

Compostaje de los lodos procedentes de la industria de alimentos y evaluación de la calidad agronómica del compost para su empleo en la restauración de suelos erosionados.



Diego Camilo Miño Brazzero

2022



ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

**Máster Universitario de Investigación en
Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos**



**Compostaje de los lodos procedentes de la
industria de alimentos y evaluación de la calidad
agronómica del compost para su empleo en la
restauración de suelos erosionados.**

Vº Bº DIRECTOR

VºBº CODIRECTOR

Concepción Paredes Gil

Viviana Pavlova Sigcha Terán

ALUMNO

Diego Camilo Miño Brazzero



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza al alumno **D. Diego Camilo Miño Brazzero**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Compostaje de los lodos procedentes de la industria de alimentos y evaluación de la calidad agronómica del compost para su empleo en la restauración de suelos erosionados”, bajo la dirección de D^a. Concepción Paredes Gil, de la Universidad Miguel Hernández, y de D^a. Pavlova Sigcha Terán, de la Universidad de las Américas (Ecuador), debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 16 de septiembre de 2022

La Directora del Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos

Fdo.: Concepción Paredes Gil

TRIBUNAL	
FECHA:	
PRESIDENTE:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

IDENTIFICACIONES

Autor: Diego Camilo Miño Brazzero

Título: Compostaje de los lodos procedentes de la industria de alimentos y evaluación de la calidad agronómica del compost para su empleo en la restauración de suelos erosionados.

Title: Composting of sludge from food industry and evaluation of the agronomic quality of the compost for the application and restoration of eroded soils.

Director/es del TFM: Concepción Paredes Gil

Año: 2022

Titulación: Máster en Gestión, Tratamiento y Valorización de residuos orgánicos

Tipo de proyecto: Trabajo Experimental

Palabras claves: Compostaje, Lodo residual, industria de alimentos, compost, restauración, suelos erosionados

Keywords: Composting, Sludge, Food Industry, compost, restoration, eroded soil

Nº citas bibliográficas: 63

Nº de planos: 0

Nº de tablas: 13

Nº de figuras: 37

Nº de anexos: 3

RESUMEN

Los residuos sólidos industriales desencadenan problemas medioambientales a ser resueltos. Los lodos provenientes de la remediación de aguas residuales de diferentes procesos productivos de las industrias de alimentos pueden ser neutralizados, remediados y aprovechados en nuevos proyectos que puedan generar una recuperación y reincorporación al Ecosistema terrestre.

Muy Pocas son las competencias municipales en Ecuador que asumen la gestión y el tratamiento de este tipo de residuos, sin embargo, estos residuos pueden ser gestionados y dispuestos en rellenos sanitarios por parte de gestores calificados, convirtiéndose en un residuo a ser desechado y no en un subproducto a ser valorado y aprovechado.

En este estudio se han realizado los análisis de los diferentes tipos de residuos provenientes de la industria de alimentos, florícola y maderera, que han sido incorporados a un proceso de compostaje, con la finalidad de determinar su evolución en el proceso, así como entender cuáles son las materia primas de mayor aporte para el compost, tanto en su fase maduro como semimaduro, para posteriormente ser incorporado en diferentes concentraciones en suelo erosionado, el cual ha logrado ser recuperado en términos de incremento de materia orgánica, mejora de sus propiedades físicas e incremento de los principales macronutrientes y de esta manera transformarlo en suelos productivos.

ABSTRACT

Industrial solid waste triggers environmental problems to be solved. The sludge from different production processes of the food industries can be neutralized, remediated and used in new projects of recovery and reintegration into the terrestrial ecosystem.

In Ecuador, there are very few municipalities who assume the management and treatment of this type of waste, however, this waste can be managed and disposed in landfills by qualified managers, becoming a waste to be discarded and not in a product to be valued.

This study analyzes different types of waste from the food, flower and wood industries, which have been incorporated into a composting process, in order to determine their evolution, and also to understand which ones are the raw materials with the greatest contribution to the compost, the analysis applied for mature and semi-mature phase, to later be incorporated in different concentrations in eroded soil, which has managed to be recovered in terms of increased organic matter, improvement of its physical properties and increase of the main macronutrients and in this way transform it into productive soils.

INFORME DE EVALUACIÓN DE INVESTIGACIÓN RESPONSABLE DE 2. TFM (Trabajo Fin de Máster)

Elche, a 09 de junio del 2022

Nombre del tutor/a	Concepción Paredes Gil
Nombre del alumno/a	Diego Camilo Miño Brazzero
Tipo de actividad	6. Actividad de investigación técnica (publicable y no aplican las opciones 7-11)
Título del 2. TFM (Trabajo Fin de Máster)	Compostaje de los lodos procedentes de la industria de alimentos y evaluación de la calidad agronómica del compost para su empleo en la restauración de suelos erosionados.
Código/s GIS estancias	-
Evaluación Riesgos Laborales	No procede
Evaluación Ética	No procede
Registro provisional	220606225602
Código de Investigación Responsable	TFM.MGT.CPG.DCMB.220606
Caducidad	2 años

Una vez atendidas las observaciones/condiciones mencionadas en el informe adjunto del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales, en caso de que las hubiera, se considera que el presente proyecto/contrato/prestación de servicios carece de riesgos laborales significativos para las personas que participan en el mismo, ya sean de la UMH o de otras organizaciones y, por tanto, es conforme.

La necesidad de evaluación ética del trabajo titulado: **Compostaje de los lodos procedentes de la industria de alimentos y evaluación de la calidad agronómica del compost para su empleo en la restauración de suelos erosionados.** ha sido realizada en base a la información aportada en el formulario online: "TFG/TFM: Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR)" y "Condiciones de prevención de riesgos laborales" (si procede). Es importante destacar que si la información aportada en dichos formularios no es correcta este informe no tiene validez.

Por todo lo anterior, **se autoriza** la realización de la presente actividad.

Atentamente,

Alberto Pastor Campos
Secretario del CEII
Vicerrectorado de Investigación

Domingo L. Orozco Beltrán
Presidente del CEII
Vicerrectorado de Investigación

Información adicional:

- En caso de que la presente actividad se desarrolle total o parcialmente en otras instituciones es responsabilidad del investigador principal solicitar cuantas autorizaciones sean pertinentes, de manera que se garantice, al menos, que los responsables de las mismas están informados.
- Le recordamos que durante la realización de este trabajo debe cumplir con las exigencias en materia de prevención de riesgos laborales. En concreto: las recogidas en el plan de prevención de la UMH y en las planificaciones preventivas de las unidades en las que se integra la investigación. Igualmente, debe promover la realización de reconocimientos médicos periódicos entre su personal; cumplir con los



procedimientos sobre coordinación de actividades empresariales en el caso de que trabaje en el centro de trabajo de otra empresa o que personal de otra empresa se desplace a las instalaciones de la UMH; y atender a las obligaciones formativas del personal en materia de prevención de riesgos laborales. Le indicamos que tiene a su disposición al Servicio de Prevención de la UMH para asesorarle en esta materia.

La información descriptiva básica del presente trabajo será incorporada al repositorio público de Trabajos fin de Grado y Trabajos Fin de Máster autorizados por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández en el curso académico 2020/2021. También se puede acceder a través de <https://oir.umh.es/tfg-tfm/>



Agradecimientos

A la Universidad Miguel Hernández por abrir un programa formativo de calidad y excelencia que me permitirá contribuir en la mejora de metodologías y procedimientos referente a la gestión y tratamiento de residuos orgánicos, a mi tutora Concepción Paredes Gil por la guía y dirección para el desarrollo de este proyecto además de su apertura permanente a pesar de la distancia, a mi Cotutora y amiga Pavlova Sigcha, así como a la dirección de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas, el profesor Yasser González, por permitirme regresar a mi alma mater y hacer uso de los laboratorios e instalaciones para el desarrollo experimental del proyecto de investigación, además del soporte brindado permanentemente, a mi empresa ECO CRA S.A. por permitirme trabajar en lo que me gusta y abrir un nuevo frente de investigación en la temática de valoración de residuos, tan necesario para el desarrollo del país, a mi familia y esposa por el apoyo y paciencia brindado mientras dedicaba mi tiempo al estudio, siempre serán el pilar de mi desarrollo profesional.

Diego.

Compostaje de los lodos procedentes de la industria de alimentos y evaluación de la calidad agronómica del compost para su empleo en la restauración de suelos erosionados.

Índice del Trabajo Fin de Máster:

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. RESIDUOS DE LAS INDUSTRIAS DE ALIMENTOS	10
1.1.1. Situación del sector de producción de alimentos en el Ecuador.....	10
1.1.2. Origen de los residuos de la industria de alimentos.	11
1.1.3. Características de los residuos de la industria de alimentos.....	12
1.1.4. Producción y destino de los residuos de la industria de alimentos.....	13
1.2. Residuos del sector florícola y maderero.	15
1.2.1. Situación del sector de los residuos florícolas y maderero en Ecuador...15	
1.2.2. Origen de los residuos florícolas y madereros.	18
1.2.3. Características, producción y destino de los residuos florícolas y madereros.....	19
1.3. Compostaje	20
1.3.1. Definición y etapas del proceso20	
1.3.2. Factores de control del proceso de compostaje.....	23
1.3.3. Sistemas de compostaje.....	27
1.3.4. Evaluación de la calidad del compost y normativa aplicable28	
1.4. Restauración de suelos degradados	35
1.4.1. Importancia de la materia orgánica del suelo35	
1.4.2. Factores de degradación de suelos en Ecuador36	
1.4.3. Uso de compost para la rehabilitación de suelos degradados38	
2. OBJETIVOS	39
2.1. GENERAL	39
2.2. ESPECÍFICOS	39
3. MATERIAL Y MÉTODOS	40
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL	40
3.2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL	40
3.2.1. Características de los residuos utilizados40	
3.2.2. Dispositivo de compostaje utilizado44	

3.2.3. Ensayo de la aplicación de compost para la restauración de un suelo degradado.	46
3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	47
3.4. PARÁMETROS ANALIZADOS Y MÉTODOS UTILIZADOS	49
3.5. MÉTODOS ESTADÍSTICOS	57
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS INICIALES.....	61
4.2. EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	65
4.3. CARÁCTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL COMPOST SEMIMADURO Y DEL COMPOST MADURO.....	69
4.4. CONTENIDOS DE METALES PESADOS Y PRESENCIA DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN EL COMPOST MADURO Y SEMIMADURO.....	72
4.5. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE COMPOST EN LAS PROPIEDADES DE UN SUELO DEGRADADO	75
5. CONCLUSIONES.....	82
6. BIBLIOGRAFÍA.....	85
7. ANEXOS.....	94
ANEXO 1. ANOVA MATERIAS PRIMAS.....	94
ANEXO 2. ANOVA TIPO DE COMPOST.....	97
ANEXO 3. ANOVA INCUBACIONES	105

1. INTRODUCCIÓN

1.1. RESIDUOS DE LAS INDUSTRIAS DE ALIMENTOS

1.1.1. Situación del sector de producción de alimentos en el Ecuador

Ecuador, pequeño país de América del Sur, con tan solo una extensión de 283.562 km², con 4 regiones biogeográficas que lo incluyen dentro de los 12 países más biodiversos del mundo, con una locación geográfica que también beneficia la diversidad agropecuaria, capaz de tener productividad los 12 meses del año y por lo cual se han venido realizando cambios en el uso de suelo al ampliar la frontera agrícola y transformar los suelos de conservación en suelos agrícola productivos. (*Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022*)

En cuanto a estructura agrícola existen 2 divisiones; la Agricultura empresarial que concentra el 80% de la tierra, utiliza el 63% de agua de riego y genera un abuso en cuanto al uso de agroquímicos, sin embargo, es uno de los sectores de mayor crecimiento y desarrollo agroindustrial con la transformación de la materia prima. Por otro lado, existe la división de Agricultura Familiar que concentra el 20% de la tierra, utiliza el 37% de agua para riego y se dedica principalmente a la siembra para autoconsumo o para la reventa a mayoristas que proveen a las principales industrias de procesamiento o exportación. (Carrillo, 2009)

Debido al incremento en la demanda de productos alimenticios procesados a nivel mundial y local, el consumo de alimentos y su industria tienen una relevancia particular dentro del desarrollo económico nacional. Según las cuentas nacionales aparte de la producción petrolera la industria de alimentos y bebidas representa un considerable aporte al PIB (7.83%), dentro del valor agregado de la industria de alimentos, la producción, procesamiento y conservación de productos cárnicos representa el 14.6%, mientras que la elaboración de bebidas representa el 5.9%. (Banco Mundial, 2019)

1.1.2. Origen de los residuos de la industria de alimentos.

Los residuos de la industria de alimentos provienen del procesamiento de materias primas, así como de los procesos productivos para su transformación y generación de subproductos que serán finalmente colocados en la cadena de abastecimiento alimenticio. La transformación de materias consecuentemente genera desperdicios que no pueden ser aprovechados como valor agregado para el producto terminado, los desperdicios pueden ser de tipo sólido y/o líquido, ambos provienen del acondicionamiento de las materias primas recibidas, así como del lavado de pisos, máquinas y equipos, los residuos sólidos son separados y gestionados de acuerdo a su clasificación, sin embargo los residuos líquidos son normalmente conducidos a plantas de tratamiento de agua residual para poder ser tratados y descargados, dentro de las industrias de alimentos el agua residual puede arrastrar consigo materia orgánica (aceite, grasa, detergentes, entre otros), los cuales serán posteriormente tratados bajo diferentes métodos de acuerdo a sus concentraciones en el agua. (Pon, 2019)

Los lodos residuales han significado un importante reto a ser solucionado desde la revolución industrial, donde se da paso al inicio de propuestas para dar respuesta a esta problemática, la misma que nace gracias a la solución del tratamiento de aguas residuales provenientes del procesamiento de diferentes industrias, entre ellas, la alimenticia, sin embargo el desafío desde hace ciertas décadas hasta la actualidad ha sido identificar, enfatizar y priorizar el tratamiento de las aguas residuales industriales y los subproductos como el lodo residual, que aún es generado a pesar del constante desarrollo de tecnologías en el medio. (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA), 2022).

Sin embargo este subproducto generado a partir de la remediación del agua residual, llamado lodo por su consistencia, no ha sido estipulado como un producto a ser tratado sino como un residuo a ser desechado; es entonces cuando el lodo residual se convierte en un nuevo reto a resolver con la intención de disminuir su volumen de obtención o de ser el caso realizar una

consecuente gestión para un tratamiento adecuado y un posible aprovechamiento que disminuya la probabilidad de que termine dentro de un vertedero o peor aún en botaderos clandestinos. (Sánchez et al., 2009)

Hoy en día, gracias a reformas y nuevas políticas públicas nacionales se obligan a las industrias a gestionar sus residuos sólidos de acuerdo con una caracterización previa y el tipo de residuo generado, de acuerdo con el tipo de agua residual tratada o actividad productiva, lo cual contribuye a identificar, clasificar y disponerlos adecuadamente, sin embargo, no se estipula su valorización, tampoco se fomenta una estabilización y posterior aprovechamiento.

1.1.3. Características de los residuos de la industria de alimentos.

Los residuos pueden ser de tipo;

- ***Peligroso o especial***

Los residuos peligrosos son desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos que resultan de procesos productivos y que contengan algún compuesto con características (C.R.T.I.B) Corrosivo, Reactivo, Tóxico, Inflamable y Biológicamente infeccioso y que puede representar un riesgo para la salud humana, los recursos naturales o el medio ambiente en general.

Por otro lado, el residuo especial no necesariamente puede contener componentes peligrosos y se lo considera especial por su volumen y necesidad de gestión por parte de gestores calificados (llantas, escombros, lodos). (Ministerio del Ambiente, 2014)

- ***No peligroso u orgánico***

Cualquier objeto, material o elemento sólido que no presenta características de peligrosidad (C.R.T.I.B) que no tienen un valor para quien lo genera pero que son susceptibles de aprovechamiento y transformación en un subproducto con un valor agregado.

En la industria de alimentos, este tipo de residuos provienen del procesamiento de los mismos, los cuales pueden ser obtenidos de manera directa o indirecta, se califican a los mismos como asimilables a domésticos ya que se los extrae de trampas de grasa, cenizas de molienda, desperdicios de material vegetal y no contienen productos tóxicos o peligrosos en su composición, sin embargo generan una problemática para las industrias por su pronta descomposición por lo cual podrían ser considerados como especiales por la cantidad generada y su necesidad inmediata de gestión. (*Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017*).

1.1.4. Producción y destino de los residuos de la industria de alimentos.

En el Ecuador no se cuenta puntualmente con una normativa clara en cuanto a la clasificación de residuos en la fuente o el tratamiento estipulado, como se mencionó con anterioridad se los gestiona en caso de que los mismos sean de tipo peligroso o especial, sin embargo la competencia de normativa y regulación en cuanto a control para el tratamiento de residuos se los otorga a la mayoría de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, es decir los municipios gestionan de manera directa los residuos, hasta el año 2020 el 78,6% de los municipios gestionaban sus propios residuos (INEC, 2020), los cuales en los últimos años se los representa en la figura 1.

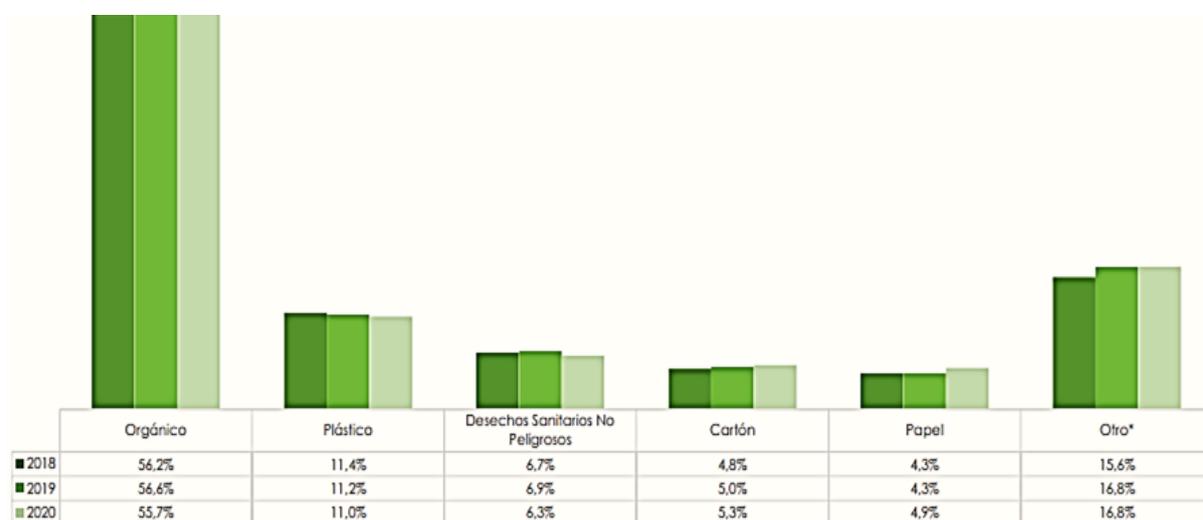


Figura 1. Caracterización de los residuos sólidos del área urbana (%) en el periodo 2018-2020 (INEC, 2020)

Estos residuos serán dispuestos en rellenos sanitarios, cabe mencionar que no todos cuentan con sistemas adecuados de control para calificarse como un sitio tecnificado para el tratamiento de residuos, pueden disponerse en celdas emergentes, básicamente son fosas técnicamente diseñadas donde se disponen temporalmente los residuos no peligrosos, estas celdas deberán contar con una cobertura y compactación de manera diaria, por último la última opción de disposición de los residuos y quizás la menos favorable para el ambiente es el botadero, lo que básicamente corresponde a un depósito de desechos, normalmente a cielo abierto, sin que se aplique normas para la protección al ambiente, con muy poco orden y control técnico. En el Ecuador se puede apreciar el porcentaje de disposición en la figura 2.

