



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

TEMA:

INCLUSIÓN DE LODOS LÁCTEOS EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST Y SU EFECTO COMO SUSTRATO EN PLÁNTULAS DE ACELGA (*Beta vulgaris* var. Cicla L.), EN LA GRANJA EXPERIMENTAL “LA PRADERA”, CHALTURA.

Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR:

FERNANDO DAVID VACA BETANCOURT

DIRECTOR:

MIGUEL ALEJANDRO GÓMEZ CABEZAS, MSc.

IBARRA-ECUADOR

2022

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA EN AGROPECUARIA

“INCLUSIÓN DE LODOS LÁCTEOS EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST Y SU EFECTO COMO SUSTRATO EN PLÁNTULAS DE ACELGA (*Beta vulgaris* var. *Cicla L.*), EN LA GRANJA EXPERIMENTAL “LA PRADERA”, CHALTURA”.

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

Ing. Miguel Gómez. MSc.

DIRECTOR



FIRMA

Ing. Doris Chalampunte. Msc.

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Jefferson Andrade. Msc.

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003780739		
APELLIDOS Y NOMBRES:	VACA BETANCOURT FERNANDO DAVID		
DIRECCIÓN:	Ibarra – San Antonio - Bellavista		
EMAIL:	vacadavid2008@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2-550-472	TELÉFONO MÓVIL:	0995699167

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	INCLUSIÓN DE LODOS LÁCTEOS EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST Y SU EFECTO COMO SUSTRATO EN PLÁNTULAS DE ACELGA (<i>Beta vulgaris</i> var. Cicla L.), EN LA GRANJA EXPERIMENTAL “LA PRADERA”, CHALTURA”.
AUTOR:	VACA BETANCOURT FERNANDO DAVID
FECHA: DD/MM/AAAA	20/04/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas. MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 20 abril del 2022

EL AUTOR:



.....
Fernando David Vaca Betancourt
C.I.: 1003780739

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Sr. Fernando David Vaca Betancourt, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 21 días del mes de Abril de 2022

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Miguel Gómez', written over a horizontal line.

Ing. Miguel Gómez. MSc.

DIRECTOR DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 21 días del mes de Abril del 2022

VACA BETANCOURT FERNANDO DAVID: "Inclusión de lodos lácteos en la elaboración de compost y su efecto como sustrato en plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L.), en la granja experimental "La Pradera", Chaltura". Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 21 días del mes de Abril del 2022. 94 páginas.

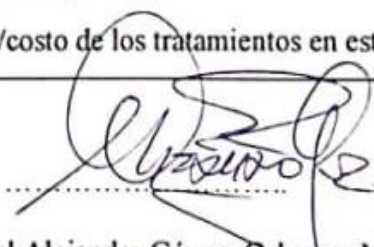
DIRECTOR: Ing. MIGUEL ALEJANDRO GÓMEZ CABEZAS, MSc.

El objetivo principal de la presente investigación fue:

Evaluar el efecto de la inclusión de lodos lácteos en la elaboración de compost y su uso como sustrato en la producción de plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L.), en la granja experimental "La Pradera", Chaltura.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Evaluar la calidad química y física del compost obtenido con la inclusión de lodos lácteos.
- Comparar el efecto del compost con lodos lácteos en la producción de plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L.).
- Evaluar la relación beneficio/costo de los tratamientos en estudio.



Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas. MSc

Director de Trabajo de Grado



Vaca Betancourt Fernando David

Autor

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a la Universidad Técnica del Norte por haberme aceptado y permitirme ser parte de ella, abrirme las puertas para estudiar mi profesión y llevarme hacia la senda del conocimiento; así también agradezco a sus docentes que me guiaron, apoyaron y compartieron su conocimiento para formar en mí un profesional.

De igual manera quiero agradecer a la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, por permitirme culminar mis estudios, aportar excelentes conocimientos y valores, inspirando en mí el valioso hábito del aprendizaje.

También quiero agradecer de manera especial a mi madre, por apoyarme incondicionalmente hasta lograr este proyecto de vida, por ser un pilar fundamental y acompañarme siempre, inclusive en los momentos más tormentosos de mi vida.

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que estuvieron a mi lado, ayudándome y apoyándome, mi papá, mi esposa, tíos, abuelos y demás familiares que me motivaron a culminar esta etapa demostrándome su cariño y respaldo en el camino.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi madre Consuelo Betancourt, por su amor incondicional, por haberme dado la oportunidad de estudiar, por siempre estar presente, por ser la mejor mamá.

A mi amado hijo Aharon, el cual me motiva a seguir adelante, a superarme cada día, espero ser un buen padre y ejemplo para él.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Problema de Investigación.....	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Hipótesis o Preguntas Directrices.....	3
CAPÍTULO II.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
2.1 Residuos de la Industria Láctea.....	1
2.2 Lodos Residuales Lácteos.....	1
2.3 Abonos Orgánicos.....	2
2.3.1 Importancia de los Abonos Orgánicos.....	2
2.4 Compostaje.....	2
2.4.1 Factores de Control Técnico.....	2
2.4.2 Proceso de Compostaje.....	3
2.5 Sustratos.....	4
2.5.1 Definición.....	4
2.5.2 Propiedades.....	4
2.5.3 Propiedades Físicas.....	5
2.5.4 Sustrato Ideal.....	5
2.6 Acelga.....	6
2.6.1 Zonas de Producción en Ecuador.....	6
2.7 Marco Legal.....	6
CAPÍTULO III.....	7
MARCO METODOLÓGICO.....	7
3.1 Descripción del Área de Estudio.....	7
3.1.1 Ubicación Geográfica.....	7
3.2 Materiales y Métodos.....	8
3.2.1 Materiales: Equipos, Insumos y Herramientas.....	8
3.3 Métodos Primera Fase I.....	8
3.3.1 Tratamientos – Fase I.....	8
3.3.2 Diseño Experimental – Fase I.....	9
3.3.3 Características del Experimento.....	9
3.3.4 Características de la Unidad Experimental.....	10
3.3.5 Análisis Estadístico.....	10

3.3.6 Variables a Evaluarse.....	10
3.4 Métodos Segunda Fase	14
3.4.1 Tratamientos	14
3.4.2 Diseño experimental	14
3.4.3 Características del Experimento.....	15
3.4.4 Características de la Unidad Experimental	15
3.4.5 Análisis Estadístico	16
3.4.6 Variables a Evaluarse.....	16
3.5 Manejo del Experimento	19
3.5.1 Manejo del Experimento Primera Fase.....	19
3.5.2 Manejo del Experimento Segunda Fase.....	24
CAPÍTULO IV	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1.1 Contenido de nutrientes	33
4.1.2 Temperatura	26
4.1.3 Presencia de Animales e Insectos	28
4.1.4 Proceso de Descomposición.....	31
4.1.5 Propiedades Físicas de los Sustratos.....	32
4.1.6 Relación Beneficio/Costo	48
4.2.1 Índice de velocidad de Emergencia.....	36
4.2.2 Porcentaje de Mortalidad	37
4.2.3 Área Foliar	38
4.2.4 Materia Seca.....	40
CAPÍTULO V.	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
5.1 Conclusiones	51
5.2 Recomendaciones	51
Referencias	53
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Valores medios de parámetros de lodos residuales lácteos (peso seco g/l).....	1
Tabla 2	Propiedades de los sustratos de uso común.....	4
Tabla 3	Materiales de campo, insumos y equipos.....	8
Tabla 4	Tratamientos en estudio.....	9
Tabla 5	Descripción de las características de la fase 1 en el estudio de inclusión de lodos lácteos.....	9
Tabla 6	Esquema de análisis de varianza (ADEVA) en el estudio de inclusión de lodos lácteos.....	10
Tabla 7	Tratamientos en estudio: tipo de sustrato.....	14
Tabla 8	Descripción de las características de la fase 2.....	15
Tabla 9	Esquema de análisis de varianza en el estudio de inclusión de lodos lácteos en la fase de vivero.....	16
Tabla 10	Resultado de análisis total de nutrientes de compost y compost de lodo lácteo.....	34
Tabla 11	ADEVA de variación de temperatura durante el proceso de maduración del tratamiento compost y compost con aplicación de lodos lácteos.....	26
Tabla 12	Insectos registrados en composteras con lodo lácteo y sin lodo lácteo	
Tabla 13	Propiedades físicas de los sustratos en estudio.....	32
Tabla 14	ADEVA del área foliar de plántulas de acelga (<i>Beta vulgaris</i> . var <i>cicla</i> L), los sustratos turba, compost y compost con lodo lácteo.....	38
Tabla 15	ADEVA de la cantidad de materia seca en la hoja en plántulas de acelga (<i>Beta vulgaris</i> . var <i>cicla</i> L).....	41
Tabla 16	ADEVA de la cantidad de materia seca en el tallo en plántulas de acelga (<i>Beta vulgaris</i> . var <i>cicla</i> L).....	43
Tabla 17	ADEVA de cantidad de materia seca en raíz en plántulas de acelga (<i>Beta vulgaris</i> . var <i>cicla</i> L).....	44
Tabla 18	ADEVA de la cantidad de materia seca total en plántulas de acelga (<i>Beta vulgaris</i> . var <i>cicla</i> L).....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación del área de estudio	7
Figura 2	Diseño experimental primera fase	9
Figura 3	Medición de temperatura de las composteras	11
Figura 4	Toma de muestra de compost	11
Figura 5	Compost en etapa de enfriamiento.....	11
Figura 6	Determinación de propiedades físicas del compost.....	13
Figura 7	Diseño experimental segunda fase.....	15
Figura 8	Plántulas de acelga en etapa de emergencia	17
Figura 9	Observación del crecimiento de las plántulas en los tratamientos.....	17
Figura 10	Determinación del área foliar	18
Figura 11	Determinación del peso de los órganos de la planta (hoja, tallo y raíz)	18
Figura 12	Preparación de zona experimental (primera fase).....	19
Figura 13	Lodo residual lácteo.....	20
Figura 14	Remoción de suelo.....	20
Figura 15	Ubicación unidades experimentales.....	21
Figura 16	Formación de composteras	21
Figura 17	Establecimiento de tutores	22
Figura 18	Incorporación de lodos lácteos	22
Figura 19	Toma de temperatura	23
Figura 20	Compostera con lodo lácteo.....	23
Figura 21	Rellenado de celdas	24
Figura 22	Escarificación y selección de semillas.....	24
Figura 23	Siembra de semillas	25
Figura 24	Crecimiento de plántulas de acelga	25
Figura 25	Variación de la temperatura.....	26
Figura 26	Porcentaje de descomposición de compost.....	31
Figura 27	Índice de velocidad de emergencia.....	36
Figura 28	Porcentaje de mortalidad	37
Figura 29	Área foliar en plántulas de acelga (Beta vulgaris. var cicla L), en distintos sustratos durante la fase de vivero.....	39
Figura 30	Contenido de materia seca en hojas de plántulas de acelga (Beta vulgaris. var cicla L), en distintos sustratos durante la fase de vivero.....	41
Figura 31	Contenido de materia seca en tallos de plántulas de acelga (Beta vulgaris. var cicla L), en distintos sustratos durante la fase de vivero.....	43
Figura 32	Variación de peso seco	45
Figura 33	Variación de peso seco	47

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. ADEVA de la variable proceso de descomposición.....	68
Anexo 2. Rangos y medias de la variable proceso de descomposición	68
Anexo 3. ADEVA de la variable índice de velocidad de emergencia – Fase vivero ...	68
Anexo 4. Medias y rangos de la variable índice de velocidad de emergencia – Fase vivero.....	68
Anexo 5. ADEVA de la variable Porcentaje de Mortalidad – Fase vivero.....	68
Anexo 6. Medias y rangos de la variable Porcentaje de Mortalidad – Fase vivero	68
Anexo 7. Medias y rangos de la variable Área foliar – Fase vivero	69
Anexo 8. Medias y rangos de la variable Materia seca de hojas – Fase vivero	69
Anexo 9. Medias y rangos de la variable Materia seca del tallo – Fase vivero.....	70
Anexo 10. Medias y rangos de la variable de materia seca de la raíz – Fase vivero ..	70
Anexo 11. Medias y rangos de las variables Materia seca total – Fase Vivero	71

RESUMEN

Las empresas productoras de insumos lácteos como Floralp S.A, Andina, Pasteurizadora Quito, entre otras, generan efluentes lácteos con alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, nutrientes que pueden ser reciclados por medio de abonos orgánicos, en este caso un proceso de compostaje para el aprovechamiento de las plantas. En ese sentido, esta investigación se enfocó en comprobar la viabilidad de este proceso en plántulas de acelga para lo cual se realizaron dos fases experimentales: en la primera se elaboró dos tipos de composteras con una relación 5:4:1 de césped (*Pennisetum clandestinum*), lodo lácteo y estiércol de cuy, y la segunda una relación 5:4:1 de césped, residuos de cocina y estiércol de cuy. Se elaboró composteras de un metro cúbico, el material a compostar se picó hasta alcanzar de 5 a 20 cm, formando capas hasta alcanzar 1 m de altura; para la otra compostera se modificó la inclusión de residuos de cocina por lodos lácteos. En la segunda fase se probó la factibilidad del compost final como sustrato orgánico en plántulas de acelga.

Finalmente, los resultados obtenidos indican que el sustrato compost con lodo lácteo recicló varios nutrientes que mejoraron características como velocidad de emergencia, porcentaje de germinación y aumentaron la biomasa, área foliar y peso seco de las plántulas, confirmando que el aprovechamiento de residuos lácteos si es viable a través del compostaje, con buena viabilidad y bajo costo, teniendo potencial para ser un sustrato comercial

Palabras claves: abonos orgánicos, reciclaje de nutrientes, sustrato, lodo lácteo

ABSTRACT

Companies such as Floralp S.A, Andina, Pasteurizadora Quito, produce dairy sludge, effluents with a high content of nitrogen, phosphorus, and potassium. These nutrients can be recycled through organic fertilizers, in this case composting process. The project focused on verifying the viability of this process in chard seedlings. There are two experimental phases, on the first phase was made two types of compost bins were made with a 5:4:1 ratio of grass (*Pennisetum clandestinum*), milk sludge, and guinea pig manure, the second pile was a 5:4:1 ratio of grass, kitchen waste, and guinea pig manure. One cubic meter of compost bins was made, the material was chopped up to 5 to 20 cm. On the second compost, the inclusion of kitchen waste was changed to dairy sludge. The second phase focused on proving the feasibility of the final compost on chard seedlings.

The results obtained indicate that the dairy sludge substrate recycled many nutrients, characteristics like emergence speed, germination percentage, biomass, leaf area, and dry weight of the seedlings improved. In conclusion, the use of dairy sludge is viable through composting, with good results and low cost.

Key words: dairy sludge, nutrients recycling, organic fertilizers, compost

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las industrias de productos lácteos como leche, quesos y yogures generan aguas residuales que pasan por diversos procesos en las plantas de tratamiento, con el fin de reducir el contenido de agua hasta obtener un efluente semilíquido con 65 a 75% de humedad y pH variable, lo cual se logra gracias a la presencia de soluciones ácidas, alcalinas y conductividad eléctrica elevada (Montserrat, 2011).

Estos residuos que resultan de todo el proceso tienen alto contenido de nitrógeno, fósforo, calcio, sodio y bajos niveles de metales pesados, lo que los convierte en elementos de fácil mineralización y por lo tanto se implementa lodos lácteos en los abonos orgánicos, al ser esta una alternativa para su reciclaje y aprovechamiento de nutrientes (Torres et al, 2007). El proceso de mineralización se debe a que los microorganismos presentes en el suelo demuestran la materia orgánica y permiten que los nutrientes se vuelvan mayormente asimilables para las plantas, de tal modo que se aproveche dichos nutrientes mientras se reduce sustancialmente la cantidad de efluentes lácteos que se arrojan al agua (Gil y Najul, 2004).

El uso de estos residuos ya sea de forma directa como lodo crudo o transformados en abonos orgánicos (compostaje), permite elevar la calidad y cantidad de materia orgánica, así como el contenido de nutrientes en los suelos agrícolas (Mentcalf, 2003). El compostaje de lodos lácteos en condiciones anaeróbicas permite reducir los agentes patógenos por debajo de los niveles permisibles, degradar sólidos volátiles y elaborar un producto útil (Mendoza y Vigíl, 2012). En ese sentido, en los estudios realizados por Buitrago et al (2013), se explica que el empleo de lodos residuales lácteos tiene el mismo efecto que un fertilizante sintético, además que se demuestra que éstos aumentan considerablemente las cantidades de fósforo en el suelo. Así también, la rentabilidad, manejo y sencillez de tratamientos como fosas sépticas, compostas y lagunaje, incentivan a que se opten por este tipo de sistemas de depuración (Aymerich, 2000).

Este tipo de compostaje se puede utilizar con las plántulas de acelga, pues es uno de los alimentos básicos de la nutrición humana. Estas exigen requerimientos edafoclimáticos como una temperatura óptima en germinación de 18 °C a 23 °C, limitada exposición lumínica, humedad del 70% a 90%, suelos arcillosos ricos en materia orgánica en estado de humificación y alta tolerancia a suelos alcalinos (Agrolazarote, 2012). La etapa de germinación generalmente se la realiza en turba, un sustrato orgánico producto de la lenta descomposición de residuo vegetal dado por una baja actividad microbiana o baja concentración de oxígeno (Hydro Environment, 2006).

1.2 Problema de Investigación

El manejo actual de la agricultura ha generado dependencia de fuentes limitadas no renovables para la obtención de elementos nutricionales, así por ejemplo a través de la aplicación de fertilizantes sintéticos se logran suplir las necesidades fisiológicas de las plantas, que a pesar de ser una alternativa eficiente presenta problemas como: altos costos energéticos, económicos, de producción de nitrógeno y potasio y agotamiento de fuentes de insumos fosforados (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015).

En contraste, la industria láctea genera gran cantidad de residuos proveniente de sus actividades, el Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia ([CARPL], 2002) indica que por cada litro de leche producida se generan dos litros de lodos residuales, mismos que se arrojan a efluentes en donde contaminan y favorecen la proliferación de hongos y algas por el exceso de materia orgánica en el agua. Para reducir esta contaminación orgánica es importante darle un uso potencial a este residuo y los nutrientes que contiene, buscando además reducir la dependencia a fertilizantes minerales.

