

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Biosistemas

Efecto de la adición de frass sobre las propiedades fisicoquímicas de un cultivo de cebolla en suelo degradado

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestría en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas

Presenta

IA. Natalia Solís Pérez

Dirigida por:

Dr. Juan Fernando García Trejo

Dr. Juan Fernando García Trejo

Presidente

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez

Secretario

Dr. Irineo Torres Pacheco

Vocal

M. en C. Hugo González Lara

Suplente

M. en C. Benito Parra Pacheco

Suplente

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciatario no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciatario.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

I. Dedicatorias

A Isis e Iván, con todo mi corazón por el apoyo y el cariño brindado para lograr alcanzar esta meta.

A mis padres y hermanas que pusieron su granito de arena para esta investigación y siempre me han impulsado a cumplir mis sueños.

A mis suegros por compartirme sus conocimientos ancestrales y humanos para no rendirme en este camino de la ciencia.

II. Agradecimientos

A mi director y a mis sinodales por compartir su conocimiento, guiarme y apoyarme con esta investigación, ayudarme a superar los retos a pesar de las adversidades y hacer crecer mi cariño hacia las ciencias biológicas.

A Raúl, Carlos, Esmeralda y Daphne por haber compartido conmigo su amistad, tiempo, conocimiento, alegrías, tristezas y cariño durante estos dos años de la maestría.

A mis compañeros del laboratorio de bioingeniería por la sabiduría, la diversión, los conocimientos y los consejos para desarrollar esta investigación de una manera más científica y veraz.

Al CONAHCYT, por el apoyo económico otorgado.

A todos mis familiares y amigos por no soltarme a pesar de las ausencias, por la ayuda y los consejos tanto académicos como personales.

III. Índice

I.	Dedicatorias	2
II.	Agradecimientos.....	2
III.	Índice.....	3
IV.	Índice de tablas	4
V.	Índice de figuras	5
VI.	Abreviaturas y siglas	5
VII.	Resumen.....	7
VIII.	Abstract.....	8
IX.	Introducción.....	9
X.	Justificación.....	18
XI.	Antecedentes	19
XII.	Hipótesis	22
XIII.	Objetivos	22
XIV.	Metodología	23
	Análisis de Retención de Humedad.....	25
	Análisis de pH y conductividad eléctrica.....	25
	Análisis de Materia Orgánica.....	26
	Análisis de densidad aparente.....	26
	Análisis Densidad real	27
	Cálculo de porosidad del suelo.....	28
	Germinación de las semillas	28
	Cultivo de cebolla en los tratamientos	29
	Preparación de la muestra de cebolla	29
	Contenido de fenoles totales	30
	Contenido flavonoides totales.....	30
	Contenido de Clorofila	30
	Análisis Estadístico de datos	31
XV.	Resultados y discusión.....	32
A.	Caracterización del suelo, frass y mezclas de frass/suelo	32

B.	Monitoreo del crecimiento de las cebollas.....	37
C.	Variables productivas de la cebolla cosechada	40
XVI.	Conclusiones.....	43
XVII.	Bibliografía	44
XVIII.	Anexos	52

IV. Índice de tablas

- Tabla 1. Nomenclatura y composición porcentual de los tratamientos.....20
- Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del frass, el suelo y comparación con los requerimientos óptimos para el cultivo de cebolla.....27
- Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de las mezclas de frass /suelo, Tratamiento 1(T1), Tratamiento 2(T2), Tratamiento 3(T3).....28
- Tabla 4. Resultados por tratamiento del porcentaje de materia orgánica (MO), porcentaje de carbono orgánico (CO) al inicio (I) y al final (F) del experimento, las medias con las mismas letras no tienen diferencias significativas con prueba de Fisher a un $\alpha= 0.05$ de confianza y una $n=144$29
- Tabla 5. Resultados por tratamiento (T) del porcentaje de retención de humedad (RH), pH, conductividad eléctrica (CE) y porosidad del suelo (Ps) las medias con las mismas letras no tienen diferencias significativas con prueba de Fisher a un $\alpha= 0.05$ de confianza y $n=144$30
- Tabla 6. Resultados por tratamiento (T) del peso húmedo, peso seco, diámetro ecuatorial y diámetro longitudinal del bulbo de cebolla en la cosecha, las medias con las mismas letras no tienen diferencias significativas con prueba de Fisher a un $\alpha= 0.05$ de confianza y $n=142$...36
- Tabla 7. Resultados por tratamiento (T) de la concentración de las clorofilas A, B y C, fenoles y flavonoides, las medias con las mismas letras no tienen diferencias significativas con prueba de Fisher a un $\alpha= 0.05$ de confianza y $n=3$ 38

V. Índice de figuras

- Figura 1. Mapa de Agroambientes y sitios de muestreo, municipio de Tequisquiapan, Qro (Aguilar-Sánchez, 2020).....21
- Figura 2. Correlación lineal entre la densidad aparente y el % de retención de humedad en suelo.....31
- Figura 3. Correlación entre la densidad aparente y la concentración de carbono orgánico en suelo.....32
- Figura 4. Número de hojas durante 60 días después del transplante.....33
- Figura 5. Longitud máxima de la planta durante 60 días después de transplante.....34
- Figura 6. Diámetro de cuello de las cebollas durante 60 días después de transplante.....35

VI. Abreviaturas y siglas

AOAC: Association of Official Analytical Chemists (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales)

C:N : Relación carbono-nitrógeno

CE: Conductividad eléctrica

CO: Carbono orgánico

FAO: *Food and Agriculture Organization* (Organización de las Naciones unidas para la alimentación y la agricultura)

H⁺: Catión hidrógeno

Ha: Hectárea

HR: Humedad relativa

LMSN: Larva de mosca soldado negro

MOS: Materia orgánica del suelo

Msnm: metros sobre el nivel del mar

n= número de individuos en la muestra

Na₂CO₃: Carbonato de sodio

NMX: Norma Mexicana

NOM: Norma Oficial Mexicana

NPK: Proporción de nitrógeno-fósforo-potasio

Nt: Nitrógeno total

pH: potencial hidrógeno

Ps: Porosidad del suelo

RH: Retención de humedad

Rpm: Revoluciones por minuto

T °C: Temperatura en grados Celsius

T: Tratamiento

USDA: *United States Department of Agriculture* (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos)

V/V: Relación Volumen-volumen

α : Nivel de significación

VII. Resumen

Actualmente un alto porcentaje de los suelos mexicanos posee algún tipo de degradación física, química o biológica, lo que ha ocasionado una disminución en su capacidad productiva. Sumado a esto, se han acentuado otros efectos negativos como la disminución en el carbono orgánico, la retención y filtrado de agua, y la disposición de los minerales, todo lo cual genera suelos no fértiles. Las enmiendas orgánicas se proponen como la solución a esta problemática y de entre las enmiendas más novedosas se encuentra el frass. El frass obtenido de la producción de larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) se utilizó en tres porcentajes (10%, 20%, 30% v/v) para enmendar un suelo con degradación física y cultivar en las mezclas frass/ suelo cebolla blanca (*Allium cepa var. White grano*). Como resultado para el mejoramiento del suelo se alcanzaron valores de materia orgánica del 12.26%, humedad relativa 65.09%, pH 7.08 y porosidad del 48.38%. Por parte de la cebolla, en los bulbos se alcanzó un rendimiento promedio en peso húmedo de 113.53 g y en peso seco de 5.38g, valores altos comparados con el control que fueron de 73.27g y 3.25 respectivamente. Todos estos resultados fueron obtenidos en la dosis del 30% v/v) de frass.

Palabras clave: enmiendas de suelo, frass, LMSN, cebolla blanca, materia orgánica del suelo (MOS).

VIII. Abstract

Nowadays, a high percent of Mexican agricultural soils had been classified in terms of physical, chemical and biological degradation, causing a deficiency in its productive capacity. Besides this problem, there are another significant negative effects that produce non-fertile soils, as the low organic carbon, mineral availability, water retention and infiltration, among others. Soil amendments are proposed as the solution of this problem, and between all innovative amendments there is frass. This frass was obtained from production of Black Soldier Fly Larvae (BSFL) (*Hermetia illucens*) and added to a physically degraded soil in 3 different dosages (10%, 20%, 30% v/v) with the purpose of evaluate its effect on to the physicochemical properties of the soil and the growing response of a white onion cultivar (*Allium cepa var. White grano*). As a result for the soil amendment, it was achieved a 12.26% of soil organic matter, relative humidity of 65.09%, pH of 7.08 and porosity of 48.38%. For the onion cultivar, the mean bulb yield in wet weight basis (WB) was of 113.53g and in dry weight basis (DB) of 5.38g, high values compared to control (73.27g WB and 3.25 DB). All the results were obtained in the treatment of 30% v/v of frass.

Key words: soil amendments, frass, BSFL, white onion, soil organic matter (SOM)

IX. Introducción

A nivel mundial, existe una necesidad de desarrollar y fomentar la adopción de prácticas sostenibles de manejo de suelos, que sean efectivas y rentables, debido a que la calidad del suelo ha ido en declive con la degradación, física, química y biológicas, combinada con factores socioeconómicos del impacto humano (Rust et al., 2022).

El 70% de los suelos mexicanos posee algún tipo de degradación física, química o biológica, lo que amenaza la capacidad de producir alimentos, forrajes y fibra, así como retener y filtrar agua, considerando que el suelo es el principal reservorio de carbono orgánico y la recarbonización de la tierra agrícola ayuda a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (FAO, 2024).

La salud del suelo ha sido definida como la “capacidad que tiene el suelo de tener una función adecuada dentro de los ecosistemas y límites de uso de suelo, con el fin de sustentar la productividad biológica, la calidad ambiental, para promover la salud de plantas, animales, y sostener la salud y el hábitat humano”. En una perspectiva más amplia, es la habilidad de la tierra para llevar a cabo sus funciones de acuerdo a su potencial (Mandal et al., 2020). De manera más específica la fertilidad o calidad de un suelo se define como su capacidad para participar en los ciclos biogeoquímicos, en absorber y acumular el agua y el carbono, mantener la pureza del aire y agua, sostener los bosques y ecosistemas nativos, contener y sustentar a los cultivos, ofrecer espacios recreativos para el desarrollo humano (USDA, 1999).

En contraparte con lo anteriormente definido, en la actualidad la mayoría de las tierras tienen problemas de erosión debido a la sobre explotación de los suelos, la utilización de fertilizantes y pesticidas químicos que van deteriorando la calidad del suelo (Schmitt y De Vries, 2020). Desde que se comenzó con la utilización de agroquímicos en la agricultura, los seres humanos han ido agotando la salud del

suelo de variadas maneras. Se ha probado que el abuso de los fertilizantes inorgánicos es una de las mayores causantes de la pobre salud del suelo. Existe evidencia de que el uso de los agroquímicos de manera inapropiada, prolongada y en grandes dosis puede resultar en cambios directos en el pH de este, lo cual tiene serias implicaciones en términos de la productividad de los suelos a largo plazo, así como afectaciones graves a la diversidad microbiológica del suelo (Mandal et al., 2020).

La FAO define como un suelo degradado aquel que “sufre un cambio en su estado de salud que resulta en una menor capacidad del ecosistema para proveer los bienes y servicios para sus beneficiarios”. La degradación de los suelos agrícolas se refiere a un proceso de deterioro integral de la calidad y productividad de estos, provocado de manera natural, humana o una mezcla de ambas. La degradación natural depende del ecosistema, el tipo de suelo, el clima, la topografía y lleva un proceso más lento, mientras que la degradación humana es más acelerada. Esta puede ser reducida o evitada al regular de una mejor forma ciertas intervenciones humanas como lo son el sobrepastoreo, deforestación y los malos manejos de los suelos agrícolas (Dragović y Vulević, 2020).