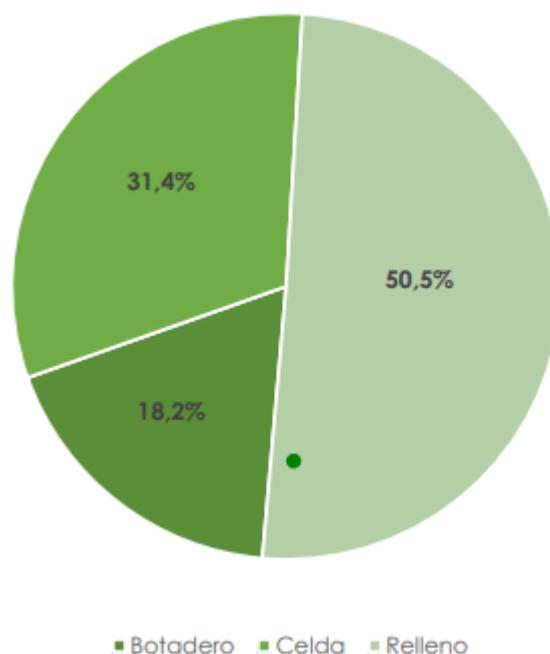


Figura 2. Disposición final de los residuos sólidos (%) (INEC, 2020)

En cuanto a gestión de los residuos, a pesar de tener leyes que estipulan la gestión de los residuos de acuerdo con su clasificación como el Acuerdo Ministerial 0.61, en su "Reforma al TULSMA Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente, Título III, Capítulo VI, Sección I, Gestión Integral de residuos y/o desechos sólidos no peligrosos" la mayoría de municipios no cuentan con gestores calificados que realicen esos trabajos, motivo por el cual los propios Gobiernos Autónomos son quienes se

hacen cargo de la gestión de los mismos, sin otorgar ningún tratamiento posterior para revalorizar los residuos especiales como los lodos de plantas de tratamiento o los residuos orgánicos.

El objetivo de los gestores calificados, especialmente de residuos orgánicos y especiales (lodos) debe ser recolección, transporte y recuperación residual de las principales industrias de alimentos a nivel nacional, con la finalidad de reducir la carga contaminante del residuo en los rellenos sanitarios, cooperar en la disminución de la huella de carbono de estas industrias y convertir este tipo de residuos en materia prima apta para ser reinvocada en otros procesos productivos, fomentando la economía circular y promoviendo el bienestar de los individuos miembros de la sociedad.

1.2. Residuos del sector florícola y maderero.

1.2.1. Situación del sector de los residuos florícolas y maderero en Ecuador.

Según un análisis desarrollado por el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca realizado a Mayo 2021, el sector florícola se encuentra dentro de los 5 principales productos de exportación no petrolera, demostrando la importancia productiva de este sector a nivel nacional, con un crecimiento anual del 3%, representado en la figura 3

5 PRINCIPALES PRODUCTOS DE EXPORTACIÓN NO PETROLERA



Figura 3. Principales productos de exportación no petrolera (Lucio-Paredes et al., 2021)

La importancia del sector florícola en el país se representa en la figura 4, donde se puede apreciar que a pesar de tener apenas 3 picos importantes de exportación de manera anual (febrero, mayo diciembre), para el año 2020 representó una participación del 0.82% del PIB total, para el mismo año, la superficie de cosecha de flores fue de 4,930 hectáreas, abarcando una producción de 3,779,94 millones de tallos, dominando la especie rosa, con el 67% del porcentaje en producción nacional de este sector. (*Corporación Financiera Nacional, 2021a*)



Figura 4. Exportaciones realizadas por la industria florícola en el año 2019 (*Expoflores, 2019*)

Considerando que, al tener una mayor cantidad de producción, se tendrá también una mayor cantidad de residuos, hay que destacar que el sector, es uno de los mayores generadores de residuos orgánicos, peligrosos y especiales debido a la actividad económica y el giro del negocio.

En cuanto a los residuos orgánicos florícolas normalmente son dispuestos en algún espacio libre y se los deja descomponer con el pasar del tiempo, se ejecutan muy pocos programas de aprovechamiento de este tipo de material, considerando que los cultivos de rosas producen 40 kg/mes/ha de residuos (Vinuesa y Moreno, 2013) y la producción de 4.930 ha/año, tenemos un volumen anual residual de 2.366.400 kg/año, bastante materia orgánica por ser aprovechada.

Por otro lado, la industria forestal en el Ecuador, de momento no es una industria significativa en cuanto a producción para exportación y tampoco para consumo nacional, representado en el PIB del sector (figura 5), debido a los altos costos, una falta de cultura en la utilización de este recurso, la baja renta

per cápita y la crisis económica de los últimos años. Cabe recalcar que según datos del Banco Central del Ecuador las exportaciones de madera (materia prima) se posicionan frente a la madera procesada o industrializada. (Sánchez et al., 2020)

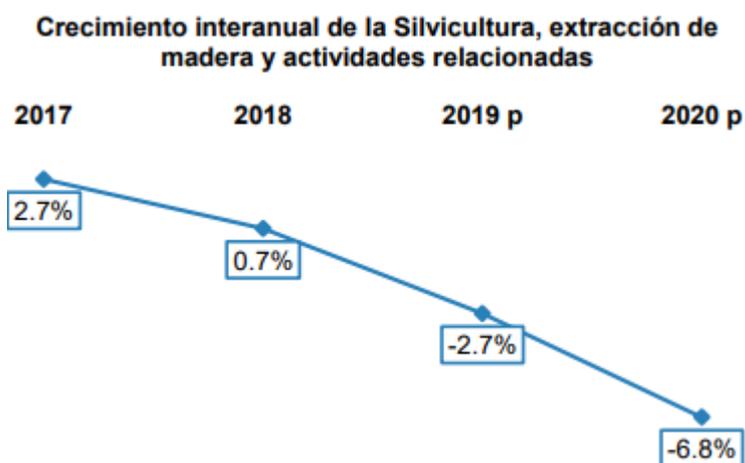


Figura 5. Crecimiento anual de la industria maderera (Corporación Financiera Nacional, 2021b)

A pesar de que la industria ha logrado desarrollarse en diversos niveles tecnológicos, el procesamiento de madera recae en unas pocas empresas, uno de los fines comerciales de mayor ventaja en la industria son principalmente los tableros. (COMAFORS, 2022), es justamente este procesamiento el encargado de generar diferentes tipos de residuos que pueden ser aprovechados para otros procesos.

Tomando en cuenta que, en el Ecuador, el promedio real de aprovechamiento en un porcentaje optimista es del 10%, del volumen productivo, es decir existe un 90% del volumen del sector que es un desperdicio. (López y Muñoz, 2017)

Una de las alternativas de manejo de los residuos generados en el procesamiento de madera se enfoca en su aprovechamiento a través del reciclaje o reutilización de los mismos debido a su forma aprovechable, como biomasa, como energía o incluso para seguir desarrollando subproductos, todo dependerá de la presentación del material residual, precisamente el deshecho menos aprovechable localmente proviene de las fibras exteriores del pelado de la madera, debido a contener diámetros largos, humedad y poco interés o necesidad de ser aprovechado. (Cadme y Reyes, 2021)

1.2.2. Origen de los residuos florícolas y madereros.

Los residuos florícolas se originan principalmente por los tallos, hojas, flores de descarte, como resultado de las actividades diarias de poda, cosecha y post cosecha, así como por la renovación de cultivos, lo cual equivale al 6,02% del total de residuos por cada año, tomando en cuenta los 40kg/mes/ha se habla de (1,920 toneladas residuales por año). Las características principales de estos residuos son: pH ácido, bajo valor de Conductividad Eléctrica, elevada relación Carbón/Nitrógeno y elevados contenidos de humedad como de materia orgánica. (Riera et al., 2018).

Mientras que los residuos madereros provienen principalmente de fuentes primarias procesamiento de madera para generación de papel, madera en rollo, paneles o tableros laminados, contrachapados, entre otros subproductos primarios para continuar con un procesamiento secundario normalmente hacia aserraderos para cortes menores y fabricación de muebles o carpintería, los residuos como el aserrín o la viruta pueden ser nuevamente empleados en las fuentes primarias como materia prima en la industria de la celulosa, tableros agregados, generación de energía o incluso para diferentes usos agropecuarios. (Manzanares et al., 2007)

Sin embargo en el procesamiento primario se genera también corteza o polvo de aserrín (ceniza) proveniente de los calderos a los cuales de momento no se le encuentra un campo ideal para la reutilización dentro de otro proceso productivo, especialmente la corteza o fibra que se origina en la preparación de los troncos para su posterior corte la fibra se compone de material lignocelulósico y con un contenido de humedad entre 40-50% y a diferencia del aserrín o viruta que es involucrado nuevamente en flujos de producción a este material se considera un desperdicio. (Gualpa Calva et al., 2018)

1.2.3. Características, producción y destino de los residuos florícolas y madereros

El follaje es el principal residuo proveniente del sector florícola, además de tallos y raíces de postcosecha, la humedad de los residuos florícolas frescos oscilan entre el 40-70% y normalmente se forman montículos de estos residuos para esperar que se decompongan de manera natural, se agrega algo de agua, algunas industrias previamente pican el material, lo humedecen y lo cubren, sin embargo no se les presta la atención correspondiente ni las técnicas adecuadas para ser compostados, el compostaje de estos materiales, no genera un interés adecuado debido a que la producción generada, no representa un porcentaje significativo ni equitativo para un consumo posterior.

Es preferible para los productores gestionar los residuos de manera gratuita antes que invertir recursos y tiempo en el procesamiento de esta materia prima, es el caso de una de las mayores compañías de producción florícola del Ecuador, con cerca de 300 hectáreas de producción florícola, contratan un gestor que se haga cargo de sus residuos orgánicos realizando la recolección y el transporte de lunes a viernes un volumen aproximado de 20m³ al día de cada finca productora. (Betancourt, 2022)

Mientras que la industria forestal genera corteza, proveniente del pelado de los árboles, con una humedad entre el 40-50% y una densidad de 250-350 kg/m³, en el aserrín la humedad también se coloca entre el 40-50%, mientras que la viruta presenta una forma mucho más ancha y una humedad entre el 7-15%, ambos residuos contienen un alto poder calórico, con bajas densidades cuando no se compactan.

Para el presente estudio se empleó residuos forestales de tipo corteza, provenientes de una de las mayores industrias de procesamiento primario forestal, dedicada a la elaboración de paneles y aglomerados, esta industria reutiliza la mayoría de sus residuos generados en el proceso para la generación de subproductos, sin embargo no han encontrado aún la solución para el reaprovechamiento de la corteza, de manera actual la apilan al aire libre y lo gestionan gratuitamente con gestores calificados que tengan interés por el

material, los mismos deberán hacerse cargo de la recolección y transporte, además demostrar cuál será la actividad para la cual se la gestiona, en el caso del presente estudio es para añadirlo como material estructurante a los lodos residuales.(Betancourt, 2022).

1.3. Compostaje

1.3.1. Definición y etapas del proceso

El compostaje es un proceso biológico, dinámico y aerobio cuyo principal objetivo es la descomposición de la materia orgánica, logrando una transformación en minerales gracias a la interacción de microorganismos en diferentes fases, dando como resultado un producto estable y humificado apto para utilizarlo en los suelos (*Moreno Casco y Moral Herrero, 2008*)

Para que un proceso eficiente de compostaje se lleve a cabo se necesita de material orgánico, el cual servirá de alimento para la población microbiana, constituida por bacterias, hongos y actinomicetos, además de condiciones óptimas y equilibradas (aire/agua, nutrientes) para que esta se desarrolle y logre cumplir con sus actividades sinérgicas respectivas. El compostaje es por tanto una compleja interacción entre los residuos orgánicos, microorganismos, aireación y liberación de gases, vapor de agua y calor, como resultado del metabolismo microbiano.(Moreno Casco y Mormeneo Bernat, 2008).

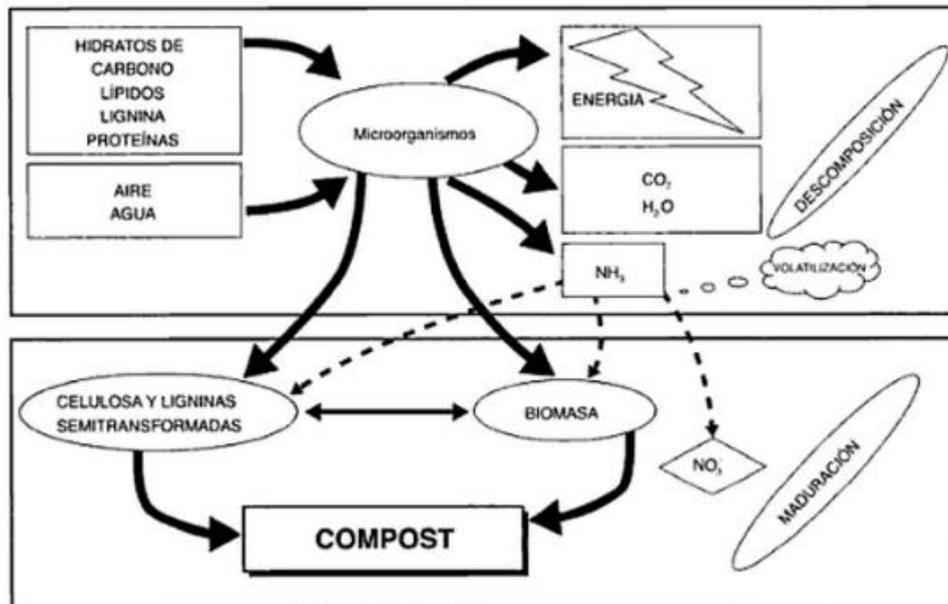


Figura 6. Esquema del proceso de compostaje. (Moreno-Casco y Moral Herrero, 2008).

Las etapas del proceso de compostaje están determinadas de acuerdo con las variaciones térmicas según la intensidad de la actividad microbiana y su disponibilidad para los sustratos y consiste en 2 fases con sus consiguientes etapas.

- **Fase de descomposición o biooxidativa:** Existe un crecimiento de las poblaciones microbianas para la descomposición de la materia orgánica, consta de 3 etapas. (Stehouwer et al., 2022)
 - o Etapa mesófila inicial: existe un incremento rápido de temperatura (10-40 °C, se degradan los compuestos orgánicos simples de fácil degradación (azúcares y aminoácidos) bajo la acción principal de bacterias y hongos mesófilos, se genera también una caída del pH debido a la producción de ácidos grasos, una vez que se superan los 40°C se da inicio a la siguiente etapa.
 - o Etapa termófila: Existe una proliferación exclusiva de microorganismos termotolerantes, tales como actinomicetos, en particular estreptomicetos y diversos Bacillus Spp, en esta etapa se generan temperaturas entre 40-70°C y se metabolizan

azúcares, lípidos y proteínas, incrementando la liberación de amoníaco con su consiguiente alcalinización, debido a las altas temperaturas se asegura la higienización del proceso por la destrucción de microorganismos patógenos, especialmente cuando se superan los 60°C, sin embargo este incremento de temperatura también limita el suministro de oxígeno, disminuye la actividad microbiana y como consecuencia se genera una caída en la temperatura, dando paso a la siguiente fase.

- Etapa mesófila final o de enfriamiento: se inicia la descomposición de la celulosa y hemicelulosa, esta etapa se caracteriza por el crecimiento de una nueva comunidad de microorganismos mesófilos que recolonizan los bordes de las pilas, predominan hongos y actinomicetos, capaces de degradar compuestos complejos, en esta fase además de la oxidación de la materia orgánica, también se procede a la oxidación de hidrógeno, amonio, nitrito y sulfuros.(Moreno Casco y Mormeneo Bernat, 2008)

- **Fase de maduración:** En esta fase el pH y la temperatura se estabilizan, el producto final suele tener un color marrón oscuro o negro, los componentes iniciales ya no se reconocen y un olor característico a tierra húmeda, existe una menor actividad microbiana y escasez de nutrientes, dando paso a la formación de macromoléculas estables (Moreno Casco y Moral Herrero, 2008)

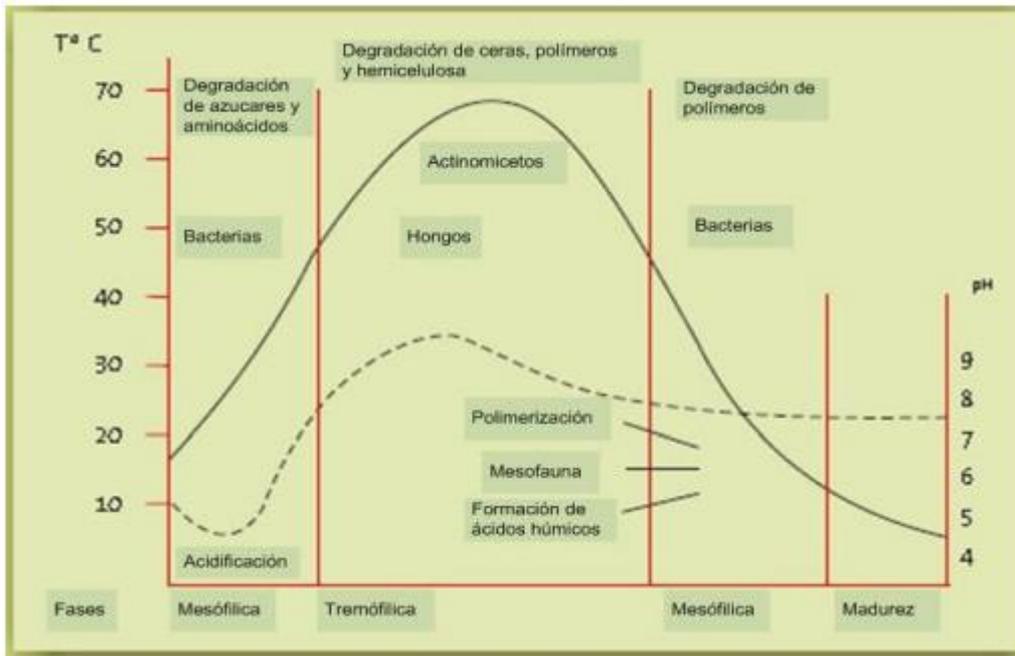


Figura 7. Evolución de temperatura y pH durante el proceso de compostaje (El compostaje de residuos orgánicos, 2022).

1.3.2. Factores de control del proceso de compostaje

Los factores de control en el proceso del compostaje van ligados con la eficiencia y condiciones de vida de los microorganismos, que durante su ciclo de vida metabolizan los residuos para transformarlos en nutrientes, los principales parámetros pueden ser de 2 tipos, de seguimiento al proceso y relativos a la naturaleza del sustrato. (Stehouwer et al., 2022)

Parámetros de seguimiento al proceso de compostaje

- pH

El pH del material tiene una influencia directa sobre la vida y la dinámica de la actividad microbiana, aunque muchos de los microorganismos soporten ciertos rangos, la mayoría requiere que se sostenga valores entre 5 – 7,5, valores inferiores son tóxicos para ciertos microorganismos y valores superiores no solo afecta a los microorganismos sino también afecta los equilibrios ácido-base que influyen en la preservación del nitrógeno. (Rynk et al., 2022).

La supervivencia de los microorganismos está definida por el pH. Un pH de 6,0-7,5 produce mayor actividad bacteriana, mientras que la mayor actividad

fúngica se produce entre 5,5-8,0. El rango ideal para el proceso de compostaje es de 5,8 a 7,2 (Moreno Casco y Moral Herrero, 2008)

- Aireación

El compostaje es un proceso desarrollado por microorganismos aeróbicos. Por lo cual, es importante el acceso a oxígeno libre a todo el material en tratamiento y este parámetro dependerá directamente de la aireación generada de este modo se facilitará la proliferación de los microorganismos. Una aireación insuficiente llevará al proceso a una etapa anaerobia, con retardo en la descomposición, además de la aparición de malos olores, por otro lado, un exceso de aireación provocará el enfriamiento de la masa, una alta desecación y la reducción de la actividad metabólica de los microorganismos.

Las necesidades de oxígeno son diferentes en cada fase del compostaje. En fase mesófila y en el inicio de la fase de termófila, el crecimiento microbiano es más rápido por lo tanto la cantidad de oxígeno suministrado debe ser mayor. En la fase de maduración el oxígeno no suele constituirse un factor limitante, ya que la actividad microbiana se reduce notablemente. (Michel et al., 2022a).

- Temperatura

Condiciona el proceso del compostaje, la influencia de la actividad microbiana se regula mayoritariamente por la temperatura que por la humedad, pH o relación C/N, nos permite conocer la eficiencia y el grado de estabilización del proceso. El rango ideal de temperatura corresponde entre 15-40°C para la fase mesófila y 40-70°C para la fase termófila.

Altas temperaturas contribuyen a eliminar organismos patógenos y parásitos termolábiles, pero también puede causar la muerte de organismos favorables para el desarrollo del compostaje. La destrucción de patógenos durante la fase termófila asegura la higienización futura del material.

