pm 0.24b	6 \pm 0.0b
50% caña/50% fibra	91.5 \pm 1.73a	8.91 \pm 0.34ab	7.5 \pm 0.5a
25% caña/75% fibra	87.75 \pm 9.29a	8.28 \pm 1.95ab	7.25 \pm 0.5a
75% caña/25% fibra	91 \pm 5.42a	8.64 \pm 1.18ab	7.75 \pm 0.5a
100% fibra	94 \pm 0.82a	9.83 \pm 0.02a	6 \pm 0.0b
Especie			
Cebolla	90.25	7.03	11
Sustratos			
100% caña	84.25 \pm 13.48a	5.46 \pm 0.25c	11 \pm 0.82ab
50% caña/50% fibra	94 \pm 2.16a	6.95 \pm 0.79b	10.5 \pm 0.58b
25% caña/75% fibra	93.5 \pm 3.51a	7.15 \pm 0.77b	11.75 \pm 0.5a
75% caña/25% fibra	87.75 \pm 4.57a	7.39 \pm 0.6ab	11 \pm 0.82ab
100% fibra	91.75 \pm 3.86a	8.20 \pm 0.28a	10.75 \pm 0.96ab
Especie			
Lechuga	91.8	6.04	6.65
Sustratos			
100% Caña	92.75 \pm 0.5 a	5.89 \pm 0.75a	6 \pm 0.0b
50% caña/50% fibra	92.25 \pm 4.11a	5.50 \pm 0.58a	7 \pm 0.82ab
25% caña/75% fibra	90.5 \pm 7.59a	6.43 \pm 0.53a	6.75 \pm 0.96ab
75% caña/25% fibra	90.75 \pm 4.11a	6.06 \pm 0.24a	7.5 \pm 0.58a
100% fibra	92.75 \pm 2.99a	6.33 \pm 0.73a	6 \pm 0.0b

Nota. * Significativo al $p \leq 0.05$. Letras con una letra en común no son significativamente ($p \leq 0.05$); obtenidos por prueba de DUNCAN. Autoría propia.

Porcentaje de Germinación

No se encontró un efecto significativo entre la interacción Especie x Sustrato ($f_{3,45} = 1.09$ y $p = 0.3903$), El frijol mungo muestra una mayor tasa de germinación en comparación con la cebolla puerro y lechuga. Estos datos obtenidos fueron casi similares a los reportados por

(Muñoz *et al.*, 2022) donde su porcentaje de germinación fue del 95% tratada con la combinación (Fibra de coco + Bagazo de caña).

Altura de microgreens

No se encontró un efecto significativo entre la interacción Especie x Sustrato ($f_{8,45} = 1.90$ y $p = 0.0834$), la altura de microgreens del frijol mungo y cebolla puerro del tratamiento 5 compuesto por 100% fibra presento una mayor altura en comparación a 100% caña. Estos resultados son casi similares a los obtenidos por (González, 2017) donde la altura de microgreens podrían estar relacionadas con las características propias de cada especie y su adaptación a las condiciones del cultivo obteniendo una altura de 6.7cm en el sustrato fibra de coco.

Días de germinación

El frijol mungo de los tratamientos 5 y 1 compuestos por 100% fibra y 100% caña presentaron menores días de germinación a diferencia de los otros sustratos, la cebolla puerro analizada con la combinación 2 compuesto por 50% caña/50% fibra igual presento menor días a la germinación que la combinación 3 compuesto por 25%caña/75% fibra y la lechuga de los tratamientos 1 y 5 compuestos por 100% caña y 100% fibra presentaron menores días a la germinación a diferencia del tratamiento 4 compuesto por 75% caña/25% fibra. Estos resultados varían ligeramente a los obtenidos por (Arellano *et al.*, 2020) donde influye, en la elección del sustrato adecuado puede afectar positivamente el crecimiento inicial de las plántulas.