La cantidad de materia orgánica del suelo (MOS) es considerada uno de los principales indicadores de la degradación de suelos. La materia orgánica es la mezcla compleja de materiales orgánicos (tejido de plantas y animales, microorganismos) a diferentes etapas de descomposición debido a procesos bióticos y abióticos (Dragović y Vulević, 2020). Los suelos que contienen materia orgánica son menos susceptibles a la compactación, erosión y desertificación. La falta de materia orgánica impacta de igual manera a la porosidad, lo que disminuye la saturación de la conductividad y la permeabilidad del agua y el aire en el suelo. Las alteraciones derivadas llegan a generar procesos de desgaste en la capa de vegetación, perturban el hábitat del suelo y reducen la actividad biológica de la flora y la fauna, etc., llevando a los suelos hacia la erosión. Finalmente se tienen alcances

negativos en el ambiente cuando la perdida de la capacidad productiva del suelo ocurre (Boivin et al., 2006; Nevens y Reheul, 2003; Soane y Van Ouwerkerk, 1995).

La identificación del tipo de degradación del suelo es importante para definir con qué tipo de prácticas o enmiendas puede ser recuperado el suelo en cuestión (Dragović y Vulević, 2020). La subsistencia a largo plazo de los agroecosistemas es una condición necesaria para la conservación del suelo como recurso. Para lograr esto, se necesita una combinación de prácticas culturales apropiadas, como el beneficiar el crecimiento de las poblaciones microbianas que viven en él, lo cual mejora la calidad del suelo (Pérez et al., 2010).

Las características fisicoquímicas del suelo tienden a mejorarse con la aplicación de tecnologías sostenibles, lo cual se puede observar en la disminución de la densidad aparente, aumento en la porosidad, la capacidad de infiltración y los contenidos de azufre y materia orgánica; sin haber un incremento en los contenidos de sodio y sales (Álvarez-Arteaga et al., 2020).

En los últimos años ha aumentado el impulso a las biotecnologías inclinadas hacia el cuidado de los recursos naturales para restituir los daños ocasionados por el deterioro ambiental en México y el resto del mundo, Particularmente, algunas tecnologías verdes se están aplicando recientemente para mejorar el suelo, entre ellas, las enmiendas orgánicas (compostas, lodos orgánicos, bocashi, residuos de origen animal o vegetal, etc.) que ayudan a corregir las características del suelo de forma económica y eficaz, donde los cultivos pueden crecer al crearse un medio apropiado para ellos (Zanor et al., 2018).

La aplicación de enmiendas orgánicas es una de las prácticas de manejo de suelos más utilizada para restaurar los suelos agrícolas degradados y mejorar los problemas fisicoquímicos de este tipo de suelo. Las enmiendas son sustratos utilizados para mejorar las propiedades de suelos agrícolas y afectan positivamente en los rendimientos de un cultivo al incrementar la fertilidad de los suelos, la

disponibilidad de nutrientes y agua para las plantas, limitando la sequía de los suelos, manteniendo una alta actividad microbiana e incrementando la cantidad de absorción de nutrientes de las plantas. La cantidad y la calidad de la enmienda aplicada es importante, debido a que la estructura física, las características químicas y los procesos biológicos del suelo están influenciados por la materia orgánica que la enmienda posea. Específicamente, las enmiendas ayudan a mejorar características del suelo como el pH, la retención de agua y nutrientes, aumentando los agregados del suelo, resultando en la prevención y la recuperación de la degradación del suelo (Unagwu, 2019).

Las enmiendas de suelo naturales utilizadas en la agricultura están divididas en tres grupos: orgánicas, orgánicas-minerales y minerales. (Garbowski et al, 2023). Para que una enmienda de suelo se considere orgánica, necesita estar constituida por nutrientes derivados de los residuos o sub productos de lo que fue alguna vez un organismo vivo. Regularmente estos contienen concentraciones bajas de nutrientes, pero proveen a los cultivos durante largos períodos de tiempo en un proceso de liberación más lento. También las enmiendas orgánicas contienen moléculas más complejas como lo son aminoácidos y carbohidratos, que son fuente de alimentación de los microorganismos presentes en el suelo, los cuales descomponen y desdoblan los componentes complejos (ligninas, proteínas, etc) contenidos en los mejoradores (Antonious, 2016).

Un efecto importante de las enmiendas de suelo es su influencia en la estructura y las propiedades físicas del suelo. Pueden asegurar una retención de agua durante más tiempo en el perfil del suelo, en los suelos de textura suelta mejoran la estabilidad mecánica de los agregados del suelo y en suelos compactos incrementa la conductividad hidráulica, identificando a los suelos franco arenosos y los suelos arcillosos como los que más necesitan estas enmiendas (Garbowski et al, 2023).

Una de sus desventajas es que se requiere más volumen en toneladas por hectárea para preparar los suelos antes de la siembra de algún cultivo. Esto puede ser una limitante, ya que puede implicar costos económicos mayores para el agricultor

promedio o si no se dispone de suficientes insumos para ser utilizados (Martínez-Robles, 2022). También se debe de tener cuidado con el tipo y la dosis de enmienda de suelo para evitar condiciones anóxicas y desarrollo de sales en el suelo. Hay que verificar también que no contengan contaminantes como elementos tóxicos, patógenos o micro plásticos, dependiendo de los recursos y los métodos de conversión utilizados para obtenerlo. Por eso se necesitan desarrollar estándares de calidad, regulaciones y políticas en toda la cadena de proceso de producción de enmiendas (Palansooriya et al., 2023).

El rol de las enmiendas orgánicas se ha ido incrementando dentro de la agricultura sustentable, acentuando sus beneficios multifacéticos, desde el mejoramiento de la salud del suelo al aumento del rendimiento en los cultivos y la disminución del impacto ambiental. Mezclando las innovaciones tecnológicas con las prácticas agrícolas tradicionales, se ha logrado optimizar el potencial de uso de las enmiendas orgánicas a través de la agricultura de precisión. Pero a pesar de todas estas ventajas, existen retos en estandarización, escalabilidad y aseguramiento de la calidad de estos. Mientras la comunidad global persevera por la conservación del ambiente, la resiliencia climática y la seguridad alimentaria, las enmiendas orgánicas existen como una herramienta fundamental, prometiendo ser el eje en la evolución de la agricultura sustentable para las generaciones futuras (Rastogi et al., 2023).

De entre todas las enmiendas orgánicas, el frass está siendo relevante en la actualidad por su impacto positivo en las áreas científica, industrial y ambiental. El frass tiene un gran potencial para ser usado como un sustituto parcial o completo de las enmiendas orgánicas y los fertilizantes convencionales. La presencia de frass incrementa la diversidad y actividad metabólica microbiana, sugiriendo una mejoría en el funcionamiento del suelo (Houben et al., 2020). El frass es un subproducto de la producción de insectos a gran escala, compuesto por una mezcla de excretas, exoesqueletos y alimento residual, con una carga microbiana que induce a la fermentación. Al dejar fermentar este subproducto, se llega a un material

compostado que ha tenido respuestas favorables en investigaciones sobre el mejoramiento de los suelos agrícolas, lo cual está permitiendo que se revaloricen muchos residuos agroindustriales de una manera más efectiva (Basri *et al.*, 2022).

En un estudio donde se compara el frass proveniente de nueve diferentes especies de insectos comestibles, el de *Hermetia illucens*, o también llamada larva de mosca soldado negra (LMSN), y de dos especies de grillos (*G. bimaculatus and S. icipes*) fueron las mejores en términos de la concentración nutrimental y con mejor potencial para la capacidad de abastecimiento. Todos los frass, con excepción del de LMSN, necesitan un posterior compostaje para mejorar su maduración y estabilidad. (Beesigamukama *et al.*, 2022).

Por consiguiente, al referirnos a enmiendas orgánicas novedosas con materia orgánica y carga microbiológica significativa podemos encontrar al frass de LMSN. Cuando los fertilizantes y mejoradores de suelo contienen bajos niveles de nitrógeno y una relación de carbono/nitrógeno (C:N) alta, típicamente ocurre un fenómeno de liberación lenta de nutrientes y un efecto de fertilización extensa a largo plazo, que en conjunto con las cantidades altas de materia orgánica que contienen, ayudan a que estos nutrientes sean inmovilizados, en especial el nitrógeno mineral del suelo, previniendo así su lixiviación y manteniendo los nutrientes cerca de las raíces de las plantas. Por estas razones el frass de LMSN es un fertilizante orgánico prometedor, al ajustar el pH, proporcionar nitrógeno bio-disponible de corto plazo y altas cantidades de materia orgánica comparado con los estiércoles comunes (Gärttling y Schulz, 2022).

Se ha demostrado como el contenido nutricional del frass y su posible capacidad como fertilizante está íntimamente ligada al alimento recibido por el insecto. Al modificar la dieta de los insectos, se obtuvieron diferentes contenidos nutricionales en él frass (Poveda *et al.*, 2019). El frass de LMSN contiene macronutrientes, micronutrientes y materia orgánica que pueden ser utilizados para incrementar la fertilidad del suelo. Sus contenidos aproximados son de 5% nitrógeno, 2% de fósforo total y 2% de potasio total. El pH alcalino esta entre 7-8, contiene quitina proveniente

de los exoesqueletos que consiste de 3-6.8% de nitrógeno que provee a las plantas defensas contra el ataque de las pestes. Aunque la composición nutrimental y la calidad del frass depende directamente de los substratos con los que se alimenta la larva también tiene mucho que ver el proceso de estabilización. El frass producido de desechos de vegetales tiene valores mayores de NPK comparada con los producidos de frutas o almidones (David et al, 2024).

Aunque el biofertilizante proveniente del frass es solo un subproducto de la producción de larva, las pruebas de crecimiento de cultivos han demostrado que estos cultivos en suelo mejorado con frass pueden ser una valiosa estrategia para la creciente resistencia a enfermedades, o a menor tolerancia, para las enfermedades de los cultivos de importancia económica como lo es la marchitez por *Fusarium spp* (Quilliam, 2020). Además, ha tenido un efecto inhibitorio en contra de algunos fitopatógenos a través de la producción de compuestos anti-fúngicos y anti-oomicetos. Este mejorador se propone como una manera integral de combatir plagas y mejorar los suelos con un solo producto, ofreciendo resiliencia en los cultivos orgánicos al estrés biótico y mejoras en la productividad de las cosechas (Arabzadeh et al., 2022).

Comparando también al frass con los fertilizantes inorgánicos que solo son sales en su mayoría, el frass contiene naturalmente macronutrientes en estructuras diversas y pequeñas concentraciones de otros micronutrientes, lo cual es beneficioso para los cultivos. Se ha analizado el frass al microscopio electrónico de barrido (SEM), donde se han observado capas de los macro y micronutrientes que posee, y se han hecho mapeos con espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDS) mostrando una distribución uniforme de nutrientes dentro de la materia orgánica del frass, lo que sugiere que no existen fases minerales aisladas que puedan conducir a una liberación desigual de nutrientes por el frass. De esta manera se comprueba que la liberación de los nutrientes es homogénea y posiblemente más extendida que en la mayoría de los fertilizantes donde los nutrientes están distribuidos de manera más desigual (Houben et al., 2020).

En cuanto a optimizar las condiciones para el desarrollo de las plantas, algunos estudios reportaron mejor o comparable desempeño del frass respecto a las enmiendas de suelo convencionales incluyendo fertilizantes químicos comerciales y enmiendas de excretas de pollo. La variabilidad entre los estudios puede deberse a las diferencias entre la materia prima que se da de alimento a la larva, el proceso de crianza, la aplicación del frass y el diseño experimental. A medida que buscamos mejorar ciertos sistemas de bioconversión de LMSN y hacerlos totalmente circulares, es imperativo que se valorice el frass generado descubriendo nuevas aplicaciones (Tan et al., 2021).