Tabla 1. Tiempo y temperatura para destrucción de patógenos. (Monteguano Paredes, 2019)

Organismo	Temperatura y tiempo de exposición
<i>Salmonella sp.</i>	Se destruye al exponerse a 60 min a 55° C o 15-20 min. a 60° C.
<i>Salmonella typhosa</i>	Son suficientes 30 min. a 55-60° C para su eliminación.
<i>Shigella sp.</i>	Se destruye al exponerse 1 hora a 55° C.
<i>Escherchia coli</i>	La mayoría mueren con una exposición de 1 hora a 55° C o 15-20 min. a 60° C.
<i>Tennia saginata</i>	Se elimina en unos pocos minutos a 55° C.
<i>Larvas de Trichinella spiralis</i>	Mueren instantáneamente a 60° C

<i>Brucella abortus</i>	Se elimina con exposiciones a 63° C durante 3 min. o a 55° C durante 60 min.
<i>Micrococcus pyogens var. Aureus</i>	Muere después de 10 min. de exposición a 50° C
<i>Streptococcus pyogens</i>	Muere después de 10 min. a 54° C
<i>Mycobacterium tuberculosis var. Hominis</i>	Muere después de 15-20 min. a 66° C o instantáneamente a 67° C
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Se elimina por exposición durante 45 min. a 55° C
<i>Huevos de Ascaris lumbricoides</i>	Mueren en menos de 1 hora a temperaturas superiores a 55° C

- Humedad

La humedad es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y los desechos en las reacciones del proceso de compostaje, se encuentra estrechamente relacionada con la temperatura ya que pequeñas variaciones de humedad influyen en la temperatura, la saturación de agua en los poros del material provocará una deficiente conducción de oxígeno y otros gases generados en la reacción del compostaje. Esta variable se encuentra estrechamente relacionada con el contenido de aire en los poros, por lo cual se debe controlar que los materiales a ser compostados contengan una porosidad adecuada (mayor al 20% en relación volumen/volumen)

Se considera una humedad óptima entre el 40-60%, valores inferiores a 30% frenaran la actividad, mientras que valores mayores al 70% generaran una obstrucción en los poros evitando la difusión de oxígeno por el material, podría originar condiciones anaerobias y un lavado de nutrientes por lixiviación.

Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato.

- Tamaño de la partícula

Factor determinante para la optimización del proceso a compostar, mientras los microorganismos tengan una mayor área o superficie de contacto con el residuo, el tiempo de degradación del material será más rápida y completa, los rangos recomendados del diámetro de partículas son entre 1-5cm (Michel et al., 2022b).

- Relación C/N

Para un correcto proceso de compostaje la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Por cada parte de nitrógeno normalmente los microorganismos utilizan entre 25 y 30 partes de carbono, por esta razón se considera una relación ideal C/N para el compostaje de un residuo entre 25/1 - 35/1.(Stehouwer et al., 2022)

El proceso de compostaje será lento si el material de partida contiene demasiado carbono (relación C/N mayor a 40), la insuficiencia de N disponible para la síntesis proteica provocará un decrecimiento microbiano, por lo tanto, los micoorganismos deberán oxidar el exceso de C en forma de CO₂, desacelerando el proceso. Si, por el contrario, el material contiene demasiado Nitrógeno, la relación es baja y se producirá pérdida de este elemento en forma amoniacal. Se considera un compost estabilizado cuando esta relación se encuentra menor a 20. (Monteguano Paredes, 2019)

- Conductividad eléctrica

Se encuentra determinada por la naturaleza y composición de los materiales residuales de partida, esencialmente por la concentración de sales del material inicial y en menor medida por la mineralización de la materia orgánica durante

el proceso. La conductividad tiende a ir en aumento durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, mientras que la reducción de la conductividad puede verse influenciada por una excesiva humedad y la consecuente lixiviación.(Rynk et al., 2022)

1.3.3. Sistemas de compostaje

Existen diferentes métodos de compostaje dependiendo las tecnologías aplicadas, desde sistemas sencillos hasta automatizados que permiten el tratamiento de un gran volumen de residuos sólidos. En general, el diseño y las características de los sistemas de compostaje dependen de factores como el tiempo del proceso, materiales a compostar, presupuesto, área de tratamiento.

La clasificación de los sistemas depende del aislamiento exterior al material a compostar, lo cual significa la provisión de oxígeno al sistema, en la tabla 2 se lo puede apreciar con mayor detalle.

Tabla 2. Sistemas de compostaje: (Pérez y Morales, 2008)

Sistemas de compostaje	
Movilidad del material (Dinámicos, estáticos)	
Forma Física (Pilas, trincheras, zanjas)	
Aislamiento del exterior	
Sistema Abierto	Sencillos, de bajo costo, y de tecnología sencilla, se dividen en: apilamiento por volteo y aireación forzada, apilamiento por volteo y pilas estáticas aireadas
Sistema semicerrado	Las operaciones se llevan a cabo dentro de una estructura cubierta y cerrada, con extracción de aire y el paso por biofiltros, estos sistemas están diseñados para ser instalados en las cercanías de la población, la forma más usual es mediante trincheras, el material se coloca entre

	paredes y se lo voltea de diversas maneras, bajo sistemas combinados de aireación forzada, lechos horizontales y agitados.
Sistema cerrado	Los materiales para compostar nunca están en contacto con el ambiente exterior, el contacto se produce mediante conductos o turbinas, se controlan y registran variables con la finalidad de optimizar el proceso, normalmente se emplean mecanismos herméticos como tambores rotatorios, túneles o contenedores aireados

1.3.4. Evaluación de la calidad del compost y normativa aplicable

La calidad del compost dependerá del control en todas las etapas del proceso de compostaje ya que nos permitirá conocer la eficacia del proceso, la madurez de este y decidir acerca de su aplicabilidad. Considerando que el proceso de compostaje tiene una amplia gama en cuanto a la mezcla de diversos materiales, los cuales pueden influir directamente en la afectación de los parámetros determinantes del grado de madurez del producto terminado, se debe escoger y previamente analizar las características de los componentes a ser aplicados. (Pérez y Morales, 2008)

Los métodos de evaluación del grado de madurez del compost se pueden clasificar en los siguientes (Tabla 3):

Tabla 3. Métodos de evaluación del grado de madurez del compost. (Stehouwer et al., 2022)

Métodos físicos	
Olor: El ácido Butírico y Acético, son los responsables del olor fermentativo, característico de los residuos, va desapareciendo durante el proceso de compostaje, por lo tanto, la presencia del olor es un indicador de que aún no se alcanza la madurez.	
Temperatura: Mientras las fases del compostaje se encuentran en desarrollo, la temperatura tiende a aumentar debido a la actividad microbiana hasta lograr estabilizarse, lo cual es un indicador de que el compost ha ingresado en la fase de maduración hasta alcanzar la temperatura ambiente. La prueba de autocalentamiento o test de Dewar es un método de control empleado para realizar un seguimiento de este parámetro.	
Color: En el transcurso del proceso de compostaje existe un oscurecimiento gradual debido a la formación de grupos cromóforos, como método de control se puede emplear la evaluación colorimétrica como mecanismo de evolución de este parámetro.	
Métodos basados en la evolución de parámetros de la biomasa microbiana	
Cuantificación de la microbiota	Debido a la disminución de la biomasa microbiana al final del proceso de compostaje se puede emplear un mecanismo de conteo de microorganismos como un parámetro de control de la madurez del compost.
Métodos respirométricos	De manera sencilla y rápida se puede emplear un método para determinar la cantidad de Oxígeno consumido o a su vez de Dióxido de Carbono producido. La prueba comercial de

	Solvita permite medir la evolución del CO ₂ y la emisión de amoniaco.
Parámetros Bioquímicos	Varios estudios han comprobado una correlación entre la concentración del ATP con la evolución de la temperatura y la actividad de enzimas hidrolíticos, se puede determinar que la actividad deshidrogenasa como un índice de madurez universal.
Análisis de sustancias orgánicas fácilmente degradables	Relación existente entre el carbono orgánico total (COT) (representando todos los compuestos orgánicos del compost) y el porcentaje de carbohidratos solubles en agua caliente, proponiendo como grado de madurez el índice de degradabilidad (ID)
Métodos químicos	
Relación C/N en fase sólida (Cot/Not)	Probablemente el indicador más común en torno a la madurez del compost sugiere un valor inicial de 30 y un final menor a 20. Los suelos con un contenido de materia orgánica altamente humificada otorgan un valor aproximado a 10
Relación amonio/nitratos	Un indicador de madurez del compost es la presencia significativa de nitratos, en un compost suficientemente maduro se establece

	un valor menor a 0.16
Capacidad de intercambio Catiónico	Alcanza diferentes valores según la procedencia del sustrato, sin embargo, aumenta progresivamente conforme avanza la humificación de la materia orgánica.
Presencia de compuestos reductores	Compuestos como amoníaco y ácido sulfhídrico indican un compost inmaduro, se puede emplear nuevamente la prueba comercial Solvita para determinar estos parámetros.
Métodos Biológicos	
Ensayos para determinar la presencia de compuestos fitotóxicos en el compost debido a la inhibición de crecimiento vegetal en el mismo, los métodos más comunes son:	
Test de Germinación o Test de Zuconni	Calcula el índice de germinación de semillas de berro o lechuga a ciertas condiciones en laboratorio, donde se determina el porcentaje de germinación y la longitud media de las raíces. Un índice de germinación mayor a 80, indica la ausencia de fitotoxicidad.
Siembra directa	Se determina la germinación de semillas colocadas directamente sobre un sustrato que contenga compost en su composición.
Test de crecimiento	Evalúa el efecto del compost sobre distintos vegetales ejecutado en el

	cultivo de plantas en macetas.
--	--------------------------------

En cuanto a normativa aplicable acerca del tratamiento de residuos y/o aplicación de compost, en el Ecuador no existen políticas públicas establecidas de manera específica, sin embargo, se pueden acatar ciertas normativas como:

- **Constitución del Ecuador:** en su artículo 14, se reconocen los derechos de la naturaleza y el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

De igual forma en su artículo 264 establece que los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determina la ley: Prestar los servicios de agua potable..., manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley. (*Constitución República del Ecuador, 2021*)

- **Ley de la Prevención y Control de la Contaminación ambiental:** Contempla disposiciones de prohibición de contaminación del aire, agua y suelo, cuyas fuentes potenciales de contaminación se describen en la misma Ley, específicamente en el capítulo III de dicha ley, se contemplan las regulaciones en cuanto a la prevención y control de la contaminación de los suelos. (*Ley de prevención y control de la contaminación ambiental, 2004*).

- **Acuerdo Ministerial No. 061, Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA):** en su artículo 47 sobre las Políticas Nacionales de Residuos Sólidos establece que el Estado Ecuatoriano declara prioridad nacional la gestión integral de los residuos sólidos en el país. (*Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, 2015*)

En su artículo 55 describe la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos, como el conjunto de acciones y regulaciones que otorguen a los residuos sólidos no peligrosos el destino más apropiado desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental, además se

destacan las posibilidades de recuperación y aprovechamiento, así como de su comercialización.

En el artículo 57 se establecen las Responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, en el literal b) se establece la implementación de programas educativos para fomentar la cultura de la minimización de generación de residuos, separación en la fuente, reciclaje entre otros, en el literal d) se establece el fomento para la instalación y operación de centros de recuperación de residuos sólidos aprovechables, con la finalidad de promover el reciclaje. (Ministerio del Ambiente, 2014)

En cuanto a reglamento técnico se encuentra establecido el Reglamento Técnico 485:2016, donde se establecen las SUSTANCIAS QUÍMICAS. FERTILIZANTES Y ENMIENDAS PARA USO AGRÍCOLA. TOLERANCIAS Y LÍMITES PERMITIDOS PARA LA CONCENTRACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y CONTAMINANTES, donde en la tabla 1, apenas se definen ciertos límites máximos permisibles para enmiendas orgánicas detalladas en la tabla 4.

Tabla 4. Límites máximos permisibles, expresados en la tabla 1 del RT 285:2016 para enmiendas orgánicas. (Norma RTCR 228,1996)

Elemento	mg/kg
Cd	80
Pb	200
Cr	500
As	60
Hg	15

Por último, tenemos la norma técnica de suelo, donde en su anexo, tabla 1, se establecen criterios referenciales de la calidad del suelo para suelos recuperados que hayan sido previamente declarados como contaminados. (Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, 2015)

Al carecer de normativas específicas en cuanto a compost y/o recuperación de suelos degradados, es necesario recurrir a normativas internacionales para comparar límites máximos permisibles de los parámetros analizados en el presente estudio, para realizar una comparativa en el presente estudio me guiaré por el Real Decreto 506/2013 que establece los siguientes parámetros de interés.

Parámetro	Límites de concentración mg/kg de materia seca		
	Clase A	Clase B	Clase C
<i>Cadmio</i>	0,7	2	3
<i>Cobre</i>	70	300	400
<i>Níquel</i>	25	90	100
<i>Plomo</i>	45	150	200
<i>Zinc</i>	200	500	1000
<i>Mercurio</i>	0,4	1,5	2,5
<i>Cromo (total)</i>	70	250	300
<i>Cromo (VI)</i>	No detectable según métodos oficiales	No detectable según métodos oficiales	No detectable según métodos oficiales

Parámetro	Requisitos mínimos
Materia orgánica (%)	35
Humedad máxima (%)	40
Relación C/N	<20
E. Colli	<1000 NMP/g

1.4. Restauración de suelos degradados

1.4.1. Importancia de la materia orgánica del suelo

Se describe al suelo como la capa de materiales minerales y orgánicos que es capaz de cubrir la superficie terrestre y donde los organismos vegetales adquieren los nutrientes necesarios para su desarrollo. Está constituido por sustancias en estado sólido, líquido y gaseoso. La fracción sólida del suelo en su mayor composición es mineral, formada por la descomposición de la roca madre, además comprende una fracción orgánica, esencial para determinar la productividad del suelo, la cual está constituida por plantas y animales vivos o muertos, así como de sus residuos, podemos entonces definir al suelo como un organismo dinámico, “vivo” sujeto a una evolución permanente debido a interacciones naturales. (Docampo, 2012)

Por otro lado, a la materia orgánica se la conoce por una serie de compuestos, de diversas estructuras las cuales proceden de la descomposición total o parcial de células animales y/o vegetales, y que influyen directamente en las propiedades físicas y químicas del suelo. A pesar de componer apenas un pequeño porcentaje de la composición total del suelo, la presencia de la materia orgánica es imprescindible para la fertilidad de este y su aporte para el desarrollo de cultivos. (Nieto del Río, 2016).

La materia orgánica en el suelo funciona como enlace entre las propiedades biológicas, químicas y físicas de un suelo, cumple roles esenciales como el ciclo de los nutrientes, la retención de agua y el drenaje, el control de la erosión, la supresión de enfermedades y la remediación de la contaminación (Docampo, 2012), así como las siguientes funciones principales.

- Almacenar y suministrar nutrientes (macro y micro) para los organismos vegetales.
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico
- Estabiliza la acidez del suelo
- Minimiza la compactación del suelo, favoreciendo la infiltración de agua.
- Incrementa la porosidad del suelo mejorando la dinámica de aire y agua, así como mejora la capacidad de retención hídrica, además las raíces

pueden introducirse de mejor manera en el perfil, con un menor gasto de energía.

- Sirve como fuente de carbono (energía) para los microorganismos presentes en el suelo para el reciclaje de nutrientes, favorece al aumento en la diversidad de micro y macro organismos
- Mejora la capacidad de intercambio catiónico (potencial para retener e intercambia nutrientes)

Por lo tanto, la presencia de materia orgánica influye directamente sobre la calidad del suelo y su posterior desarrollo para los organismos vegetales, por lo cual es importante conocer su valor previo, los aportes o mejoras necesarias para su incremento y sostenibilidad en el tiempo, de esta manera se aseguran suelos productivos que favorecerán al aseguramiento alimentario de la población, sin necesidad de realizar expansiones agrícolas. (Trinidad-Santos, 2016)

1.4.2. Factores de degradación de suelos en Ecuador

Naturalmente el ecosistema, por medio de diferentes eventos climáticos persistentes provoca la erosión de los suelos o alguna alteración en su composición original, puede estar asociado a fuertes lluvias, incendios forestales, erupciones volcánicas, inundaciones.

Sin embargo la degradación de los suelos como tal, hace referencia a la incapacidad actual o futura del suelo para sostener la vida humana y que ha sido alterado por acciones como cambio en la cobertura vegetal, deforestación o eliminación de la cobertura vegetal, modificaciones en el uso del suelo, malas prácticas culturales agrícolas, entre otros, dicha degradación conlleva a diversos cambios en cuanto a propiedades y procesos a lo largo del tiempo que reducen la capacidad de recuperación del mismo, afectando el balance entre el suelo y sus interacciones con la vida específica o los ecosistemas que lo integran. (Ramírez et al., 2011). Se considera una degradación avanzada en los suelos cuando los mismos han perdido en más del 50% su capacidad

natural para ser productivos y que han sido alterados en sus propiedades físicas, químicas y biológicas y que además afectan a la situación socioeconómica de las comunidades que dependen de la actividad agrícola (Mateo Fernández, 2017).

169 países y aproximadamente 250 millones de personas sufren los efectos de la degradación de los suelos y Ecuador no escapa de esta realidad mundial. Se estima que en el Ecuador se pierden entre 30 a 50 toneladas de suelo fértil por hectárea anualmente.(Ministerio del Ambiente, 2014)

Los principales factores que influyen en degradación de suelos en el Ecuador son (Ministerio del Ambiente, 2014):

- Deforestación en zonas de carga hídrica y protección de cauces para nuevos cultivos y/o pastizales.
- Expansión de la frontera agrícola y ganadera.
- Labranza excesiva para preparación en siembra o cosecha.
- Incendios intencionados para limpieza de terreno y generación de rebrotes de pajonales.
- Sobrepastoreo.
- Siembra en laderas y a favor de la pendiente.
- Abuso intensivo y uso excesivo de agroquímicos.
- Generación y acumulación de residuos agrícolas sin tratamiento
- Monocultivos, cambios de cultivos intensivos.
- Manejo inadecuado del riego.

Estos factores no solo afectan a la degradación de la tierra, también contribuyen al cambio climático ya que aumenta o disminuye la vulnerabilidad de los ecosistemas, la degradación de los suelos ocupa el 2do lugar con un 25,4% de contribución en las emisiones de gases de efecto invernadero (UNICEF, 2020).

1.4.3. Uso de compost para la rehabilitación de suelos degradados

Naturalmente, las tierras de cultivo contienen una cierta cantidad de materia orgánica, su porcentaje varía dependiendo el tipo de suelo. Sin embargo, en la práctica la totalidad de los casos en cuanto a concentración de materia orgánica propia del suelo no suele ser suficiente para abastecer en el tiempo a los cultivos que vayan a ser destinados a una superficie establecida, motivo por el cual es importante realizar aplicaciones regulares de abonos, ricos en materia orgánica, de origen animal, vegetal o incluso combinación de materiales que puedan aportar con los contenidos necesarios para favorecer a la rehabilitación de los suelos. (Nieto del Río, 2016).

La incorporación permanente de materiales orgánicos (residuos vegetales, animales, compost, entre otros) al suelo, permite mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo interrelacionadas entre sí, físicamente se reducen problemas de compactación y erosión, además provoca un aumento en la actividad biológica, favoreciendo al dinamismo e incremento de las interacciones entre la microfauna y mesofauna (especialmente lombrices) provocando la mejora en la estructura del suelo (porosidad), transferencia de nutrientes, entre otros, lo que repercute directamente a la mejora de la calidad del suelo, por esta razón los aportes periódicos de materia orgánica compostada al suelo son altamente recomendables (Docampo, 2012).

Por otro lado, los principales efectos químicos al utilizar compost de manera rutinaria en los suelos, aparte del aumento en contenido de materia orgánica, es también el aumento de nutrientes disponibles para los organismos vegetales a mediano y largo plazo, macronutrientes como (N, P, K, Ca, Mg y S) y de micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, B, Mo Y Cl), además se registra una mayor capacidad de intercambio catiónico que en conjunto con la retención y disponibilidad de agua en el suelo favorecen a la generación de componentes activos de la materia orgánica como los ácidos húmicos y fúlvicos. (Trinidad-Santos, 2016)

Por último, la adición de la materia orgánica al suelo en forma de compost favorece al desarrollo de microorganismos benéficos como bacterias, hongos y

actinomicetos los cuales son los encargados y actores principales en los procesos de transformación de la materia orgánica, oxidación y reducción de nutrientes, así como de la inhibición de ciertos patógenos del suelo. (Trinidad-Santos, 2016).

Todos estos factores que favorecen a la recuperación de suelos degradados en sus 3 principales propiedades demuestran la importancia del compost reflejado en la productividad de cultivos, en la sostenibilidad del recurso suelo y también en el desarrollo social de las comunidades que dependen de la agricultura, así como de la soberanía y seguridad alimentaria. (Trinidad-Santos, 2016).