1.3 Justificación

Al estabilizar lodos lácteos a través de abonos orgánicos, se produce un material con alto valor nutricional que puede ser utilizado como sustrato orgánico, el cual podría brindar sostén y calidad nutricional a la planta en sus primeras etapas fenológicas en vivero. Cabe indicar que algunos sustratos son productos de cascarillas de arroz, turba, entre otros, no obstante, son pocos los que realmente brindan los nutrientes necesarios a la plántula antes de ser llevadas a campo (Mendoza y Sánchez, 2012).

Los contenidos totales de macro y microelementos de la materia seca que contienen los lodos lácteos provenientes de la empresa Floralp son elevados, pues presentan las siguientes concentraciones: 4.02% de nitrógeno, 4.02% de fósforo, 3.20% de potasio, 4.44% de calcio y una relación carbono/nitrógeno de 14:1, lo que los convierte en un residuo con alto potencial para su reciclaje (M. Gómez, comunicación personal, 2018).

Por lo tanto, la adición de lodos lácteos en técnicas de elaboración de abonos orgánicos podría conllevar a obtener un material con alto contenido nutricional, que permitiría el reciclaje de nutrientes para su posterior aprovechamiento por las plantas, así como la disminución de residuos lácteos en el ambiente (Abad et al, 2000). Esto se puede aprovechar precisamente en las plántulas de acelga, pues es una planta herbácea de crecimiento comercial en el país, cuyas características permiten que su desarrollo en semillero se produzca en sustratos de origen orgánico (FAO, 2000).

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo General*

Evaluar el efecto de la inclusión de lodos lácteos en la elaboración de compost y su uso como sustrato en la producción de plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L.), en la granja experimental “La Pradera”, Chaltura.

1.4.2 *Objetivos Específicos*

- Evaluar la calidad química y física del compost obtenido tras la inclusión de lodos lácteos.
- Comparar el efecto del compost con lodos lácteos en la producción de plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L.).
- Evaluar la relación beneficio/costo de los tratamientos en estudio.

1.5 Hipótesis o Preguntas Directrices

Primera Fase

- Ha. El compost elaborado con lodos lácteos tendrá una mejor calidad química y física debido al nivel de nutrientes del lodo.
- Ho. La inclusión de lodos lácteos en la elaboración de compost no mejorará la calidad química y física del compost.

Segunda Fase

- Ha. Por su alto contenido de nutrientes, el compost elaborado con lodos lácteos mejorará el crecimiento de plántulas de acelga.
- Ho. El compost elaborado en base de lodos lácteos no mejorará el crecimiento de plántulas de acelga

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 Residuos de la Industria Láctea

La industrialización de la leche cruda produce residuos sólidos y líquidos de diferentes características que son sometidos a los tratamientos que la empresa haya establecido; aproximadamente, se considera que por cada litro de leche procesada se genera entre cuatro a diez litros de restos líquidos (CARPL, 2002). Los efluentes del procesamiento de leche ostentan las siguientes peculiaridades como lo expone (García et al, 2015), elevado contenido de materia orgánica, grasa, aceites, detergentes y fluidos de limpieza, pH muy versátil debido a soluciones ácidas y alcalinas y conductividad elevada.

2.2 Lodos Residuales Lácteos

Los lodos lácteos son todas las aguas residuales lácteas que se someten a diversos métodos de procesamiento para reducir el contenido de agua, hasta conseguir un efluente semilíquido con un 65 a 75% de humedad y con pH variable, pero esto depende realmente de cada sistema de tratamiento (Morales, 2009). Los lodos tienen alto contenido de nitrógeno y fósforo con niveles bajos de metales pesados, por lo que autores como (López et al, 2000), indican que esto permite tener mejor disponibilidad para el intercambio de aluminio y calcio con el fósforo, evitando así su fijación en el suelo; en ese sentido, en la Tabla 1 se muestra las propiedades de un lodo residual lácteo.

Tabla 1

Valores medios de parámetros de lodos residuales lácteos (peso seco g/l)

Propiedades generales		Total de metales pesados (mg/kg en peso seco)		Límites de metales de pesados (mg/kg peso seco)
Ph	7.40	Zn	180	2500
E.C. (dS/m)	2.35	Cr	14.5	1000
N %	6.90	Pb	22.2	750
C %	38.30	Cu	50.3	1000
C/N	5.55	Ni	77.16	300
P %	2.69	Cd	<10	20
K %	0.92			
Ca %	2.00			
Mg %	0.46			
Na %	4.38			

Nota. Ph: medida de acidez o alcalinidad; E.C: conductividad eléctrica; N: nitrógeno; C: carbono; C/N: relación carbono nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; Zn: zinc; Cr: cromo; Pb: plomo; Cu: cobre; Ni: níquel; Cd: cadmio. Tomado de López et al. (2000)

2.3 Abonos Orgánicos

Los abonos orgánicos incluyen fuentes de nutrientes derivadas de origen vegetal o animal y son muy diferentes a los fertilizantes químicos o minerales, lógicamente porque contienen materia orgánica. Debido a esto son una fuente lenta y simultánea de nutrientes que mejoran la calidad del suelo. (Plazas y García, 2014; Altieri 2010).

2.3.1 Importancia de los Abonos Orgánicos

Los abonos orgánicos tienen la finalidad de aumentar la fertilidad de los suelos, mejorando sus características en favor del correcto desarrollo de los cultivos, por lo que hoy en día su uso es efectivo en el incremento de rendimientos y mejora de la calidad de los productos (Fondo para la protección del agua [FONAG], 2010).

Los abonos orgánicos son muy importantes ya que proveen nitrógeno en forma asimilable para las plantas, lo que se traduce en mayor productividad del suelo que numerosas veces no es posible lograrlo con fertilizantes químicos (Instituto Interamericano de Cooperación Agricultura [IICA], 1985), lo que a su vez concuerda con Restrepo y Hensel (2009) y la necesidad de reducir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos y reemplazarlos por opciones fiables y sostenibles, pues estos mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

2.4 Compostaje

El compostaje es un abono orgánico completo que busca la desintegración de la materia vegetal a través de microorganismos presentes en el suelo y bajo condiciones convenientes, para lograr un abono de alta calidad y resulta un mecanismo para convertir residuos agrícolas como: restos de podas, rechazos de productos, desechos de cosechas, en un insumo agrícola para la fertilización de suelos (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2003; FAO, 2013). Por su parte, para Madigan et al. (2004) el proceso de compostaje se define como una disgregación biológica y estabilización de la materia orgánica en ambientes que permitan un desarrollo de temperaturas elevadas, con el fin de completar procesos termofílicos provenientes de la actividad microbiana y proporcionar un producto final estable, no fitotóxico, sin presencia de patógenos ni malas hierbas y que sobre todo produzca un beneficio al suelo una vez aplicado.

Según Silva (2004) en la florícola Golden ubicada en la provincia del Carchi, se realiza un proceso de compostaje con 70% de material vegetal obtenido de podas del cultivo de rosa y 30% de lodos residuales lácteos. El procedimiento inicia con el troceado y picado de residuos vegetales de rosa y posteriormente se esparce homogéneamente el lodo lácteo; el proceso de descomposición en las composteras tiene un tiempo aproximado de dos a tres meses

2.4.1 Factores de Control Técnico

Según Bueno et al. (2008), el proceso de compostaje depende de la acción de microorganismos que habitan en el ambiente y que descomponen la materia orgánica. Para que estos

microorganismos puedan proliferarse, es necesario lograr escenarios que cumplan con óptimas condiciones como:

- **Temperatura.** Para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos, semillas de malas hierbas, etc., se requiere temperaturas óptimas de entre 35-55 °C, ya que si se elevan a más de 70 °C muchos microorganismos que interfieren en el proceso mueren y el proceso de descomposición se ve afectado.
- **Humedad.** El proceso de compostaje requiere que la humedad alcance niveles de 40-60%. Si la humedad es mayor, el agua irrumpirá en los poros y el proceso se tornaría anaeróbico, haciendo que la materia orgánica entre en putrefacción; por el contrario, si la humedad es desmedidamente baja, la actividad microbiana disminuirá reduciendo la velocidad del proceso.
- **pH.** Este factor es muy importante en el proceso de mineralización ya que repercute en la actividad de los microorganismos, como es el caso de los hongos que resisten pH entre 5-8, y algunas bacterias entre 6-7.5, siendo estas menos tolerantes a variaciones.
- **Oxígeno.** La presencia de oxígeno es fundamental ya que la descomposición de los materiales de un compost se realiza a través de un proceso aeróbico. La disponibilidad de oxígeno se ve afectada dependiendo de la materia prima, textura, humedad, número de volteos y porcentaje de aireación.
- **Relación Carbono/Nitrógeno.** Estos son dos componentes básicos de la materia orgánica y es de vital importancia conservar una relación equilibrada entre ambos elementos. La literatura sugiere que la relación C/N debe ser 30:1, pero siempre se alterará en función de las materias primas a utilizar: si la relación C/N es muy elevada la actividad biológica disminuirá; por el contrario, si relación C/N es baja existirá una pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco.

2.4.2 *Proceso de Compostaje*

Según Infoagro (2007), el proceso de compostaje se divide en cuatro etapas marcadas por la evolución de la temperatura:

- **Mesófila.** La compostera se encuentra a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos empiezan a aparecer y se multiplican velozmente. Como resultado de la alta actividad metabólica, el calor y la temperatura crecen produciendo ácidos orgánicos que disminuyen el nivel de pH.
- **Termófila.** la compostera alcanza temperaturas de 40-50 °C, los microorganismos termófilos empiezan a actuar convirtiendo el nitrógeno en amoníaco, el nivel de pH se reduce y se torna alcalino. Cuando la temperatura alcanza los 60 °C, los hongos termófilos desaparecen y surgen bacterias esporíferas y actinomicetos; por este mecanismo es que las ceras, proteínas, celulosa y hemicelulosa se descomponen.
- **Fase de enfriamiento.** Cuando la fase termófila finaliza, la temperatura se ve reducida a valores inferiores a los 60 °C, es aquí cuando hongos termófilos reaparecen e invaden

el mantillo descomponiendo la celulosa. Al llegar a los 40 °C, los microorganismos mesófilos reinician su actividad y el pH desciende levemente.

- Fase de maduración. La temperatura desciende de manera progresiva hasta los 22-25 °C y por lo general se requieren meses para la maduración del compost, tiempo en el que se producen reacciones de polimerización y condensación.

2.5 Sustratos

2.5.1 Definición

Un sustrato puede ser de origen natural o artificial, y es el medio por el cual una plántula puede desarrollar su sistema radicular. Sus principales funciones son: valer de sostén de las plántulas, abastecer de nutrientes, proveer aireación a las raíces y facilitar la absorción de agua (Ecured, 2001).

2.5.2 Propiedades

Existen propiedades físicas y químicas que intervienen en el crecimiento de plántulas. En ese sentido, en la Tabla 2 se pueden visualizar los valores generales de las principales características de ciertos sustratos utilizados en la propagación de plántulas.

Tabla 2

Propiedades de los sustratos de uso común

Material	pH agua 1:2,5	M.O	P.T.%Vol	P.I.%Vol	C.R.A.% Vol	Densidad aparente (g/l)
Turba rubia	3,5 – 4,0	80-90	85-95	8 – 23,5	60-70	65-160
Turba morena	5,5 – 7,0	80-90	85-90	8-15	56-65	100-200
Turba negra	6,5 – 8,0	60-75	80-95	5,7	51-68	330-410
Hojas de haya	4,5 – 6,0	60-80	90	33,6	43	100-250
Aserrín	5,0 – 6,0	80-90	80-85	36-42	45-55	130-160
Corteza de pino	4,5 – 5,0	80-90	70-80	35-50	5-10	175-300
Compost de corteza	6,0 – 7,2	75-85	75-90	12-25	25-40	120-300
Compost de residuos	6,0 – 8,5	45-70	65-70	15-20	18-23	600-700
Fibra de coco	5,5 – 6,0	93	95	40	35	660

Nota. M.O: materia orgánica; P.T: porosidad total; P.I: porcentaje de infiltración; C.R.A: capacidad de retención de agua. Tomado de Jardisen, 2012.

2.5.3 Propiedades Físicas

Estas propiedades se encuentran ligadas con la porosidad del sustrato, siendo fundamental el equilibrio entre la capacidad de retención de agua y la capacidad de aireación en el medio de crecimiento. Por consiguiente, se debe mantener una relación entre poros pequeños y poros grandes: los primeros valdrán para la retención de agua mientras que los poros grandes para el intercambio de aire con el exterior. Además el sustrato debe tener un nivel de compactación, para así evitar una posición horizontal en las plántulas (Monserrat, 1997).

2.5.4 Sustrato Ideal

De acuerdo con FAO (2015), esto es la combinación de diferentes materiales con el fin de proporcionar las mejores condiciones para la plántula, logrando un bajo impacto hacia el ambiente y procurando una relación de costo beneficio apropiada. Además, deben tener las siguientes características:

Propiedades físicas

- Capacidad de retención de agua
- Suministro de aire
- Distribución del tamaño de las partículas equitativo
- Baja densidad aparente
- Elevado porcentaje de porosidad
- Estructura estable que impida la contracción o hinchazón del medio

Propiedades químicas

- Baja capacidad de intercambio catiónico
- Bastante nivel de nutrientes asimilables
- Bajo porcentaje de salinidad
- Elevada capacidad tampón
- Mínima velocidad de descomposición

Otras propiedades

- Libre de semillas de malas hierbas, nematodos, patógenos y sustancias fitotóxicas
- Reproductividad y disponibilidad
- Bajo costo
- Fácil de mezclar, desinfectar y estabilidad frente a la desinfección
- Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales

2.6 Acelga

La acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L.) es una planta caracterizada por su hoja grande, ancha, jugosa y con pecíolo grueso y acanalado interiormente. Pertenece al grupo cicla de la familia de las Quenopodiáceas y es muy resistente a elevadas temperaturas en el verano, a la salinidad y factores adversos. Además, su alto contenido de fibra la convierte en una excelente fuente de vitamina B9 y potasio, ayudando también a regular la función intestinal (Bustos, 1988).

2.6.1 Zonas de Producción en Ecuador

La actividad hortícola en Ecuador se ha convertido en una alternativa positiva para los agricultores medianos y pequeños por su adaptación a pequeños espacios de terreno y al incremento en demanda para su comercialización en diferentes nichos de mercado, presentando una alternativa altamente rentable en la actualidad (Chávez, 2015).

Según el (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2020) los datos en cuanto a la producción de acelga no han sido actualizados desde 2015 ya que la disminución en su consumo lo ubica actualmente como cultivo mínimo comparada con hortalizas como la zanahoria (*Daucus carota* var. L), cebolla (*Allium cepa* var. L), etc.

Un informe revela que las provincias con mayor área de producción en el cultivo de acelga son, Tungurahua, Pichincha, Cotopaxi, mientras que, en las provincias de Chimborazo Cañar, Carchi, Imbabura, Azuay, Morona Santiago, Los Ríos, tienen extensiones de siembra entre 10 Ha a 3 Ha (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2006).

2.7 Marco Legal

La investigación se encuentra dentro de las leyes establecidas que rigen el estado ecuatoriano, por ejemplo, la Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria en el Artículo 14:

Fomento de la producción agroecológica y orgánica, así como también conservando la agrobiodiversidad, protegiendo los ecosistemas y promoviendo la recuperación de los suelos por el mal uso de los agroquímicos. (Conferencia Plurinacional e Intercultural de Soberanía Alimentaria, 2011).

Por otro lado, en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria de Medio Ambiente indica que la Autoridad Ambiental Nacional fomentará la investigación, la innovación y el desarrollo en el campo de diversas tecnologías, tanto a través de la cooperación nacional como internacional, para la aplicación de tecnologías limpias, económicamente viables y socialmente aceptables (Artículo 245, 2003).

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

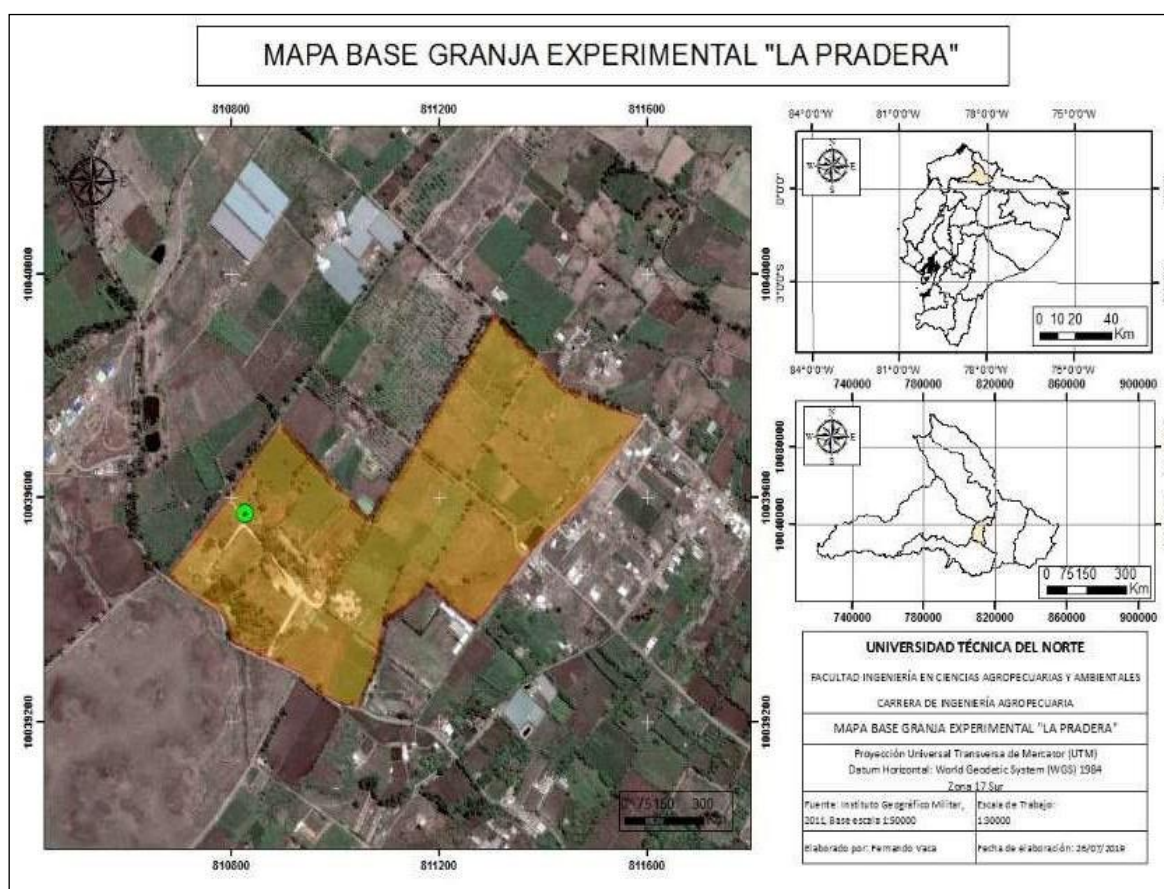
3.1 Descripción del Área de Estudio

3.1.1 Ubicación Geográfica

La presente investigación consta de dos fases experimentales las cuales se realizan en la provincia de Imbabura, cantón Antonio Ante, parroquia San José de Chaltura, en la Granja Experimental “La Pradera” de la Universidad Técnica del Norte (Figura 1).