La expansión industrial de la producción de insectos para alimentación produce una gran cantidad de frass. En un estudio se señala que a partir de 1000kg de residuos de frutas y vegetales, en un periodo de entre 14 a 21 días se pueden producir aproximadamente 250kg de frass, lo cual lo hace el sub producto más abundante en la crianza de LMSN, el cual puede ser una buena fuente de fósforo y nitrógeno, con beneficios potenciales como mejorador de suelo y la reducción del impacto ambiental (Ravi et al, 2020). Existen tres ventajas en el proceso de producción de frass: el alto valor económico debido a la producción de la proteína y lípidos por ser una economía circular, los efectos sustanciales de la microbiota y las plantas que crecen en el frass y la sustentabilidad al emitir menos gases de invernadero y menor impacto en la acidificación de la tierra y el agua que los fertilizantes comunes (Schmitt y De Vries ,2020).

Se necesita que en futuras investigaciones agronómicas se establezcan las tasas de optimización del mejoramiento de los diferentes tipos de frass para asegurar una mejor biodisponibilidad de los nutrientes y sincronía con las necesidades en nutrientes para el crecimiento del cultivo, mejores rendimientos y excelente calidad nutricional de los alimentos. Los altos índices de fertilización y el potencial de abastecimiento de nutrientes del frass indican también que es una buena alternativa para significativamente reducir la dependencia excesiva a los inaccesibles fertilizantes minerales comerciales (Beesigamukama et. al, 2022).

X. Justificación

Existen muy pocas investigaciones sobre la función biológica y los contenidos nutritivos de las enmiendas de suelo orgánicas a pesar de que los beneficios de su aplicación en la agricultura son bien conocidos mundialmente. Se utilizan diferentes tipos de recursos, procesos de producción y almacenamiento, lo cual conduce a la versatilidad de nutrientes y microorganismos en la obtención de las enmiendas orgánicas. Teniendo esta información, se puede ayudar a los productores agrícolas a planificar mejor como fertilizar sus cultivos, debido a que muchos de ellos los utilizan sin conocer sus características físicas, biológicas y nutricionales (Pérez et al., 2008).

En este sentido, aparece el frass como una posible solución. No obstante, aún no hay suficientes estudios de los efectos del frass como enmienda de suelo, biofertilizante y sus efectos a largo plazo, especialmente bajo condiciones de campo (Fuhrmann et al., 2022). Son necesarios más estudios en sistemas agrícolas para poder entender como el frass puede ser utilizado como un completo sustituto al fertilizante mineral. Hasta la fecha, no hay estudios que hagan una afirmación concluyente sobre este tema (Poveda, 2021). Y aun así el que está siendo más utilizado hasta este momento es el de LMSN, por su viabilidad de producción y la versatilidad de desechos transformados por este insecto. Esto se debe a que la variedad en la dieta de la LMSN se refleja en la composición diversa del frass. Esta variedad de componentes resulta en un material que puede proveer nutrientes y materia orgánica al suelo, modificando su microbiota y manipulando el comportamiento de la planta. (Schmitt y De Vries ,2020).

En esta investigación se tomó la decisión de manejar las dosis en volumen/ volumen porque es más práctico y se puede hacer una mezcla más equiparable debido a las diferencias en la densidad aparente del suelo utilizado y el frass. Dosis del 10%, 20% y 30% v/v han sido estudiadas en lechugas (*Lactuca sativa* Linn., Asteraceae) en suelo franco arenoso (arena: 71%, limo: 13%; arcilla: 16%) resultando en una mejora de la estructura del suelo y aumentando la biomasa, comparados con el

tratamiento de suelo sin frass (Chiam et al.,2021). Diversos estudios señalan que se debe de iniciar con dosis bajas de frass, debido a que muchos cultivos no han respondido bien a dosis altas, registrando alta mortalidad. Deben de ajustarse las dosis dependiendo del origen del frass y a las necesidades de cada tipo de cultivo (Lomonaco et al., 2024)

Al proveer con el frass la materia orgánica al suelo para evitar su compactación, se decidió utilizar la cebolla como cultivo de respuesta, debido a que, comparado con otras hortalizas, las raíces y el bulbo de la cebolla crecen lentamente, a una profundidad aproximada de 30cm y está comprobado que el crecimiento del bulbo es sensible a la compactación del suelo (Pedersen et al.,2015). La decisión de hacer este experimento a cielo abierto es debido a que el inicio de la bulbificación en las cebollas tiene una relación específica con la cantidad y calidad de luz solar. Los fotoperiodos regulan su perfil hormonal y mejoran el crecimiento de la planta (Atif et al., 2020).

XI. Antecedentes

La producción de insectos ha ido incrementándose a nivel mundial, generando grandes cantidades de biomasa de insectos y de residuos comúnmente llamados frass. Las especies más utilizadas para la biotransformación de desechos orgánicos a gran escala son el gusano de la harina o tenebrio (*Tenebrio molitor*), la larva de mosca común (*Musca domestica*) y la larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*)

En una investigación donde se produjo frass de oruga de polilla de la col (*Mamestra brassicae*) alimentada con nabo (*Brassica rapa*), que la calidad y la cantidad de frass adicionado al suelo, es un factor potencialmente importante en la descomposición y dinámica de nutrientes del suelo (Kagata y Ohgushi, 2012).

Se ha utilizado frass de LMSN proveniente de la okara (desecho producto de la elaboración de aceite de soya), como alternativa a las compostas orgánicas. dónde

resultó que un 10% (v/v) de frass compostado promovió el crecimiento de un cultivo de lechuga y mejoró las características fisicoquímicas del suelo. La aplicación de este frass produjo más biomasa que el control con suelo sin frass (Chiam et al., 2021). Frass de este mismo residuo (okara) mezclado con salvado de trigo se utilizó para cultivar Pak Choi (un tipo de col asiática). En este estudio se utilizó frass compostado con aireación forzada, frass compostado natural y frass no compostado, con dosis de 0 a 50% (v/v) para cada uno. El que tuvo mejor desempeño en términos de cantidad de biomasa y número total de hojas de la col fue el frass compostado naturalmente al 10% (v/v) (Song et al., 2020).

Hay diversos estudios donde el frass es utilizado como sustrato, otras donde se hace hincapié sobre sus propiedades como biofertilizante, etc. Pero la que a esta investigación le concierne es su estudio específicamente como enmienda de suelo y utilizando frass compostado para este fin. El compostaje es uno de los post-procesos más utilizados para estabilizar el frass, el cuál mejora sus propiedades químicas para su uso en las plantas. Este proceso evita las deficiencias de nitrógeno en el suelo, los daños en la permeabilidad de gas-suelo, reduce la relación C: N y la concentración de fitotóxinas, ajusta el pH a valores neutrales, incrementa la clorofila y el porcentaje de germinación (González-Lara et al, 2024).

Diversos estudios en Kenya han utilizado al frass de larva de LMSN compostado como enmienda para suelos degradados denominados ferrales acricos (<60% arcilla, altos en hierro), en los cuales se ha cultivado maíz, con frass proveniente de desechos de cervecería donde se logró un aumento del 27% de rendimiento en grano (Beesigamukama et al., 2020), mejora en el rendimientos de acelga (56%) y kale (69%) con dosis de frass al 100% del requerimiento de nitrógeno del cultivo (Abiya et al., 2022); mejora en el rendimiento para ejotes(125%), jitomates (25%) y kale (50%) con frass derivado de desechos de cervecería precompostados en dosis de 2.5, 3.5, and 14.8 t/ha respectivamente (Anyega, et al. 2021),

En otra investigación se comparó el desempeño de frass proveniente de dos desechos diferentes: uno de residuos de cervecería y otro con gallinaza. Se utilizó

para mejorar un suelo duraquert ustico (>30% de arcilla, ligeramente calcáreo) en dos cultivos: pimiento de cayena (*Capsicum annun* var. “Cayenne”) y echalote (*Allium cepa* var. “Agregatum”). El frass proveniente de residuos de cervecería tuvo mejor desempeño que el frass de gallinaza, en ambos cultivos, obteniendo con 10 ton/ha de frass, rendimientos totales de 0.6kg/10m² de pimientos y 2kg/m² de echalotes.

Sin embargo, aún se desconoce qué cantidad de frass compostado se debe de utilizar para hacer crecer un cultivo de cebolla en suelo franco arcilloso. Futuras investigaciones en el frass deben explicar sobre la variabilidad de su composición al reevaluar su efectividad como fertilizante para las cosechas cuando un nuevo alimento y proceso de producción es usado (Schmitt y De Vries, 2020).

XII. Hipótesis

La adición de distintas concentraciones de frass compostado de larva de mosca soldado negro generará diferentes condiciones fisicoquímicas (retención de humedad, pH, conductividad eléctrica, cantidad de materia orgánica) en un suelo degradado para mejorar la producción en un cultivo de cebolla.

XIII. Objetivos

➤ Objetivo general

Determinar el porcentaje de adición de frass de larva de mosca soldado negro compostado que mejore las condiciones de retención de humedad, pH, conductividad eléctrica y cantidad de materia orgánica para la producción de cebolla.

➤ Objetivos específicos

1. Determinar las variables de retención de humedad, pH, conductividad eléctrica, cantidad de materia orgánica en el suelo degradado, y en las mezclas de suelo con distintos porcentajes de frass compostado de LMSN
2. Monitorear quincenalmente las variables productivas de la cebolla (diámetro de tallo, altura máxima de planta, número de hojas).
3. Evaluar la biomasa para conocer el rendimiento del bulbo de cebolla cultivada en tres diferentes mezclas de suelo/frass.

XIV. Metodología

Las muestras de suelo se obtuvieron de parcelas que se encuentran en la zona del “Ejido de la Fuente”, Tequisquiapan, Querétaro (se anexa carta consentimiento del propietario de la parcela: Anexo1). Se encuentra en las coordenadas geográficas de latitud $20^{\circ} 36' 53.1''$, longitud $100^{\circ} 1' 1.8''$ y altitud de 2093 msnm, clima semi arido templado, con una temperatura media anual de 17.4°C , con temperaturas máximas de 36.2°C y mínimas de 1.8°C . Las lluvias son en los meses de junio a octubre, con precipitaciones aisladas en mayo y la temporada de secas es de noviembre a abril. El índice promedio de precipitación pluvial es de 78 días con una media anual de 511.8 mm. El suelo está clasificado como ladera de vertisol pelico, (Aguilar-Sánchez, 2020).

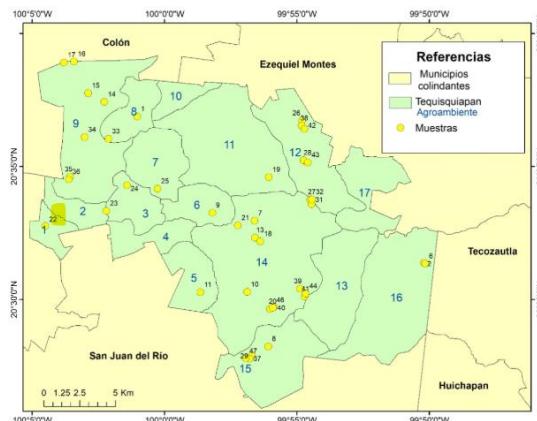


Figura 1. Mapa de Agroambientes y sitios de muestreo, municipio de Tequisquiapan, Qro (Aguilar-Sánchez, 2020)

Se tomaron 3 muestras de suelo de la misma parcela a una profundidad de 30 cm y de un peso aproximado de 1kg para ser analizadas.