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Compostar lodos procedentes de la industria de alimentos con la finalidad de evaluar su calidad agronómica para su posterior empleo en la restauración de suelos erosionados.

2.2. ESPECÍFICOS

- Estudiar la evolución del proceso de co-compostaje de los lodos procedentes de la industria alimentaria con residuos vegetales.
- Evaluar la calidad de un compost maduro y de otro semimaduro obtenido de procesos de compostaje con los residuos anteriores.
- Determinar los efectos de la aplicación de compost maduro y semi-maduro en las propiedades de un suelo erosionado.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Esta investigación es de tipo experimental, sin embargo, no involucra tantos factores, por lo cual se manejará un Diseño Completamente Aleatorio (DCA) el cual compara 2 tratamientos diferentes (compost maduro y semimaduro con suelo erosionado) y 2 fuentes de variabilidad (20% y 50%), lo cual se resuelve con un ANOVA para comprobar las diferencias en las medias, especialmente para analizar la fuente de variación frente a la variación total observada. Cada tratamiento se ejecutó con 3 réplicas independientes con la intención de mejorar el nivel de confianza.

Tabla 5. Tratamientos empleados.

Variable (Porcentaje)	Tratamiento	
	T1	T2
20%	Compost maduro + suelo erosionado	Compost semimaduro + suelo erosionado
50%	Compost maduro + suelo erosionado	Compost semimaduro + suelo erosionado

En este sistema las repeticiones experimentales fueron realizadas en orden aleatorio completo, dejando de lado otros factores de interés como por ejemplo los posibles efectos ambientales y temporales.

3.2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

3.2.1. Características de los residuos utilizados

Los residuos utilizados provienen principalmente de 4 diferentes industrias detalladas en la tabla 6, a los cuales se les realizó un análisis químico independiente para poder determinar la influencia de estos en el producto terminado (compost maduro y compost semimaduro)

Tabla 6. Características de los residuos empleados

Tipo de residuo	Característica																
<p data-bbox="225 331 552 416">Lodo residual industria cárnica</p>  <p data-bbox="225 904 568 990"><i>Figura 8. Lodo industria cárnica</i></p>	<p data-bbox="686 331 1370 748">Residuo proveniente del procesamiento de productos cárnicos de aves de corral (pollo y pavo empaquetado), el lodo residual proviene específicamente del tanque de oxidación biológica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria procesadora, es un residuo con un elevado porcentaje de humedad y contenido de materia orgánica.</p> <table border="1" data-bbox="686 792 1370 1294"> <tbody> <tr> <td data-bbox="692 792 1209 846">Humedad (H)</td> <td data-bbox="1209 792 1364 846">88,7</td> </tr> <tr> <td data-bbox="692 846 1209 900">% Materia Orgánica Total (MOT)</td> <td data-bbox="1209 846 1364 900">77,8</td> </tr> <tr> <td data-bbox="692 900 1209 954">pH</td> <td data-bbox="1209 900 1364 954">5,82</td> </tr> <tr> <td data-bbox="692 954 1209 1070">Conductividad eléctrica (dS/m) (Ce)</td> <td data-bbox="1209 954 1364 1070">2,80</td> </tr> <tr> <td data-bbox="692 1070 1209 1124">Carbono Total (C tot) %</td> <td data-bbox="1209 1070 1364 1124">45,12</td> </tr> <tr> <td data-bbox="692 1124 1209 1178">Nitrógeno total (N tot) %</td> <td data-bbox="1209 1124 1364 1178">2,05</td> </tr> <tr> <td data-bbox="692 1178 1209 1232">Fósforo (P) %</td> <td data-bbox="1209 1178 1364 1232">0,004</td> </tr> <tr> <td data-bbox="692 1232 1209 1285">Potasio (K) %</td> <td data-bbox="1209 1232 1364 1285">0,012</td> </tr> </tbody> </table>	Humedad (H)	88,7	% Materia Orgánica Total (MOT)	77,8	pH	5,82	Conductividad eléctrica (dS/m) (Ce)	2,80	Carbono Total (C tot) %	45,12	Nitrógeno total (N tot) %	2,05	Fósforo (P) %	0,004	Potasio (K) %	0,012
Humedad (H)	88,7																
% Materia Orgánica Total (MOT)	77,8																
pH	5,82																
Conductividad eléctrica (dS/m) (Ce)	2,80																
Carbono Total (C tot) %	45,12																
Nitrógeno total (N tot) %	2,05																
Fósforo (P) %	0,004																
Potasio (K) %	0,012																
<p data-bbox="225 1308 596 1393">Lodo residual industria de bebidas</p>  <p data-bbox="225 1924 568 2009"><i>Figura 9. Lodo industria bebidas</i></p>	<p data-bbox="686 1308 1370 1778">Residuo proveniente del procesamiento de bebidas alcohólicas de consumo masivo (cerveza), específicamente el lodo residual proviene de los elementos generados del tanque de oxidación biológica de la planta de tratamiento de agua residual, de igual manera contiene un elevado porcentaje de humedad y materia orgánica y un mejor pH frente al lodo precedente.</p> <table border="1" data-bbox="686 1823 1370 1995"> <tbody> <tr> <td data-bbox="692 1823 1209 1877">Humedad (H)</td> <td data-bbox="1209 1823 1364 1877">86,9</td> </tr> <tr> <td data-bbox="692 1877 1209 1930">% Materia Orgánica Total (MOT)</td> <td data-bbox="1209 1877 1364 1930">72,7</td> </tr> <tr> <td data-bbox="692 1930 1209 1984">pH</td> <td data-bbox="1209 1930 1364 1984">7,15</td> </tr> </tbody> </table>	Humedad (H)	86,9	% Materia Orgánica Total (MOT)	72,7	pH	7,15										
Humedad (H)	86,9																
% Materia Orgánica Total (MOT)	72,7																
pH	7,15																

	Conductividad eléctrica (dS/m) (Ce)	1,90																
	Carbono Total (C tot) %	42,16																
	Nitrógeno total (N tot) %	1,53																
	Fósforo (P) %	0,01																
	Potasio (K) %	0,01																
 <p data-bbox="225 1111 667 1196"><i>Figura 10. Material vegetal industria florícola.</i></p>	Residuo proveniente de la postcosecha de flores de verano, entre las que se compone girasol ornamental (<i>Helianthus annuus</i>) y Gypsophila (<i>Gypsophila altísima</i>) o comúnmente conocida como velo de novia, la mezcla de ambos es incorporado como acondicionante para el lodo residual.	<table border="1" data-bbox="687 943 1369 1438"> <tbody> <tr> <td data-bbox="687 943 1209 999">Humedad (H)</td> <td data-bbox="1209 943 1369 999">46,0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="687 999 1209 1055">% Materia Orgánica Total (MOT)</td> <td data-bbox="1209 999 1369 1055">89,6</td> </tr> <tr> <td data-bbox="687 1055 1209 1111">pH</td> <td data-bbox="1209 1055 1369 1111">6,39</td> </tr> <tr> <td data-bbox="687 1111 1209 1223">Conductividad eléctrica (dS/m) (Ce)</td> <td data-bbox="1209 1111 1369 1223">4,60</td> </tr> <tr> <td data-bbox="687 1223 1209 1279">Carbono Total (C tot) %</td> <td data-bbox="1209 1223 1369 1279">45,55</td> </tr> <tr> <td data-bbox="687 1279 1209 1335">Nitrógeno total (N tot) %</td> <td data-bbox="1209 1279 1369 1335">2,24</td> </tr> <tr> <td data-bbox="687 1335 1209 1391">Fósforo (P) %</td> <td data-bbox="1209 1335 1369 1391">0,29</td> </tr> <tr> <td data-bbox="687 1391 1209 1438">Potasio (K) %</td> <td data-bbox="1209 1391 1369 1438">3,37</td> </tr> </tbody> </table>	Humedad (H)	46,0	% Materia Orgánica Total (MOT)	89,6	pH	6,39	Conductividad eléctrica (dS/m) (Ce)	4,60	Carbono Total (C tot) %	45,55	Nitrógeno total (N tot) %	2,24	Fósforo (P) %	0,29	Potasio (K) %	3,37
Humedad (H)	46,0																	
% Materia Orgánica Total (MOT)	89,6																	
pH	6,39																	
Conductividad eléctrica (dS/m) (Ce)	4,60																	
Carbono Total (C tot) %	45,55																	
Nitrógeno total (N tot) %	2,24																	
Fósforo (P) %	0,29																	
Potasio (K) %	3,37																	
	Residuos provenientes del procesamiento de árboles de Eucalipto, pino y ciprés para la producción de tableros de madera, su componente principal son las fibras de la corteza de estos. Este material también se lo incorpora como acondicionante al lodo residual.	<table border="1" data-bbox="687 1863 1369 2018"> <tbody> <tr> <td data-bbox="687 1863 1209 1919">Humedad (H)</td> <td data-bbox="1209 1863 1369 1919">19,6</td> </tr> <tr> <td data-bbox="687 1919 1209 1975">% Materia Orgánica Total (MOT)</td> <td data-bbox="1209 1919 1369 1975">86,5</td> </tr> <tr> <td data-bbox="687 1975 1209 2018">pH</td> <td data-bbox="1209 1975 1369 2018">5,41</td> </tr> </tbody> </table>	Humedad (H)	19,6	% Materia Orgánica Total (MOT)	86,5	pH	5,41										
Humedad (H)	19,6																	
% Materia Orgánica Total (MOT)	86,5																	
pH	5,41																	

<i>Figura 11. Material Vegetal industria maderera</i>	Conductividad eléctrica (dS/m)(Ce)	1,40
	Carbono Total (C tot) %	53,78
	Nitrógeno total (N tot) %	0,36
	Fósforo (P) %	0,06
	Potasio (K) %	0,33

La mezcla de estos residuos se los realiza en fosas de recepción y acondicionamiento (figura 12) de acuerdo con el volumen de lodo recibido.



Figura 12. Fosas de recepción

Considerando que de manera proporcional en base a los volúmenes recibidos la mezcla tiene una relación C/N de 42 y para lograr tener una relación de 30 se realiza una mezcla en volumen de 2 tandas de lodo residual (6m³ cada uno) con 1 tanda de material vegetal (8m³), considerando además la fórmula de mezcla para relación C/N. (*Cornell Composting, 1996*)

$$R = \frac{Q_1(C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(C_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(C_3 \times (100 - M_3)) + \dots}{Q_1(N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(N_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(N_3 \times (100 - M_3)) + \dots}$$

R = C/N ratio

Q_n = mass of material n ("as is", or "wet weight")

C_n = carbon (%)

N_n = nitrogen (%)

M_n = moisture content (%) of material n

3.2.2. Dispositivo de compostaje utilizado

El compost maduro y semimaduro se lo obtiene bajo un sistema de aireación con volteo mecánico (figura 13), controlando humedad y temperatura de manera periódica, de manera inicial se realizan pilas altas y largas de compostaje (1,20 metros de alto x 2 metros de ancho y 20 metros de largo) con la finalidad de asegurar la fase termófila (60°C) y consecuente higienización del material, se lo realiza entre 4-6 semanas de tratamiento dependiendo las condiciones climáticas, el volteo de estas pilas se lo realiza cada 3-4 días con la ayuda de una máquina retroexcavadora, al finalizar este periodo se lo considera como compost semimaduro, se ha logrado una descomposición parcial de la materia orgánica, sin embargo aún conserva un gran porcentaje de humedad (40-50%) y de materiales gruesos que deben seguir con un proceso de degradación. Para conocer el grado de evolución del compost se realiza periódicamente control de temperatura, la pila de donde se realizó la cosecha del material tuvo un control de 8 semanas desde su formación mediante un termómetro de compost y su cosecha se realizó a la semana 8 cuando la temperatura de la pila disminuyó hasta los (40°C).



Figura 13. Sistema de volteo.

Posteriormente se forman pilas de compostaje de menor volumen (0,80cm de alto x 2 metros de ancho y 15 metros de largo) con lo cual se busca favorecer la reducción de la humedad, desmenuzar el material grueso y estabilizar la temperatura (30°), este proceso demora entre 3-4 semanas más, los volteos se los realizan pasando 2 días con una máquina volteadora que se encarga de distribuir uniformemente el material.

Por último, el producto cosechado se lo transfiere a una fase de maduración donde se vuelven a formar pilas de gran volumen, se cubre el material controlando periódicamente humedad y temperatura, en esta fase la temperatura se ha estabilizado (20-30°C) y la humedad se mantiene en un 30% previo al despacho. El compost maduro para el desarrollo del proyecto fue precisamente tomado de una pila terminada a las 12 semanas de tratamiento y con una temperatura de 25°C.

Las muestras del compost maduro para el armado de cajas experimentales y para análisis fueron tomadas de la pila de despacho del lote de cosecha del mes de mayo 2022 y para el compost semimaduro de la pila de proceso del mes de mayo 2022, se realizó una muestra compuesta de 9 diferentes puntos a lo largo de la pila, localizados al inicio, medio y final de la pila (a una profundidad de 0,30 centímetros desde la capa superficial), de la misma manera se realizó un corte en la pila para llegar a la zona céntrica (0,60 centímetros desde la base de la pila) y finalmente a 0,30 centímetros sobre la base de la pila.

Para el análisis de laboratorio se tomaron 200 gramos por punto generando un total de 1.8 kilos de muestra compuesta y para la toma de muestras para el armado de cajas se colectaron 1 kilo a 0,30cm desde la superficie, 1 kilo a 0,30cm desde la base y 5 kilos a 0,60cm desde la base para T1 y T2 obteniendo una muestra homogénea con un peso total de 21 kilos para compost maduro y 21 kilos para compost semimaduro que fueron distribuidos en las diferentes cajas experimentales.

3.2.3. Ensayo de la aplicación de compost para la restauración de un suelo degradado.

Para el ensayo de restauración se realizaron cajas de 50 cm de ancho x 50cm de largo y 30cm de alto (figura 14) elaboradas de madera de pino, se colocaron en un sitio techado para cubrir de la lluvia y del sol directo y abierto para favorecer la ventilación. Se realizaron 3 cajas experimentales (réplicas) por cada tratamiento, incluyendo el T0, con la intención de reducir la variabilidad.

Las mezclas se las realizaron con suelo erosionado tomado de la capa superficial del mismo (15 cm) y conformado de acuerdo con el detalle expresado en la tabla 7.

Tabla 7. Aporte de materiales en cajas experimentales.

Tratamiento	Cantidad de material aportado, sobre materia seca (sms)
T0	10 kg de suelo erosionado
T1	10 kg de suelo erosionado + 2 kg de compost maduro
	10 kg de suelo erosionado + 5 kg de compost maduro
T2	10 kg de suelo erosionado + 2 kg de compost semimaduro
	10 kg de suelo erosionado + 5 kg de compost semimaduro

Una vez instaladas las cajas experimentales se procedió a asegurar la mezcla del contenido manualmente 1 vez por semana y se llevó un control diario de pH, humedad y temperatura con la finalidad de controlar la estabilidad o variabilidad de estas variables en el proceso de restauración de suelo por un periodo de 60 días. (figura 15).



Figura 14. Cajas experimentales



Figura 15. Control de parámetros

3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo experimental se elaboraron las mezclas expresadas en la tabla 7, cada mezcla fue replicada 3 veces bajo las mismas condiciones en cuanto al dispositivo experimental empleado y el sitio experimental definido, las cajas experimentales permanecieron en un lugar adecuado dentro de la planta de compostaje por cuestión de espacio principalmente.

La toma de muestra de suelo se lo realizó de un sitio cercano a la planta de compostaje, tomándolo a 15 cm de profundidad (primera capa del suelo), se tomaron 5 muestras aleatorias en forma de X de una plataforma de 1000 m² para lograr tener una muestra compuesta del suelo erosionado, en total se colectaron, de cada uno de los 5 cuadrantes se colectaron 30 kilos, teniendo un

total de muestra de 150 kilos para la preparación de los dispositivos de 12 y 15 kilos respectivamente. (figura 16)



Figura 16. Preparación dispositivos

El compost maduro y semimaduro se lo obtuvieron de la fase de procesamiento y maduración respectivamente, del mismo lote y la misma fecha, de igual manera se obtuvo una muestra homogénea de la pila de compost, se tomaron 9 muestras puntuales, 6 de 1kg y 3 de 5kg para realizar una mezcla homogénea de 21 kg respectivamente y adicionar a las cajas experimentales la fracción correspondiente.

Una vez armadas las cajas se aseguró de mantener un promedio de humedad del 40% para favorecer la incorporación paulatina del compost maduro y semimaduro en el suelo, además para facilitar la remoción del material.

Al inicio del armado de las cajas experimentales se ingresó al laboratorio la muestra de cada una de las mezclas de compost maduro y semimaduro con suelo erosionado, para poder determinar los parámetros expresados en la tabla 8, al finalizar los 60 días de experimento, se volvió a realizar un análisis de los parámetros, para poder determinar la evolución de la recuperación del suelo en el tiempo.

Tabla 8. Control de parámetros evolutivos en cajas experimentales con suelo y material orgánico.

pH
Conductividad eléctrica CE (ds/m)
Densidad (Dens)
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC (cmol/kg)
Nitrógeno total N tot (%)
Fósforo (P) suelo (mg/kg)
Potasio (K) suelo (cmol/kg)
Carbono Orgánico CO (%)
Materia Orgánica MO (%)
Fósforo P fertilizante (%)
Potasio K fertilizante (%)
Granulometría (solo para suelo): muy fino
Textura (solo para suelo): arenosa limosa

3.4. PARÁMETROS ANALIZADOS Y MÉTODOS UTILIZADOS

Los parámetros analizados se dividieron en 4 escenarios, la materia prima que integra el compost (lodo y material vegetal), el compost maduro y semimaduro, el proceso de incubación inicial y final y los parámetros de control en el sistema de incubación (pH, humedad, temperatura), los análisis fueron realizados algunos en el laboratorio de agua y suelos de la Universidad de las Américas y otros fueron mandados a realizar en laboratorios acreditados de investigación, todos estos parámetros se los detalla en la tabla 9 de mejor manera.

Tabla 9. Parámetros analizados y métodos utilizados

Materia prima (lodo y material vegetal)	
Parámetro analizado	Método utilizado
Humedad (H) %	Secado de material bajo el método propuesto por Schulte y Hopkins (1996), se pesan 5gr de muestra en crisoles de 15mL y se lo coloca en la estufa por 105°C por un periodo de 24 horas. (Eyherabide et al., 2014)
Materia Orgánica Total (MOT) %	Calcinación bajo el método propuesto por Schulte y Hopkins (1996), donde el material se introduce en una mufla a una temperatura de 360°C por 2 horas, con la finalidad de volatilizar todo compuesto orgánico volátil. La materia Orgánica es el resultante de la diferencia de pesos iniciales y finales de un material previamente secado en el horno de convección forzada. (Eyherabide et al., 2014)
pH	Potenciometría bajo el método EPA 9045D. Para la medición, se empleó el equipo denominado potenciómetro de marca Mettler Toledo. (EPA, 2004)
Conductividad eléctrica (Ce) ds/m	Conductimetría bajo el método de FAO denominado Standard operating procedure for soil electrical conductivity). Se utilizó

	un equipo de marca Mettler Toledo. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021)
Carbono Orgánico Total (C tot) %	Volumetría, el análisis se basa en el método Walkley & Black, procedimiento operativo estándar de la FAO para el análisis de carbono orgánico de suelo, Se utilizó una bureta digital de marca Brand. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019)
Nitrógeno total (N tot) %	Mediante combustión. El análisis se basó en el método Kjeldahl sugerido por la AOAC, Se utilizó un equipo de análisis elemental de la marca Perkin Elmer. (AOAC, 2019)
Fósforo (P) %	Espectrofotometría de UV-Vis. El análisis se basó en el método AOAC. Se utilizó un equipo espectrofotómetro UV-Vis de marca Varian. (AOAC, 2019)
Potasio (K) %	Espectrofotometría de absorción atómica - llama. El análisis se basó en el método AOAC, Se utilizó un equipo de absorción atómica de la marca Perkin Elmer. (AOAC, 2019)

Compost Maduro y Semimaduro

Humedad (H) %	Secado de material bajo el método propuesto por Schulte & Hopkins (1996), se pesan 5gr de muestra en crisoles de 15mL y se lo coloca en la estufa por 105°C por un periodo de 24 horas. (Eyherabide et al., 2014)
Temperatura (T) °C	Medición directa en campo por un termómetro de compost tipo varilla o punzón de acero inoxidable.
pH	Potenciometría bajo el método EPA 9045D. Para la medición, se empleó el equipo denominado potenciómetro de marca Mettler Toledo. (EPA, 2004)
Conductividad eléctrica (Ce) ds/m	Conductimetría bajo el método de FAO denominado Standard operating procedure for soil electrical conductivity). Se utilizó un equipo de marca Mettler Toledo. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021)
Densidad Aparente g/ml	Determinación de la masa por unidad de volumen, representando la relación entre sólidos y espacio poroso, esta determinación se basa en el método de la probeta, procedimiento de determinación sencilla donde se usa la muestra molida y tamizada y se la pesa en una probeta de un volumen establecido. Se utilizó una balanza analítica marca ScienTech.