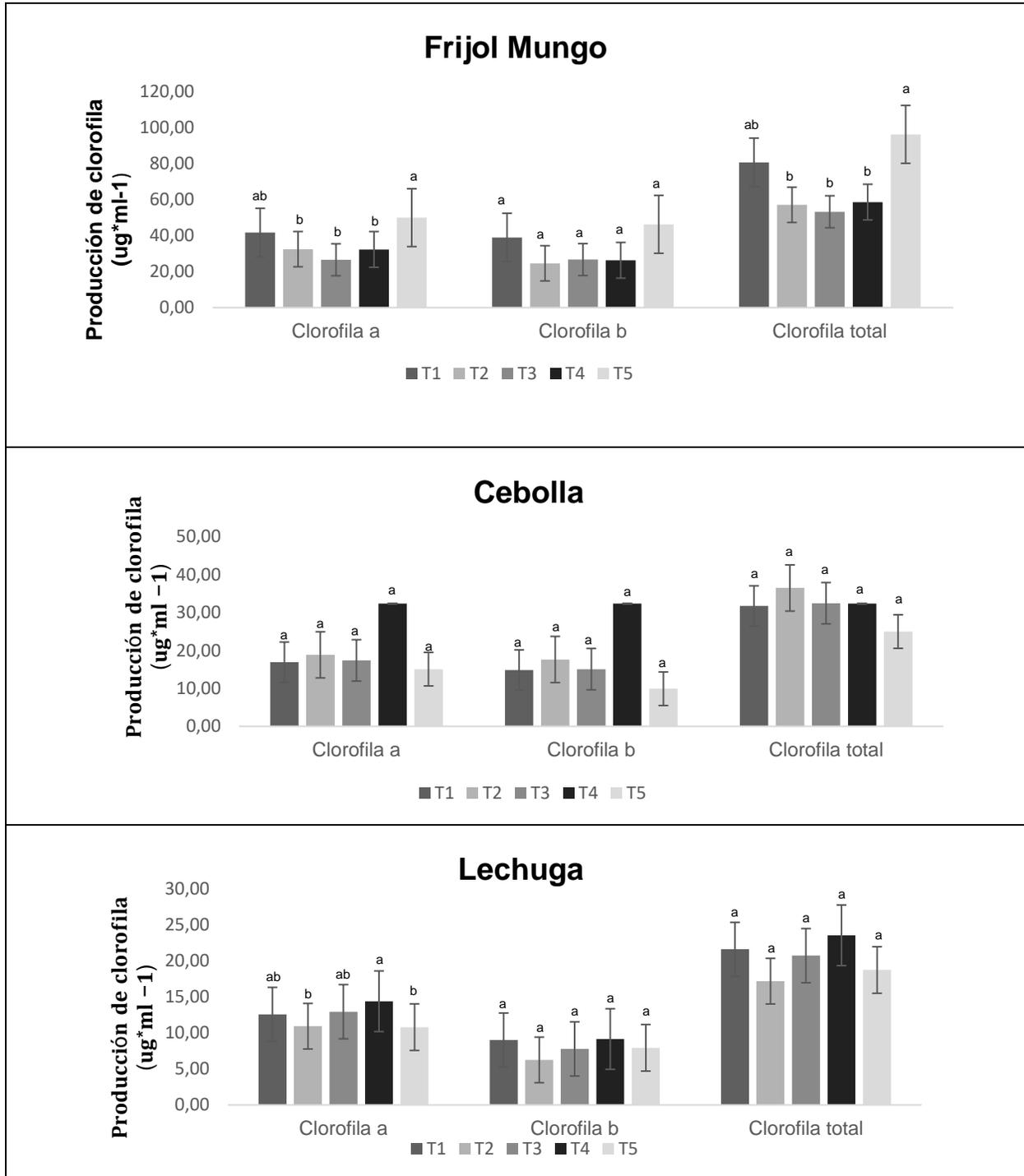
Contaminación del sustrato

Al realizar una observación visual en los sustratos no se evidencio la presencia de contaminantes fúngicos en frijol mungo, cebolla puerro y lechuga.

Contenido de clorofila

Figura 9

Contenido de clorofila \pm error estándar de la producción de microgreens de las diferentes especies



Nota. T1= 100% caña, T2= 50% caña/50% fibra, T3= 25% caña /75%fibra, T4=75%caña/25%fibra, T5= 100% fibra. Autoría Propia.

Para la variable contenido de clorofila se puede apreciar en la figura 9 los resultados obtenidos por cada especie.

Frijol Mungo

la cantidad de clorofila a, clorofila b y clorofila total del tratamiento 5 compuesto por 100% fibra presento un mayor rendimiento en comparación a otros sustratos, $49.99 \text{ ug} * \text{ml}^{-1}$, $46.27 \text{ ug} * \text{ml}^{-1}$, $96.26 \text{ ug} * \text{ml}^{-1}$ (Figura 9)

Cebolla

La cantidad de clorofila a y clorofila b del tratamiento 4 compuesto por 75% caña/ 25% fibra presento un mayor rendimiento en comparación a los otros sustratos $32.33 \text{ ug} * \text{ml}^{-1}$, en cambio en la clorofila total el tratamiento 2 compuesto por 50% caña/50% fibra presento un mayor rendimiento en comparación a los otros sustratos $36.45 \text{ ug} * \text{ml}^{-1}$ (Figura 9).