El frass de larva de mosca soldado negro fue obtenido de la planta piloto de biotransformación de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala. La larva fue alimentada con residuos de la central de abastos del municipio de Querétaro, y estaba conformada principalmente por una mezcla de frutas y vegetales. Se llenaron cajas de plástico con 20kg de este residuo orgánico, a cada

caja se le agregaron 500g de aserrín para ajustar la humedad del residuo y 9000 larvas de 5 días de nacidas. El frass fresco fue recolectado de las cajas a los 14 días y separado de las larvas con un tamiz malla 10. Después de ser recolectado se realizó el compostaje con el método estático en pilas durante 30 días donde alcanzó una temperatura máxima de 65°C. (Gonzalez- Lara et al, 2024). El frass compostado se volvió a tamizar en malla 10 para separar los agregados de frass y la materia orgánica residual de mayor tamaño. Se recolectaron muestras para su uso posterior (análisis y mezclas de suelo/frass).

Se definieron los 3 tratamientos (10, 20 y 30% de frass v/v) y el control (0% frass). En la siguiente tabla se define la composición de cada uno de los tratamientos:

Tabla 2. Nomenclatura y composición porcentual de los tratamientos

Tratamiento	Frass	Suelo
T ₀	0%	100%
T ₁	10%	90%
T ₂	20%	80%
T ₃	30%	70%

Se llenaron bolsas negras de polietileno perforadas de 35x35 con cada una de las mezclas: 12 bolsas por triplicado para dar un total de 36 bolsas por tratamiento, dando una n=144. Cada bolsa se llenó con 8 litros de suelo solo (control= T₀) y con 8 litros de mezcla de suelo con frass al 10%, 20% y 30% v/v.

Para determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo, el frass y los tratamientos, se tomaron muestras de 10g de cada sustrato, se llevaron a laboratorio de bioingeniería para ser secadas a temperatura ambiente, trituradas y tamizadas a través de una malla de 2 mm para los análisis de gabinete correspondientes.

Se midió la de retención de humedad, pH, conductividad eléctrica, densidad real y aparente, cantidad de materia orgánica en el suelo, en el frass compostado al inicio del experimento.

Análisis de Retención de Humedad

Para cada muestra, la humedad se determinó por el método gravimétrico (López-Rivas et al, 2023). La muestra de suelo se saturó con agua destilada, y se mantuvo reposando durante 1h. Luego para separar el exceso de agua, la muestra saturada se trasladó a una bomba de vacío con papel filtro, se puso en función y se mantuvo encendida la bomba hasta que cayeran 4 o menos gotas de agua por minuto. Despues se pesó la muestra húmeda y se movió para ser secada en una estufa a 100° C durante 48h o hasta permanecer en peso constante. Por último, se pesó la muestra seca, y con ese resultado se calculó la retención de humedad por medio de la diferencia de pesos. El contenido total de humedad se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\%W = \frac{P_2 - P_3}{P_3 - P_1} * 100$$

Dónde:

%W = Porcentaje de humedad

P₁ = Peso del crisol (g)

P₂ = Peso del crisol más muestra húmeda (g)

P₃ = Peso del crisol más muestra seca (g)

Análisis de pH y conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica y el pH se midieron con un sensor Multiparamétrico HACH® HQ40d; se siguió la metodología propuesta por la NOM-021-RECNAT-2000. El pH se mide tanto en agua como en una solución de cloruro de potasio 1M (relación 1:2), con un potenciómetro Fisher Scientific AB15, primeramente calibrado con soluciones reguladoras a pH 4, 7 y 10. La misma relación se usa para la conductividad eléctrica (CE).

Análisis de Materia Orgánica

Se analizó la cantidad de materia orgánica y se calculó la cantidad de carbono total, por el método de incineración del según David (1988).

Se calientan los crisoles de porcelana por una hora a 375°C. Se dejan enfriar a temperatura ambiente hasta que alcanzan unos 150°C. Se ponen en el desecador, se dejan enfriar por 30min y se pesan. Despues se pesan 5g de muestra previamente seca en la estufa (exactitud 0.001g), tamaño 2mm, en cada crisol. Luego se ponen los crisoles que contienen la muestras en la cámara de la mufla a temperatura ambiente, calentar lentamente (incrementar la temperatura 5°C/min) hasta alcanzar los 375°C ±5°C y mantener a 375°C ±5°C durante la noche (16hrs). Se apaga la mufla y se dejan enfriar hasta que se alcance una temperatura de 150°C. Al final se sacan los crisoles y ponen en un desecador por 30min y se pesan hasta el miligramo más cercano.

El cálculo del contenido materia orgánica y carbono orgánico total se determinan por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ carbono total} = \left(\frac{A - B}{A} \times 100 \right) / 1.724$$

$$\% \text{ materia orgánica total} = \left(\frac{A - B}{A} \times 100 \right)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca.

B = Peso de la muestra incinerada

Análisis de densidad aparente

Se midió la densidad aparente, por el método del terrón parafinado según la norma NOM-021-SEMARNAT-2000

1. Secar en la estufa a 105°C tres terrones de aproximadamente 2cm hasta peso constante.
2. Atar un hilo a los terrones y pesarlo al aire (A).
3. Derretir parafina a 60°C y sumergir los terrones vigilando que esté completamente cubierto por una delgada y uniforme capa de parafina.
4. Pesar cada uno de los terrones, éste será el peso del terrón con parafina al aire (B).
5. Pesar los terrones parafinados sumergidos en el agua (C) acomodándolos bien dentro de la balanza para que se reconozca únicamente el peso del terrón sumergido.

Cálculos:

$$Da = \frac{A}{(B - C) - (B - \frac{A}{Dp})}$$

En donde:

Da=Densidad aparente (g/ml)

Dp= Densidad de la parafina (0.95 g/ml)

A=Peso del terrón sin parafina (g)

B=Peso del terrón con parafina al aire (g)

C=Peso del terrón con parafina sumergido en agua (g)

Análisis Densidad real

La densidad real, por el método del picnómetro (NOM-021-SEMARNAT-2000). Se pesa en una balanza de precisión el picnómetro se anota la medida y con la ayuda de un embudo se le agrega el suelo tamizado por 2 mm, se llena aproximadamente hasta que esté en el fondo 1cm de espesor, se pesa la muestra y se resta con la del picnómetro para tener el peso de la muestra, se introduce agua hasta la mitad para

agitarse y así salga el aire que se queda retenido en las partículas del suelo, luego se procede a llenar totalmente el picnómetro sin que quede aire dentro; para anotar el peso total y aplicar la fórmula:

$$\text{peso del agua} = \text{peso lleno del picnómetro} - \text{peso del picnómetro}$$

$$\text{volumen del suelo} = \text{agua del picnómetro con suelo} - \text{peso del suelo seco}$$

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{peso del suelo seco}}{\text{volumen del suelo}}$$

Cálculo de porosidad del suelo

El espacio poroso del suelo se describe como el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En ese espacio poroso se pueden diferenciar macro poros y micro poros donde gases, aire, nutrientes y agua, se retienen o infiltran. Los macro poros no captan agua contra la fuerza de la gravedad, son los causantes de la aireación, el drenaje y componen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros absorben agua y parte de la cual es aprovechable por las plantas. Se calcula a partir de la relación entre la densidad aparente y la densidad real:

$$\% \text{ de porosidad} = 1 - \left(\frac{\text{densidad aparente}}{\text{densidad real}} \right) \times 100$$

Germinación de las semillas

Las semillas certificadas de cebolla blanca (*Allium cepa* var. White Grano) fueron germinadas en un almácigo con peat moss en condiciones de invernadero (T °C: 12.2-39.9, HR: 16.0-88.9%) hasta alcanzar una altura de aproximadamente 15 cm.

Cultivo de cebolla en los tratamientos

El monitoreo del crecimiento de la cebolla en las mezclas de frass/ suelo se llevó a cabo en el techo de la planta piloto de biotransformación, para cubrir las condiciones a cielo abierto. El arreglo espacial fue completamente al azar.

Las plántulas de cebolla fueron trasplantadas, una por bolsa, en cada uno de los tratamientos en el día 70 después de sembradas. Se les midió la altura máxima de planta, el diámetro de cuello y la cantidad de hojas verdes durante todo el experimento cada 15 días y hasta la cosecha. Durante todo el experimento, se hizo el deshierbe a mano y se regó por inundación cada 3-4 días durante la fase vegetativa y cada 6-8 días durante la fase de bulbificación con 1.6 litros de agua, correspondientes a 4500m³/ha escalando al volumen de las bolsas (Álvarez-Hernández et al., 2011). Se cosecharon a los 180 días después de sembradas cuando aproximadamente el 80% de las cebollas tuvieron doblado el cuello de la cebolla (Sahoo et al., 2022).

Al cosecharse se hicieron mediciones de diámetro de bulbo ecuatorial y polar (mm), peso seco y húmedo promedio de bulbo (g) a cada una de las cebollas cosechadas y se estimó un promedio por tratamiento con base en las longitudes y pesos medidos.

Después se tomaron al azar 3 cebollas por cada tratamiento y se les realizaron los siguientes análisis químicos:

Preparación de la muestra de cebolla

La extracción se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Cardador. Se colocaron 25 mg de muestra seca y 200 mg de muestra fresca y se adicionaron 2.5 mL de metanol a cada muestra. Se mantuvieron libres de luz y se agitaron durante 24 h. Centrifugando a 5000rpm/10min/4°C, se eliminó la pastilla formada en el fondo, quedando el sobrenadante.

Contenido de fenoles totales

El contenido de fenoles totales se determinó usando el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu modificado para uso en microplaca de 96 pozos. En la cuantificación, se toma una alícuota del extracto metanólico (4 µl) equivalente a 0.01 g del extracto y posteriormente ajustado con metanol, se mezclan 250 µl del reactivo de Folin-Ciocalteu (1N), más 1250 µl de Na₂CO₃ (20 %) y se dejan reposar en la oscuridad por 2 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, se mide la absorbancia a 760 nm en un espectrofotómetro (MULTISKAN GO). Los resultados se expresan como mg equivalentes de ácido gálico /g de muestra (Singleton, et al., 1999)

Contenido flavonoides totales

El método espectrofotométrico utilizado para la cuantificación de flavonoides totales en los extractos metanólicos se determinó por la técnica de Oomah. Se mezclan 50 µL del extracto metanólico con 180 µL de agua destilada y 20 µL de solución 2-aminoetildi-fenilborato al 1% en una placa de 96 pozos. Los experimentos se realizan por triplicado. Se registran a una absorbancia de 404 nm. Se expresan los resultados en mg equivalentes de catequina/g muestra (Oomah et al., 2005)

Contenido de Clorofila

La determinación de clorofila en las hojas se midió por espectrofotometría a 642nm y 660nm según la técnica de la AOAC. Se pesan 2.5g de la hoja de cebolla finamente picada, se dejan reposar en refrigeración por 24 horas en un vaso de precipitados recubierto de aluminio con acetona al 85%. La muestra se muele en un mortero y se filtra, luego se pasa a un matraz aforado de 100ml y se afora con acetona al 85%. Se mide en el espectrofotómetro, utilizando como blanco acetona al 85%, calculando la clorofila total con la formula correspondiente, resultando en mg de clorofila/g muestra (AOAC, 1990).

Análisis Estadístico de datos

Se hizo un muestreo sistemático con arranque aleatorio. Todos los análisis de varianza fueron calculados con ayuda del programa STATGRAPHICS Centurion versión 16.1.