	(Sadzawka et al., 2005)
Relación C/N %	Cálculo mediante la división entre el % de Carbono Total sobre N total
Materia Orgánica Total (MOT) %	Calcinación bajo el método propuesto por Schulte y Hopkins (1996), donde el material se introduce en una mufla a una temperatura de 360°C por 2 horas, con la finalidad de volatilizar todo compuesto orgánico volátil. La materia Orgánica es el resultante de la diferencia de pesos iniciales y finales de un material previamente secado en el horno de convección forzada. (Eyherabide et al., 2014)
Nitrógeno (N) %	Mediante combustión. El análisis se basó en el método Kjeldahl sugerido por la AOAC, Se utilizó un equipo de análisis elemental de la marca Perkin Elmer. (AOAC, 2019)
Fósforo (P) total mg/L	Espectrofotometría de UV-Vis. El análisis se basó en el método AOAC. Se utilizó un equipo espectrofotómetro UV-Vis de marca Varian. (AOAC, 2019)
Potasio (K) ppm	Espectrofotometría de absorción atómica - llama. El análisis se basó en el método AOAC, Se utilizó un equipo de absorción atómica de la marca Perkin Elmer. (AOAC, 2019)
Magnesio (Mg) ppm	Método llevado a cabo por
Calcio (Ca) ppm	Espectrofotometría de Emisión

Arsénico (As) mg/kg	sugerido por las indicaciones del Standard Methods, 21 ed., de 2005 Los análisis se, utilizando un Plasma Acoplado por Inducción, Varian, modelo Vista MPX.
Cadmio (Cd) ppm	
Cobre (Cu) ppm	
Cromo (Cr) ppm	
Mercurio (Hg) mg/kg	
Níquel (Ni) ppm	
Plomo (Pb) ppm	
Zinc (Zn) ppm	
Índice de Germinación %	Test de Zucconi. Ensayo de fitotoxicidad propuesto por Zucconi et al. (1981) donde se determina la presencia o ausencia de compuestos fitotóxicos para la germinación de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) en el presente estudio. (Varnero et al., 2007)
Coliformes totales NMP/g	Técnica de sustrato definido, colilert por el método de Numero Más Probable, según la metodología sugerida por la AWWA, APHA, WEF“ Standard Methods for the Examination of water and Wastewater” 21 th edition;2005.
Sistema de Incubación	
pH	Potenciometría bajo el método EPA 9045D. Para la medición, se empleó el equipo denominado potenciómetro de marca Mettler Toledo. (EPA, 2004)
Conductividad eléctrica CE (ds/m)	Conductimetría bajo el método de FAO denominado Standard operating procedure for soil electrical conductivity). Se utilizó un equipo de

	marca Mettler Toledo. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021)
Densidad Aparente g/ml	Determinación de la masa por unidad de volumen, representando la relación entre sólidos y espacio poroso, esta determinación se basa en el método de la probeta, procedimiento de determinación sencilla donde se usa la muestra molida y tamizada y se la pesa en una probeta de un volumen establecido. Se utilizó una balanza analítica marca ScienTech. (Sadzawka et al., 2005)
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC (cmol/kg)	Saturación de Acetato de Amonio 1N a pH 7.0, (Sumner y Miller 1996) permite determinar la cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, entre otros)
Nitrógeno total N tot (%)	Mediante combustión. El análisis se basó en el método Kjeldahl sugerido por la AOAC, Se utilizó un equipo de análisis elemental de la marca Perkin Elmer. (AOAC, 2019)
Fósforo (P) suelo (mg/kg)	Espectrofotometría de UV-Vis. El análisis se basó en el método AOAC. Se utilizó un equipo espectrofotómetro UV-Vis de marca

	Varian. (AOAC, 2019)
Potasio (K) suelo (cmol/kg)	Espectrofotometría de absorción atómica - llama. El análisis se basó en el método AOAC, Se utilizó un equipo de absorción atómica de la marca Perkin Elmer. (AOAC, 2019)
Carbono Orgánico CO (%)	Volumetría, el análisis se basa en el método Walkley & Black, procedimiento operativo estándar de la FAO para el análisis de carbono orgánico de suelo, Se utilizó una bureta digital de marca Brand. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019)
Materia Orgánica Total (MOT) %	Calcinación bajo el método propuesto por Schulte y Hopkins (1996), donde el material se introduce en una mufla a una temperatura de 360°C por 2 horas, con la finalidad de volatilizar todo compuesto orgánico volátil. La materia Orgánica es el resultante de la diferencia de pesos iniciales y finales de un material previamente secado en el horno de convección forzada. ((Eyherabide et al., 2014))
Solo para suelo erosionado se realizó la medición adicional de:	
Granulometría y Textura	Tamizado, separación de partículas por tamaño de 0.05mm a 0.075mm

Control sistema de incubación	
pH	Medición directa en campo por un pHímetro de campo
Humedad	Medición directa en campo por un Hidrómetro de campo
Temperatura	Medición directa en campo por un termómetro de compost tipo varilla o punzón de acero inoxidable.

3.5. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

- Recolección de datos

La medición de variables fue realizada bajo medios de control en el proceso diario por 2 meses que duró la fase experimental, determinando Temperatura, Humedad y pH de cada mezcla realizada.

Además, se realizaron controles previos de parámetros en las cajas experimentales al inicio del tratamiento y al final de la fase experimental para conocer la evolución, detallado en la tabla 8 del presente estudio.

Finalmente se realizaron mediciones independientes de las materias primas, además del compost maduro y semimaduro para poder contrastar cuales son las principales fuentes nutricionales del producto terminado que será incorporado en el suelo erosionado.

- Recuento

Para la evolución de las cajas experimentales se realizaron las medias semanales en cuanto a temperatura, humedad y pH para cada unidad experimental y también para cada tratamiento, como ejemplo en la tabla 10

Tabla 10. Parámetros de control semanal en cajas experimentales.

Semana 9 (4 - 8 de julio)				
Tratamiento	N° caja	temperatura °C	pH	Humedad
T1-20	1	8,5	7,0	29%

T1-20	2	8,5	7,1	29%
T1-20	3	8,3	7,1	28%
MEDIA		8,43	7,07	28,67%
T1-50	4	8,5	7	28%
T1-50	5	8,5	7	29%
T1-50	6	8,9	7,1	29%
MEDIA		8,63	7,03	28,67%
T2-50	7	8,3	7,2	29%
T2-50	8	8,3	7,2	29%
T2-50	9	8,2	7,3	30%
MEDIA		8,3	7,2	29,33%
T2-20	10	8,3	7,1	29%
T2-20	11	8,9	7,2	29%
T2-20	12	8,9	7,1	30%
MEDIA		8,7	7,1	29,33%
T0	13	7,8	7	29%
T0	14	7,8	7,1	29%
T0	15	7,7	7	30%
MEDIA		7,8	7,0	29,33%

Mientras que para el recuento de información de las unidades experimentales de igual manera se realizó el cálculo de las medias de cada parámetro por cada caja experimental al inicio y al final del experimento como ejemplo en la tabla 11.

Tabla 11. Control de parámetros evolutivos por unidad experimental

Determinación Parámetros	
Incubación	
T2	
Cs = Compost Semimaduro (peso seco)	Se = Suelo Erosionado
2gr (20%)	100 gr

5 gr (50%)		100 gr	
20%			
MEDIAS T2 20 INICIO		MEDIAS T2 20 FINAL	
pH	8,02	pH	6,65
Conductividad eléctrica CE (ds/m)	1,11	Conductividad eléctrica CE (ds/m)	1,31
Densidad (Dens) g/ml	0,86	Densidad (Dens) g/ml	0,85
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC (cmol/kg)	12,28	Capacidad de Intercambio Catiónico CIC (cmol/kg)	13,27
Nitrógeno total N tot (%)	0,35	Nitrógeno total N tot (%)	0,35
Fósforo (P) suelo (mg/kg)	359,6 0	Fósforo (P) suelo (mg/kg)	337,0 7
Potasio (K) suelo (cmol/kg)	2,55	Potasio (K) suelo (cmol/kg)	2,11
Carbono Orgánico CO (%)	1,92	Carbono Orgánico CO (%)	2,54
Materia Orgánica MO (%)	3,31	Materia Orgánica MO (%)	11,86
Fósforo P fertilizante (%)	0,43	Fósforo P fertilizante (%)	0,43
Potasio K fertilizante (%)	0,17	Potasio K fertilizante (%)	0,17

Con estos datos se pretende desarrollar y comparar la variabilidad entre las medias de cada unidad experimental para poder analizar el desarrollo evolutivo de la fase experimental.

- Presentación

Para valorar una inspección comparativa, precisa y rápida en el análisis de resultados se realizarán gráficas comparativas entre las variables de estudio, además del análisis desarrollado en el programa Infostat que permitirá acomodar los datos para efectuar una revisión numérica precisa de los mismos, como ejemplo la figura 17

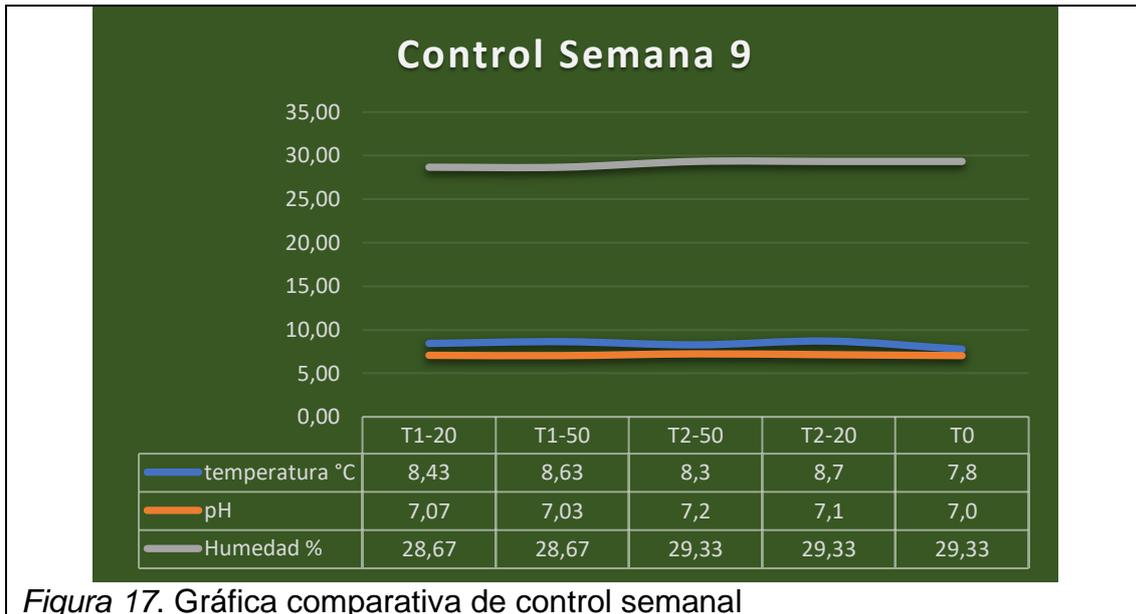


Figura 17. Gráfica comparativa de control semanal

- Síntesis

La información procesada será resumida en forma de medidas que permitan expresar de una manera sintética las propiedades numéricas de las diferentes series y grupos de datos analizados, para el diseño experimental, al tratarse de un modelo completamente aleatorio, es indispensable calcular los promedios de todas las variables analizadas, tanto de control como de evolución, además se interpretará el análisis de la varianza de estos datos cuantitativos y un método de comparaciones múltiples como Tukey.

- Análisis

Finalmente, el análisis del estudio será desarrollado en base a las herramientas analíticas explicadas con anterioridad las cuales permitirán efectuar la comparación de las medidas de resumen previamente calculadas y que serán discutidas en el capítulo de resultados.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS INICIALES.

La evolución de parámetros se la realizó a la materia prima, así como un análisis de la varianza (Anexo 1) para entender la proveniencia de los principales componentes, también se realizó un análisis de parámetros al compost maduro y semimaduro al inicio y al final del proceso de estudio.

En la figura 18 se puede observar cuál de las materias primas entre lodo y material vegetal es la que más aporta componentes químicos al proceso y posteriormente al producto terminado, este análisis se lo realizó de manera agrupada según la clasificación residual otorgada, considerando que existen 2 tipos de lodos (industria cárnica e industria de bebidas) se los agrupó dentro de un universo llamado lodos y al material vegetal (de florícola y maderera) en un universo llamado vegetal, con la finalidad de verificar la independencia y significancia de las materias primas.

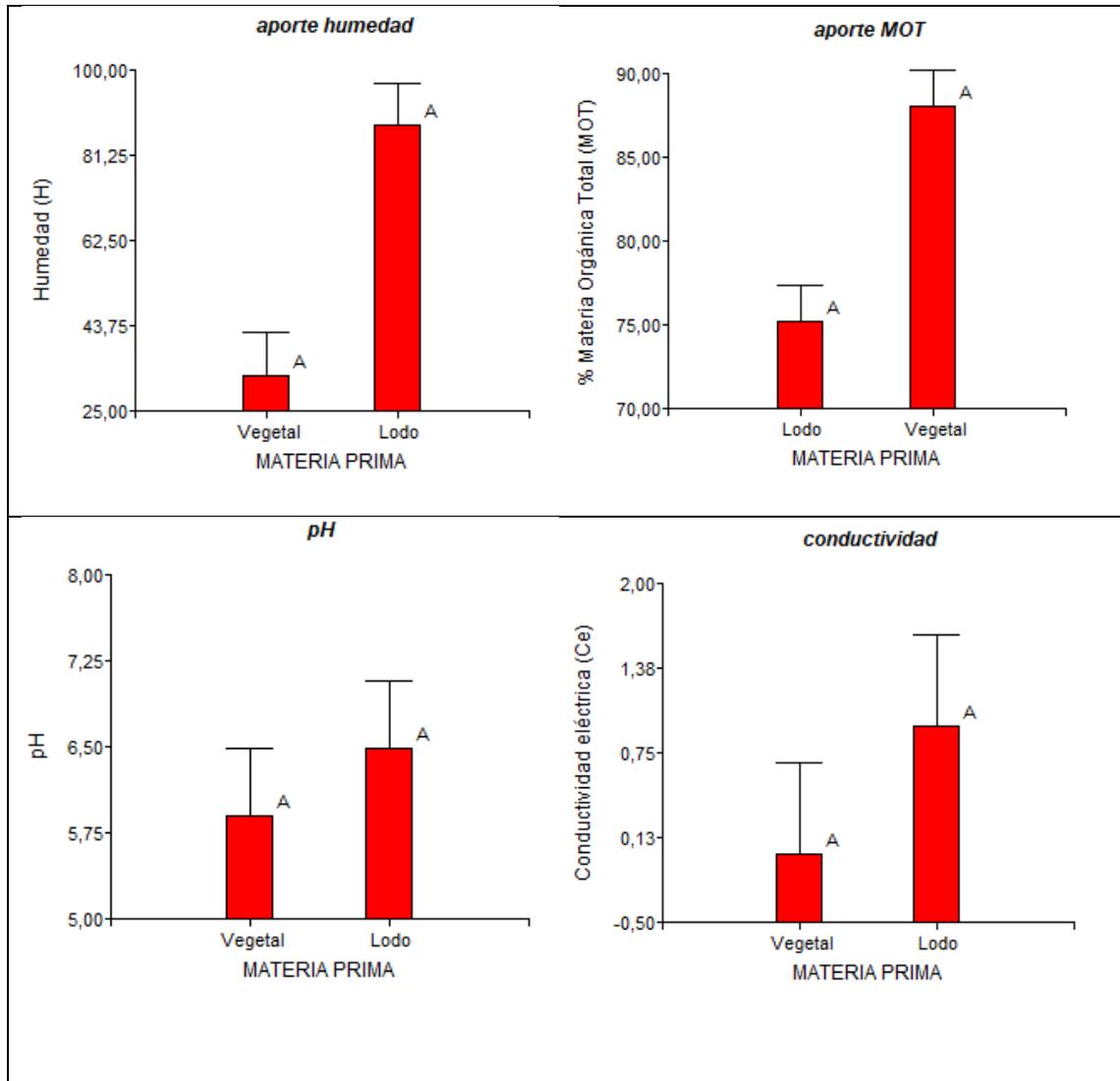
En cuanto a humedad podemos evidenciar que el lodo provee en más de un 80% frente a un 30% en promedio del material vegetal, demostrando una ventaja significativa para la mezcla a realizar, mientras que en Materia Orgánica Total el material vegetal es el mayor aportante con una diferencia no muy representativa, un poco más del 10%.

El pH del lodo y vegetal se encuentra en un rango entre 5,80 y 6,50 lo cual no es una diferencia significativa, sin embargo, se debe tomar en cuenta que si los materiales son recibidos y apilados o dispuestos sin iniciar un tratamiento se podrá fomentar la acidez del material. En cuanto a conductividad existe una diferencia significativa entre el lodo y material vegetal, especialmente por parte del lodo residual de la industria cervecera como se puede apreciar en la figura 19, lo cual incidirá directamente en el producto terminado.

Finalmente, el aporte al producto terminado en C, N, P y K provienen principalmente del material vegetal, existe una variación significativa

especialmente en N, P y K por parte del material vegetal florícola de acuerdo con la figura 19, esto podría deberse a que la materia prima de esta industria proviene de la postcosecha de especies de flores de verano como Gypsophila y Girasol.

Aporte de la Materia prima



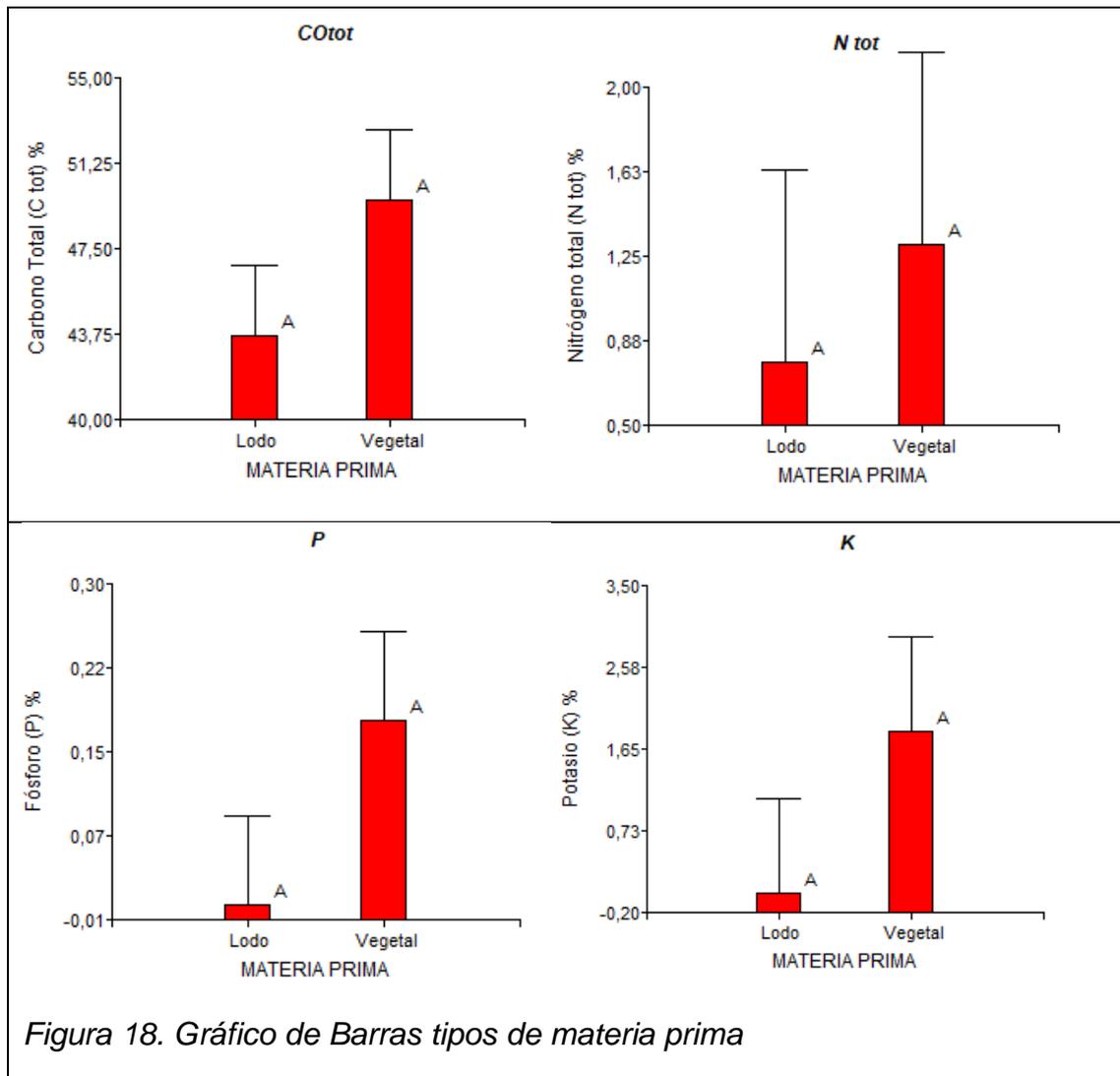


Figura 18. Gráfico de Barras tipos de materia prima

El aporte de la materia orgánica, nutrientes primarios, metales pesados y patógenos proveniente de los lodos residuales, sin duda dependerá directamente del sistema y tipo de tratamiento del agua residual, con variables muy dependientes y que podrán terminar en un compostaje apto para la agricultura o recuperación de suelos o incluso pueden asociarse a riesgos sanitarios y medioambientales, tal como lo establece (Andreoli et al., 2007), sin embargo existen estudios de compostaje de lodos residuales donde se establece que la mezcla con residuos vegetales se considera lo ideal para lograr equilibrar parámetros de interés en materia orgánica y macronutrientes (Mendoza y Prats, 2010) para su posterior aplicación como fertilizantes (Hernández-Cázares, A.S.1 et al., 2016), en cuanto a lodos residuales existe un comportamiento similar de variabilidad en pH, conductividad y evidentemente en humedad.