Lechuga

La cantidad de clorofila a, clorofila b y clorofila total del tratamiento 4 compuesto por 75%caña/25% fibra presento un mayor rendimiento en comparación a los otros sustratos $14.41 \text{ ug} * \text{ml}^{-1}$, $9.16 \text{ ug} * \text{ml}^{-1}$, $23.57 \text{ ug} * \text{ml}^{-1}$ (Figura 9).

En general, los resultados muestran que cada especie tiene una respuesta única a los diferentes sustratos en términos de contenido de clorofila. Las diferencias existentes pueden atribuirse a las necesidades específicas de cada especie.

Estos datos son similares (Bravo y Urdaneta, 2006) quien recalca que, los sustratos con mayor proporción de fibra presentan un impacto positivo en los contenidos de clorofila de las especies.

Video Demostrativo

En el siguiente link se puede visualizar la demostración del estudio realizado en la producción de microgreens de frijol mungo, cebolla puerro y lechuga en sustratos alternativos.

https://www.youtube.com/watch?v=gWecl0F6TB4&ab_channel=KARLAPAMELACALISPABOL

[AGAY](#)

Figura 10

Video demostrativo de la producción de microgreens



Nota. Presentación del video de microgreens. Autoría propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En la evaluación de la producción de microgreens de lechuga, frijol mungo y cebolla la mezcla que obtuvo mejores resultados fue el tratamiento 2 compuesto por 50% caña/50% fibra.
- Las variables agronómicas y fisiológicas en la producción de microgreens de lechuga, frijol mungo y cebolla puerro se pudo visualizar que todos los tratamientos compuestos por fibra de coco y bagazo de caña presentaron resultados positivos.
- El sustrato lignocelulósico bagazo de caña si pudo reemplazar a la fibra de coco en la producción de microgreens de lechuga, frijol mungo y cebolla puerro, ya que presento resultados similares a la fibra de coco en las variables analizadas.
- Las características físicas de los diferentes sustratos lignocelulósicos fueron variables y en condiciones de pH se mantuvieron entre 7 a 7.4.

Recomendaciones

- Para obtener una buena producción de microgreens de frijol mungo, cebolla puerro y lechuga se recomienda la mezcla 50%caña/50%fibra.
- Con la finalidad de reducir costos de producción y mitigar la contaminación ambiental se recomienda el aprovechamiento de los residuos de bagazo de caña de fincas e ingenios.
- En futuros estudios de producción de microgreens se recomienda utilizar como sustrato alternativo residuos de la agricultura como tamo de arroz, tallos de plátanos, tallos de rosas y cascarilla de café.

Bibliografía

- Arellano, T. (2017). *Evaluación del desarrollo morfológico de diferentes variedades de brócoli (Brassica oleracea var. Itálica) bajo un sistema hidropónico NFT* [Trabajo Experimental, Universidad Agraria del Ecuador].
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ARELLANO%20KUH%20JOSUE%20OCTAVIO%20.pdf>
- Bafumo, F. (2017). *Micro-hortalizas de rúcula y rabanitos como alternativa novedosa de alimentos saludables* [Tesina, Universidad Nacional de Cuyo].
https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/17238/tesis-roberto-bafumo.pdf
- Bravo, F., & Urdaneta, N. (2006). Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv `Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 23(2).
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000200006
- Castagnino, A., & Castro, M. (2020). Microgreens and sprouts, two innovative functional foods for a healthy diet in Km 0 Microgreens y brotes, dos alimentos funcionales innovadores para una nutrición saludable, en el Km 0. *Revista de Horticultura*. 39(100),38-50
[file:///C:/Users/DETPC/Downloads/Microgreens%20y%20brotes,%20dos%20alimentos%20funcionales%20innovadores%20para%20una%20nutrici%C3%B3n%20saludable,%20en%20el%20Km%200%20\(7\).pdf](file:///C:/Users/DETPC/Downloads/Microgreens%20y%20brotes,%20dos%20alimentos%20funcionales%20innovadores%20para%20una%20nutrici%C3%B3n%20saludable,%20en%20el%20Km%200%20(7).pdf)
- Cruz Espinoza, C. R. (2021). *Evaluación de seis tipos de sustratos lignocelulósicos, como alternativas para la propagación del patrón de Rosa sp. variedad Natal Briar* [Trabajo de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/25226/T-IASA%20I-005711.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Di Gioia, F., De Bellis, P., Mininni, C., Santamaria, P., & Serio, F. (2017). Physicochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative growing media for the