A los resultados del crecimiento de la planta durante los 60 días se les realizó un ANOVA multifactorial y el método empleado para discriminar entre las medias fue el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

Para todos los otros resultados se realizó un ANOVA simple de factor por tratamiento y el método empleado para discriminar entre las medias fue el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

XV. Resultados y discusión

A. Caracterización del suelo, frass y mezclas de frass/suelo

El análisis de textura clasifica al suelo utilizado como del tipo franco arcilloso (41% arcilla, 33% de limo, 26% arena).

Al obtener los resultados de los análisis de gabinete, la caracterización fisicoquímica del frass y el suelo a utilizar, tanto como de los tratamientos, se estableció un comparativo con los requerimientos óptimos del suelo en cebolla blanca, como se puede observar en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del frass, el suelo y comparación con los requerimientos óptimos para el cultivo de cebolla (Zamora, 2016)

	Frass		Suelo		Óptimo cebolla	
Variable	Promedio		Promedio		Promedio	
Humedad	46.46	%	33.9	%	80	%
pH	8.506		7.975		5.8-7.6	
Conductividad eléctrica	7.476	dS/m	0.167	dS/m	0.8	dS/m
Materia Orgánica	78.63	%	2.99	%	3-5	%
<i>Oxidable</i>						
Carbón orgánico	45.61	%	1.73	%	1.74-2.9	%
N total	1.97	%	0.149	%	2.5-3.5	
Relación C:N	23.13		11.6		24	
CIC	55.57	Cmol/kg	23.42	Cmol/kg	30	Cmol/kg
Densidad aparente	0.2622	g/ml	1.96	g/ml	1.5	g/ml
Fósforo (P_2O_5)	3.57	%	0.0082	%	0.25-0.4	
Potasio (K_2O_2)	1.71	%	0.1044	%	2.5-5	
Calcio (Ca)	0.69	%	0.3114	%	1.5-3.5	
Magnesio (Mg)	0.24	%	0.0511	%	0.3-0.5	

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de las mezclas de frass /suelo, Tratamiento 1(T1), Tratamiento 2(T2), Tratamiento 3(T3).

	T1	T2	T3
Humedad	59.61 %	62.21 %	65.09 %
pH	7.48	7.35	7.07
Conductividad eléctrica	0.4471 dS/m	0.4738 dS/m	0.4517 dS/m
Materia Orgánica	10.55 %	18.11 %	44.52 %
Carbón orgánico	6.12 %	10.50 %	25.79 %
N total	0.33 %	0.5132 %	1.634 %
Relación C/N	18.47	20.471	15.78
CIC	26.56 Cmol/kg	29.60 Cmol/kg	32.65 Cmol/kg
Densidad aparente	1.41 g/ml	1.22 g/ml	0.985 g/ml
Fósforo	0.3643 %	0.7205 %	1.0767 %
Potasio	0.2649 %	0.4254 %	0.5860 %
Calcio	0.3492 %	0.3871 %	0.4249 %
Magnesio	0.0699 %	0.0888 %	0.1077 %

En esta comparación se puede distinguir que el suelo no cumple totalmente con las necesidades fisicoquímicas del cultivo, y se observa que el frass las sobrepasa, por lo cual es una opción la dosificación del frass para contribuir a mejorar algunas características del suelo. Podemos resaltar que en el nitrógeno total (Nt) ni siquiera el frass solo cumplió con la necesidad optima de la cebolla, siendo en el frass de 1.97% y el óptimo de 2.5-3.5%. Por la parte de la relación C: N podemos ver que los más cercanos al óptimo (24) son el frass solo con 23.13 y el T2 con 20.47. La CIC óptima en cebolla es de 30 Cmol/kg, y los tres tratamientos tuvieron valores muy cercanos a este (T1:26.56 Cmol/kg; T2:29.60 Cmol/kg; T3:32. Cmol/kg). Por parte de la densidad aparente la del T1 de 1.41g/ml fue la más cercana a lo óptimo que es de 1.5 g/ml.

La cantidad de materia orgánica y carbono orgánico en los diferentes tratamientos mostró una diferencia entre estos, el más alto se presentó en el I.T3 y F.T3, en

contra parte del tratamiento I.T0, estos resultados soportan lo dicho por Antoniadis et al. (2023) en un mezcla de suelo/ frass para el cultivo de espinaca.

Aunque existen diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos, no existen diferencias significativas entre el inicio del experimento y el final para los porcentajes de materia orgánica y carbono orgánico. Esto se puede atribuir a que se necesitan ciclos de cultivo más largos para ver una diferencia significativa en la materia orgánica y el carbono orgánico inicial y final.

Tabla 4. Resultados por tratamiento del porcentaje de materia orgánica (MO), porcentaje de carbono orgánico (CO) al inicio (I) y al final (F) del experimento, las medias con las mismas letras no tienen diferencias significativas con prueba de Fisher a un $\alpha= 0.05$ de confianza y una $n=144$

T	MO %	CO %
I.T0	6.00 $\pm 0.07^a$	3.48 $\pm 0.04^a$
F.T0	6.14 $\pm 0.03^a$	3.56 $\pm 0.02^a$
I.T1	7.23 $\pm 0.66^b$	4.19 $\pm 0.38^b$
F.T1	7.91 $\pm 0.21^{bc}$	4.59 $\pm 0.12^{bc}$
I.T2	8.21 $\pm 0.34^{bc}$	4.76 $\pm 0.20^{bc}$
F.T2	8.74 $\pm 0.33^c$	5.07 $\pm 0.019^c$
I.T3	11.53 $\pm 1.10^d$	6.68 $\pm 0.64^d$
F.T3	12.26 $\pm 1.00^d$	7.11 $\pm 0.58^d$

Se logró la mejora en retención de humedad en un 11.88% al agregar 30% de frass al suelo, lo que una mejora en la textura del suelo y una reducción de la compactación. La distribución de las partículas en las mezclas de materiales es lo que establece la absorción o percolación del agua, ya que sus partículas se acomodan de modo aleatorio y en bandas. Cada proporción de mezcla (suelo/fibra orgánica) y tamaño de partícula presenta diferentes tipo de poros, tamaños (macro y micros) y frecuencia de poros. Estas características están claramente relacionadas con la retención de humedad en la diversidad de mezclas: mayor retención a mayor contenido de fibra orgánica (Gutiérrez-Castorena et al., 2011).

Se registró una variación significativa en el pH del suelo tras la adición de frass, con una disminución del 0.23 para el 10%, del 0.36 para el 20% y del 0.64 para el 30%, en comparación con el control, valores que favorecen la disponibilidad de nutrientes, ya que el rango recomendable para producción de cebolla es de entre 5.7 y 7.4 (Zamora, 2016). Dado a que el frass es alcalino, se esperaría que el pH aumentara, pero al considerarse que ocurren procesos de nitrificación al mezclarse con el suelo, que liberan H⁺ lo que disminuye el pH (Antoniadis et al., 2023)

Los resultados para la conductividad eléctrica no tuvieron diferencias significativas entre ellas ni respecto al control, pero son menores al límite al que son sensibles los cultivos de cebolla en suelos arcillosos que es de 80mS/cm (Zamora, 2016).

Se mejoró el porcentaje de la porosidad del suelo a más del doble (48.38%) debido al aumento de la materia orgánica del frass del 30%. La materia orgánica origina una mejor agregación de unidades estructurales y mayor estabilidad. En los suelos arcillosos, como el que se utiliza en este experimento, la materia orgánica ayuda a desarrollar una más equitativa relación de micoporos/macroporos, reduciendo la cohesión y plasticidad entre las partículas, mientras aumenta la permeabilidad, la aireación y la velocidad de infiltración. En un estudio donde se busca encontrar el mejor porcentaje de porosidad en suelo para cultivos de cebolla se destaca que el 47.47% es en el que se desarrolla de mejor manera esta hortaliza, manteniendo un equilibrio entre la humedad del suelo y el drenaje de agua. De igual manera es benéfico para el crecimiento del bulbo y las raíces (Rahman et al., 2024).

Tabla 5. Resultados por tratamiento (T) del porcentaje de retención de humedad (RH), pH, conductividad eléctrica (CE) y porosidad del suelo (Ps) las medias con las mismas letras no tienen diferencias significativas con prueba de Fisher a un $\alpha= 0.05$ de confianza y $n=144$

T	RH %	pH	CE (mS/cm)	Ps %
0	53.21 ±4.62 ^a	7.72 ±0.067 ^c	0.4245 ±0.040 ^a	17.30 ±3.03 ^a
1	59.61 ±0.11 ^b	7.49 ±0.019 ^b	0.4471 ±0.040 ^a	38.75 ±1.29 ^b
2	62.21 ±1.14 ^b	7.36 ±0.024 ^b	0.4738 ±0.005 ^a	45.48 ±3.23 ^c
3	65.09 ±0.31 ^c	7.08 ±0.122 ^a	0.4518 ±0.044 ^a	48.38 ±1.93 ^c

- Correlación entre variables físicas del suelo

Se realizó un análisis para comparar el comportamiento de algunas de las variables físicas obtenidas. Al graficar la densidad aparente con respecto a la retención de humedad y a la concentración de carbono orgánico se encontraron proporciones lineales entre estas variables. La retención de humedad del suelo es inversamente proporcional a la densidad aparente. La concentración de carbono orgánico del suelo también es inversamente proporcional a la densidad aparente, lo que señala que al aumentar el carbono se disminuye la densidad aparente. Estas correlaciones fueron adaptadas de un estudio de Ruehlmann y Körschens (2009) donde se plantea calcular el efecto de la concentración de la materia orgánica del suelo en la densidad aparente del suelo y otras características de este como lo son la retención de humedad y la porosidad.

Por consiguiente, podemos confirmar que al combinarse ambas variables se llega a valores intermedios apropiados para el crecimiento del cultivo de cebolla.

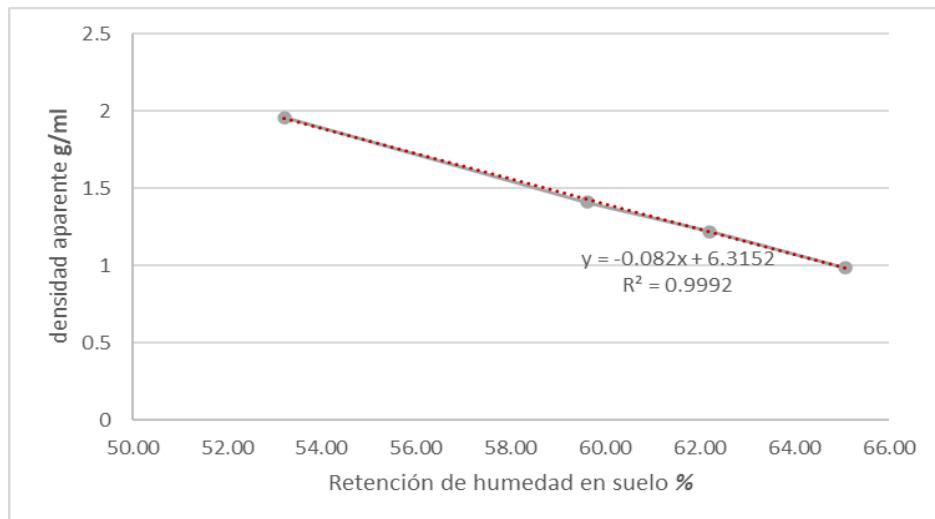


Figura 2. Correlación lineal entre la densidad aparente y el % de retención de humedad en suelo