Figura 1

Ubicación del área de estudio



El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2021) indica que la zona donde se realizó el experimento presenta las siguientes características:

- Temperatura promedio: 10 – 18 °C
- Altitud: 2 350 msnm
- Longitud: 78° 11' 00" Oeste

- Latitud: 00° 22' 00" Norte
- Precipitación anual: 500 a 750 mm
- Climatología: sub-húmedo temperado
- Tipo de suelo: suelo pedregoso

3.2 Materiales y Métodos

3.2.1 Materiales: Equipos, Insumos y Herramientas

Los materiales que se emplean en la investigación se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Materiales de campo, insumos y equipos usados en el ensayo de campo

Materiales de campo	Insumos	Equipos
Tanque 200 litros	Desechos domésticos	Balanza REP 1 KG
Cajas de madera	Estiércol de cuy	Balanza de precisión BOECO BPS 40
Malla Ground Cover	Césped cortado	Termómetro de suelo
Palas	Ceniza	LI-3100C medidor de área foliar
Machete	Tierra de bosque	Bascula inalámbrica
Carretilla	Lodos lácteos	Horno industrial
Azadones	Semillas acelga	
Regadera	Turba flora Gard	
Biello		
Postes de madera		
Sarán		
Plástico de invernadero		
Piola		
Mesas metálicas		
Bandejas de germinación		
Tubos PVC		

3.3 Métodos Primera Fase I

Durante la investigación se utilizó la siguiente metodología que se detalla en los siguientes apartados.

4.1.1 Tratamientos – Fase I

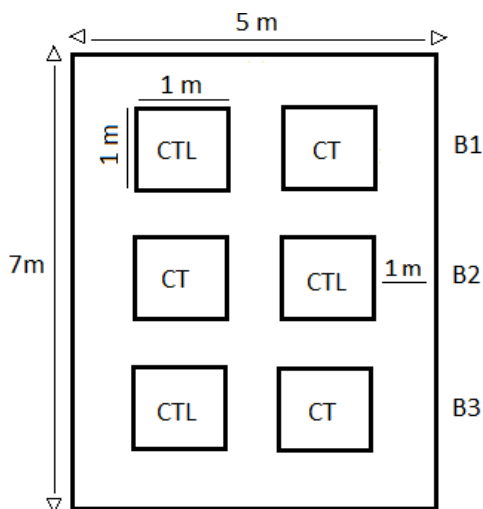
La investigación tiene de dos fases experimentales. En la primera, se realiza la elaboración del compost a base de lodos lácteos teniendo como factor A: lodo lácteo y factor B: tiempo, en variables como la temperatura, de acuerdo con lo que se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4*Tratamientos en estudio*

Nivel	Código	Detalle
N1	CTL	Compost con lodo lácteo
N2	CT	Compost

4.1.2 Diseño Experimental – Fase I

En la presente investigación se realizó un Diseño Bloques Completos al Azar (DBCA) en donde CTL: Compost con lodo lácteo y CT: Compost; los cuales fueron distribuidos como se muestra en la Figura 2.

Figura 2*Distribución de los tratamientos durante la primera fase en campo***4.1.3 Características del Experimento**

Las características que conforman el estudio de la fase 1 se describen a continuación, en la Tabla 5.

Tabla 5*Descripción de las características de la fase 1 en el estudio de inclusión de lodos lácteos*

Descripción	Unidad
Número de niveles	2
Número de bloques	3
Número unidades experimentales	6
Área total del experimento	35 m ²

3.3.4 Características de la Unidad Experimental

Cada unidad experimental comprende un volumen total de 1m^3 como se describe a continuación.

- Volumen por unidad experimental: 1 m^3
- Área total del experimental: 35 m^2

4.1.4 Análisis Estadístico

Para la interpretación y análisis de datos se utiliza el paquete estadístico InfoStat 2008, en cuanto a las variables temperatura y porcentaje de descomposición se realizó un ADEVA, para la diferencia de medias se empleó la prueba LSD Fisher con un nivel de significancia del 5% ya que se encontraron diferencias significativas en los tratamientos (Tabla 6).

Tabla 6

Esquema de análisis de varianza (ADEVA) en el estudio de inclusión de lodos lácticos

Fuente de variación	Grados de libertad
Bloque	$3-1=2$
Niveles	$2-1=1$
Error	2
Total	$6-1=5$

4.1.5 Variables a Evaluarse

Durante el proceso de compostaje, se evaluaron las variables de temperatura, presencia de animales e insectos y una vez que el compost estuvo listo para la cosecha, se evaluaron las variables contenido de nutrientes, duración del proceso de descomposición y propiedades físicas de los sustratos, las cuales se detallan a continuación:

- Temperatura.** Se realizó la medición de la temperatura de cada compostera tres veces por semana a las 12 am, con la finalidad de obtener la cifra más elevada del día y evidenciar las temperaturas para la mantención de la actividad microbiana en las fases del compostaje (mesófila, termófila, enfriamiento, maduración). Dicha medición se ejecuta con un termómetro análogo de compostaje en el centro de la compostera (Figura 3).

Figura 3

Medición de temperatura de las composteras



- b) **Presencia de animales e insectos.** Se utilizó una variable cualitativa ordinaria para la identificación de animales e insectos en los compost tres veces por semana (lunes, miércoles, viernes) detallando en el registro su relevancia como insectos benéficos y no benéficos durante el proceso.
- c) **Proceso de descomposición.** Se estudió el proceso de descomposición del compost a través del volumen inicial y final del mismo. Cuando el proceso de mineralización culminó, se comparó el rendimiento del producto final con respecto a los materiales inicialmente compostados.

Figura 4

Compost en etapa de enfriamiento



- d) **Propiedades físicas de los sustratos.** Para la toma de la muestra del cálculo de la densidad aparente, se utilizó el método propuesto por Washington State University (WSU, 2002), el cual se describe a continuación:
 - Se utiliza baldes sin lados rectos de capacidad de 5 galones.

- Se colocó 1.67 galones de agua y se marcó con un lápiz en el interior y el exterior del balde; inmediatamente se llenó el balde con la misma cantidad de agua, sumando 3.33 galones para nuevamente marcar la medida obtenida en el balde; finalmente se agregan otros 1.67 galones para completar un total de 5 galones.
- Posteriormente, se toma muestras del compost con una pala y se procede a llenar el balde hasta la primera línea marcada, luego se deja caer el balde desde un pie de altura por 10 veces, a continuación, se llena el balde hasta la segunda línea y se repite el proceso nuevamente, finalmente se llena el balde hasta la tercera línea marcada, pero esta vez ya no se repite el proceso de compactación por gravedad.
- Cuando se logra compactar el compost, se toma la muestra para el cálculo de la densidad aparente utilizando el método propuesto por United States Composting Council (USCC, 2002), la cual consiste en tomar una alícuota de 50 cm³ de cada sustrato, registrar su peso fresco (A50) y trasladarlo a una estufa a 105 °C hasta obtener un peso constante y registrar el peso seco (O50).
- Para este proceso, se utilizó seis tubos PVC con un diámetro de 11 cm y una capacidad de 1500 cm³, cada extremo de los tubos se cubre con una tapa, la cual tiene cuatro agujeros de 3 mm que son cubiertos transitoriamente.
- Posteriormente, se rellenan los tubos con dos alícuotas de 350 cm³ y una de 300 cm³, para completar 1000 cm³ con el objetivo de evitar la compactación del material, inmediatamente, el compost contenido en el tubo se pesa nuevamente (A1000) y se registra su volumen (V1000), entonces se añade agua destilada lentamente hasta formar un espejo en la superficie, luego de cinco minutos se repite este proceso.
- Una vez finalizada la adición del agua, se destapan los agujeros sellados y se drena durante 30 minutos, el líquido es recogido en recipientes colocados debajo de los tubos PVC, se repite el proceso de saturación con agua destilada y se registra el peso (Wnd) y volumen (Vnd).
- Por último, se drenan las muestras por cuatro horas y se registra el peso (Mdd) y volumen (Vdd) nuevamente (Figura 5).

Para el cálculo de las variables se emplean las siguientes ecuaciones:

- **Peso seco de muestra (O1000)**

$$O1000 = A1000 * (O50 \div A50) \text{ (g)}$$

(Ecuación 1)

- **Densidad aparente**

$$Da = O1000 \div V1000 \text{ (g} \cdot \text{cm}^3)$$

(Ecuación 2)

- **Porcentaje espacio poroso**

$$EP = (W_{nd} - O_{1000} + (V_{1000} - V_{nd})) \div V_{1000} * 100$$

(Ecuación 3)

- **Porcentaje de capacidad de aireación**

$$VEA = ((W_{nd} - M_{dd}) \div V_{1000}) * 100$$

(Ecuación 4)

- **Porcentaje de capacidad de almacenamiento de agua**

$$CAA = (EP - VEA)$$

(Ecuación 5)

Figura 5

Procedimiento del cálculo para la determinación de propiedades físicas del compost



- e) **Contenido de nutrientes.** Se recolecta 1 kg de compost por unidad experimental en la etapa final del proceso, el cual posteriormente es empaquetado y etiquetado. Las muestras se trasladan al Laboratorio AgrarProjekt ubicado en la ciudad de Quito para determinar del contenido total de nutrientes: pH, C.E, materia seca, materia orgánica, densidad, densidad aparente, humedad, relación C/N, N- total, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, B (Figura 6).

Figura 6

Toma de muestra de compost



3.4 Métodos Segunda Fase

Para el desarrollo de la segunda fase experimental, se utiliza la metodología expuesta a continuación.

3.4.1 *Tratamientos*

En la segunda fase se valora el uso del abono a manera de sustrato para la producción de plántulas de acelga. Dentro de esta perspectiva, se evalúa tres tratamientos descritos a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7

Tratamientos en estudio

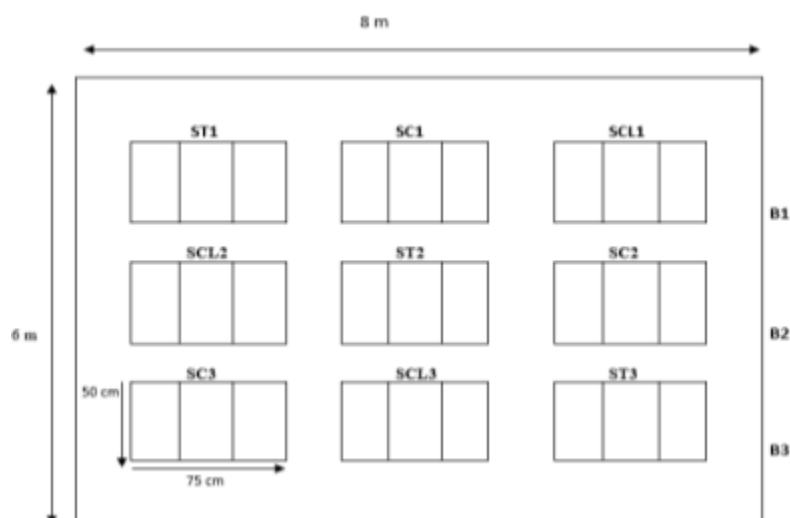
Nivel	Código	Detalle
N1	ST	Sustrato Testigo (Turba)
N2	SC	Sustrato Compost
N3	SCL	Sustrato Compost + lodo lácteo

3.4.2 *Diseño experimental*

La presente investigación maneja un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) distribuido en tres bloques en donde ST: sustrato testigo, SC: sustrato compost y SCL: sustrato compost con lodo lácteo (Figura 7).

Figura 4

Diseño experimental segunda fase



3.4.3 Características del Experimento

Cada unidad experimental está conformada por tres bandejas de 40 plantas, es decir 120 plantas por unidad experimental y un total de 1080 plantas para el desarrollo del experimento, tal como se describe en la Tabla 8.

Tabla 8

Descripción de las características del área experimental en campo de la fase 2

Descripción	Unidad
Número de niveles	3
Número de bloques	3
Número unidades experimentales	9
Número de bandejas por unidad experimental	3
Número de plantas por bandeja	40
Número de plantas totales	1080

3.4.4 Características de la Unidad Experimental

- Largo de bandeja: 0.50 m
- Ancho de bandeja: 0.25 m
- Número de plántulas por bandeja: 40
- Área total por unidad experimental: 0.375 m²

3.4.5 Análisis Estadístico

Para el análisis de datos se utilizó InfoStat 2008, las variables velocidad de emergencia y porcentaje de mortalidad emplearon una prueba LSD Fisher con un nivel de significancia del 5% ya que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, las variables área foliar, materia seca y materia seca total indicaron interacción entre factores por lo que se utilizó un análisis de varianza (ADEVA) como se describe en la Tabla 9.

Tabla 9

Esquema análisis de varianza en el estudio de inclusión de lodos lácteos en la segunda fase

Fuente de variación	Grados de libertad
Bloque	3-1=2
Niveles	3-1=2
Error	4
Total	9-1=8

Nota. Esta tabla muestra el esquema de análisis de varianza (ADEVA), para la diferencia de medias se empleó la prueba LSD Fisher con un nivel de significancia del 5% ya que se encontraron diferencias significativas en los tratamientos

3.4.6 Variables a Evaluarse

En cada unidad experimental se siembran semillas de acelga *Beta vulgaris* var. Cicla L., sobre los diferentes compost obtenidos de la primera fase, más un testigo (turba). En cada una se evalúan las siguientes variables: índice de velocidad de emergencia, porcentaje de mortalidad, área foliar, contenido de materia fresca, contenido de materia seca.

- a) **Índice de velocidad de emergencia.** Se contabilizó diariamente las plántulas emergidas (Figura 8). En la primera observación se apunta cuántas plántulas emergen y en la siguiente se contabiliza el total, restando las observadas en el conteo anterior; para esto se emplea la ecuación 6 (Tadeo, et al., 2010).

$$V.E. = (X_1) / 1 + (X_2) / 2 + (X_3) / 3 + \dots + (X_i) / n$$

(Ecuación 6)

X= número de plántulas emergidas por día

n= número de días después de la siembra.

i= 1, 2, 3...n.

Figura 5

Plántulas de acelga (Beta vulgaris var. Cicla) en etapa de emergencia



- b) **Porcentaje de mortalidad.** Se evalúa diariamente el porcentaje de mortalidad de las plántulas (Figura 9) hasta su etapa de trasplante, para lo cual se emplea la ecuación 8.

Porcentaje de mortalidad = plántulas muertas/ plántulas germinadas *100

(Ecuación 8)

Figura 6

Crecimiento de plántulas de acelga (Beta vulgaris var. Cicla) en los sustratos en estudio

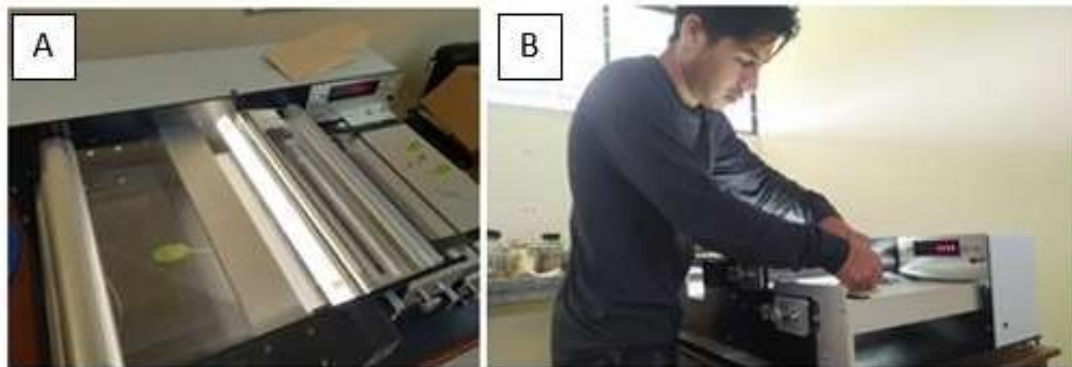


- c) **Área foliar.** Por medio del instrumento de laboratorio LI-3100C (medidor de área foliar LICOR), se establece la medición precisa del área de las hojas de acelga. Para ello, se prepara las hojas limpiándolas y separándolas antes de ingresar al medidor, según lo

recomienda Astegiano y Bouzo (2001). Este valor se registra a partir de la semana cuatro, con seis unidades experimentales por cada tratamiento (Figura 10).

Figura 7

Determinación del área foliar



Nota. Registro de datos con medidor de área foliar LICOR. A) medidor de área foliar B) proceso de toma de datos

- d) **Contenido de materia seca.** Para calcular esta variable se utiliza el material vegetal que se implementó para medir el contenido de materia fresca. El proceso se realiza por órgano (hojas, tallos y raíces), y una vez contabilizado el pesaje de materia fresca, las plántulas son trasladadas a una estufa a 105 °C hasta alcanzar un peso constante (García y Fernández, 2004) y se vuelven a pesadas en la balanza de precisión BOECO BPS 40 (Figura 11).

Figura 8

Recolección de datos de peso de los órganos de la planta



- e) **Análisis beneficio costo.** Al concluir la primera fase experimental, se ejecuta un análisis beneficio/costo de cada tratamiento, calculando el valor de los ingredientes de cada

compostera y estableciendo una comparativa entre los compost obtenidos, para para lo cual se emplea la ecuación 7.

Relación beneficio/costo

$$B/C = \frac{VI \text{ (valor actual de entradas)}}{VO \text{ (valor actual de salidas)}}$$

(Ecuación 7)

3.5 Manejo del Experimento

A continuación, se describen los procesos utilizados en ambas fases de esta investigación.