- production of rapini (*Brassica rapa* L.) microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(4), 1212–1219. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7852>
- Ebert, A. W. (2022). Sprouts and Microgreens—Novel Food Sources for Healthy Diets. *Plants*, 11(4), 571. <https://doi.org/10.3390/plants11040571>
- Escobar, J. C., y Lozada, P. (2005). *Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR*. SCIELO. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092005000200007
- Fernández, A., y Gómez, M. D. (2022). *Cultivo de microgreens de rúcula en agricultura vertical indoor*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/11495/tfm-var-cul.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fuentes, J. (2017, June 7). *Todo sobre el cultivo de brotes tiernos o microgreens*. Guía de la jardinería. <https://www.guiadejardineria.com/todo-sobre-el-cultivo-de-brotes-tiernos-o-microgreens/>
- González, J. P. (2017). *Comparación de sustratos y densidades de siembra en microbrotes de mostaza roja (Brassica rapa nipposinica Bailey)* [Proyecto especial de graduación, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ea61ec07-ba76-4313-be41-5c81d3e6a73a/content>
- Google Earth. (2023). *Hacienda el Prado “IASA.”* https://www.google.com.ec/maps/place/IASA/@-0.3856369,-78.4189771,767m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x91d5bbbd8644851b:0xc6c8b2bb6c026969!8m2!3d-0.3856423!4d-78.4164022!16s%2Fg%2F11xpb5x_8?hl=es&entry=ttu
- Hernández, A. (2015). *Bagazo de caña, sustrato orgánico para la producción de pepino en invernadero*. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/997.pdf>

- Hou, D., Yousaf, L., Xue, Y., Hu, J., Wu, J., Hu, X., Feng, N., & Shen, Q. (2019). Mung bean (*Vigna radiata* L.): Bioactive polyphenols, polysaccharides, peptides, and health benefits. *In Nutrients* 11(6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu11061238>
- Kumar, S., Patel, N. B., y Saravaiya, S. (2018). *Technologies and Sustainability of Protected Cultivation for Hi-Valued Vegetable Crops*.
<https://www.researchgate.net/publication/326016018>
- Lopes, L. A. R., E Martins, M. do C. de C., de Farias, L. M., Brito, A. K. da S., Lima, G. de M., de Carvalho, V. B. L., Pereira, C. F. de C., Conde Júnior, A. M., Saldanha, T., Arêas, J. A. G., E Silva, K. J. D., & Frota, K. de M. G. (2018). Cholesterol-lowering and liver-protective effects of cooked and germinated mung beans (*Vigna radiata* L.). *Nutrients*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/nu10070821>
- Mir, S. A., Shah, M. A., & Mir, M. M. (2017). Microgreens: Production, shelf life, and bioactive components. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57(12), pp. (2730–2736). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1144557>
- Mondino, M. (2015). *Producción de Microgreens: siembra y germinación*. Agro global.
<https://agroglobalcampus.com/produccion-de-microgreens-siembra-y-germinacion/>
- Natarén, M. (2017). *Plan integral de marketing para la comercialización de micro cultivos en la ciudad de Puebla* [Tesis de grado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/361b73db-e1ed-40d5-9bf7-a10ea3fc67cd/content>
- Paradiso, V. M., Castellino, M., Renna, M., Gattullo, C. E., Calasso, M., Terzano, R., Allegretta, I., Leoni, B., Caponio, F., y Santamaria, P. (2018). Nutritional characterization and shelf-life of packaged microgreens. *Food and Function*, 9(11), 5629–5640.
<https://doi.org/10.1039/c8fo01182f>

- Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A., y Ferreira, (2015). Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.018>
- Reina, J., Reyna, P., Torres Marravilla, E., Rojas, A., Pardo Sánchez, M., y Cuenca, A. (2016). *Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (Cocos nucifera L.)* 11(2). 279-284. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/3/49.pdf>
- Rusu, T., Moraru, P. I., y Mintas, O. S. (2021). Influence of environmental and nutritional factors on the development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) microgreens grown in a hydroponic system: A review. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(3), 1–15. <https://doi.org/10.15835/nbha49312427>
- Treadwell, D. D., Hochmuth, R., Landrum, L., & Laughlin, W. (2016). *Microgreens: A New Specialty Crop* 1.Askifas. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1164>
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., Xie, Z., Yu, L., & Wang, Q. (2014). Effect of light exposure on sensorial quality, concentrations of bioactive compounds and antioxidant capacity of radish microgreens during low temperature storage. *Food Chemistry*, 151, 472–479. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.086>
- Zea-Barahona, C. A., Soledispa-Rodríguez, X. E., Ayón-Ponce, G. I., y Toala-Zorrilla, M. C. (2019). El abono elaborado del bagazo de caña de azúcar como alternativa para la generación de ingresos para los habitantes del sitio San Carlos. *Polo Del Conocimiento*, 4(6), 335. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i6.1024>