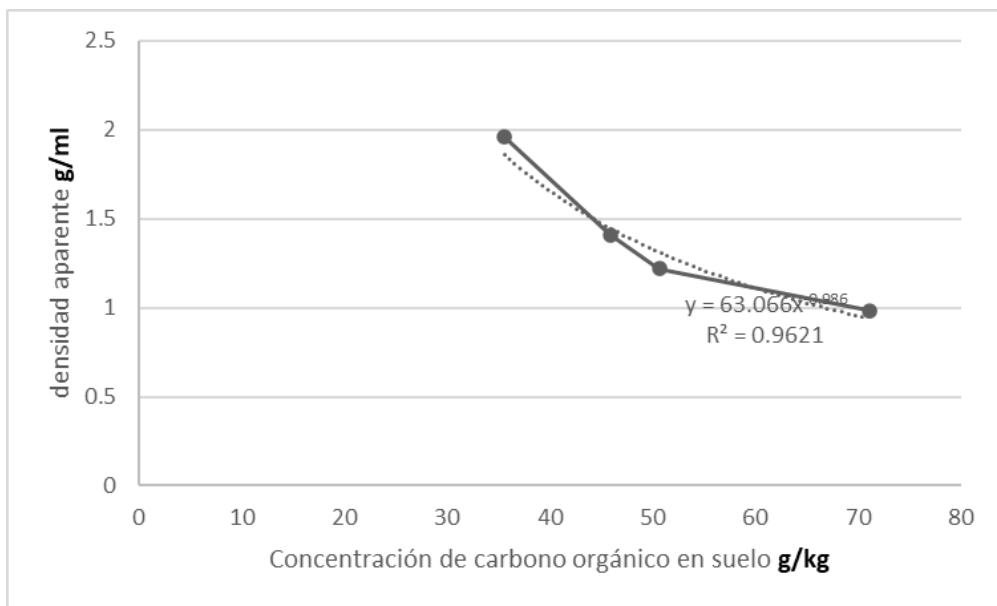


Figura 3. Correlación entre la densidad aparente y la concentración de carbono orgánico en suelo

B. Monitoreo del crecimiento de las cebollas

Como se observa en la figura 1, la cantidad de hojas fue aumentando hasta llegar a un máximo de 7 hojas en el tratamiento 1 y de 6 hojas en los tratamientos 2 y 3. La disminución en cantidad de hojas después del día 45 se debe a que al comenzar la bulbificación las hojas dejan de crecer y comienzan a convertirse en catáfilas. En el control llega a un máximo de 6 hojas, pero hasta los 60 días. Se encontraron resultados similares al utilizar composta de estiércol de bovino en cebolla, donde el promedio de hojas fue de 7.33 (Lee et al., 2018)

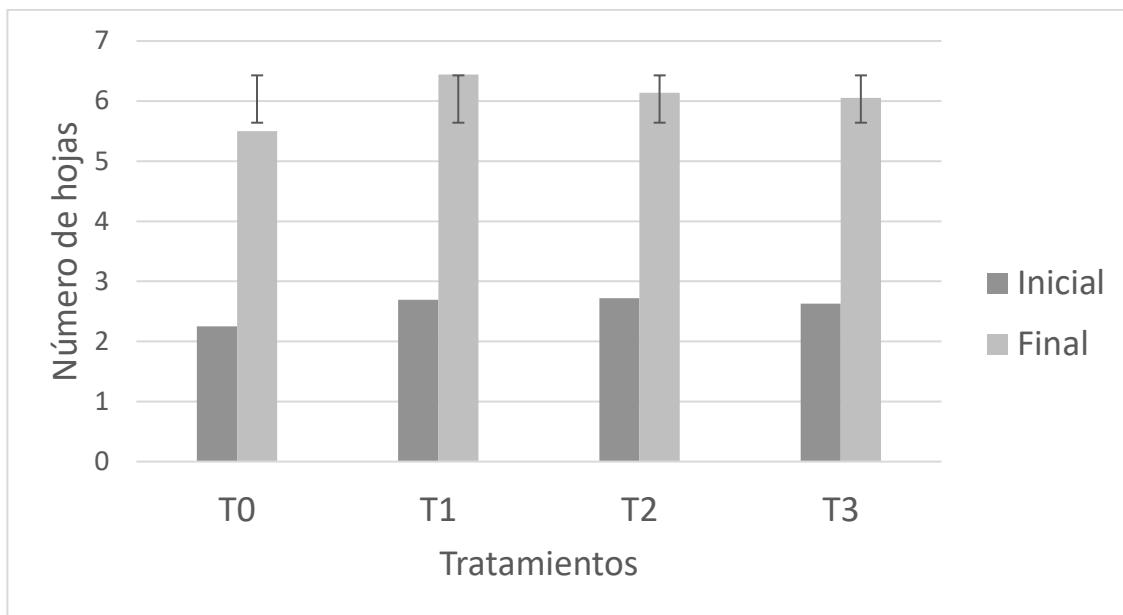


Figura 4. Número de hojas durante 60 días después del transplante

En los resultados de longitud máxima de planta de cebolla, podemos observar que en los tres tratamientos hubo un crecimiento muy similar, dejando muy por debajo el crecimiento del control, lo que nos señala que la adición de los porcentajes de frass ayudo a crecer mejor y más rápido a las cebollas. Sin embargo, se alcanzaron resultados menores en comparación con mezclas de vermicomposta y gallinaza donde se obtuvieron rangos de 52-62mm (Sahoo et al., 2022). En otro estudio tuvieron resultados de 55.3- 79mm, pero aquí discuten que la diferencia de alturas se puede deber a la diferencia de variedades de cebolla blanca o a factores climatológicos de las diferentes investigaciones (Ali et al., 2018).

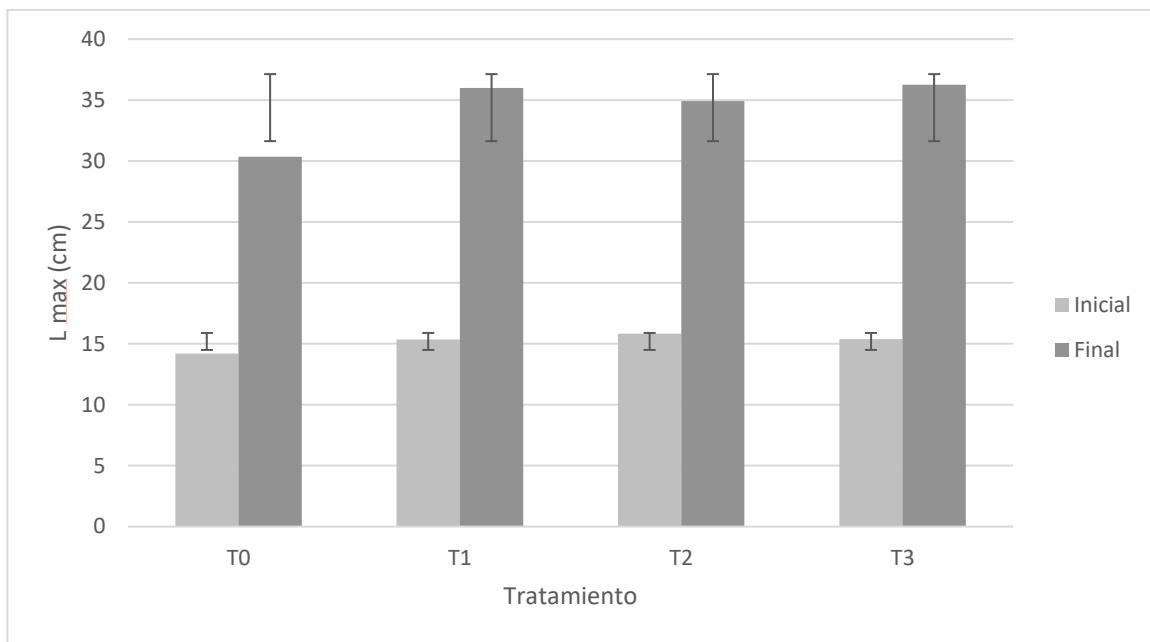


Figura 5. Longitud máxima de la planta durante 60 días después de transplante

En los resultados de diámetro de cuello de las cebollas, el tratamiento control tardó más días en alcanzar un diámetro de cuello mayor de 10mm, mientras que el tratamiento 1 alcanzó primero este diámetro. Con la prueba de Fisher se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos y el control al día 60. Resultados similares fueron obtenidos con mezclas de vermicomposta y gallinaza donde se obtuvo un promedio de 12mm, donde se señala que existió una sincronización en la maduración de las cebollas al alcanzar todos los tratamientos este diámetro de cuello a la par (Sahoo et al., 2022).

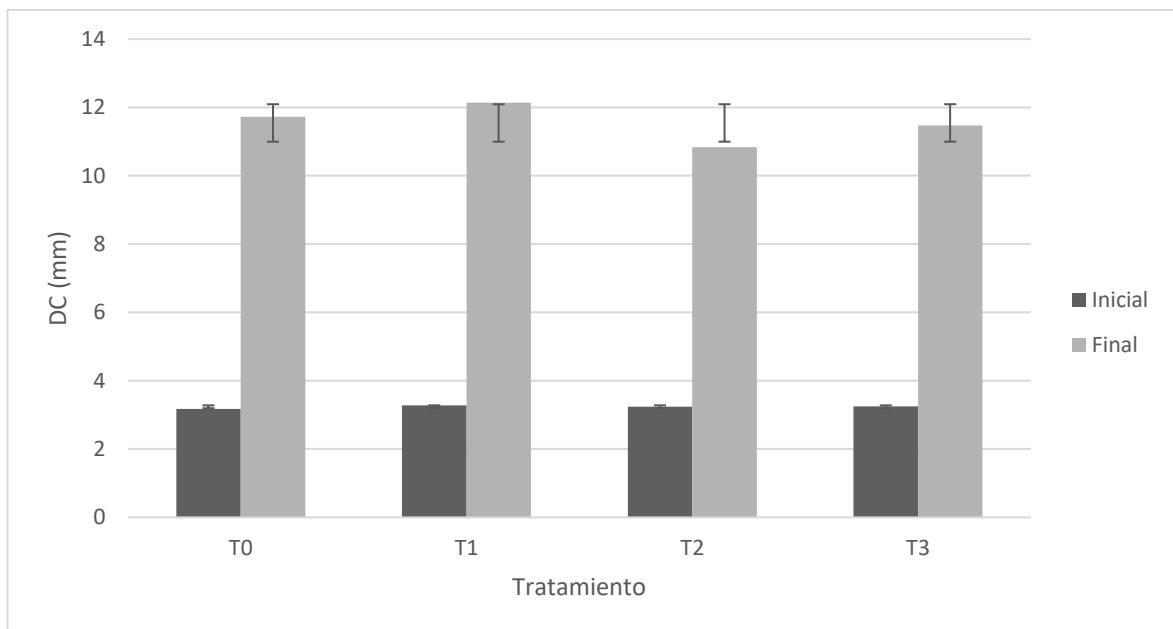


Figura 6. Diámetro de cuello de las cebollas durante 60 días después de transplante

C. Variables productivas de la cebolla cosechada

Las cebollas al momento de ser cosechadas, resultaron de un peso máximo promedio para el tratamiento 1 de 99.71 g y un peso mínimo para el control de 64.93g. Se alcanzaron resultados mayores, pero dentro del mismo rango, comparándolas con mezclas de vermicomposta y gallinaza donde se obtuvieron rangos de 60.7-77.7 g (Sahoo et al., 2022). Resultados similares fueron obtenidos al utilizar solo gallinaza, donde se alcanzó un rango de 66.5-93.4 g (Ali et al., 2018).

En los resultados del diámetro ecuatorial de las cebollas, donde el diámetro máximo promedio fue de 60.76mm y un diámetro mínimo de 50.53mm para el control. Resultados similares fueron obtenidos con mezclas de vermicomposta y gallinaza donde se obtuvieron rangos de 58-61mm (Sahoo et al., 2022).