3.5.1 Manejo del Experimento Primera Fase

35.1.1 Preparación del Sitio del Experimento. Se establece la zona en la cual el experimento es implantado. Para tal efecto, se elimina la maleza y se delimita el área con un flexómetro y piola. Por otra parte, se procede a la construcción de un vivero de 70 m² y 2 m de alto fabricado con madera, plástico de invernadero y sarán (Figura 12).

Figura 9

Establecimiento de la zona de investigación para la fase I.



35.1.2 Obtención del lodo residual lácteo. El residuo de lodo lácteo se obtiene de la empresa Floralp S.A. Este tipo de residuo al ser contaminante es transportado en un camión en tanques de 1000 litros, desde la empresa hasta la zona en la que se realiza la investigación ubicada la Granja Experimental “La Pradera” (Figura 13).

Figura 10

Lodo residual lácteo



35.13 Formación de las Composteras.

- a) Se traza sobre el piso un cuadro de 1 metro de largo por 1 metro de ancho. Posteriormente se remueve una capa de suelo de 10 cm de profundidad para facilitar la aireación de la compostera (Figura 14).

Figura 11

Remoción de capa de 10 cm de suelo en el área de implantación de las composteras



- b) El material para compostar se tritura con un machete, el tamaño es de 5 a 20 cm de diámetro. Luego se monta una rejilla con palos delgados en el suelo (Figura 15).

Figura 12

Levantamiento de estructura para las composteras



- c) Para la construcción de la compostera primero se forra las cajas de madera con Grand Cover, luego se colocan las cajas encima del suelo, previamente removido, para posteriormente poner las capas de césped recién cortado, estiércol de cuy y residuos de cocina hasta alcanzar 1 m de altura (Figura 16).

Figura 13

Colocación de materias primas capa por capa para el levantamiento de la pila.



- d) A continuación, se agrega una capa de tierra de monte o bosque para inocular la composta y acelerar el proceso de compostaje. A partir de esta capa, se establece un tutor (tubo PVC) por cada tratamiento para así regar el interior de la compostera (Figura 17).

Figura 14

Colocación de tubo PVC para el riego en el interior de la compostera



- e) Una vez establecida la primera capa, se humedece el material evitando el exceso de agua hasta obtener una humedad aproximada del 60%, esto se logra hasta antes que escurra agua de la compostera; de igual manera, se repite este proceso con las composteras con lodo lácteo. Finalizada esta primera capa, se apila una segunda colocando los materiales en el orden anterior, hasta llegar a alcanzar 1 metro de altura, tal como se muestra en la Figura 18.

Figura 15

Incorporación de lodos lácteos en los tratamientos



- f) Se mide la temperatura de cada tratamiento tres veces por semana a las 12 pm, al ser esta la hora del día con la más alta temperatura. Esto se lo realiza con un termómetro análogo en el centro de la compostera, (Figura 19) con el fin de preservar la actividad microbiana en las fases del compostaje (mesófila, termófila, enfriamiento, maduración).

Figura 16

Toma de temperatura



- g) Una vez terminada la construcción de las composteras, se controla diariamente el porcentaje de humedad de cada tratamiento con riegos en el interior de la compostera, hasta alcanzar su punto máximo de saturación. Así mismo, se voltea periódicamente durante el proceso de compostaje con el fin de mantener una aireación constante, manteniendo así un proceso aeróbico evitando entrar el material en putrefacción (Figura 20).

Figura 17

Compostera completa



3.5.2 Manejo del Experimento Segunda Fase

a) **Elaboración de los bloques con los sustratos.** Al obtener los sustratos elaborados, se procede a humedecerlos y homogenizarlos para evitar al máximo áreas secas. Posteriormente, todas las celdas de las bandejas se colman y compactan (Figura 21).

Figura 18

Bandejas de germinación rellenas con los sustratos



b) **Escarificación.** En vista de que la semilla de acelga es un fruto con gran cantidad de pequeñas semillas en su interior, se sometió con anterioridad un proceso de escarificación en agua tibia por 24 horas. Luego, con una lupa se procede a separar la cubierta externa para separar las pequeñas semillas (Figura 22).

Figura 19

Separación y selección de semillas de acelgas mediante escarificación



- c) **Siembra de semillas.** Las semillas utilizadas tienen certificación de 99% de pureza, y cuentan con un porcentaje de germinación de hasta el 90%. Cada una es sembrada por cada celda a 2 mm de profundidad y luego se cubren nuevamente con sustrato (Figura 23).

Figura 20

Siembra de semillas



- d) **Manejo de semilleros.** Las bandejas se ubicaron en un cuarto cubierto con sarán, con una humedad de 60% a 80% y 20°C a 25 °C de temperatura (Figura 24).

Figura 21

*Evolución del crecimiento plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla) en los sustratos*



CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.2 Fase de Compostaje

4.2.1 Temperatura

Los resultados de análisis para la variable temperatura indican que existe interacción entre los factores días y tratamiento ($F= 22.04$; $gl= 246$; $p= <0.0001$), esto se aprecia en la Tabla 10.

Tabla 10

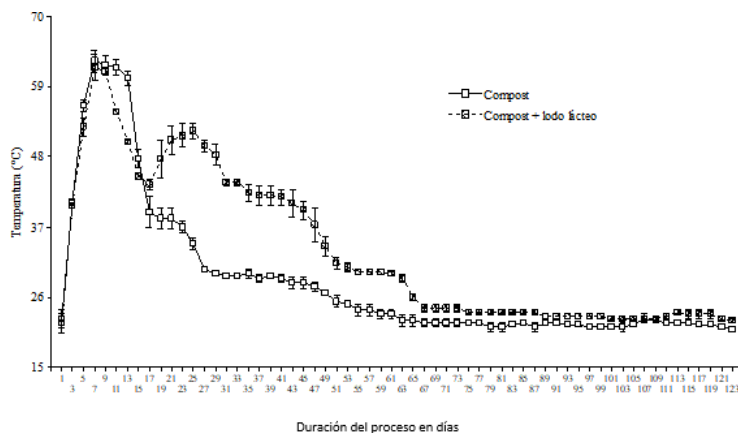
ADEVA de variación de temperatura de los tratamientos compost y compost con lodo lácteo

Fuentes de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Días	61	246	296.93	<0.0001
Sustratos	1	246	775.59	<0.0001
Días: Compostaje	61	246	22.04	<0.0001

Así mismo, la variación de la temperatura a través del tiempo se puede observar en la Figura 25, en la que se analizó el comportamiento de la temperatura y el tiempo transcurrido en cada una de las fases (mesófila, termófila, enfriamiento y maduración), hasta la obtención del sustrato final.

Figura 22

Variación de la temperatura



Al analizar el comportamiento de ambos compost en la Figura 25, se observa que la temperatura para ambos tratamientos subió de manera similar durante los primeros nueve días, aumentando de 22 °C a 63 °C que representa un incremento del 64.5%. Luego hubo un descenso de temperatura al día 17 con 39.3 °C para el compost y 43.6 °C para el compost con lodo lácteo, mostrando una diferencia de 4.3 °C entre ambos. A partir de este punto la compostera con lodo lácteo tuvo un repunte de temperatura hasta alcanzar los 52 °C en ocho días; mientras que el compost sin lodo lácteo continuó bajando su temperatura hasta estabilizarse alrededor de los 22 °C al día 63 hasta el día 123. Luego del repunte de temperatura en el compost con lodo lácteo, esta empezó a bajar constantemente hasta estabilizarse al día 67 con 24 °C hasta el día 123. La diferencia más grande registrada entre las temperaturas durante el proceso se dio el día 27 con 19.3 °C, un 38.93% más alta.

En la Figura 25 es posible observar que la temperatura en el compost con lodo lácteo del día 1 al día 7 subió su promedio a 62 °C. Luego del día 11 al día 17 presenta un descenso de temperatura hasta los 43.6 °C y, a partir de esta fecha, la temperatura sube nuevamente a 52 °C en el día 25. Finalmente, esta se reduce a 27.6 °C en 42 días. Una vez alcanzados los 24.3 °C, la compostera entró en su fase de maduración con una temperatura promedio de 23.4 °C.

En el compost con lodo lácteo, la temperatura descendió, para luego pasar por un repunte y continuar su fase termófila por un tiempo más prolongado que el tratamiento compost, esto fue provocado por la adición de lodos lácteos y la alta carga microbiana proveniente de los residuos de leche. Esto provocó que bacterias termófilas como *Bacillus* y *Actinomicetos* predominen la pila durante este periodo para la degradación del material, haciendo que su actividad genere gran cantidad de energía calórica que se vio reflejada en las altas temperaturas en la compostera. Ante esto, los autores Wurff et al. (2016) mencionan que el incremento de la temperatura en el interior de una compostera se debe a la actividad microbiana y su metabolismo, lo que produce elevados niveles de temperatura.

Retomando la Figura 25, la temperatura del compost sin lodo lácteo subió 39.6 °C en nueve días, alcanzado un pico máximo de 63 °C; luego, la temperatura empezó a descender, desde el día nueve al 17 bajó hasta los 39.3 °C. Posteriormente, se estabilizó por 6 días en un promedio de 38.2 °C, para bajar nuevamente a un promedio de 28.9 °C por 18 días. En la fase de maduración la temperatura del compost bajó un 24% y permaneció en un promedio de 21.8 °C.

En ambos tratamientos las temperaturas alcanzadas en la fase mesófila y termófila fueron favorables para una correcta mineralización de los nutrientes dentro del compost. Al respecto, Montserrat (2011) asegura que elevadas temperaturas en los procesos de compostaje permite una máxima biodegradación e higienización del material; pues según menciona Barrera (2006) al alcanzar temperaturas tan elevadas se consigue eliminar los microorganismos patógenos y semillas de mala hierba que puedan alojarse en la pila que afecte el producto a obtener.

En cuanto a la fase de enfriamiento, el compost sin lodo lácteo entró 30 días antes que el compost con lodo lácteo, con temperaturas de 40-45 °C, debido al repunte de temperatura que tuvo el compost con lodo lácteo por la carga microbiana que poseía. El temprano ingreso de la compostera sin lodo lácteo a la fase de enfriamiento se debió precisamente a la escasa concentración de microorganismos y bacterias, lo que redujo el tiempo necesario para la higienización del material. Por su parte, Bueno (2005) menciona que durante la fase de enfriamiento actúan microorganismos mesófilos que descomponen la celulosa y lignina restantes, lo que correlaciona la duración de cada fase con la cantidad de grasas, lignina y celulosa para disgregar, además del gasto energético necesario para el proceso.









Mendoza y Vigil (2012), recalcan que la duración de la fase de maduración puede tardar semanas o meses dependiendo del material; en esta etapa la temperatura oscila entre los 30 °C generando menor calor y un pH ligeramente alcalino. Partiendo de esta idea el tratamiento compost sin lodo lácteo tuvo una etapa de maduración de 3 meses, mientras que el tratamiento compost con lodo lácteo de 2 meses. Ambos compost fueron cosechados en la misma fecha ya que no hubo variación de temperatura en adelante, además los compost presentaron color marrón, textura terrosa y olor a tierra húmeda, por lo que cumplían con las características físicas para determinar su maduración.

4.2.2 Presencia de Animales e Insectos

La siguiente variable buscó registrar la presencia de los animales e insectos y su relación con los procesos de descomposición en los tratamientos. Las especies encontradas se describen en la Tabla 11.

Tabla 11

Animales e insectos registrados en composteras con lodo lácteo y sin lodo lácteos

Orden	Familia	Nombre común	Fotografías	Función
Ortóptera	Gryllidae	Grillos		Se alimenta de materia vegetal y hongos
	Drosophilidae	Mosca común de la fruta		Descomponen residuos y fruta frescos contribuyendo a la transformación de materia orgánica
	Calliphoridae	Moscarda		Se alimentan de materia en descomposición
Diptera	Muscidae	Mosca doméstica		Contribuyen a la transformación de estiércol y materia en descomposición
	Stratiomyidae	Mosca soldada		Control del crecimiento población de mosca común
	Arthropoda	Myriapoda	Ciempíes	
Coleóptera	Carabidae	Escarabajo de tierra		Depredadores de otras especies y recicladores de materia contaminante
Haplotaxida	Lumbricidae	Lombriz de tierra		Se alimentan de celulosa y estiércol, produciendo alta cantidad de humus en el proceso

Como se aprecia en la Tabla 11, existe una gran variedad de insectos presentes en la mineralización de materias primas en el compostaje, siendo los órdenes coleópteros y dípteros los que tuvieron presencia en varias etapas del compostaje, la importancia de esto según Haimi (2000), se debe a que los dípteros actúan en la descomposición de la materia orgánica, transportación de bacterias y transformación de restos de la pila, acción que reduce el tiempo de maduración de un compost.

Cabe recalcar que el orden de los dípteros se presenció con mayor frecuencia en el compost con lodo lácteo, esto debido a que esta compostera tenía más humedad y materia orgánica en descomposición, factores que generaron una fuerte atracción para estos insectos; la elevada presencia de estas especies no generó sobrepoblación de la misma. Al respecto Morales y Wolff (2009), estipulan que artrópodos promueven la presencia de *Hermeria illucens*, la cual participa en el control del desarrollo y prevención del crecimiento de colonias de moscas domésticas.

El orden de los ortópteros fue registrado en los dos tratamientos, sin embargo, Zumdado y Jiménez (2018) describen que los grillos son insectos de poca importancia para la agricultura, ya que provocan cortes en follaje, raíces y tallos. Es necesario mencionar que su registro en ambos tratamientos sugiere que es tolerante al lodo lácteo y su presencia se debió a la materia vegetal necesario para su alimentación.

El orden de los artrópodos fue la segunda especie más abundante presente en el compost sin lodo lácteo. Autores como Butler et al (2001) describen que su función en el compostaje es la de mantener el equilibrio poblacional de insectos presentes en la pila, como es el caso de los depredadores. La mayor variedad de insectos en composteras sin lodo lácteo incrementó la presencia de miriápodos en las mismas, además, Calvert et al. (1970), han proporcionado evidencia de que varios de los compuestos generados en la mineralización del compost atraen diversidad de artrópodos, los cuales buscan compost para completar su ciclo de vida a la vez que contribuyen en la aceleración del proceso.

El orden coleóptero se registró en el compost sin lodo lácteo, al respecto, Arango (2000) señala que especies del orden coleóptero son depredadores de otras especies y viven en materiales orgánicos en descomposición.

Es así como los autores Smith y Hughes (2004) ratifican que ésta alta gama de ordenes de insectos presentes en el compost indica posible contaminación en procesos de descomposición de materia orgánica, ya que estos organismos se denominan recicladores de dicha materia.

Finalmente, debido a la importancia de lombrices de tierra en procesos de transformación de materia orgánica se analizó su ausencia en el tratamiento compost con lodo lácteo, al respecto Sacoto (2011), señala que las lombrices usualmente buscan como principales fuentes de alimentación celulosa y estiércol, siendo así que fuentes con alta presencia de metales

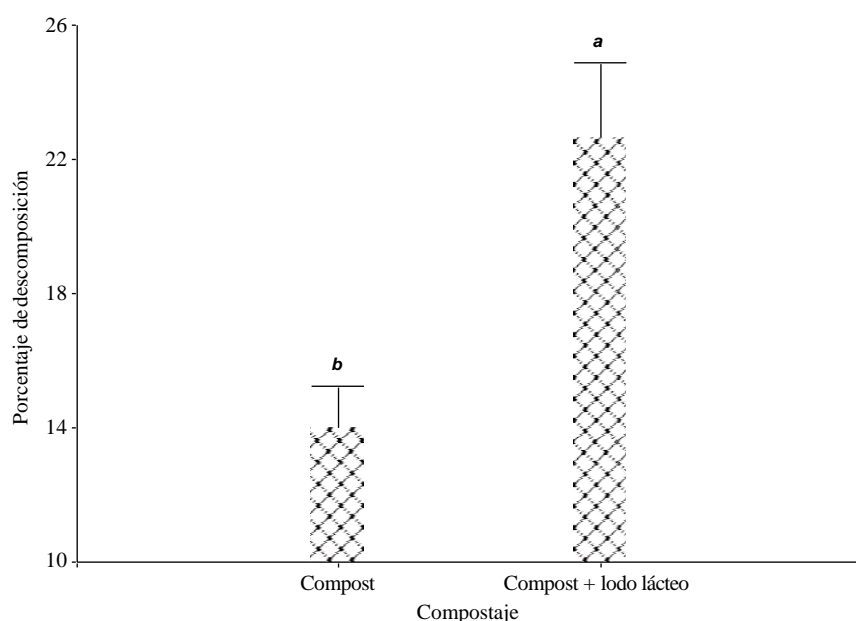
pesados podrían no estar dentro de los límites establecidos, siendo un riesgo toxicológico para animales y plantas, además la presencia de lodo lácteo pudo afectar su capacidad de movilidad para su alimentación.

4.2.3 Proceso de Descomposición

Una vez realizado el análisis de varianza con respecto a la variable *proceso de descomposición*, se determinó que sí existe diferencia significativa entre los tratamientos compost y compost con lodo lácteo ($F= 12.57$; $gl= 1$; $p= 0.0412$), todo esto se ve reflejado en la Figura 26.

Figura 23

Porcentaje de descomposición de compost



En la Figura 26 se aprecia el porcentaje de descomposición de los tratamientos, el compost tuvo 13.99% y el compost con lodo lácteo 22.63%. Los porcentajes indican la relación entre el material inicial y el final; esta diferencia fue mayor en las composteras sin lodo lácteo, lo que permite discernir el comportamiento durante el proceso de descomposición y el cambio de volumen del material.

Autores como Nappi y Barberis (1993) encontraron que el volumen final de un compost puede llegar a representar casi el 40% de la masa compostada, dependiendo de factores como materia orgánica, tamaño de partículas y relación carbono nitrógeno. La afirmación anterior sugiere que el compost, al contener materiales orgánicos fácilmente degradables y buena

capacidad de aireación dentro de la pila, tuvo un rápido proceso de mineralización de nutrientes que redujo la relación entre el volumen inicial y final.

Conectando con la idea anterior, Sierra et al. (2001) afirman que la aplicación de material líquido en composteras restringe la proliferación microbiana, dando paso a un colapso microbiano al ser imposible la aireación por convección natural. De estas evidencias se concluye que la aplicación de lodo lácteo en el compostaje redujo el espacio entre partículas, lo que limitó la difusión de oxígeno hacia el interior y de dióxido de carbono hacia el exterior, reduciendo el área de descomposición y aumentando el volumen del material final.