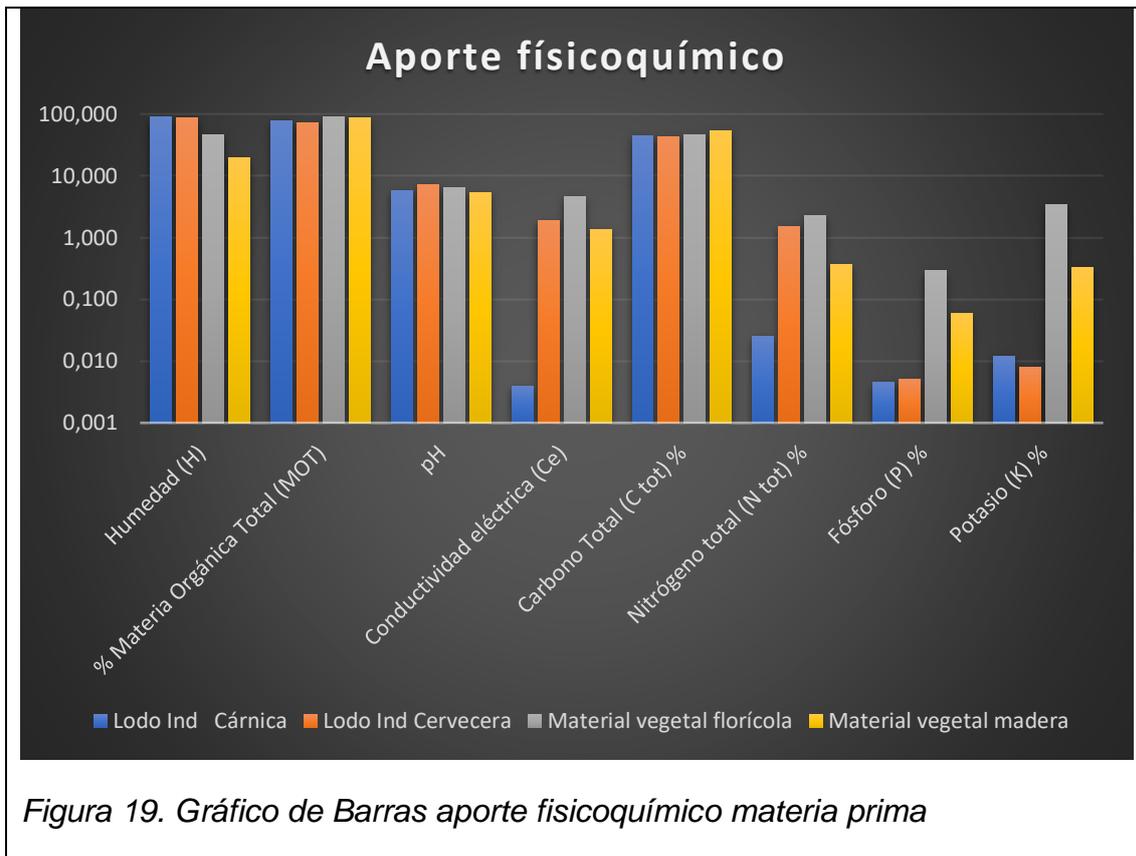


Figura 19. Gráfico de Barras aporte físicoquímico materia prima

En la figura 19 se puede observar el aporte real en composición química de cada materia prima, se representa un comportamiento equilibrado en la mayoría de los parámetros y claramente se aprecia la diferencia significativa en la conductividad del lodo de la industria cervecera, así como el aporte de N, P y K por parte del material vegetal florícola.

Estudios realizados de compostaje de materiales vegetales determinan que son los principales aportantes de C y micronutrientes (Huachi, 2006), sin embargo al poseer una relación C/N desbalanceada la consecuente mezcla con otro tipo de residuos (Patiño, 2017) como es el caso de los lodos residuales permitirá obtener una mejor estabilidad y madurez en el producto deseado.

4.2. EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE.

Para el desarrollo experimental de este estudio se utilizó compost maduro, así como semimaduro obtenido previamente, en el caso del compost maduro con 3 meses de antelación y para el compost semimaduro se utilizó material que se encontraba aún en fase de tratamiento. Para determinar el grado de madurez del compost, se tomaron datos de evolución de 12 semanas para el compost maduro y de 8 semanas para el compost semimaduro.

El análisis de la varianza nos permite identificar la diferencia de medias dentro del diseño experimental. Con el objetivo de confirmar el supuesto de independencia y con ello la generación de efectos considerables entre las variables a ser analizadas, como se lo representa en las figuras 18 y 19, la variable temperatura para el caso de C1 que corresponde a la cama de tratamiento 1 en la cual se obtuvo compost maduro a las 12 semanas y con un análisis de 60 días laborables y por otro lado la variable temperatura para el caso C2 correspondiente a la cama de tratamiento 2 en la cual se obtuvo compost semimaduro a las 8 semanas y con un análisis de 40 días laborables, son independientes y los valores registrados de temperatura evolucionan con el tiempo, sin embargo sus medias de control en temperatura no son significativamente diferentes.

Por otro lado, en la figura 21 y 23 se puede apreciar la distribución de la temperatura para ambos casos, es evidente la evolución de la temperatura en el proceso y una estabilización en el caso del compost maduro, mientras que el compost semimaduro aún se puede notar que quedan días en los que la temperatura irá disminuyendo y encontrando su estabilización.

Evolución para compost maduro

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
temperatura °C	60	0,00	0,00	30,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	0	0,00	0,00	>0,9999
Tipo	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	9816,58	59	166,38		
Total	9816,58	59			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=66,38415

Error: 166,3828 gl: 59

Tipo Medias n E.E.

Cl 42,92 60 1,67 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 20. ANOVA temperatura compost maduro

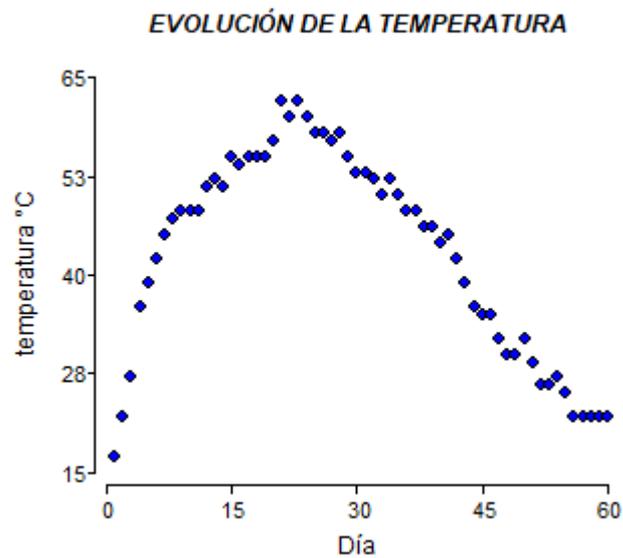


Figura 21. Evolución temperatura compost maduro

Evolución para compost semimaduro

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
temperatura °C	40	0,00	0,00	22,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	0	0,00	0,00	>0,9999
Tipo	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	4583,10	39	117,52		
Total	4583,10	39			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=66,38415

Error: 117,5154 gl: 39

Tipo Medias n E.E.

C2 47,85 40 1,71 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 22. ANOVA temperatura compost semimaduro

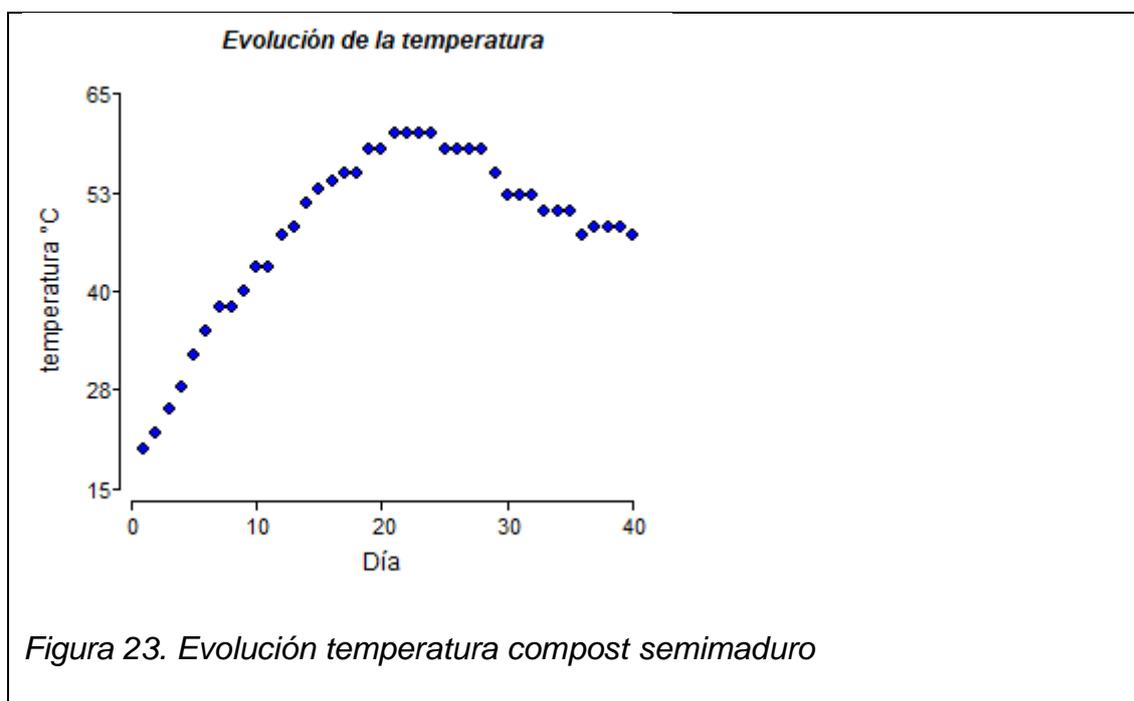


Figura 23. Evolución temperatura compost semimaduro

Evaluación de temperatura entre tipos de compost

Por último se realizó una comparación en cuanto a la evolución de la temperatura entre ambos tipos de compost que posteriormente serán incorporados en la recuperación de suelos, confirmando la diferencia significativa entre ambos materiales, esto se explica por las semanas restantes en la descomposición del material C2 correspondiente a compost semimaduro, si bien los valores de control difieren entre cama de compostaje tienen un comportamiento similar en su evolución y dependerán de su fase en el tratamiento.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ^s	R ^s Aj	CV
temperatura °C	100	0,04	0,03	27,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	584,11	1	584,11	3,98	0,0490
Tipo	584,11	1	584,11	3,98	0,0490
Error	14399,68	98	146,94		
Total	14983,79	99			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,91023

Error: 146,9355 gl: 98

Tipo Medias n E.E.

C1 42,92 60 1,56 A

C2 47,85 40 1,92 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 24. Anova entre tipos de compost

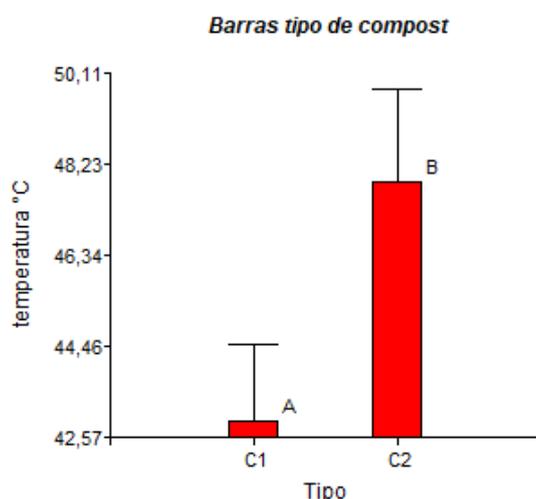


Figura 25. Gráfico de Barras tipos de compost

Las fases evolutivas en la degradación de la materia orgánica determinarán el grado de madurez del compost, según el manual de compostaje del agricultor (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2022) se considera un compost semimaduro aquel que aún no ha terminado con las fases de temperatura del proceso de compostaje, que incluso puede funcionar como inoculante debido al concentrado de microorganismos y de su actividad para acelerar el proceso de compostaje, el mismo puede ser aplicado a un suelo en una fase mesófila 2, es decir, cuando la temperatura inicia su descenso de 40 a 20 grados centígrados. Para el estudio realizado se consideró un compost semimaduro en un periodo de 8 semanas o 40 días laborables, cuando se ha logrado ingresar en el rango de temperatura descendiente de los 40°C sugeridos, como se lo representa en la figura 7.

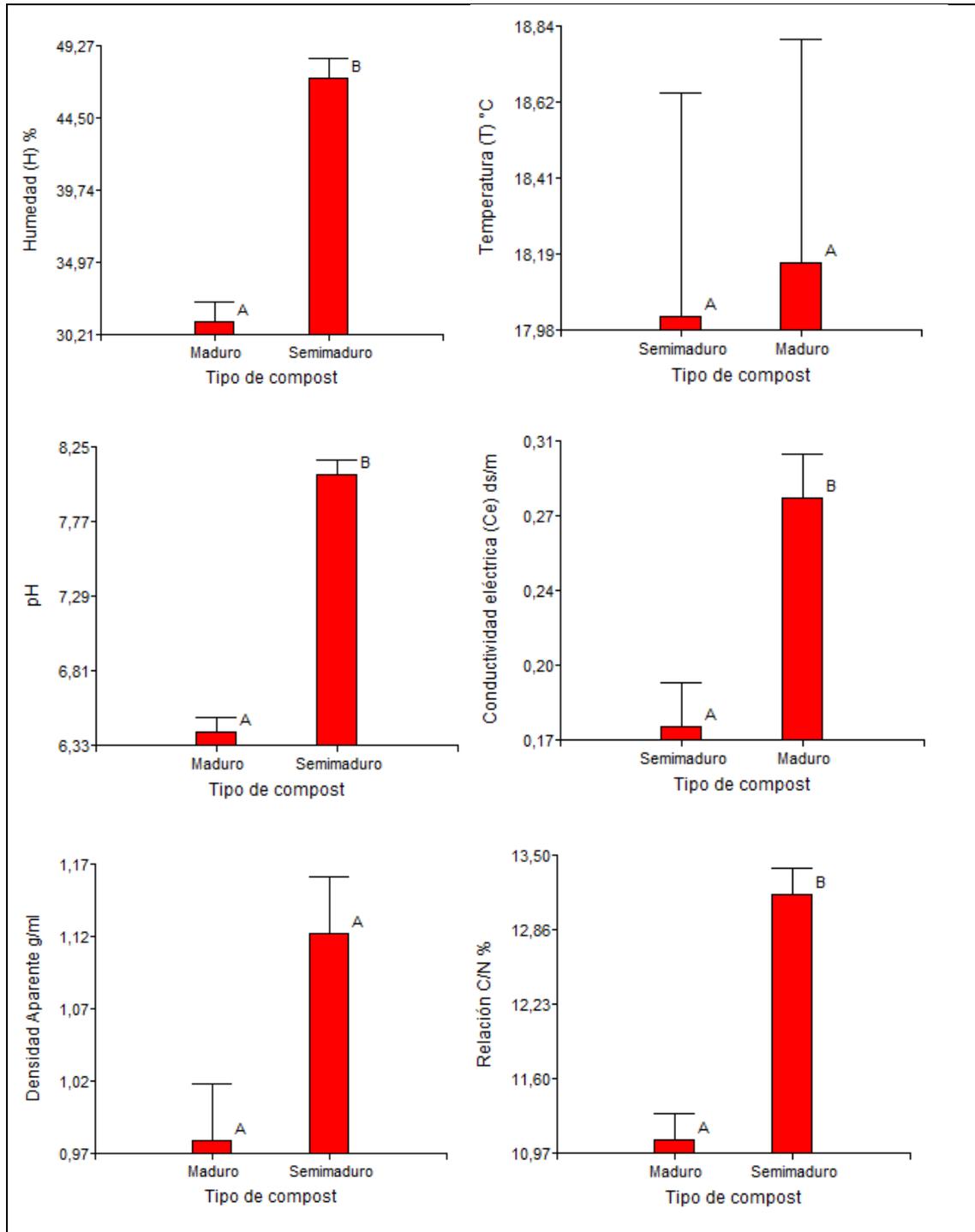
4.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL COMPOST SEMIMADURO Y DEL COMPOST MADURO

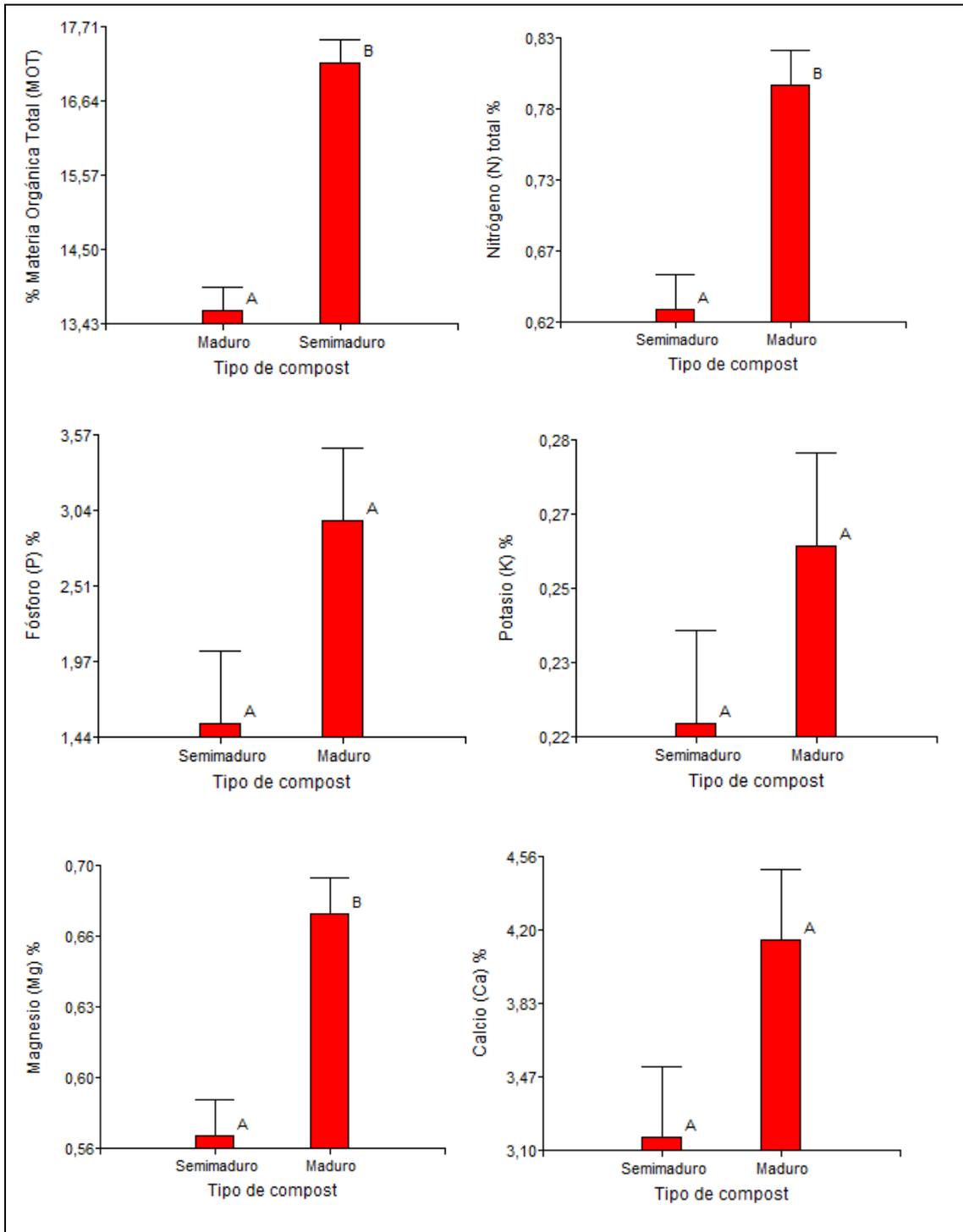
También se realizó un análisis de la varianza (ANEXO 2) mediante el tipo de compost y los parámetros de respuesta representativos, detallados en la tabla 11, ya que posteriormente será determinante para los resultados obtenidos en las cajas experimentales. Se puede determinar que los parámetros Humedad, pH, CE, C/N, MOt, Ntot, Mg, así como el índice de germinación son variables significativamente diferentes e independientes de acuerdo con el periodo del tratamiento, para el análisis se dejó de lado los parámetros que no pueden ser comparados entre sí o que sean inferiores a la lectura de los equipos de medición