Para el diámetro longitudinal de las cebollas resultaron de un diámetro máximo promedio de 50.69 mm y un diámetro mínimo de 44.94mm para el control. Se alcanzaron resultados menores, pero dentro del mismo rango en comparación con

mezclas de vermicomposta y gallinaza donde se obtuvieron rangos de 49-61mm (Sahoo et al., 2022).

Se alcanzó a penas el límite de tamaño entre los bulbos pequeños-medianos (NMX-FF-021-SCFI-2003) y comparando estos resultados con el análisis de las mezclas frass/suelo con los requerimientos óptimos en el cultivo de cebolla, se considera que no se cumplieron los requerimientos de nutrientes para obtener tamaños mayores de bulbo.

El crecimiento de las cebollas depende mucho del tipo de compost que se le adicione. La altura de la planta, el diámetro del cuello, el rendimiento del bulbo y otras variables productivas suelen incrementar al utilizar tratamientos con compostas debido a que ayudan a incrementar la tasa de fotosíntesis y la asimilación de nutrientes en los tejidos de la cebolla derivados de la descomposición de materiales orgánicos durante el compostaje. De igual manera las compostas mejoran la estructura, activan la micro y macrobiota del suelo, la cual libera fitohormonas que estimulan el crecimiento de las cebollas y facilitan la absorción de nutrientes (Erana et al, 2019).

Tabla 6. Resultados por tratamiento (T) del peso húmedo, peso seco, diámetro ecuatorial y diámetro longitudinal del bulbo de cebolla en la cosecha, las medias con las mismas letras no tienen diferencias significativas con prueba de Fisher a un $\alpha= 0.05$ de confianza y $n=139$

	Peso				Diámetro	
	Húmedo		Seco	Longitudinal	Ecuatorial	
	(g)	(g)	(mm)	(mm)		
T0	73.27	$\pm 28.55^{ab}$	3.25	$\pm 0.81^a$	44.94	$\pm 6.63^a$
T1	106.74	$\pm 24.37^{bc}$	5.20	$\pm 0.94^b$	50.69	$\pm 6.57^b$
T2	52.22	$\pm 6.12^a$	2.64	$\pm 0.49^a$	47.37	$\pm 6.27^{ab}$
T3	113.53	$\pm 13.38^c$	5.38	$\pm 1.27^b$	49.88	$\pm 8.35^b$
					58.46	$\pm 12.44^b$

Los resultados de las concentraciones de las clorofilas A, B y C en las hojas de cebolla tuvieron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, se puede observar que el T2 fue el más alto. Se señala en una investigación donde utilizan compostas de lombrices californianas que los niveles de clorofila varían dependiendo de la especie y variedad de la cebolla y de la cantidad de materia orgánica en la que hayan crecido (Petrovic et al., 2020). Mientras tanto, es de interés en esta investigación debido a que la clorofila es un indicativo de la capacidad respiratoria de la planta.

Los resultados de la concentración promedio máxima de fenoles en los bulbos de las cebollas fueron de 15.72 mg/g en el tratamiento 2, existiendo diferencias significativas entre los tratamientos y el control. En otras investigaciones se atribuye la diferencia entre los resultados de su investigación y este experimento a la variabilidad genética y las condiciones de crecimiento (Soto et al, 2016). El incremento de la concentración de flavonoides también se les atribuye a deficiencias de NPK (González-Lara et al., 2024)

Los bulbos de las cebollas resultaron de una concentración promedio máxima de flavonoides de 0.47 mg/g en el tratamiento 2, no existiendo diferencias significativas entre los tratamientos ni el control. En una investigación donde utilizaron fertilizantes de trébol y alfalfa obtuvieron flavonoides en un rango de 0.42-0.55mg/g (Kazimierczak et al., 2021). En un estudio sobre los fenoles y flavonoides en cebolla, se analizó específicamente la quercetina, donde se llegó a valores de 5.12 mg/g, señalando que lo obtenido en esta investigación fue bajo para cebollas, pero normal para plantas saludables (Soto et al., 2015).

En este estudio se analizaron estas variables solo para valorar el estado general de salud de las plantas. Se sugiere que en cebollas frescas se midan otro tipo de metabolitos secundarios como lo son los ACSOs (alquenil-cisteín sulfoxidos) y el di-propil tiosulfinato, que son los responsables de su pungencia y de su sabor (Soto et al., 2015).

Tabla 7. Resultados por tratamiento (T) de la concentración de las clorofilas A, B y C, fenoles y flavonoides, las medias con las mismas letras no tienen diferencias significativas con prueba de Fisher a un $\alpha = 0.05$ de confianza y $n=3$

	Clorofila A		Clorofila B		Clorofila C		Fenoles		Flavonoides	
	(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/g)		(mg/g)	
T0	29.06	$\pm 0.56^{bc}$	18.21	$\pm 6.33^b$	11.08	$\pm 5.34^b$	11.867	$\pm 1.42^{ab}$	0.45	$\pm 0.05^a$
T1	27.20	$\pm 0.63^a$	10.03	$\pm 0.73^a$	4.11	$\pm 0.70^a$	11.0493	$\pm 1.81^a$	0.43	$\pm 0.03^a$
T2	29.55	$\pm 0.13^c$	32.50	$\pm 3.04^c$	27.7	$\pm 4.55^b$	15.7266	$\pm 3.05^b$	0.47	$\pm 0.05^a$
T3	27.66	$\pm 0.67^{ab}$	10.89	$\pm 1.16^{ab}$	5.11	$\pm 1.02^{ab}$	13.2789	$\pm 2.77^{ab}$	0.44	$\pm 0.05^a$

XVI. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir que la adición de frass en suelo si tiene un efecto en el suelo degradado. Los resultados mostraron que adicionar 30% de frass ayuda a modificar las condiciones fisicoquímicas del suelo. Otro resultado importante señala que la adición del frass al suelo provocó una tendencia hacia la neutralización del pH. Este efecto se atribuye a la presencia de un mecanismo de buffer al mezclarse sus componentes, sugiriendo que el frass actúa como amortiguador del pH, lo cual ayuda a regular los cambios en la acidez o alcalinidad de un suelo degradado.

De igual manera en el tratamiento al 30%, aunque se tuvo un desarrollo equiparable a las cebollas que crecieron en el tratamiento al 10%, el rendimiento del bulbo de cebolla en peso seco y húmedo fue mayor, lo que indica que la cebolla creció más y retuvo más sólidos en sus tejidos, debido a que hubo una captación más eficiente de los nutrientes disponibles y a la porosidad del suelo, variables que permitieron una mejor bulbificación.

Los resultados también indican que la adición de 20% de frass provocó un crecimiento reducido en los bulbos de cebolla comparándolos con los otros tratamientos, pero un aumento en las clorofillas, fenoles y flavonoides. Esto se le atribuye a una redistribución energética en la planta hacia la producción de los metabolitos secundarios, lo que sugiere que a esta dosis se induce algún tipo de estrés en la cebolla.

Estos hallazgos sugieren que el uso de frass como enmienda orgánica es una práctica sostenible y eficiente para mejorar los suelos con problemas de degradación física. Para el cultivo de cebolla se propone que se hagan más estudios, de preferencia con un frass que cumpla con la dosis de nitrógeno requerido por este cultivo o que sea adicionado con algún otro fertilizante orgánico o inorgánico que lo ayude a llegar al requerimiento deseado.

XVII. Bibliografía

1. Abiya, A. A., Kupesa, D. M., Beesigamukama, D., Kassie, M., Mureithi, D., Thairu, D., ... & Niassy, S. (2022). Agronomic performance of kale (*Brassica oleracea*) and swiss chard (*Beta vulgaris*) grown on soil amended with black soldier fly frass fertilizer under wonder multistorey gardening system. *Agronomy*, 12(9), 2211.
2. Aguilar-Sánchez, G. (2020). Diferenciación de tierras agrícolas en el municipio de Tequisquiapan, Querétaro. *Revista Geográfica de América Central*, (65), 121-144.
3. Ali, M., Khan, N., Khan, A., Ullah, R., Naeem, A., Khan, M. W., ... & Rauf, K. (2018). Organic manures effect on the bulb production of onion cultivars under semiarid condition. *Pure and Applied Biology*, 7(3), 1161-1170.
4. Álvarez-Arteaga, G., Ibáñez-Huerta, A., Orozco-Hernández, M. E., García-Fajardo, B. (2020). Regionalización de indicadores de calidad para suelos degradados por actividades agrícolas y pecuarias en el altiplano central de México. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 22(2), 5-19.
5. Álvarez-Hernández, J. C., Venegas-Flores, S., Soto-Ayala, C., Chávez-Vargas, A., Zavala-Sánchez, L. (2011). Uso de fertilizantes químicos y orgánicos en cebolla

(Allium cepa L.) en Apatzingán, Michoacán, México. Avances en investigacion agropecuaria, 15(2), 29-43.

6. Antonious, G. F. (2016). Soil amendments for agricultural production. Organic fertilizers-from basic concepts to applied outcomes, 157-187.
7. Anyega, A. O., Korir, N. K., Beesigamukama, D., Changeh, G. J., Nkoba, K., Subramanian, S., ... & Tanga, C. M. (2021). Black soldier fly-composted organic fertilizer enhances growth, yield, and nutrient quality of three key vegetable crops in sub-Saharan Africa. *Frontiers in plant science*, 12, 680312.
8. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1980). Official Methods of Analysis. 13th ed. Washington, D. C. 100 p.
- Antoniadis, V., Molla, A., Grammenou, A., Apostolidis, V., Athanassiou, C. G., Rumbos, C. I., & Levizou, E. (2023). Insect Frass as a Novel Organic Soil Fertilizer for the Cultivation of Spinach (*Spinacia oleracea*): Effects on Soil Properties, Plant Physiological Parameters, and Nutrient Status. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(4), 5935-5944.
9. Arabzadeh, G., Delisle-Houde, M., Tweddell, R. J., Deschamps, M. H., Dorais, M., Lebeuf, Y., ... & Vandenberg, G. (2022). Diet composition influences growth performance, bioconversion of black soldier fly larvae: Agronomic value and in vitro biofungicidal activity of derived frass. *Agronomy*, 12(8), 1765.
10. Basri, N. E. A., Azman, N. A., Ahmad, I. K., Suja, F., Jalil, N. A. A., Amrul, N. F. (2022). Potential applications of frass derived from black soldier fly larvae treatment of food waste: A review. *Foods*, 11(17), 2664.
11. Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N. K., Fiaboe, K. K., Nakimbugwe, D., Khamis, F. M., ... & Tanga, C. M. (2020). Exploring black soldier fly frass as novel fertilizer for improved growth, yield, and nitrogen use efficiency of maize under field conditions. *Frontiers in Plant Science*, 11, 574592.
12. Beesigamukama, D., Subramanian, S., & Tanga, C. M. (2022). Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. *Scientific Reports*, 12(1), 7182.