4.2.4 Propiedades Físicas de los Sustratos

Para el estudio de las propiedades físicas de los sustratos se evaluó compost maduros; además se realizó un análisis de pruebas T de muestras independientes, los resultados obtenidos se exponen a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12

Propiedades físicas de los sustratos en estudio

Sustrato	DA (g.cm ³ ⁻¹)	S.E	EP (%)	S.E	CA (%)	S.E	CAA (%)	S.E
Compost	0.52	0.02	38.8	4.02	8.27	4.27	30.5	7.82
Compost + lodo lácteo	0.54	0.02	37.3	1.63	8.17	3.09	29.1	4.65

Nota. DA= densidad aparente; EP= espacio poroso; CA= capacidad de aireación; CAA= capacidad de almacenamiento de agua.

En la Tabla 12 se puede observar que el compost presentó una densidad aparente de 0.52 g.cm³⁻¹ y el compost con lodo lácteo 0.54 g.cm³⁻¹. Abad et al. (2001) analizaron que en sustratos comerciales los valores de densidad aparente se prefieren bajos (menores a 0.40 g.cm³⁻¹), esto para garantizar la consistencia de la estructura, asintiendo la afirmación anterior Keller y Hakansson (2010) describen que sustratos con densidad aparente entre 0.15 a 0.60 g.cm³⁻¹ presentan buena resistencia del medio a la elongación de las raíces, característica importante para la calidad física de un sustrato.

Conectando con el párrafo anterior, García et al. (2001) en su estudio de sustratos con fibra de coco y corteza de pino compostado, encontraron que sustratos con densidades mayores a los 0.57 g.cm³⁻¹ pueden reducir el crecimiento de raíces; según Borges (2018) describe que altas densidades aumentan la retención de agua pero provocan una disminución en la

porosidad ocupada por aire, al reducir el tamaño de los poros por efecto de la compactación del sustrato.

El porcentaje de espacio poroso para el compost obtuvo un 38.8%, mientras que el compost con lodo lácteo un 37.2%, el reducido tamaño de las partículas de los sustratos fruto de la rápida descomposición de las materias primas provocó que ambos se encuentran por debajo de los rangos propuestos por Puerta et al. (2012), quienes afirman que un porcentaje de espacio poroso óptimo debe variar entre un 70 – 85%. Al respecto Hernández (2009), recomienda que la porosidad total de un sustrato supere el 85 % ya que los macroporos son utilizados para el intercambio gaseoso.

En este sentido, el porcentaje de espacio poroso y la capacidad de aireación son factores muy importantes para caracterizar la viabilidad de un sustrato, ya que estas características físicas influyen en el crecimiento y desarrollo de un cultivo en maceta (Cabrera, 1999). Los valores obtenidos en capacidad de aireación son 8.27% y 8.17% para el compost y compost con lodo lácteo respectivamente, esto debido a la rápida descomposición de material vegetal y el uso de materias primas como el lodo lácteo y desechos orgánicos generó partículas de reducido tamaño que provocó saturación en el espacio entre partículas por lo que ambos presentan valores inferiores al 10%. Boodt y Verdonck (1972), proponen una capacidad de aireación estándar para sustratos del 10 al 30%.

En lo referente a capacidad de retención de agua el compost obtuvo un porcentaje de 30.5% y el compost con lodo lácteo 29.1%, sustratos con partículas de tamaño reducido por lo general retienen mayor cantidad de agua, por lo que estos valores se relacionan al bajo contenido de materia orgánica que presentaron los sustratos. Autores como Cabrera (1999) reportan porcentajes superiores al 60%, igualmente Schmilewski (2001) menciona que el aserrín de coco, un sustrato considerado como probable sustituto de la turba presenta valores entre 65 y 70%.

4.2.5 Contenido de nutrientes

Para el análisis de la variable *contenido de nutrientes* se necesitó 1 kg de muestra de cada tratamiento para ser analizado en el laboratorio Agrarprojekt, este análisis determinó el contenido total de macro y micronutrientes, materia seca, humedad, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y relación carbono-nitrógeno. Los valores se exponen a continuación en la Tabla 13.

Tabla 13*Resultado de análisis total de nutrientes de compost y compost de lodo lácteo*

Análisis	Unidad	Valores de orientación	Resultado Compost	Resultado Compost/lodo
Materia seca	%	50-70	74.9	83.2
Humedad	%	30-50	25.1	16.8
Densidad	g/litro	-	681	729
Densidad Aparente	g/litro	> 200	510	607
pH	-	7.0 – 8.5	8.1	8.0
C.E	mS/cm	> 4	2.47	2.51
Materia orgánica	%	> 65	25.0	24.3
Carbono (C)	%	> 38	14.5	14.1
Relación (C: N)	%	25:1	11:1	10:1
Nitrógeno total (N)	%	> 2.0	1.29	1.37
Fósforo (P)	%	> 0.2	0.46	1.34
Potasio (K)	%	> 1.5	0.67	0.97
Magnesio (Mg)	%	> 0.2	0.79	1.30
Calcio (Ca)	%	> 1.5	2.36	4.14
Sodio (Na)	%	< 0.2	0.19	0.29
Hierro (Fe)	ppm	-	5610	7090
Manganeso (Mn)	ppm	-	228	79.6
Cobre (Cu)	ppm	-	17.9	4.8
Zinc (Zn)	ppm	-	57.4	16.9
Boro (B)	ppm	-	77.6	81.4

En la Tabla 13 se puede observar que el mayor porcentaje de materia seca presentó los tratamientos de compost con lodo con un 8.3% más que los tratamientos con compost. Este comportamiento según Wurff et al. (2016) es debido a que existe una relación en donde mientras más contenido de nutrientes exista en el compost mayor será el porcentaje de materia seca. Por otro lado, Ansorena (2016) sostiene que el contenido de nutrientes por materia seca en compost y digestatos fluctúa en su composición final, ya que el factor de mayor impacto es la mezcla de las materias primas iniciales y no la madurez de un abono. Por lo mencionado anteriormente, se puede considerar a los lodos como una materia prima en el proceso de compostaje que permite reciclar nutrientes en el abono final.

En cuanto al porcentaje de humedad, los valores son 25.1% y 16.8% para compost y compost con lodo lácteo, respectivamente. El tratamiento de compost con lodo lácteo presentó un menor porcentaje de humedad, esto debido a que con el tiempo, parte del lodo aplicado en la compostera se solidificó formando partículas de mayor tamaño dentro del

material, esto incrementó el espacio entre las partículas de compost, lo que según Chen López (2021), provocó que el material tenga menor capacidad de retención de agua y, por ende, menos porcentaje de humedad.

En el contenido total de nutrientes, en la Tabla 13 se puede observar que mayor porcentaje de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, sodio y hierro presentó el compost con lodo lácteo, en comparación con el compost natural. En estudio realizado por Limón (2013) da a conocer que los lodos al ser generados en empresas lácteas contienen característicamente macronutrientes que al ser añadidos como materia prima en el compostaje permite que al final de este proceso el compost recicle estos nutrientes.

De la misma manera, Betelgeux (2019a) describe que el contenido de aguas residuales provenientes de la industria láctea siempre será variable en calcio, sodio y fósforo, ya que para la limpieza de equipos de la industria se produce en dos fases: una alcalina, en la que se utilizan productos formulados en base a hidróxido sódico junto con tensioactivos y humectantes; y, otra fase ácida, en la que se utilizan productos para la eliminación de elementos en contacto con leche fría cruda, tuberías de descarga, tanques de recepción de leche y tanques de leche pasteurizada.

Analizando la densidad aparente, el compost con lodo lácteo obtuvo 607 g/L, a su vez el compost sin lodo lácteo presentó 510 g/L, valores que sugieren un alto contenido nutricional por volumen de sustrato. Al respecto Pereira (2003) afirma que sustratos para la producción de plántulas bajo invernadero presentan valores > 250 g/L. Corroborando esta información, Armstrong y McIntyre (2000) encontraron que rangos de 400 y 700 g/L mejoraron el desarrollo de plántulas de propagación hortícola.

Por otra parte, sobre el nivel de pH de los compostajes es de 8.0 y 8.1 en el compost con y sin lodo lácteo, respectivamente. Ambos presentaron pH básicos, la razón de este nivel se debe a que muchas veces aguas residuales lácteas tienen pH básicos debido al uso de desinfectantes basados en hidróxido sódico (Betelgeux, 2019b). Autores como Martínez et al. (2010), sugieren que este nivel de pH podría cambiar, ya que durante varios procesos en el compostaje el pH varía cumpliendo fases de alcalinización inicial, acidificación y una maduración que tiende a la neutralidad. Al respecto, Wurff et al. (2016), atribuyen que sustratos con niveles de pH entre 6.8 y 8.5 facilitan la disponibilidad de macro y micronutrientes en sustratos; complementando esta afirmación, Bunt (1988), encontró que sustratos con niveles más alcalinos (8.4 a 9) reducen la solubilidad de aluminio y hierro, precipitando y limitando la disponibilidad de fósforo para las plantas.

Otro factor importante por considerar es la conductividad eléctrica, el compost con lodo lácteo obtuvo 2.51 mS/cm mientras que el compost 2.47 mS/cm. Estos valores de conductividad eléctrica se encuentran por debajo del valor referencial para sustratos, el cual sugiere valores > 4 mS/cm. Al respecto, Guadarrama et al. (2018) justifican lo sucedido

afirmando que el contenido de sal es resultado de la mineralización de materia orgánica y formación de compuestos de humus en los materiales iniciales. Por su parte, Cabrera (1999), concluye que las propiedades químicas de un sustrato pueden ser modificados a lo largo de un ciclo de producción, especialmente cuando se recurre a programas de lenta liberación.

Finalmente, analizando el contenido de materia orgánica, los dos tratamientos poseen una deficiente cantidad de esta, con valores de 25% y 24.3% para el compost y compost con lodo lácteo. Ramos y Alfonso (2014) sugiere que los sustratos para propagación requieren de valores superiores al 65% de materia orgánica.

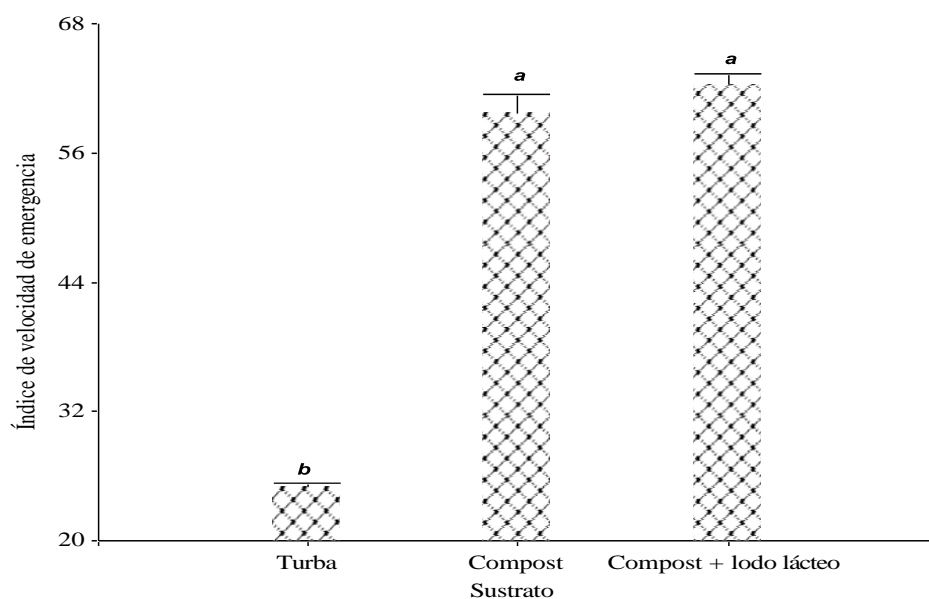
4.3 Fase de Vivero

4.3.1 Índice de velocidad de Emergencia

Según el análisis de varianza con respecto a la variable *índice de velocidad de emergencia*, es posible observar que sí existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($F=561.21$; $gl= 2$; $p= <0.0001$) tal como se aprecia en la Figura 27.

Figura 24

Índice de velocidad de emergencia de las plántulas de acelga en los tratamientos de la Fase II.



Los datos obtenidos indican que el índice de velocidad de emergencia de la turba (testigo) fue 25.4, por otro lado, los tratamientos compost y compost con lodo lácteo obtuvieron 59.6 y 62.3 respectivamente. Los resultados mostraron un índice de velocidad de emergencia

mayor en 41% frente a la turba, esto se traduce en un menor tiempo de emergencia en las plántulas sembradas en los compost, debido principalmente a las características nutricionales de los sustratos.

Los resultados para la turba comercial (testigo) concuerdan con lo obtenido por Gea, Artola et al (2005), quienes en su publicación encontraron comportamientos similares al utilizar turba como control para la comparación de aserrín compostado en producción de plántulas de tomate. En circunstancias similares, Noboa (2020), encontró un índice de 20.9 para la velocidad de emergencia en el uso de turba para la producción de brócoli.

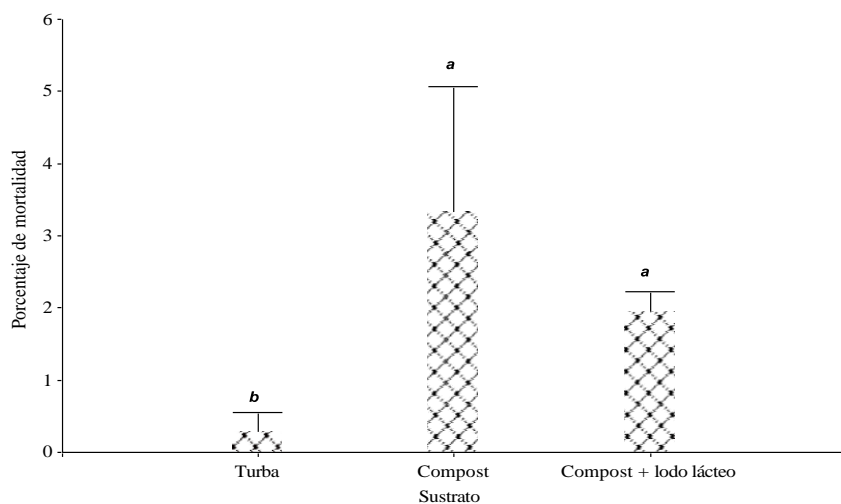
Los resultados de los índices de velocidad de emergencia para los sustratos compost y compost con lodo lácteo concluyen en una reducción del tiempo en vivero, reducción en el consumo de agua de riego y disminución de los días para trasplante. Autores como Bravo et al. (2006), evaluaron la germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando turba, y afirman que la velocidad de emergencia depende del aporte de agua, nutrientes, energía y aire hacia la planta, lo que aumenta o disminuye de acuerdo con factores como capacidad de intercambio gaseoso, temperatura, entre otros.

4.3.2 Porcentaje de Mortalidad

Una vez realizado el análisis estadístico se muestra que sí existen diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la variable *porcentaje de mortalidad* ($F= 9.81$; $gl= 2$; $p= 0.0287$).

Figura 25

Porcentaje de mortalidad de las plántulas de acelga en los tratamientos de diferentes sustratos en la Fase II del experimento.



En la Figura 28 los resultados obtenidos muestran que la turba alcanzó porcentajes de mortalidad más bajos frente a los tratamientos compost y compost con lodo lácteo, existiendo diferencia significativa; la turba tuvo un porcentaje de mortalidad de 0.28%, en el caso del compost y compost con lodo lácteo los porcentajes se situaron en 3.33% y 1.94% cada uno.

Al analizar los resultados se concluye que, pese a que los porcentajes de los sustratos tengan diferencia significativa, los índices de mortalidad no sobrepasan el 5%, por lo que son aptos para la producción de plántulas, el porcentaje de mortalidad de plántulas se adjudica a factores como la viabilidad de las semillas, Autores como Fernández et al. (2006), en su estudio afirman que un sustrato viable para la producción de plántulas debe manejar un porcentaje de mortalidad que no sobrepase el umbral del 10%.

Factores como la nutrición, poca humedad y bajas temperaturas son causa de la mortalidad de plántulas en sustratos (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura [INTAGRI], 2019), sin embargo, aunque los resultados obtenidos de capacidad de retención de agua para el compost y compost con lodo lácteo no estuvieron dentro de los parámetros, esto no afectó la retención de humedad ni la lixiviación de nutrientes, pudiendo producirse la emergencia y desarrollo las plántulas sin sobrepasar el umbral de mortalidad.

4.3.3 Área Foliar

Los resultados de los análisis estadísticos indican que para el análisis de área foliar sí existe interacción entre los factores días y tratamientos ($F= 32.47$; $gl= 12$; $p= <0.0001$), todo esto se encuentra descrito en la Tabla 14.

Tabla 14

ADEVA del área foliar de plántulas de acelga (Beta vulgaris var. Cicla L), los sustratos turba, compost y compost con lodo lácteo

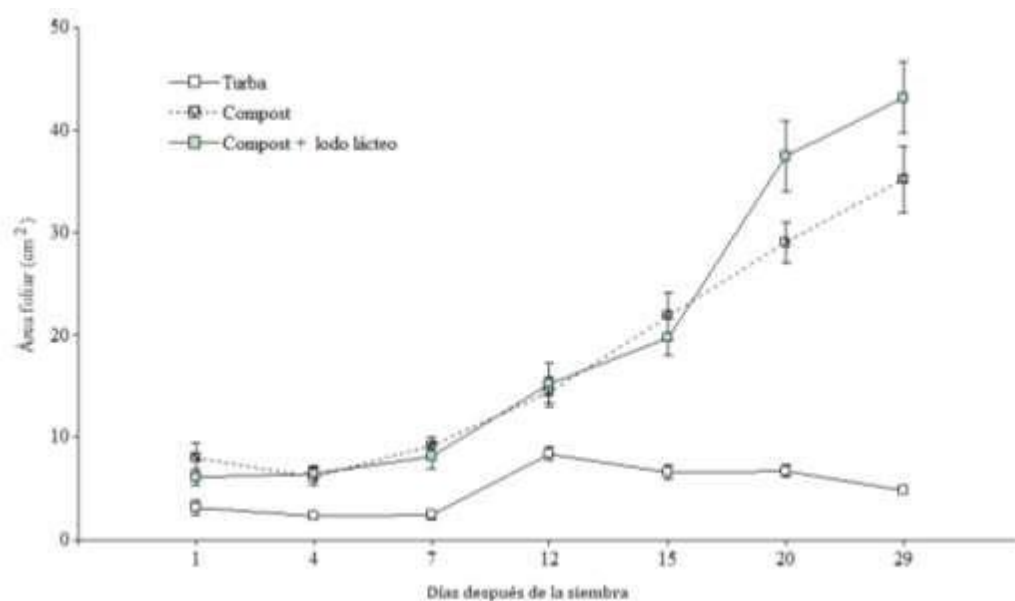
Fuentes de variación	Grados de libertad F. V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Días	6	350	42.38	<0.0001
Tratamientos	2	350	285.64	<0.0001
Días: tratamientos	12	350	32.47	<0.0001

A continuación, en la Figura 29 se observa que la mayor área foliar se dio en el tratamiento compost con lodo lácteo, luego le siguió el compost y finalmente la turba con los datos más bajos en área foliar, un 88.7% menor. Cabe mencionar que las plántulas de los sustratos compost y compost con lodo lácteo mostraron un incremento en el área foliar similar

estadísticamente en los primeros 15 días, a partir de este punto el sustrato compost con lodo lácteo aumentó el área foliar un 20.5% en promedio.