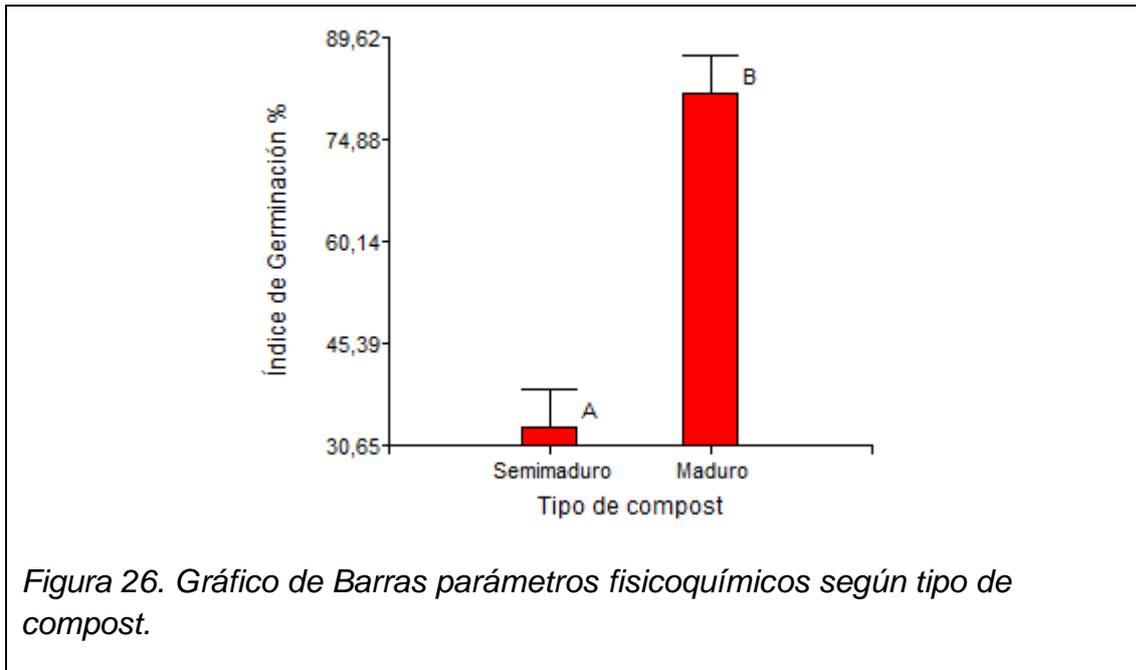
Mientras que los parámetros como la Temperatura, Densidad, P, K, Ca no son significativamente diferentes se puede pensar que su evolución no es estrictamente dependiente de la fase de compostaje. Estas variables se las puede apreciar de mejor manera en la (Figura 26).

Estudios realizados de compostaje proveniente de residuos agrícolas y agroindustriales asemeja su comportamiento de acuerdo a la estabilización de

humedad, temperatura, pH, reducción de la Materia orgánica y su relación C/N, un aumento de los macronutrientes y su conductividad para posteriormente ser usados como mejoradores de suelos (Alvarenga et al., 2015).







En cuanto a la representación del índice de germinación para el compost maduro se establece un porcentaje de germinación mayor al 80% demostrando ausencia de fitotoxicidad, esto se debe a que el compost maduro ya posee niveles estabilizados de nutrientes y especialmente una estabilidad en el pH, no es el caso del compost semimaduro donde se logró una germinación inferior al 50% podría resultar de la falta de estabilidad de la materia prima, eventualmente del lodo residual (Escobar et al., 2012), otros estudios demuestran que el compostaje total de lodos residuales hasta su madurez no presenta una reducción en la variable de germinación (Perez-Murcia et al., 2005)

4.4. CONTENIDOS DE METALES PESADOS Y PRESENCIA DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN EL COMPOST MADURO Y SEMIMADURO.

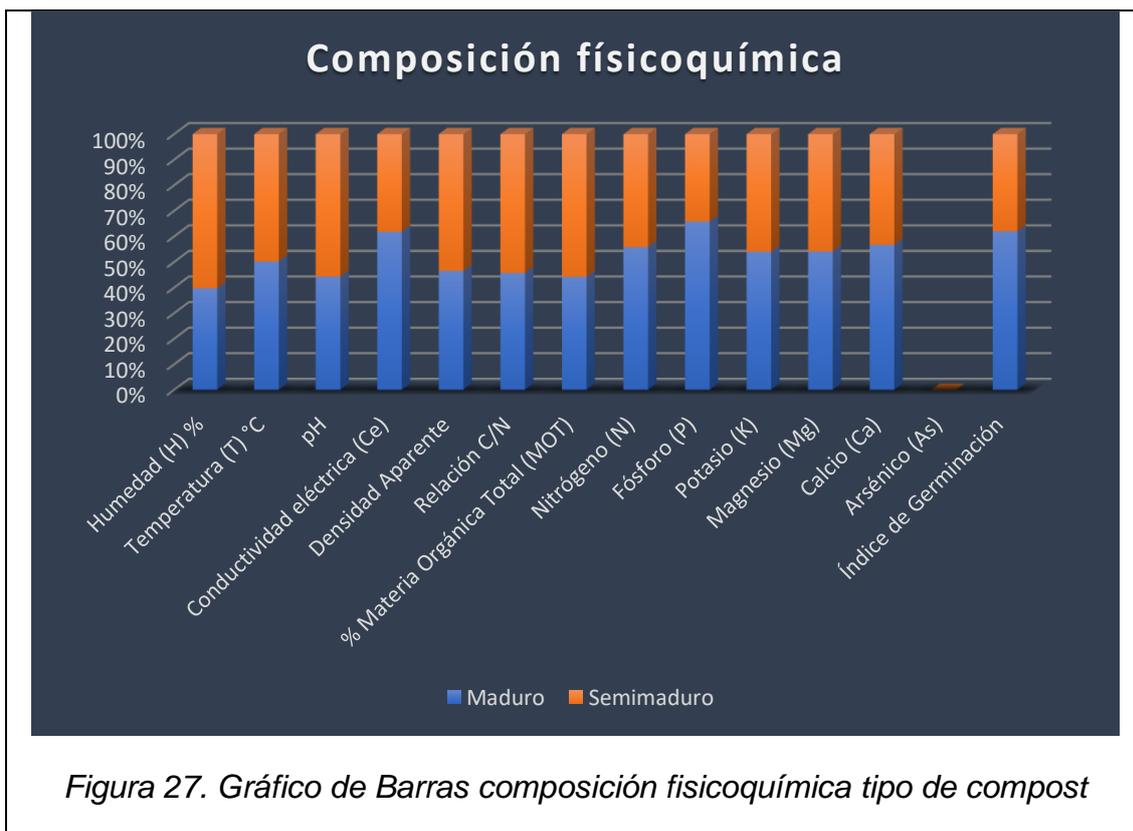
La calidad del compost obtenido se detalla en la tabla 12 donde se expresan los resultados de los parámetros analizados para ambos productos que fueron utilizados como medios de enmienda en el suelo erosionado, los valores que se encuentran en 0 para compost semimaduro no pudieron ser analizado en la semana 8 debido a limitaciones en el laboratorio, sin embargo, se trabajó con los resultados obtenidos del compost maduro en la semana 12.

Tabla 12. Parámetros obtenidos según tipo de compost

Parámetros COMPOST MADURO (CM)		Parámetros COMPOST SEMIMADURO (Cs)	
Arsénico (As) mg/kg	< 2,5	Arsénico (As) mg/kg	0,000
Cadmio (Cd) ppm	3,856	Cadmio (Cd) ppm	0,000
Cobre (Cu) ppm	57,310	Cobre (Cu) ppm	0,000
Cromo (Cr) ppm	55,651	Cromo (Cr) ppm	0,000
Mercurio (Hg) mg/kg	0,239	Mercurio (Hg) mg/kg	0,000
Níquel (Ni) ppm	169,717	Níquel (Ni) ppm	0,000
Plomo (Pb) ppm	2,174	Plomo (Pb) ppm	0,000
Zinc (Zn) ppm	170,206	Zinc (Zn) ppm	0,000
Coliformes totales	< 10000	Coliformes totales	< 10000

Con estos resultados y el análisis de la varianza previo se realizó un gráfico de barras (figura 27) para poder interpretar de mejor manera el comportamiento de los parámetros, donde tenemos que.

- Humedad: disminución de su % para el compost maduro
- Temperatura: estabilización para el compost maduro
- pH: estabilización para el compost maduro
- Conductividad eléctrica: mayor para el compost maduro
- Densidad aparente: no es un valor significativo
- Relación C/N: es más alta en el compost semimaduro debido a que aún existe un mayor porcentaje de Materia Orgánica por descomponer.
- Materia Orgánica total: mayor en el compost semimaduro debido a la fase de descomposición.
- Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio, Calcio: mayor porcentaje en el compost maduro debido a la mineralización de la materia orgánica.
- Índice de germinación: mejor porcentaje para el compost maduro (>80) demostrando que no es fitotóxico, por otro lado, el compost semimaduro aún es medianamente fitotóxico con un valor de 50%



En cuanto a metales pesados se puede comparar los resultados según los límites establecidos en el Real Decreto 865/2010 al no tener una normativa nacional que regule la aplicación de compost en suelos erosionados o agrícolas, en la tabla 13 se puede verificar que el material corresponde a clase A en la mayoría de los metales, excepto en Cadmio y Níquel donde posee un leve excedente, mientras que, en el mismo decreto, para *Escherichia coli* el número más probable (NMP) por gramo de producto establecido es < 1000, en el estudio realizado se obtiene un resultado menor a < 10000 se debería realizar un recuento exacto y específico de este patógeno para poder determinar si existe o no una higienización completa, la misma dependerá de los materiales residuales incorporados y especialmente de la temperatura, tal como lo establece (Erickson et al., 2015)

Tabla 13. Límites de metales pesados según el Real Decreto 865/2010.

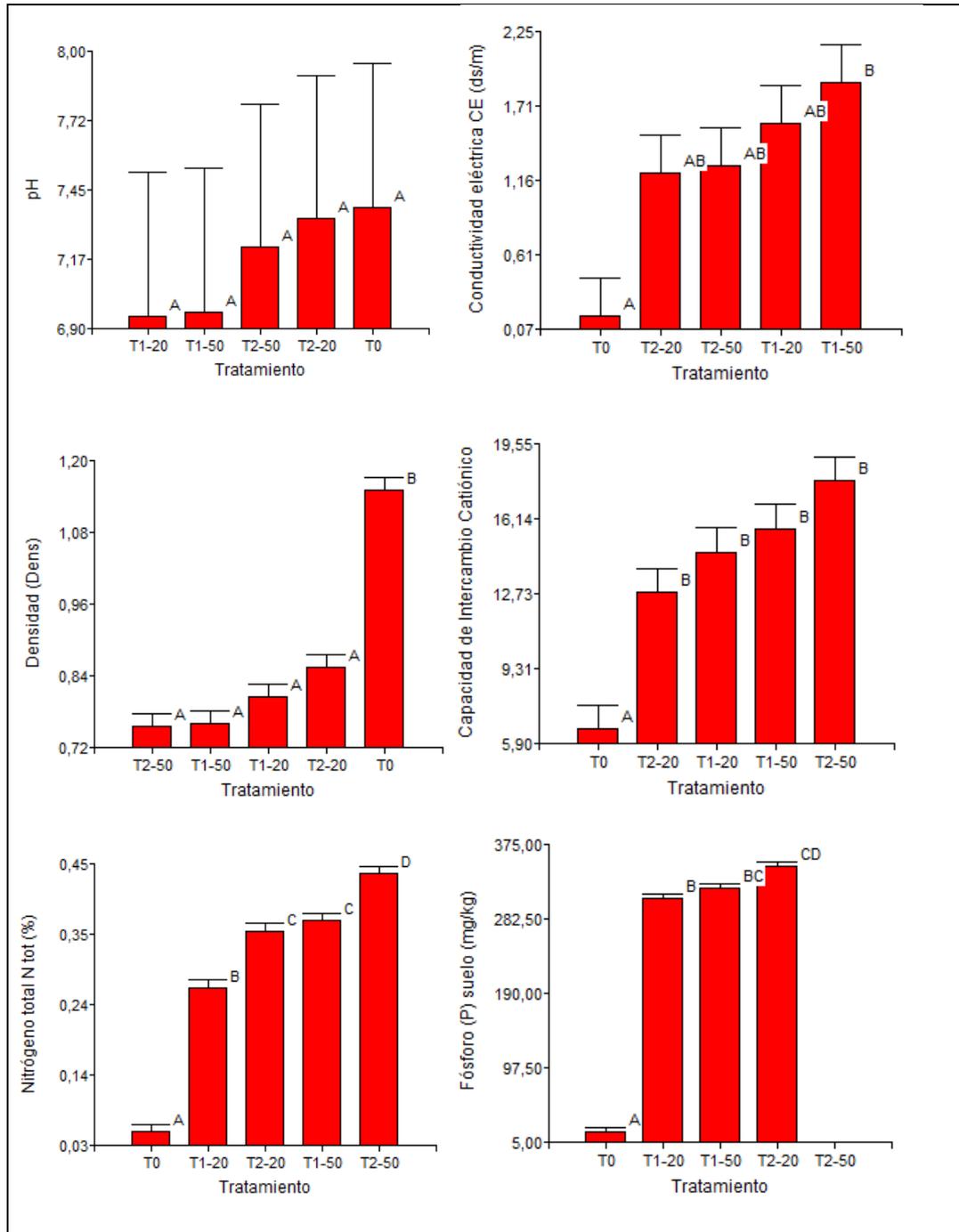
Metal pesado	Límites de concentración mg/kg de materia seca			Resultado en compost mg/kg o ppm
	Clase A	Clase B	Clase C	
<i>Cadmio</i>	0,7	2	3	3.8
<i>Cobre</i>	70	300	400	57.3
<i>Níquel</i>	25	90	100	169.72
<i>Plomo</i>	45	150	200	2.17
<i>Zinc</i>	200	500	1000	170.21
<i>Mercurio</i>	0,4	1,5	2,5	0.24
<i>Cromo (total)</i>	70	250	300	55.65

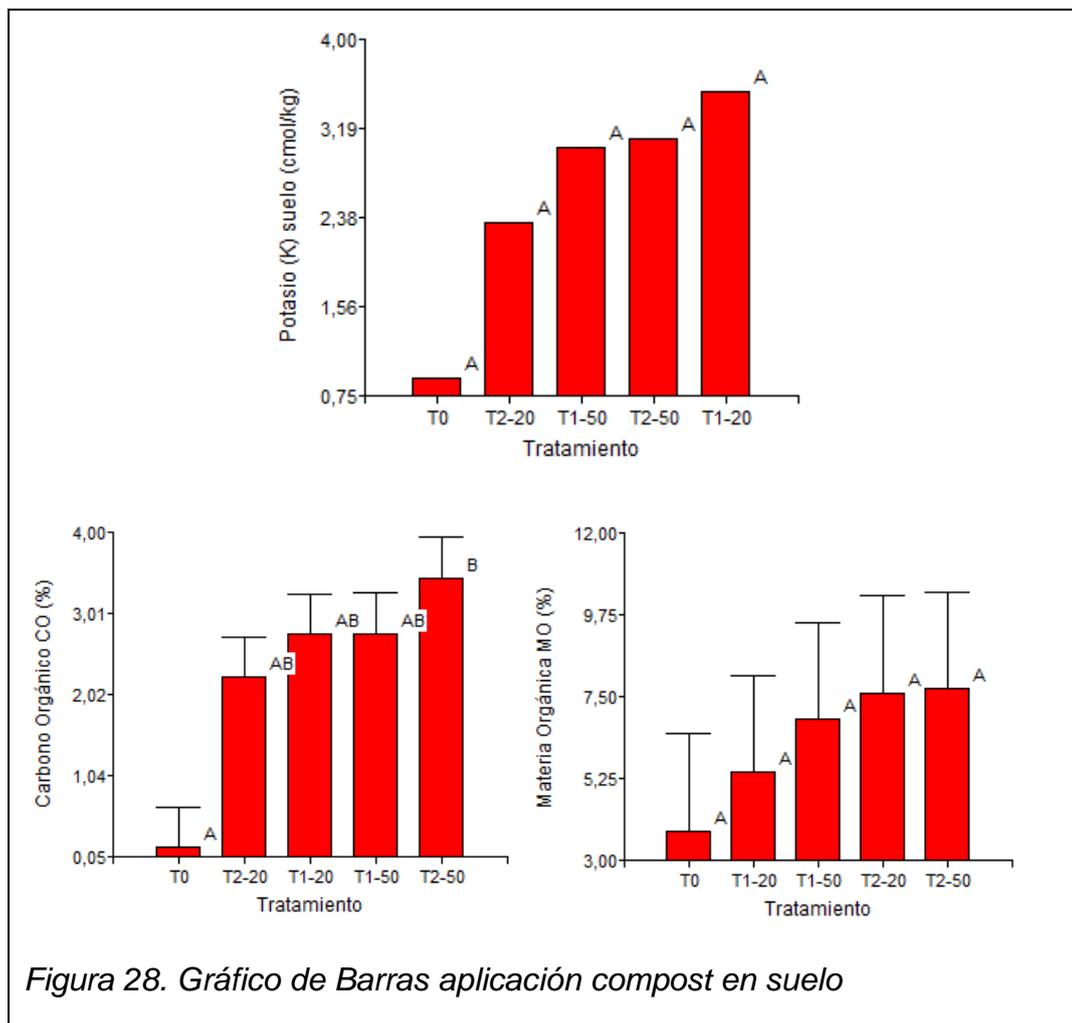
4.5. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE COMPOST EN LAS PROPIEDADES DE UN SUELO DEGRADADO

Para las incubaciones realizadas al 20% y al 50% con compost maduro y semimaduro respectivamente aplicado a suelo erosionado se ejecutaron 3 réplicas para cada incubación con la finalidad de disminuir el error y se midieron parámetros evolutivos al inicio y al final de cada tratamiento. De igual manera se realizó un análisis ANOVA (Anexo 3) para determinar o no su independencia y diferencia significativa.

Para el caso del pH, K y MO se puede deducir un comportamiento no significativo entre las medidas al inicio de la incubación y al final, es decir se obtuvieron valores similares para cada tratamiento en ambos periodos de análisis, sin embargo, la variabilidad que existe entre tratamientos, especialmente en materia orgánica entre el T0, T1 y T2 es significativa.

Caso contrario ocurre con el pH y el K, no existe una variación significativa entre tratamientos y se presenta un comportamiento similar en las mediciones de inicio y final de la incubación.