13. Boivin, P.; Schaffer, B.; Temgoua, E.; Gratier, M. & Steinman, G. (2006) Assessment of soil compaction using soil shrinkageental data and perspectives. *Soil Till. Res.* 88: 65-79.
14. Cardador, A., Lorca, G., Oomah, B. (2002) Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *Agric Food Chem Agric.* 50 (24): 6975-80.
15. Chiam, Z., Lee, J. T. E., Tan, J. K. N., Song, S., Arora, S., Tong, Y. W., Tan, H. T. W. (2021). Evaluating the potential of okara-derived black soldier fly larval frass as a soil amendment. *Journal of Environmental Management*, 286, 112-163.
16. David, C. S., Omar, L., Ahmed, O. H., Roslim, M. H. M., & Krishnan, K. (2024). Wastes reduction rate, selected agronomic properties, and effect on bekenu series soil ph buffering capacity of black soldier fly larvae frass. *Technology in Agronomy*, (tia-0024-0016), 1-9.
17. David, M.B. 1988. Usc of loss-on-ignition to assess soil organic carbon in forest soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19:1593-1599.
18. Dragović, N., & Vulević, T. (2020). Soil degradation processes, causes, and assessment approaches. In *Life on land* (pp. 928-939). Cham: Springer International Publishing.
19. Erana, F. G., Tenkegna, T. A., & Asfaw, S. L. (2019). Effect of agro industrial wastes compost on soil health and onion yields improvements: study at field condition. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 161-171.
20. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). Soil degradation. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
21. Fuhrmann, A., Wilde, B., Conz, R. F., Kantengwa, S., Konlambigue, M., Masengesho, B., Hartmann, M. (2022). Residues from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae rearing influence the plant-associated soil microbiome in the short term. *Frontiers in microbiology*, 3783.
22. Garbowski, T., Bar-Michalczyk, D., Charazińska, S., Grabowska-Polanowska, B., Kowalczyk, A., & Lochyński, P. (2023). An overview of natural soil amendments in agriculture. *Soil and Tillage Research*, 225, 105462.

23. Gärttling, D.; Schulz, H. (2022). Compilation of black soldier fly frass analyses. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 22, 937–943.
24. González-Lara, H., Parra-Pacheco, B., Aguirre-Becerra, H., Feregrino-Perez, A. A., & Garcia-Trejo, J. F. (2024). Effects of Using Thermocomposted Frass from Black Soldier Fly Larvae as a Germination Substrate on the Phytotoxicity, Germination Index, Growth and Antioxidant Contents in Kale (*Brassica oleracea*). *Agronomy*, 14(7), 1392.
25. Gutiérrez-Castorena, M. D. C., Hernández Escobar, J., Ortiz-Solorio, C. A., Anicua Sánchez, R., & Hernández Lara, M. E. (2011). Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(3), 183-196
26. Houben D, Daoulas G, Faucon M-P, Dulaurent A-M (2020) Potential use of mealworm frass as a fertilizer: impact on crop growth and soil properties. *Sci Rep* 10:4659.
27. Kagata, H., & Ohgushi, T. (2012). Positive and negative impacts of insect frass quality on soil nitrogen availability and plant growth. *Population Ecology*, 54, 75-82.
28. Kazimierczak, R., Średnicka-Tober, D., Barański, M., Hallmann, E., Górsalska-Walczak, R., Kopczyńska, K., ... & Kaniszewski, S. (2021). The effect of different fertilization regimes on yield, selected nutrients, and bioactive compounds profiles of onion. *Agronomy*, 11(5), 883.
29. Lee, J., Hwang, S., Min, B., Kim, H., Kim, J., Hong, K., Boyhan, G. E. (2018). Effect of compost and mixed oilseed cake application rates on soil chemical properties, plant growth, and yield of organic bulb onions. *윤·예·과학·기술지*, 36(5), 666-680.
30. Lomonaco, G., Franco, A., De Smet, J., Scieuzo, C., Salvia, R., & Falabella, P. (2024). Larval Frass of *Hermetia illucens* as Organic Fertilizer: Composition and Beneficial Effects on Different Crops. *Insects*, 15(4), 293.
31. López- Rivas, J. (2023). Revalorización de residuos restauranteros mediante el uso de larva de mosca soldado negro. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.

32. Mandal, A., Sarkar, B., Mandal, S., Vithanage, M., Patra, A. K., Manna, M. C. (2020). Impact of agrochemicals on soil health. In Agrochemicals detection, treatment and remediation (pp. 161-187). Butterworth-Heinemann.
33. Martínez Robles, J. (2022). Factores biológicos y químicos de fertilizantes nitrogenados y fosfatados en suelos agrícolas y sus posibles estrategias de recuperación en México. Universidad Autónoma Metropolitana. División De Ciencias Biológicas Y De La Salud. Departamento De Producción Agrícola y Animal.
34. Martínez Robles, J. (2022). Factores biológicos y químicos de fertilizantes nitrogenados y fosfatados en suelos agrícolas y sus posibles estrategias de recuperación en México. Universidad Autónoma Metropolitana. División De Ciencias Biológicas Y De La Salud. Departamento De Producción Agrícola y Animal.
35. Nevens, F. & Reheul, D. (2003). The consequences of wheel-induced soil compaction and subsoiling for silage maize on a sandy loam soil in Belgium. Soil Till. Res. 70: 175-184.
36. NORMA MEXICANA. NMX-FF-021-SCFI-2003 PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO-BULBOS-CEBOLLA (*Allium Cepa L.*)-ESPECIFICACIONES
37. NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM-021-RECNAT-2000, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y CLASIFICACION DE SUELOS. ESTUDIOS, MUESTREO Y ANALISIS INDICE. Estudios, muestreo y análisis. DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION.
38. Oomah, B., Cardador, A., Loarca, G. (2005). Fenólicos y actividades antioxidantes en frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*). J.; 85: 935-942
39. Palansooriya, K. N., Dissanayake, P. D., Igalavithana, A. D., Tang, R., Cai, Y., & Chang, S. X. (2023). Converting food waste into soil amendments for improving soil sustainability and crop productivity: a review. Science of The Total Environment, 881, 163311.
40. Pedersen, H. H., Sørensen, C. G., Oudshoorn, F. W., Krogsgård, P., & Munkholm, L. J. (2015). Evaluation of onion production on sandy soils by use of reduced tillage

and controlled traffic farming with wide span tractors. *Acta Technologica Agricultuae*, 18(3), 74-82.

41. Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(3), 10-29.
42. Pérez, C.; Huidobro, J.; Conforto, C.; Arzero, J.; March, G.; Merlies, J. et al. (2010) Impacto de los sistemas de labranza sobre indicadores biológicos de calidad de suelo. En: XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina.
43. Petrovic, B., Sekara, A., & Pokluda, R. (2020). Biofertilizers enhance quality of onion. *Agronomy*, 10(12), 1937.
44. Poveda J., Jiménez-Gómez A., Saati-Santamaría Z., Usategui-Martín R., Rivas R., García-Fraile P. (2019). Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance-inductor in plants. *Appl Soil Ecol* 142:110–122.
45. Poveda, J. (2021). Insect frass in the development of sustainable agriculture. A review. *Agronomy Sustain. Dev.* 41, 5.
46. Quilliam, R. S., Nuku-Adeku, C., Maquart, P., Little, D., Newton, R., & Murray, F. (2020). Integrating insect frass biofertilisers into sustainable peri-urban agro-food systems. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(3), 315-322.
47. Rahman, M. M., Sultana, N., Hoque, M. A., Azam, M. G., Islam, M. R., & Hossain, M. A. (2024). Conservation tillage (CT) for climate-smart sustainable intensification: Benchmarking CT to improve soil properties, water footprint and bulb yield productivity in onion cultivation. *Helijon*, 10(22).
48. Rastogi, M., Verma, S., Kumar, S., Bharti, S., Kumar, G., Azam, K., & Singh, V. (2023). Soil health and sustainability in the age of organic amendments: A review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 2088-2102.
49. Ravi, H. K., Degrou, A., Costil, J., Trespeuch, C., Chemat, F., & Vian, M. A. (2020). Larvae mediated valorization of industrial, agriculture and food wastes: Biorefinery concept through bioconversion, processes, procedures, and products. In *Processes* (Vol. 8, Issue 7). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/PR8070857>

50. Ruehlmann, J., & Körschens, M. (2009). Calculating the effect of soil organic matter concentration on soil bulk density. *Soil Science Society of America Journal*, 73(3), 876-885.
51. Rust, N., Lunder, O. E., Iversen, S., Vella, S., Oughton, E. A., Breland, T. A., ... & Reed, M. S. (2022). Perceived Causes and Solutions to Soil Degradation in the UK and Norway. *Land*, 11(1), 131.
52. Sahoo, B. B., Nayak, B. S., Mohanty, S. K., & Khanda, C. (2022). Significance of bio-fertilizer incorporation with customized organic manures to reduce inorganic nutrients on growth dynamics, bulb yield and economics of Onion (*Allium cepa* L.) under the western undulating zone of Odisha. *Vegetos*, 35(4), 923-934.
53. Schmitt, E., & De Vries, W. (2020). Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 25, 100335.
54. Singleton, et al. (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299:152-178.
55. Soane, B. D. & Van Ouwerkerk, C. (1995) Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. *Soil Till. Res.* 35: 5-22.
56. Song, S., Ee, A. W. L., Tan, J. K. N., Cheong, J. C., Chiam, Z., Arora, S., ... & Tan, H. T. W. (2021). Upcycling food waste using black soldier fly larvae: Effects of further composting on frass quality, fertilizing effect and its global warming potential. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125664.
57. Soto, V. C., Gonzalez, R. E., Sance, M. M., & Galmarini, C. R. (2015). Organosulfur and phenolic content of garlic (*Allium sativum* L.) and onion (*Allium cepa* L.) and its relationship with antioxidant activity. In *VII International Symposium on Edible Alliaceae* 1143 (pp. 277-290).
58. Tan, J. K. N., Lee, J. T. E., Chiam, Z., Song, S., Arora, S., Tong, Y. W., & Tan, H. T. W. (2021). Applications of food waste-derived black soldier fly larval frass as incorporated compost, side-dress fertilizer and frass-tea drench for soilless cultivation of leafy vegetables in biochar-based growing media. *Waste Management*, 130, 155-166.

59. Unagwu, B. O. (2019). Organic amendments applied to a degraded soil: Short term effects on soil quality indicators. *African Journal of Agricultural Research*, 14(4), 218-225.
60. USDA Soil Survey Staff. (1999). *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.
61. Zamora, E. (2016). *El cultivo de la cebolla*. Universidad Autónoma de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora- 69 Hermosillo. Campo Agrícola Experimental Carretera a Bahía de Kino Km 21, Hermosillo, Sonora, México. *Serie guías–producción de hortalizas*, 34, 25.
62. Zanor, G.A., López-Pérez, M.E., Martínez-Yáñez, R., Ramírez-Santoyo, L.F., Gutiérrez-Vargas, S., León-Galván, M.F. (2018). Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 19 (04), 1-10.

XVIII. Anexos

Tequisquiapan, Querétaro a ____ de _____ 2024

A través de este consentimiento se manifiesta que:

Se le está invitando a participar en el proyecto de investigación **Efecto de la adición de frass sobre las propiedades fisicoquímicas de un cultivo de cebolla en suelo degradado** que tiene como objetivo incrementar la capacidad productiva de un suelo “cansado” mediante la aplicación de fertilizante natural. El estudio antes mencionado comenzará el día 10/06/2024 y finalizará el 10/12/2024 y se realizará en la Universidad Autónoma de Querétaro Campus Amazcala. Las muestras de suelo serán obtenidas de parcelas que se encuentren en la zona del “Ejido de la Fuente”, Tequisquiapan.

La participación del propietario de la parcela consiste en:

- Contestar una breve entrevista respecto al historial de la parcela.
- Proporcionar 3 muestras de suelo degradado de 3 surcos diferentes de la misma parcela de 2kg cada una para ser analizadas.
- Dar permiso a que se puedan obtener más muestras de suelo si hacen falta para los análisis.

El investigador se compromete a:

- Avisar al propietario de la parcela si se tomarán más muestras de suelo aparte de las antes mencionadas.
- Proporcionar al propietario de la parcela una copia del análisis del suelo junto con la recomendación de fertilización correspondiente al problema encontrado.

En caso de que su suelo sea seleccionado para todo el estudio, se le informará el propietario lo que prosigue para completar todo el proceso de la investigación.

Sin más por agregar firmamos de mutuo acuerdo.

Propietario
(Nombre del ejidatario)

Investigadora
Natalia Solís Pérez