Figura 26

Área foliar en plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L), en distintos sustratos durante la fase de vivero



Las plántulas en los sustratos compost con lodo lácteo aumentaron un promedio de 2 cm² en los primeros 7 días, al día 12 alcanzaron una media de 15.3 cm², luego continuó aumentando hasta alcanzar 19.7 cm² al día 15, a medida que los días en vivero pasaron, al día 20 se dio un incremento medio de 47.5%, logrando finalmente una media 43.2 cm² en área foliar al día 29.

Este incremento en el área foliar se debió al contenido nutricional de los compost, como se aprecia en la variable contenido de nutrientes, el compost con lodo lácteo contiene nitrógeno y fósforo, nutrientes que favorecieron el desarrollo de follaje. Al respecto Di Barbaro, et al. (2005) explica que durante la producción de hortalizas los sustratos con contenido de fertilizantes producen sustancias promotoras del crecimiento como ácido indol acético, citoquininas, giberelinas y sideróforos.

Por otra parte, autores como Arancon et al. (2004) mencionan que el efecto sobre el crecimiento en plántulas requiere de una pequeña cantidad de nutrientes, principalmente N,

P, K; el aumento de la superficie foliar se ha atribuido a la presencia compuestos nitrogenados, hormonas y ácidos húmicos.

Las plántulas en el sustrato compost sin lodo lácteo no presentaron diferencias significativas en el incremento de la superficie foliar durante las primeras dos semanas en vivero; posteriormente a los 20 días alcanzó un área foliar media de 29.1 cm², un 22.5% menos que el compost con lodo lácteo. Finalmente, al día 29 obtuvo una media de área foliar de 35.2 cm², 77% más que el testigo turba.

Al igual que el tratamiento compost con lodo lácteo, el compost sin lodo alcanzó un porcentaje de nitrógeno total de 1.29%, resultado que concuerda con el crecimiento similar en área foliar entre plántulas de ambos compost, es así que la disponibilidad de nitrógeno influyo en el aumento de área foliar en las plántulas durante su desarrollo.

En lo que respecta al sustrato turba (testigo), del día 1 al día 7 las plántulas bajaron un promedio de 0.10 cm² de área foliar por día, luego aumentó pasando de 2.44 cm² en el día 7 a 8.41 cm² en el día 12, un incremento del 71%. A partir de aquí la superficie foliar empezó a bajar nuevamente, disminuyendo 1.68 cm² en 8 días para obtener finalmente, al día 29, una media de 4.89 cm² de área foliar. Autores como Guerrero (2014) señalan que el desarrollo de las plantas en grosor, altura y área foliar es un indicador de que el sustrato proporcionó elementos minerales, al respecto Tognetti et al. (2013) indican que las plántulas no necesitan fertilizantes durante las primeras semanas de siembra, ya que los cotiledones contienen toda la nutrición inicial, lo que explica el aumento y el descenso de superficie foliar en las plántulas germinadas en turba.

4.3.4 *Materia Seca*

Para el estudio de la variable *materia seca* se ha extraído el agua de cada órgano de las plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L) mediante un secado forzado. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

4.3.4.1 *Materia seca en hoja.*

Los resultados de los análisis estadísticos para la variable *materia seca en hojas* indican que sí existe interacción entre los factores días y tratamientos (F= 9.55; gl= 12; p= <0.0001), todo esto se describe en la Tabla 15.

Tabla 15

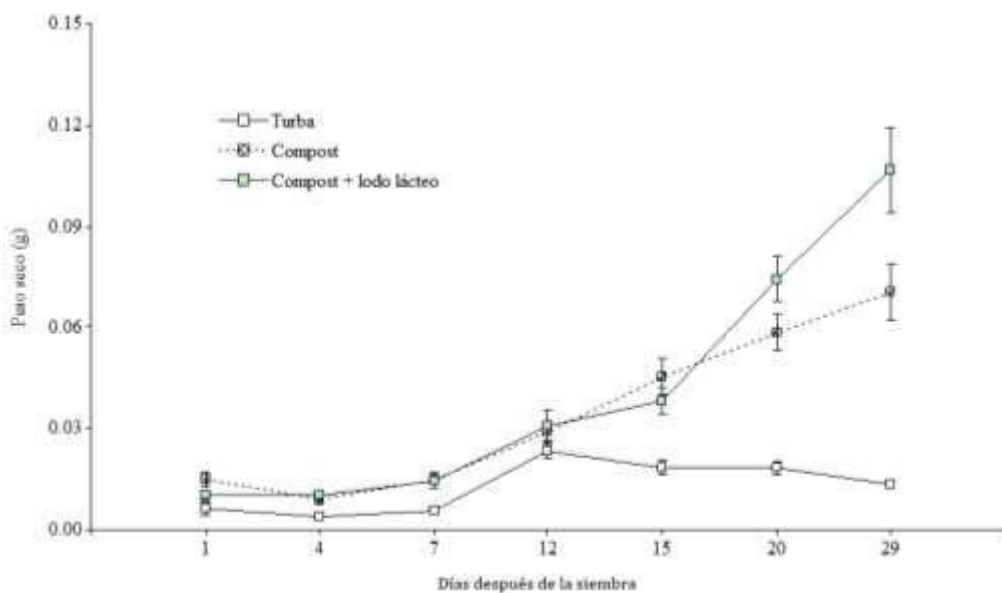
ADEVA de cantidad de materia seca en hoja en plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L).

Fuentes de variación	de Grados libertad F,V	de Grados libertad Error	de Valor F	Valor P
Días	6	350	79.15	<0.0001
Tratamientos	2	350	43.88	<0.0001
Días: tratamientos	12	350	9.55	<0.0001

En la Figura 30, se puede analizar el contenido de materia seca en las hojas. En las plántulas en compost con lodo lácteo se vio el mayor incremento en fitomasa, luego le siguió el tratamiento en compost y finalmente el testigo turba con un máximo de 0.02 gr entre los días 12 y 15 después de la siembra

Figura 27

Contenido de materia seca en hojas de plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L), en distintos sustratos durante la fase de vivero



Las plántulas en los sustratos compost y compost con lodo lácteo mostraron un incremento de materia seca en las hojas, similar estadísticamente hasta los 15 días en vivero, a partir de aquí las plántulas en el compost con lodo lácteo incrementaron un 25.3% su materia seca foliar, alcanzando una media de 0.11 gr al final del proceso.

Al analizar las plántulas en el sustrato compost con lodo lácteo, los datos obtenidos en la variable contenido de nutrientes mostraron mayor disponibilidad de nitrógeno y fósforo, proveniente de la mineralización de los nutrientes aplicados a través de lodos lácteos en el compost, por lo que la partición de biomasa hacia las hojas se ve relacionada con la disponibilidad de nitrógeno para el desarrollo de mayor superficie foliar. Al respecto, Medina et al. (2008) mencionan que la partición de materia seca tiene una dinámica diferencial a lo largo del desarrollo, con la mayor acumulación en el follaje al inicio del período, luego un crecimiento en la fitomasa seca acumulada en los tallos, y finalmente, una redistribución en flores y frutos.

En cuanto a las plántulas evaluadas en el sustrato compost, estas presentaron una distribución de materia seca en las hojas similar estadísticamente al sustrato compost durante los primeros 15 días en vivero, luego del día 15 al día 20 se vio un incremento de 0.01 gr, alcanzando una media de 0.07 gr de materia seca en las hojas a los 29 días en vivero. La diferencia de biomasa entre las plántulas del sustrato compost y compost con lodo lácteo se debe al contenido nutricional de cada sustrato, es así como Villazón et al. (2016), encontraron en su estudio que el contenido de materia seca en los órganos de caña se relaciona con el aporte y disponibilidad de macroelementos primarios.

En lo que concierne a las plántulas evaluadas en turba, el contenido de materia seca fue inferior por 0.01 gr durante los primeros 12 días con respecto a los demás tratamientos; al día 15 la diferencia subió a 0.02 gr para luego al día 20 aumentar la diferencia a 0.05 gr. Al final de la etapa de vivero la diferencia subió a 10 gr con respecto al compost con lodo lácteo y 0.06 gr con respecto al sustrato compost. Según Cartes et al. (2019) existe una relación entre la concentración de un nutriente en el tejido de la planta y su crecimiento, ya que, a mayor deficiencia de nutrientes en el suelo o medio de cultivo, las plántulas exhiben anomalías y sintomatologías negativas.

4.3.4.2 Materia seca en tallo.

Para el estudio de la variable *materia seca en tallo*, los resultados de los análisis estadísticos indican que sí existe interacción entre los factores días y tratamientos ($F= 14.09$; $gl= 12$; $p= <0.0001$), todo esto se describe en la Tabla 16.

Tabla 16

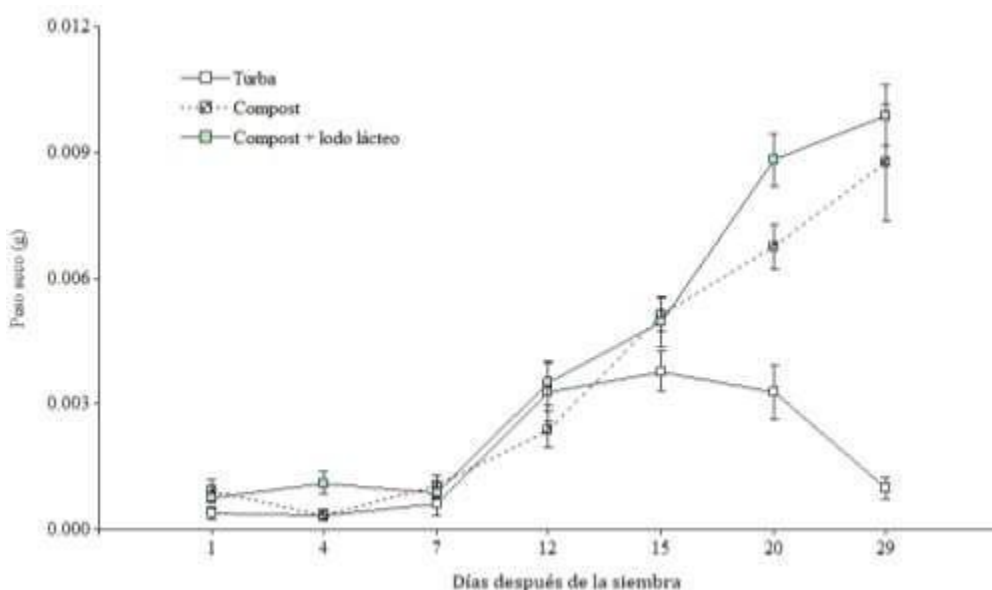
ADEVA de cantidad de materia seca en tallo en plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L)

Fuentes de variación	Grados de libertad F,V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Días	6	350	81.14	<0.0001
Tratamientos	2	350	46.12	<0.0001
Días: tratamientos	12	350	14.09	<0.0001

En la Figura 31 se puede analizar la curva de crecimiento en la ganancia de peso en el tallo de las plántulas en los tratamientos y analizar el comportamiento que tuvo cada uno, dividiendo que el mayor contenido de materia seca en tallos se dio en las plántulas en compost con lodo lácteo, acumulando una media de 0.010 gr, seguido de las plántulas en compost con 0.009 gr y finalmente la turba con una media de 0.001 gr con tendencia a la baja al final del estudio.

Figura 28

Contenido de materia seca en tallos de plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L), en distintos sustratos durante la fase de vivero



Las plántulas en todos los tratamientos presentaron una distribución de materia seca similar los 7 primeros días en vivero, a partir de aquí las plántulas en los sustratos turba y compost con lodo lácteo incrementaron un promedio de 0.002 gr en 5 días, luego al día 15 las plántulas en compost y compost con lodo lácteo alcanzaron una media de 0.005 gr mientras que en turba se obtuvo un 20% menos; al día 20 se vieron diferencias significativas más grandes entre todos los tratamientos, con 0.006 gr entre el compost con lodo lácteo y la turba.

En cuanto al contenido de materia seca en tallos, el tratamiento compost con lodo lácteo tuvo plántulas con una media superior a los demás tratamientos durante la fase de vivero, llegando a tener 0.010 gr a los 29 días después de la siembra, presentado los valores de distribución de materia seca más altos en tallos. Autores como Gambín et al. (2006), en su estudio de acumulación de biomasa en maíz, encontraron que las diferentes partes de la planta compiten por recursos según el orden de prioridad, como la remoción de carbohidratos de tallos hacia las vainas y la formación de tallos, hojas y raíces.

Respecto a las plántulas en turba, estas presentaron los valores más bajos en la primera semana con 0.001 gr de materia seca en el tallo; los siguientes 8 días subió el contenido de materia seca en 0.003 gr, luego de 20 días posteriores a la siembra, el contenido de materia seca en tallos bajó un 75% hasta finalizar la etapa de vivero. Al respecto, Bustamante et al. (2015) menciona que la producción de biomasa refleja el rendimiento biológico del vegetal, siendo necesarios macronutrientes primarios como nitrógeno, fósforo y potasio para el desarrollo de los órganos de la planta en diferentes etapas fenológicas.

4.3.4.3 Materia seca en raíz.

Los resultados de los análisis estadísticos de la variable *materia seca en raíz* indican que sí existe interacción entre los factores días y tratamientos ($F= 21.44$; $gl= 12$; $p= <0.0001$), todo esto se describe en la Tabla 17.

Tabla 17

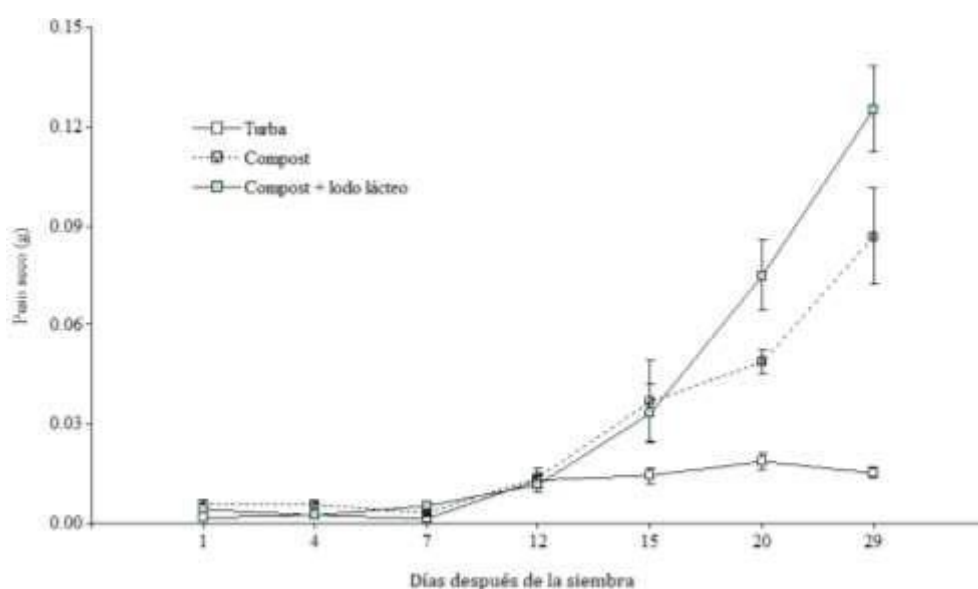
ADEVA de cantidad de materia seca en raíz en plántulas de acelga (Beta vulgaris var. Cicla L)

Fuentes de variación	Grados de libertad F,V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor D
Días	6	350	40.0 0	<0.0001
Tratamientos	2	350	67.7 2	<0.0001
Días: tratamientos	12	350	21.4 4	<0.0001

Como se muestra en la Figura 32, el incremento en la biomasa de las raíces en los tratamientos compost y compost con lodo lácteo mostró un incremento pronunciado a partir del día 12, momento en el que ambos tratamientos tuvieron un crecimiento exponencial en la cantidad de biomasa en las raíces; por el contrario, el tratamiento turba tuvo un decrecimiento en este valor perdiendo biomasa con el pasar del tiempo.

Figura 29

Contenido de materia seca en la raíz de las plántulas de acelga (Beta vulgaris var. Cicla L), en distintos sustratos durante la fase de vivero



Los datos analizados anteriormente en la variable contenido de nutrientes indican que el aumento de biomasa en raíces se debe al contenido de fósforo en los compost, especialmente el compost con lodo lácteo el cual acumuló gran cantidad de fósforo para la formación de masa radicular y el continuo desarrollo fisiológico de las plántulas.

El sustrato turba no tenía una carga nutricional, por lo que las plántulas presentaron un decrecimiento al no disponer de nutrientes para su posterior desarrollo, atrofiando su crecimiento y por ende mostrando una pérdida de biomasa. Esto concuerda con Archila et al. (1998), al mencionar que la proporción de biomasa asignada a hojas, tallos y raíces en cada etapa del desarrollo de la planta depende del crecimiento y de la distribución del área foliar, clima y disponibilidad de nutrimentos.

Así también, de acuerdo con lo mencionado por Marcelis (1993), la distribución de materia seca entre las raíces y la parte aérea de las plantas puede ser descrita por un equilibrio

funcional entre la actividad del sistema radical (absorción de agua y nutrientes) y la actividad de la parte aérea (fotosíntesis); considerando los factores que incrementan la actividad específica del sistema radical, tales como el aporte adecuado de agua o de macronutrientes (especialmente nitrógeno), el aumento del potencial hídrico y una temperatura óptima para el funcionamiento de las raíces, todo esto reduce la distribución proporcional de materia seca hacia las raíces.

4.3.4.4 Materia Seca Total

Los resultados de los análisis estadísticos de la variable *materia seca total* indican que sí existe interacción entre los factores días y tratamientos ($F= 11.84$; $gl= 12$; $p= <0.0001$), todo esto se describe en la Tabla 18.

Tabla 18

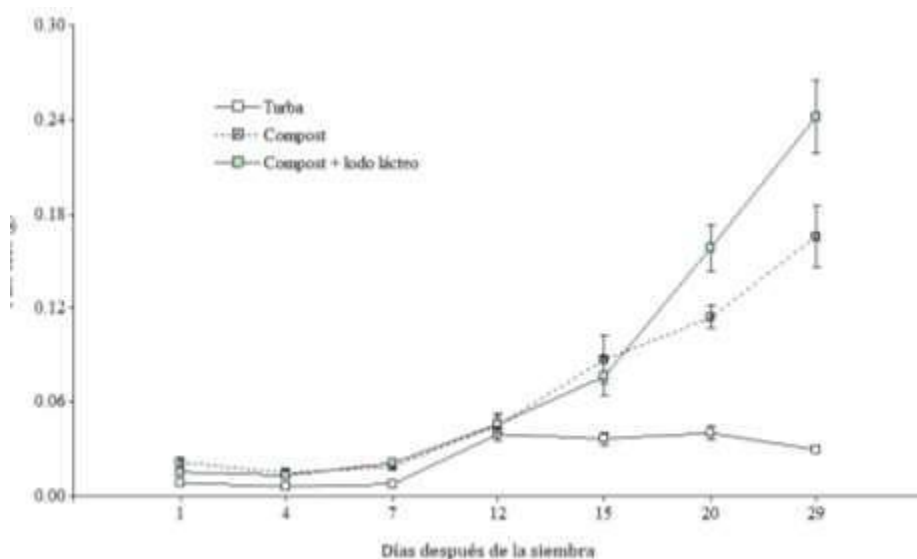
ADEVA de cantidad de materia seca total en plántulas de acelga (Beta vulgaris var. Cicla L)

Fuentes de variación	Grados de libertad F,V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Días	6	350	91.46	<0.0001
Tratamientos	2	350	32.19	<0.0001
Días: tratamientos	12	350	11.84	<0.0001

Para la variable materia seca total se contabilizó la materia seca de la parte aérea y radicular, el análisis de los datos obtenidos se exhibe en la Figura 33.

Figura 30

*Variación de peso seco de las plántulas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L), en distintos sustratos durante la fase de vivero*



De acuerdo con los datos expuestos en el gráfico anterior, se puede observar que existe un crecimiento exponencial en los tratamientos compost y compost con lodo lácteo, de tal manera se concluye que las plántulas que se desarrollaron en estos sustratos aumentaron su biomasa debido a la disponibilidad de macronutrientes.

La afirmación anterior se respalda con lo encontrado por Tarsicio et al. (2017) quienes reportaron que una buena fertilización mediante el uso de microorganismos de montaña, con la presencia de sustancias reguladoras de crecimiento, produjo incrementos significativos en la producción de gramíneas y acelga, tanto en fruto como en materia seca.

De acuerdo con la etapa de desarrollo de la planta, la materia seca acumulada se distribuye de manera diferente en cada uno de sus órganos (Chirinos, 1999). Tomando como referente la idea anterior, Arancon et al. (2004) describe que la distribución de la materia seca entre varias partes de la planta se ha descrito como un equilibrio funcional o como procesos de distribución dependientes del tiempo o estado del desarrollo.

4.3.5 Relación Beneficio/Costo

En la Tabla 19 se puede apreciar el costo de producción para el tratamiento compost sin lodo lácteo, el costo final fue de 1.07 USD/kg a continuación, se detalla los costos directos e indirectos necesarios para la elaboración de este compost.

Tabla 19

Costos de producción para el compost sin lodo lácteo

Costos Directos	Unidad	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
1. Mano de obra	Días/ jornal	2	10	20
2. Insumos	Desechos domésticos/ qq	1	2	2
	Estiércol de cuy/ qq	1	2	2
	Césped/ qq	1	2	2
	Ceniza/ kg	1	0.5	0.50
	Tierra de bosque/ qq	1	2	2
Costos Indirectos				
1. Arriendo	Terreno/ mes	12	0.8	10
2. Depreciación herramientas	Total depreciación			2.39
Costo Total			USD	50.49
Cantidad de compost			kg	37.8
Costo por kg de compost			USD/kg	1.07

Como se observa en la Tabla 20 el costo de producción para el tratamiento compost con lodo lácteo fue de 1.13 USD/kg, el uso del insumo lodo lácteo elevó el costo de producción de este compost. A continuación se detalla los costos directos e indirectos necesarios para la elaboración del compost con lodo lácteo.

Tabla 20*Costos de producción para el compost con lodo lácteo*

Costos Directos	Unidad	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
1. Mano de obra	Días/ jornal	2	10	20
2. Insumos	Desechos domésticos/ qq	1	2	2
	Estiércol de cuy/ qq	1	2	2
	Césped/ qq	1	2	2
	Ceniza/ kg	1	0.5	0.50
	Tierra de bosque/ qq	1	2	2
	Lodo lácteo/ lt	1000	0.005	5
Costos Indirectos				
1. Arriendo	Terreno/ mes	12	0.8	10
2. Depreciación herramientas	Total depreciación			2.72
Costo Total			USD	55.82
Cantidad de compost			kg	40.7
Costo por kg de compost			USD/kg	1.13

En la Tabla 21 se describe las herramientas utilizadas en el proceso de elaboración del compost, su valor de mercado y la depreciación que tuvieron durante su uso en el proceso. El valor total de la depreciación se utilizó para realizar el costo de producción de los compost

Tabla 21*Depreciación de equipos y herramientas*

Herramienta	Precio USD	Vida útil/años	Depreciación anual	Tiempo de uso/mes	Depreciación
Azadón	15	10	1.5	4	0.5
Bieldo	12	10	1.2	4	0.4
Pala	12	10	1.2	4	0.4
Machete	8	10	0.8	4	0.26
Carretilla	25	10	2.5	4	0.83
Tanque 200 litros	10	10	1	4	0.33
Total					2.72 USD
Depreciación					

Para el cálculo de la relación beneficio-costos se utilizó los costos de producción de cada tratamiento, luego se definió un precio de venta basado en el valor de un sustrato comercial. El sustrato utilizado para la comparativa fue la turba comercial el cual tiene un valor de

mercado de 0.75 ctvs/ lb, con este valor se calculó la relación beneficio/costo descrito a continuación en la Tabla 22.

Tabla 22

Relación beneficio/costo

Concepto	Compost con lodo lácteo	Compost sin lodo lácteo
Rendimiento en kg	37.8	40.7
Precio por kg	1.50	1.50
Ingreso USD	56.7	61.05
Costo USD	42.71	43.54
B/C	1.32	1.40

Los resultados presentes en la Tabla 22 muestran que ambos tratamientos generaron réditos económicos ya que la relación beneficio/costo fue superior a uno, lo que significa que recupera la inversión y genera ganancias. En el tratamiento compost con lodo lácteo la relación beneficio/ costo fue de 1.32, es decir que por cada dólar invertido se generan 0.32 USD de ganancia, esto hace que el tratamiento sea rentable para su producción y comercialización, además el precio de venta referencial es el de un sustrato comercial que no posee fuentes minerales, por lo que el compost con lodo lácteo podría elevar su precio de mercado gracias a su contenido nutricional alto en macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio además de calcio.

En cuanto al tratamiento compost sin lodo lácteo su relación beneficio/ costo fue de 1.40, un 7.14% superior al tratamiento compost con lodo lácteo, este valor indica que por cada dólar invertido se recupera 0.40 USD. Cabe recalcar que este tratamiento también posee fuentes minerales, especialmente en micronutrientes por lo que su valor puede aumentar.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El proceso de compostaje fue factible para la aplicación de lodos lácteos, el compost resultante recicló muchos de los nutrientes característicos de los lodos residuales lácteos como fósforo (1.34%), magnesio (1.30%), calcio (4.14%) y hierro (7090 ppm), los cuales influyeron en el crecimiento y desarrollo de plántulas de acelga, siendo notoriamente superior en comparación al tratamiento compost.
- Los valores resultantes en cuanto a las características físicas en el compost con lodo lácteo desacreditan su calidad física, ya que factores como capacidad de retención de agua (29.1%), capacidad de aireación (8.17%) y espacio poroso total (37.3%) están fuera de parámetros reportados por otros autores, sin embargo, la acelga se adaptó a estas condiciones por lo que no se vieron afectados factores como la emergencia de semillas ni el desarrollo radicular de las plántulas.
- El desempeño del compost con lodo lácteo en la acelga no solo se evidencio en el tamaño de las plántulas sino también en el contenido de materia seca de los órganos siendo superior en un 20%. El acrecentamiento en el peso seco en los órganos mejoró elementos como el área foliar e indujo a la formación masa radicular.
- Los tratamientos compost y compost con lodo lácteo son rentables para su producción y comercialización con una relación beneficio costo de 1.32 y 1.40 respectivamente, lo que significa que su producción es económica y rentable, sin embargo el compost con lodo lácteo al poseer mayor contenido nutricional puede elevar su valor de mercado convirtiéndolo en el tratamiento más rentable.

5.2 Recomendaciones

- Parámetros físicos de los compost como la capacidad de retención de agua, aireación y porosidad están por debajo de parámetros establecidos por otras investigaciones, de allí que se recomienda continuar con esta investigación, buscando nuevas materias primas altas en nitrógeno, que no se mineralicen con rapidez y a la vez brinden una correcta relación carbono nitrógeno para que esto no infiera en las características físicas en el compost final.
- Se recomienda continuar utilizando residuos provenientes de subproductos industriales, varias empresas agroindustriales generan aguas residuales que contienen nutrientes que al ser mineralizados pueden reciclarse para su posterior uso,

reduciendo la contaminación que estos generan y brindando alternativas para el manejo del campo.

- Se recomienda realizar un seguimiento de las plántulas producidas en compost con lodo lácteo, varios de los componentes que se encuentran en estas aguas residuales pueden ser perjudiciales para la salud humana, es así como, se debe realizar un análisis más profundo de las plántulas con el fin de comprobar si algún componente toxicológico fue absorbido.
- Se recomienda estudiar la factibilidad de los sustratos obtenidos en otras especies hortícolas, la acelga se adaptó a las condiciones físicas de los sustratos y aprovechó los nutrientes que tenía a su disposición, sin embargo es necesario saber si otras especies hortícolas también reaccionarán igual a estas condiciones.
- Finalmente se recomienda probar la factibilidad del compost con lodo lácteo al combinarlo con otros sustratos que le brinden soltura y ayuden a mejorar sus características físicas, con la finalidad de aprovechar su contenido nutricional y corregir problemas con el espacio poroso, capacidad de aireación y de retención de agua.

Referencias

- Abad, M., Martínez, F., Martínez, D., & Martínez, J. (2000). *Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo*. Acta Horticulturae .
- Abad, M., Noruega, P., & Burés, S. (2001). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology*, 77, 197/200.
- Agrolanzarote. (2012). *Fichas técnicas de cultivo*. Obtenido de Cabildo de Lanzarote: http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/02Productos/documentos/ficha_tecnica_del_cultivo_de_la_aceituna.pdf
- Altieri, M., & Toledo, V. (2010). *Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales*. Obtenido de La revolución agroecológica de América Latina: recatar la naturaleza, asegurar la soberanía y empoderar al campesino: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Colombia/ilsa/20130711054327/5.pdf>
- Ansorena Miner, J. (2016). *The compost of biowaste. Regulations, quality and applications*. Gipuzkoako: Mundi-Prensa.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., & Atiyeh, R. a. (2004). *Effects of compost*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000700006
- Arango, G. (2000). *Los coleópteros y el compost*. Obtenido de Universidad Lasallista: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/196/1/093-95%20Los%20cole%C3%B3pteros%20y%20el%20compost.pdf>

- Archila, J. U. (1998). *Análisis de crecimiento de cuatro materiales de lechuga (Lactuca sativa)*. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182015000100010
- Armstrong, H., & McIntyre, J. (2000). International Substrate Manual. *Elsevier International. Doetinchem, The Netherlands*, 10-12.
- Astegiano, E., Bouzo, C., & Favaro, J. (2001). *Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (Lycopersicum sculentum Mill) utilizando medidas foliares*. Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias Agrarias. Santa Fe - Argentina: Kreder .
- Aymerich, S. (2000). *Sistemas de depuración*. (C. N. Producción, Ed.) Obtenido de Tratamiento de residuos lácticos: <https://es.scribd.com/doc/46894997/Tratamientos-residuos-lacteos>
- Barrera, R. (2006). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos*. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>
- BETELGEUX. (6 de septiembre de 2019). *BETELGEUX christeyns food hygiene*. Obtenido de Sistemas de limpiezas CIP en la industria láctea : <https://www.betelgeux.es/blog/2019/09/06/sistemas-de-limpiezas-cip-en-la-industria-lactea/>
- Boodt, M., & Verdonck, O. (1972). The physical properties of substrates in horticulture. *Acta Horti*, 26: 337-344.
- Borges, L. (2018). *Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas*. Obtenido de SciELO:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-

31952018000400639

Bravo, C. F. (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).

Bueno Márquez, P., Díaz, M., & Cabrera, F. (2008). *El proceso de compostaje*. España: Mundi

Prensa Libros . Obtenido de

<https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

Bueno, P. (2005). *Factores que afectan al proceso de compostaje*. Obtenido de

<https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

Buitrago, F., Durán, L., Bonilla, C., Sánchez, O., & Zambrano, M. (2013). *Efecto de la*

fertilización nitrogenada en el rendimiento y la composición de los aceites esenciales de especies y accesiones de Lippia alba. Universidad Nacional de

Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración. Palmira: Red de Revistas

Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Obtenido de

<https://www.redalyc.org/pdf/1699/169929772007.pdf>

Bunt, A. (1988). *Media and mixes for containergrown plants*. Unwin Hyman. London,

Great Britain. Obtenido de Unwin Hyman.

Bustamante, Carlos, Pérez, A., Viñals, R., Ramón, A., & Rodríguez, M. (2015).

Producción de fitomasa por Coffea canephora Pierre ex Froehner en dos ciclos productivos. Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.

- Bustos, M. (1988). Corporación andina de fomento. Quito. Obtenido de Manual técnico de Acelga.
- Butler, L., Sikora, P., Steinhilber, L., & Douglass, W. (2001). *Compost Age and Sample Storage Effects on Maturity Indicators of Biosolids Compost*. Obtenido de American society of agronomy: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/jeq2001.2141>
- Cabrera, R. (1999). Propiedades, uso y manejo de sstratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Chapingo-Serie Horticultura*, 5: 5-11.
- Calvert, C., Morgan, N., & Martin, R. (1970). House fly larvae: Biodegradation of hen excreta to usefull products. *Poultry Science*, 49: 588-589.
- Cartes, E., Acevedo, M., Gonzales, M., Álvarez, C., García, E., & Mena, P. (2019). *Manual de manejo de riego y fertilización en viveros de plantas a raíz cubierta*. Chile : INFOR.
- Centro de Actividad regional para la producción limpia. (2002). *Aspectos medioambientales de la industria lactea*. (M. d. España, Editor) Obtenido de Prevención de la contaminación en la industria láctea: [https://docplayer.es/6097248- Industria-lactea-prevencion-de-la-contaminacion-en-la.html](https://docplayer.es/6097248-Industria-lactea-prevencion-de-la-contaminacion-en-la.html)
- Chávez Taipe, C. F. (2015). *Investigación de la acelga (Beta vulgaris) y propuesta gastronómica en el Cantón de Colta de la Provincia de Chimborazo*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial .
- Chen Lopez, J. (12 de 04 de 2021). *PROMIX*. Obtenido de La estructura del sustrato influye en la capacidad de retención de agua :

<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-estructura-del-sustrato-influye-en-la-capacidad-de-retencion-de-agua/>

Chirinos, D. (1999). *Dinámica de acumulación de materia seca en hortalizas*. Obtenido de

<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a03v61n1.pdf>

Di Barbaro, G., Pernasetti, S., & Stegmayer, A. (2005). Evaluación del efecto de

Azospirillum brasilensis en la germinación y emergencia del pimiento pimentonegro. *Revista del CIZAS*, 74-85.

Diario Madrid. (2019). Los aliados del compostaje. *Red de huertos sostenibles*.

Donado, R. H. (2013). *Plan de gestión para lodos generados en las PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los llanos en el departamento de Meta*.

Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales,

Bogotá. D.C.: Obtenido de Tesis de Magister en Gestión Ambiental:

<http://hdl.handle.net/10554/13496>

Ecured. (2001). *Sustrato orgánico*. Obtenido de

https://www.ecured.cu/Sustrat_org%C3%Alnico

FAO. (2000). *Preparación, siembra, manejo de almácigos*. Obtenido de Organización de las

Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura:

https://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/aup/pdf/4.pdf

FAO. (2013). *Fundamentos teóricos del compostaje*. Obtenido de Manual de compostaje

del agricultor : <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

- FAO. (2015). *Healthy soils are the basis for healthy food production*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura: <https://www.fao.org/soils-2015/news-detail/es/c/277721/>
- Fernández, B. C., Urdanet, N., & Silva, W. (2006). *Germinación de saemillas de tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) Cv Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos*. Universidad de Zulia, Facultad de Agronomía . Venezuela: ISSN 0378.
- Fondo para la protección del agua. (2010). *Manual para elaborar y aplicar abonos y plagicidas orgánicos Abonos orgánicos*. Estados Unidos de América: USAID. Obtenido de Fondo para la protección del agua: http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf
- G, J., Janmaat, L., & Michael, R. (2016). What control measures do we need for compost production and use. En A. Van der Wurff, J. Fuchs, & J. Termorshuizen, *Handbook for composting and compost use in organic horticulture* (pág. 61). Wageningen UR Greenhouse Horticulture.
- Gambín, L., Borrás, L., & Otegui, M. (2006). *Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids*. Michigan: Field crops research.
- García, C., Alcántar, G., Cabrera, R., Gavi, R., & Volke, H. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Tierra Latinoamericana*, 19(3), 249-258.
- García, M., & Fernández, S. (2004). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación*. Obtenido de

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16339/Determinaci%C3%B3n%20de%20humedad.pdf>

- Gea, M., Artola, A., & Acosta, M. (2002). Evaluación de sustratos a base de aserrín de Salicáceas (*Salix* sp) compostados para la producción de plantones. En *Investigación agraria*. 17(3), 367-374.
- Gea, T., Artola, A., Sort, X., & Sánchez, A. (2005). *Composting of wastes produced in the catalán wine industr y*. (Vol. volume 13). Cataluña: Compost science and utilization.
- Gil, K., & Najul, V. (2004). *Manejo de desperdicios en industrias de derivados lácteos con criterios competitivos*. Tesis postgrado, Universidad Central de Venezuela , Facultad de Ingeniería , Carácas - Universidad Central de Venezuela. Obtenido de https://nanopdf.com/download/378pdf_pdf
- Gómez, D. (2011). *Plántulas de invernadero*. Obtenido de <https://metrocert.com/files/plantulas%20de%20invernadero.pdf>
- Gómez, M. (31 de Julio de 2018). Entrevista sobre lodos residuales lácteos . (F. Vaca, Entrevistador)
- Guadarrama, N., Mejía, A., Ramírez, J., & Guadalupe, M. (2018). *Mineralización de la materia orgánica en suelos con manejo diferencial en cultivo de rosa* . Universidad de Guanajuato , México. Obtenido de <https://doi.org/10.15174/au.2017.1654>
- Guerrero, E. R. (2014). *Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto*. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/218/218897004/html/index.html>

- Haimi, J. (2000). Decomposer animals and bioremediation of soils. *Environmental Pollution*, 107: 233-238.
- Hernández, E. (2009). Propiedades hídricas en mezclas de sustratos con diferentes proporciones y tamaños de partícula. En *Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados* (pág. 94 p). México.
- Hydro Environment. (2006). *Guía para el cultivo de acelga hidropónica*. Obtenido de Hydro Environment: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page&id=55
- iagua. (11 de 04 de 2018). *Eutrofización: Causas, consecuencias y soluciones* . Obtenido de Sewervac Ibérica: <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones>
- IICA. (1985). *Cultivo de avena forrajera en Ecuador*. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=B2wqAAAAYAAJ&pg=PA120&dq=cultivo+de+avena+forrajera+en+ecuador&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiNuYzqMnNAhXJIR4KHY2lA60Q6AEIGjAA#v=onepage&q=cultivo%20de%20avena%20forrajera%20en%20ecuador&f=false>
- Infoagro. (2007). *El proceso de compostaje* . Obtenido de <https://www.infoagro.com/abonos/compostaje.asp>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2011). *Norma técnica colombiana NTC5167: Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abono o fertilizantes y enmiendas de suelo*. Obtenido de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación: <file:///C:/Users/david/Downloads/Norma%20tecnica%20colombiana%20NTC5167.pdf>

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología . (Septiembre de 2021). *INAMHI*.
Obtenido de Red de estaciones automáticas hidrometeorológicas:
<http://186.42.174.236/InamhiEmas/Ibarra>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria . (2006). Cultivo de Acelga. En N. Iglesias,
Producción de hortalizas bajo cubierta (págs. 45-48). Rio Negro: Centro Regional
Patagonia Norte .
- Jardisen. (2012). *Sustratos*. Obtenido de <https://www.jardisen.cl/parts/sustratos.htm>
- Keller, T., & Hakansson, I. (2010). *Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content*. Geoderma.
- Limón, J. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿probelmas o recurso?* Tesis de especialización Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Jalisco.
- López, M., Bande, M., & Seoane, M. (2000). *Evaluación del efecto salino en un suelo fertilizado con lodos de industria lactea*. Obtenido de Edafología :
<https://www.secs.com.es/data/revista%edafo/partes%volumen%207/paginas%2073>
- López, M., Cascallana, V., & Seoane, S. (2002). *Comparison of the effects of dairy sludge and a mineral NPK fertilizer on a acid soil*. (I. Agraria, Ed.) Obtenido de Dialnet:
<http://www.inia.es/IASPV/2002/vol17/lodos2.pdf>
- LORSA. (2011). Ley orgánica del régimen de la soberanía alimentaria.
<https://www.soberaniaalimentaria.gob.ec/>.
- Madigan, M., Martinko, J., & Parker, J. (2004). *Biología de los microorganismos*. Prentice Hall. Madrid, España.

- Marcelis, L. (1993). *Simulation of biomass allocation in greenhouse crops: a review*.
Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0365-28072003000200008&script=sci_arttext
- Martinez, L. D., Olarte, J. S., Ruíz, R. D., & Mendoza, J. O. (2010). Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL). *Ra Ximhai*, 367.
- Medina, C., Martinez, E., Lobo, M., & Vargas, M. (2008). *Distribución de la materia seca durante la ontogenia del lulo (Solanum quitoense Lam.) a plena exposición solar en el bosque húmedo montano bajo del oriente antioqueño*. Medellín, Colombia: CORPOICA.
- Mena, M. (2017). *Compostadores. Sostenibilidad en estado puro*. Obtenido de <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/biodiversidad-en-mi-compostador/166-raton-comun.html>
- Mendoza, M. (2012). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos*. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/3080/1/13101359.pdf>
- Mendoza, M. V., & Sanchez, J. A. (2012). *Evaluación físico, química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost*. El Salvador : Universidad del Salvador .
- Mendoza, M., & Vigíl, J. (Octubre de 2012). *Evaluación físico - química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost*. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv>
- Mentcalf, E. (2003). Treatment and Reuse (M. Hill, Ed). *Wastewater Engineering*.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería . (2020). Implementación de granjas familiares para fortalecer la economía de productores de El Oro. Santa Rosa, El Oro, Ecuador .
- Ministerio del Ambiente y Agua . (2003). *Texto Unificado de la Legislación Secundaria de Medio Ambiente*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Montserrat, E. (1997). Parametros a tener en cuenta en los sustratos . *Revista Horticultura* N°125, 31.
- Montserrat, S. (2011). Materia Orgánica, Compostaje y Agricultura Ecológica. *Revista Agroecológica de Divulgación* , 42-45.
- Morales Cubillos, I. (2009). *Aprovechamiento de lodos primarios provenientes del tratamiento de aguas residuales de una industria láctea por medios de la producción de concentrados para animales del sector porcícola y ganadero vacuno*. Universidad de la Salle, Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá. Obtenido de Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/155
- Morales, G. E., & Wolff, M. (2009). Insects associated with the composting process of slid urban waste separated at the source 1 Grupo GEMA. *Revista Brasileira de Entomología*. Obtenido de Universidad de Medellín, - Colombia.
- Mula, A. (2012). *Fauna que interviene en el compost*. Obtenido de Agromática: <https://www.agromatic.es/que-fauna-interviene-en-el-compost/>
- Nappi, P., & Barberis, R. (1993). Compost como medio de cultivo: Aspectos químicos, físicos y biológicos. *Acta Hortícola*, 342, 249-256.
- Niranjan, K., & Shilton, N. (1994). *Food processing waster their characteristics mdan - assessment of processing*. Obtenido de Al Che Symp. Ser.

- Noboa, F. (2020). *Estudio de Sistemas de propagación y su efecto en la producción de brócoli (Brassica oleracea var. Itálica L.)*. Imbabura - San Luís de Agualongo.
- Papadopoulus, A., Stylianou, M., & Michalopoulos, C. (2009). *Performance of a new household composter during in home testing*. Obtenido de Waste management.
- Pereira, R. P. (2003). *Bioagro*. Obtenido de Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela:
<https://www.redalyc.org/pdf/857/85715107.pdf>
- Plazas, N., & Garcia, J. (2014). *Los abonos orgánicos y la agremiación campesina: una respuesta a la Agroecología*.
- Portal Frutícola. (2019). *Mezcla de principales sustratos para la producción protegida de alimentos*. Obtenido de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/11/07/mezcla-de-principales-sustratos-para-la-produccion-prottegida-de-alimentos/>
- Puerta, C., Russián, T., & Ruiz, C. (2012). Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annum L.*) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *UDO Agrícola*. 2012, 12(2) 298-306.
- Ramos Agüero, D., & Alfonso, T. (2014). *Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas . Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007&lng=es&nrm=iso. ISSN 0258-5936.
- Restrepo, J., & Hensel, J. (2009). *Manual Práctico de Agricultura Orgánica y Panes de Piedra*. Cali: Departamento de arte de Feriva. Obtenido de

<http://agroecologiar.com/wp-content/uploads/2019/07/Jairo-Restrepo-Julius-Hensel-Manual-Practico-de-Agricultura-Organica-y-Panes-de-Piedra.pdf>

Rice, C. (2002). Organic matter and nutrient dynamics. *Encyclopedia of Soil Science*.

Ruiz-Espinoza, F. M.-A.-H.-D.-M.-L.-S. (2007). Mediciones lineales en hojsa para la estimación no destructiva del área foliar. *Revista Chapingo Serie Horticultura*.

Sacoto, E. Á. (2011). *Determinación de la efectividad del porceso de lombricultura con tratamiento para la estabilización de lodos residuales provenientes de una planta de tratamientos de agua*. Universidad Politécnica Salesiana , Ingeniería Ambiental, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1511/14/UPS-CT002101.pdf>

Sánchez, M., Correa, A., Pérez, A., Blanco, D., Garcia, J., Álvarez, C., . . . Seoane, S. (2016). *De residuo a recurso: el camino hacia la sostenibilidad*. (Mundi-Prensa, Ed.) Obtenido de Medio Ambiente: <http://hdl.handle.net/10261/196132>

Schmilewski, G. (2001). *Limitations of additional organic material in growing media*. Obtenido de FlowerTech: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000100007

Sierra, J., Marti, E., Monserrat, G., Cruanas, R., & Garou, M. (2001). Caracterización y evolución de un suelo afectado por la disposición de aguas residuales de almazara. *Ciencia del medio ambiente total*, 279, 207-214.

Silva, J. (2004). *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje*. Obtenido de Semantic Scholar: <https://www.semanticscholar.org/paper/recuperacio%cc%81n-de->

nutrientes-en-fase-so%cc%81lida-a-del-

Silva/74afe4b36fae12a094a71e760aae413f0810ddab#citing-papers

Singh, B. P., & Sainju, U. M. (1998). Soil physical and morphological properties and root growth. . *Hort Science* .

Smith, D., & Hughes, J. (2004). *Changes in maturity indicators durind the degradation of organic wastes subjects to simple composting procedures*. *Biology and Fertility of Soils* .

Tarsicio, M. S., Arooyo Figueroa, G., García, M., & Dzul, J. (2017). *Producción de acelga (Beta vulgaris var. cycla) mediante el uso de microorganismos de montaña y Azospirillum brasilensis*. Universidad de Guanajuato , Departamentode ingeniería Agroindustrial.

(2001). *Patente n° TMCC Method: 03.09; 04*. Obtenido de The composting council research and education foundation.

Tognetti, C., Laos, L., Mazzarino, M., & Hernández, M. (2013). Composting vs vermicomposting: a comparison of end product quality. *Compost science and utilization*, 6-13. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1065657X.2005.10702212>

Torres, P., Pérez, A., & Escobar, J. (2007). *Compostaje de biosoólidos de plantas de tratamientos de aguas residuales*. Universidad del Valle.

United States Composting Council. (2002). *Compost Research and Education Foundation*.

Obtenido de Test Methods for the Examination of Composting and Compost: https://www.sourcewatch.org/images/f/f2/TMECC_Purpose%2C_Composting_Process.pdf

- Villazón, J., Gutierrez, G., & Vidal, Y. (2016). *Materia seca y macroelementos primarios en la biomasa foliar de la caña de azúcar fertilizada con diferentes dosis de fósforo*. Cuba: Universidad de Holgín .
- Villota, A. (2017). *Propiedades de los sustratos de cultivo*. Obtenido de InfoAgro:
<https://mexico.infoagro.com/las-propiedades-de-los-sustratos-de-cultivo/>
- Washington State University. (2020). *Calculating Compost Bulk Density*. Obtenido de Organic Farming Systems and Nutrient Management:
<https://puyallup.wsu.edu/soils/bulkdensity/#:~:text=%20Procedure%20for%20calculating%20compost%20bulk%20density%20,bucket%20is%20the%20same%20as%20the...%20More%20>
- Wurff, A. V., Fuchs, J., Raviv, M., & Termorshuizen, A. (2016). *Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture*. Obtenido de BioGreenhouse COST Action FA 1105: www.biogreenhouse.org.
- Zumdado, M., & Jiménez, D. (2018). *Insectos de importancia agrícola*. Costa Rica: Programa Nacional de Agricultura Orgánica .

ANEXOS

Anexo 1. ADEVA de la variable proceso de descomposición

Fuentes de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Tratamiento	1	2	12.57	0.0412

Anexo 2. Rangos y medias de la variable proceso de descomposición

Tratamientos	Medias	E.E	Rango
2	22.63	2.24	A
1	13.99	1.25	B

Anexo 3. ADEVA de la variable índice de velocidad de emergencia – Fase vivero

Fuentes de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Tratamiento	1	4	561.21	<0.0001

Anexo 4. Medias y rangos de la variable índice de velocidad de emergencia – Fase vivero

Tratamientos	Medias	E.E	Rango
3	62.30	0.27	A
2	59.62	1.80	A
1	25.04	1.02	B

Anexo 5. ADEVA de la variable Porcentaje de Mortalidad – Fase vivero

Fuentes de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Tratamiento	2	4	9.81	0.0287

Anexo 6. Medias y rangos de la variable Porcentaje de Mortalidad – Fase vivero

Tratamientos	Medias	E.E	Rango
2	3.33	1.73	A
3	1.94	0.28	A
1	0.28	0.28	B

Anexo 7. Medias y rangos de la variable Área foliar – Fase vivero

Tiempos	Tratamientos	Medias	E.E	Rango			
7	3	43.19	2.22	A			
6	3	37.51	2.22	A	B		
7	2	35.22	1.98		B		
6	2	29.00	1.98			C	
5	2	21.88	1.93				D
5	3	19.75	2.22				D E
4	3	15.30	2.22				E
4	2	14.41	1.93				E
3	2	9.19	1.93				F
4	1	8.41	0.79				F
3	3	8.19	2.28				FG
1	2	8.11	1.98				FG
6	1	6.73	0.79				FG
5	1	6.65	0.79				FG
2	3	6.53	2.22				FG H
2	2	6.13	1.98				FG H
1	3	6.09	2.22				FG H
7	1	4.89	0.79				G H
1	1	3.15	0.79				H
3	1	2.44	0.79				H
2	1	2.31	0.79				H

Anexo 8. Medias y rangos de la variable Materia seca de hojas – Fase vivero

Tiempos	Tratamientos	Medias	E.E	Rango			
29	3	0.11	0.01	A			
20	3	0.07	0.01		B		
29	2	0.07	0.01		B		
20	2	0.06	0.03			C	
15	2	0.05	0.01			C	
15	3	0.04	0.01				D
12	3	0.03	0.01				D E
12	2	0.03	0.01				E F
12	1	0.02	0.02				E F
15	1	0.02	0.03				F
20	1	0.02	0.03				FG
1	2	0.02	0.02				FG H
7	2	0.01	0.05				FG H
7	3	0.01	0.04				FG H
29	1	0.01	0.02				FG H I
1	3	0.01	0.02				FG H I

4	3	0.01	0.06		G	H	I
4	2	0.01	0.07			H	I
1	1	0.01	0.01			H	I
7	1	0.01	0.07				I
4	1	0.01	0.11				I

Anexo 9. Medias y rangos de la variable Materia seca del tallo – Fase vivero

Tiempos	Tratamientos	Medias	E.E	Rango				
29	3	0.01	5.8	A				
20	2	0.01	5.8	A				
29	3	0.01	6.0	A				
20	2	0.01	6.0		B			
15	2	0.01	5.8			C		
15	3	4.9	5.8			C		
15	1	3.8	5.8			C	D	
12	3	3.5	5.8				D	E
20	1	3.3	5.8				D	E
12	1	3.3	5.8				D	E
12	2	2.4	5.8					E
4	3	1.1	5.8					FG
7	2	1.1	5.8					FG
29	1	1.0	5.8					G
1	2	9.6	6.0					G
7	3	8.9	6.0					G
1	3	7.8	5.8					G
7	1	6.1	5.8					G
1	1	3.9	5.8					G
4	1	3.3	5.8					G
4	2	3.2	6.0					G

Anexo 10. Medias y rangos de la variable de materia seca de la raíz – Fase vivero

Tiempos	Tratamientos	Medias	E.E	Rango				
29	3	0.13	0.01	A				
29	2	0.09	0.03		B			
20	3	0.08	0.03		B			
20	2	0.05	0.01			C		
15	2	0.04	0.01			C		
15	3	0.03	0.03			C	D	
20	1	0.02	0.03				D	E
29	1	0.02	0.03				D	E F
15	1	0.01	0.01				D	E F

12	2	0.01	0.01		D	E	F	G
12	1	0.01	0.01			E	F	G
12	3	0.01	0.01			E	F	G
1	2	0.01	0.01			E	F	G
7	3	0.01	0.04			E	F	G
4	2	0.01	0.03			E	F	G
1	3	0.01	0.02				F	G
7	2	0.01	0.05				F	G
4	1	0.01	0.08				F	G
4	3	0.01	0.02				F	G
1	1	0.01	0.09					G
7	1	0.01	0.13					G

Anexo 11. Medias y rangos de las variables Materia seca total – Fase Vivero

Tiempos	Tratamientos	Medias	E.E	Rango					
29	3	0.24	0.01	A					
29	2	0.17	0.02		B				
20	3	0.16	0.02		B				
20	2	0.11	0.01			C			
15	2	0.09	0.02			C	D		
15	3	0.08	0.01				D		
12	3	0.05	0.01					E	
12	2	0.05	0.02					E	
20	1	0.04	0.02					E	F
12	1	0.04	0.04					E	F
15	1	0.04	0.05					E	FG
29	1	0.03	0.05					E	FG H
1	2	0.02	0.04						FG H
7	3	0.02	0.09						FG H
7	2	0.02	0.08						G H
1	3	0.02	0.04						G H
4	2	0.01	0.11						G H
4	3	0.01	0.16						H
1	1	0.01	0.03						H
7	1	0.01	0.17						H
4	1	0.01	0.24						H