Finalmente, los parámetros Conductividad eléctrica, densidad, Capacidad de Intercambio Catiónico, Nitrógeno Total, Fósforo y Carbono Orgánico son significativamente diferentes de T0 y la variabilidad en cada tratamiento es independiente.

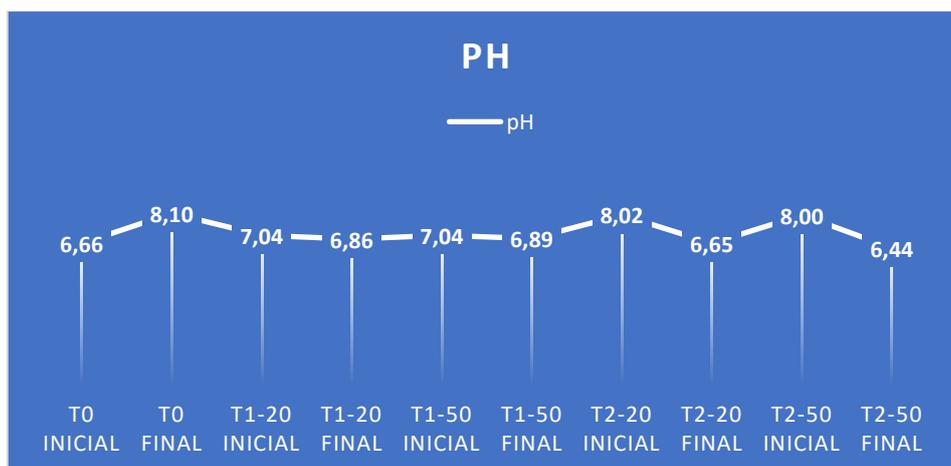


Figura 29. Comportamiento pH en cajas de incubación

Para las incubaciones realizadas el pH inicia en un valor de 8, sin embargo, con el pasar del tiempo se logra estabilizar en un rango entre 6-7 especialmente al final del periodo de incubación en las cajas T1 y T2, sin embargo, el pH en el suelo erosionado (T0) presenta un comportamiento contrario incrementa con el pasar del tiempo (figura 29).

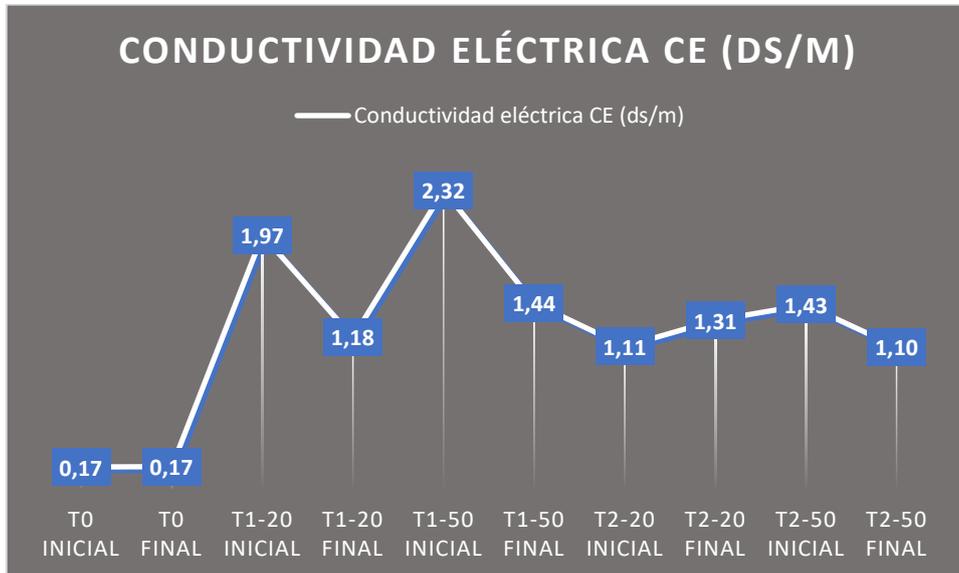


Figura 30. Comportamiento conductividad eléctrica en cajas de incubación

La conductividad eléctrica del T0 (suelo erosionado) tiene un valor muy bajo, menor a 1 ds/m, sin embargo, en las cajas de incubación se logra aumentar considerablemente su valor, consiguiendo experimentos finales mayores a 1, recomendable para el desarrollo de un suelo agrícola (figura 30)

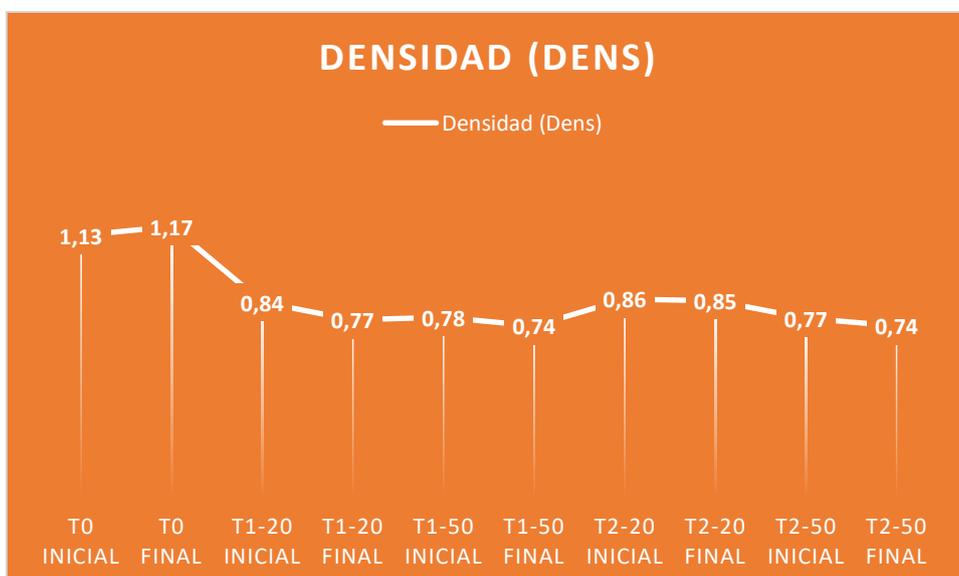


Figura 31. Comportamiento densidad en cajas de incubación

Los cajetines de experimentación T0 (suelo erosionado) poseen una densidad mayor a 1, sin embargo, al realizar las mezclas de suelo erosionado con compost se observa una disminución directa en la densidad (figura 31).



Figura 32. Comportamiento CIC en cajas de incubación

En cuanto a capacidad de intercambio catiónico se puede observar su incremento directo entre la incubación de suelo erosionado (T0) y las incubaciones finales.

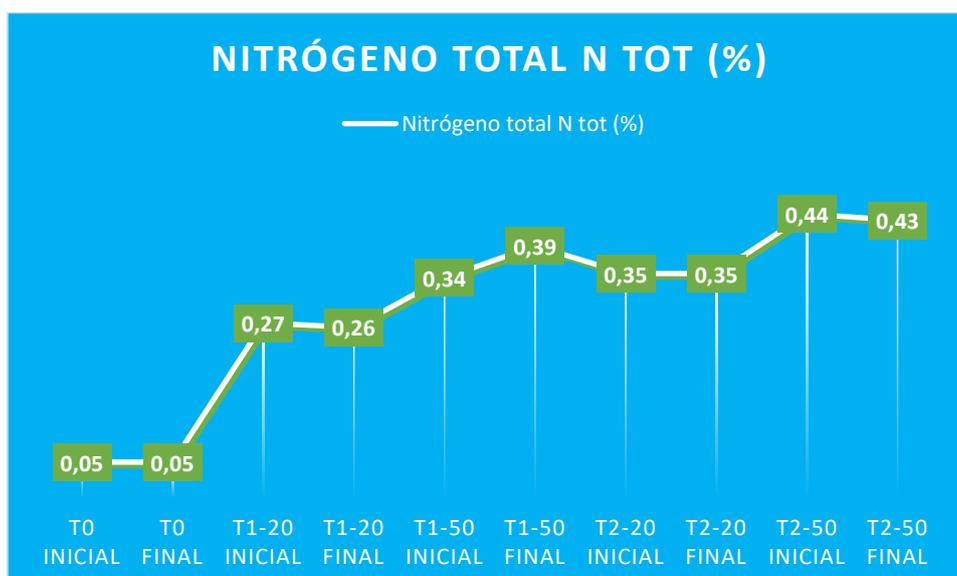


Figura 33. Comportamiento Nitrógeno total en cajas de incubación

El nitrógeno total es el N expresado en todas sus formas, orgánicas e inorgánicas, en las cajas de incubación se puede observar un incremento

directamente proporcional a la aplicación de compost en el suelo erosionado, lo mismo ocurre con el carbono Orgánico, fósforo y potasio (figuras 33, 34, 36 y 37).

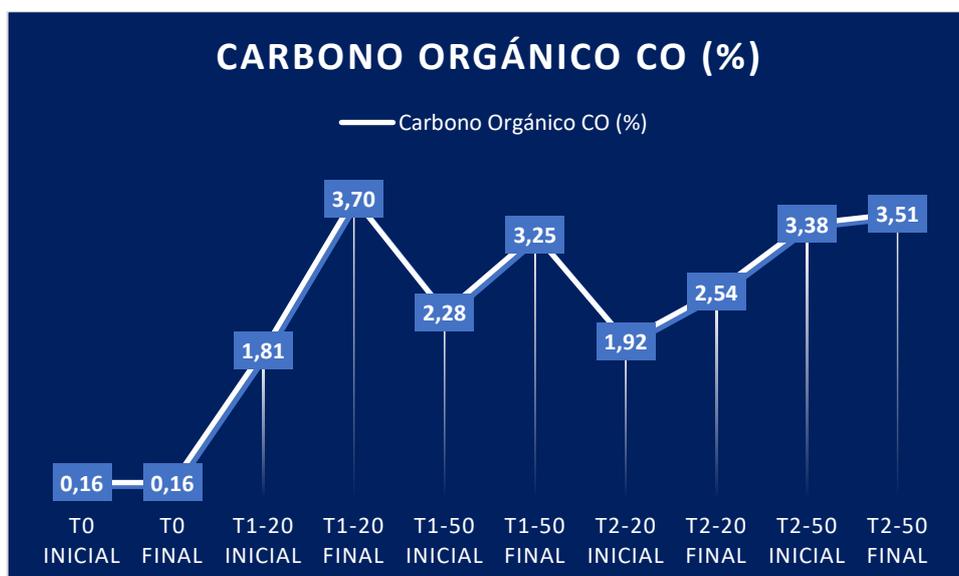


Figura 34. Comportamiento Carbono Orgánico en cajas de incubación



Figura 35. Comportamiento Materia Orgánica en cajas de incubación

En cuanto al comportamiento de la materia orgánica (figura 36) en las cajas de incubación de suelo erosionado se puede apreciar una disminución en contenido de materia orgánica, mientras que en las cajas experimentales de mezcla de compost con suelo erosionado es notorio el incremento de la materia orgánica a lo largo del tiempo. Lo mismo ocurre con el carbono orgánico (figura 35) se puede verificar que en las cajas de incubación con las mezclas realizadas existe un incremento del porcentaje de concentración en el tiempo.

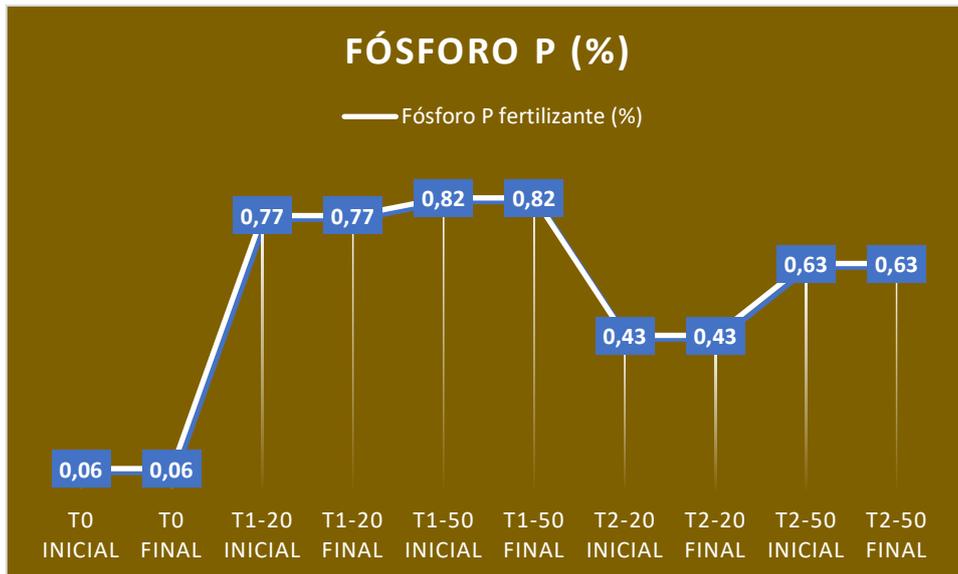


Figura 36. Comportamiento Fósforo en cajas de incubación

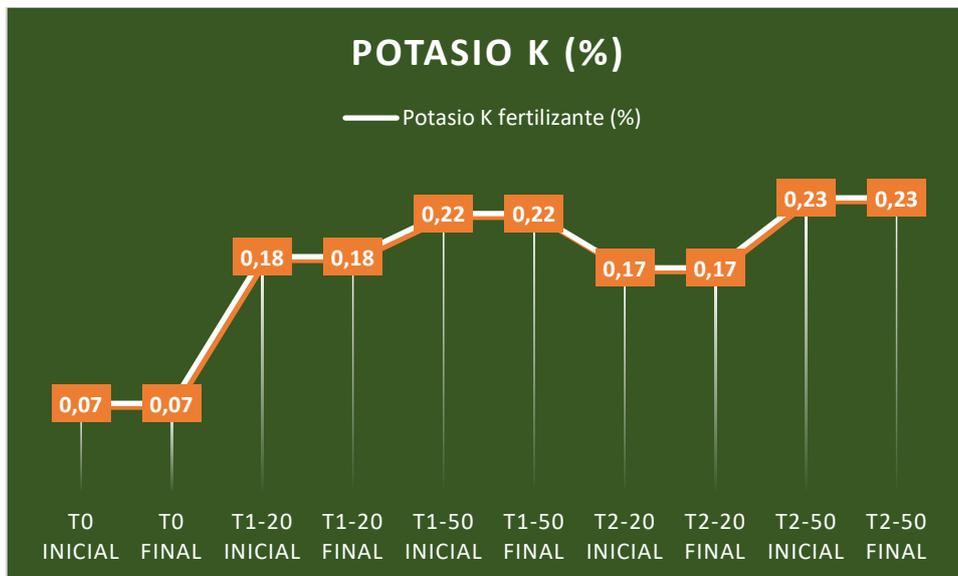


Figura 37. Comportamiento Potasio en cajas de incubación

Considerando que el suelo es un recurso no renovable y su contenido de materia orgánica, así como de nutrientes es vital para el equilibrio de los procesos degradativos, así como para el desarrollo vegetativo y la sostenibilidad del sistema suelo-planta, el comportamiento de los parámetros en los suelos es dinámico y dependerá de factores edafoclimáticos en suelos no intervenidos pero también de factores humanos en suelos intervenidos los cuales afectaran directamente en sus concentraciones y proporciones. La incorporación de materiales orgánicos (lodos de depuradora, residuos vegetales, agroindustriales, etc.) pueden contribuir a reestablecer los niveles de

materia orgánica, micro y macro nutrientes para la restauración de suelos erosionados. (Hernández et al., 2014).

El término madurez en el compost hace referencia al grado de descomposición de los compuestos orgánicos potencialmente fitotóxicos y la estabilidad al grado de descomposición de la materia orgánica, por lo tanto la aplicación de compost menos estables o inmaduros activará rápidamente la funcionalidad del suelo, sin embargo al tener un compost semimaduro a partir de la mezcla de materiales lignocelulósicas se podrá tener un comportamiento duradero, especialmente contribuirá en el almacenamiento del carbono a través de los procesos de humificación mediante la oxidación de la lignina. (Hernández et al., 2014). Una indebida madurez en el compost podría estar asociada a una elevada Conductividad y por ende contribuir al aumento de la salinidad del suelo, así como de una elevada concentración de NO_3^- capaz de generar lixiviados contaminantes para aguas superficiales y/o subterráneas (Alvarenga et al., 2015).

5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, se puede concluir que dentro de la materia prima que compone al compost (lodo de la industria cárnica y material vegetal florícola y maderero) se determinó que el lodo residual fue el residuo que contribuyó en mayor medida al aporte de humedad, pH y de sales a la mezcla inicial de compostaje. Sin embargo, los residuos vegetales fueron los que tuvieron un mayor aporte de materia orgánica y de macronutrientes a la mezcla inicial de compostaje, siendo estas características positivas para el inicio del proceso.

Respecto a la comparación del compost maduro y semimaduro se observó que el compost semimaduro presentó una menor degradación de la materia orgánica, como se observó en sus mayores contenidos de materia orgánica. También, el compost semimaduro presentó menor contenido de macronutrientes debido a la menor mineralización de su materia orgánica y a la menor pérdida de masa debida a la degradación de esta materia orgánica. La inestabilidad y falta de madurez del compost semimaduro también fue

observada en la presencia de fitotoxicidad. Solo el compost maduro alcanzó valores del índice de germinación por encima del valor mínimo, indicativo de ausencia de fitotoxicidad (índice de germinación > 80%).

En el compost maduro obtenido y con respecto a metales pesados se deberá ser enfático en buscar la manera de reducir la concentración del porcentaje de Cd y Ni para el uso en agricultura.

Finalmente el efecto de aplicación del tipo de compost y la dosis aplicada ha logrado las siguientes mejoras:

- **Compost maduro en suelo erosionado:**

- El pH es estable tanto al inicio como al final de la incubación para ambas dosis 20 y 50%, favoreciendo la germinación.
- Mejora la conductividad eléctrica del suelo, logrando un valor mayor a 1 lo cual contribuye al desarrollo de suelos agrícolas. La dosis del 50% es la que mejor conductividad logra tener en el suelo con un valor inicial mayor a 2 y final mayor a 1.
- Reduce la densidad en el suelo, por ende se aumenta la porosidad e incrementa la oxigenación del suelo, lo cual favorece al crecimiento radicular. El efecto aplica para ambas dosificaciones, sin embargo la dosificación del 50% es la que logra una menor densidad final, apenas un 3% de diferencia de la aplicación del 20% de dosis con el compost maduro.
- Mejora de la capacidad de intercambio catiónico, lo cual mejora las propiedades físicas del suelo, incrementa la infiltración y mejora la estructura del mismo. El comportamiento es similar en ambas dosificaciones, sin embargo la ventaja de mejora estaría en la dosis del 20% ya que aplicando menor cantidad de producto se obtienen valores similares que aplicando 50%.
- Incremento del % de concentración de C en un mejor rango, logrando una mejor incorporación de C al suelo. De igual manera con una menor dosis de aplicación (20%) se logran valores similares en el incremento de Carbono al suelo frente a una aplicación del 50%.

- Incremento de los macronutrientes N, P, K debido a la mineralización de la materia orgánica, la dosis del 50% es la que obtiene un mejor porcentaje de aporte al suelo, especialmente en el componente de Nitrógeno.
 - Incremento de la materia orgánica, a mayor dosificación mejora el % de materia orgánica al final del periodo de incubación
 - El índice de germinación es no fitotóxico
- **Compost semimaduro en suelo erosionado**
- El pH varía en el proceso de incubación para ambas dosificaciones, con una tendencia a disminuir, sin embargo podría afectar a la germinación.
 - Aumento de la conductividad eléctrica aplicando 20% al aplicar 50% pasa lo contrario, la conductividad disminuye, sin embargo al igual que el compost maduro se encuentra en un valor mayor a 1 lo cual agricolamente es representativo.
 - Existe una mejora en la disminución de la densidad al final de la incubación, especialmente en la dosis del 50%, se equipara a los valores de densidad obtenidos con la aplicación del 50% de compost maduro.
 - Aumento de la capacidad de intercambio catiónico, especialmente la dosis del 50% es la que mejor CIC logra al final del periodo de incubación, incluso mejor que la aplicación de compost maduro.
 - Incrementa la cantidad de materia orgánica en el suelo, a pesar de que el compost maduro también lo hace, con el compost semimaduro se ha logrado incrementar hasta en un 27% la materia orgánica en la mezcla suelo con compost semimaduro al 20% como el mejor resultado de todos los tratamientos.
 - Se logra una mejora de micronutrientes al igual que el compost maduro, sin embargo para el N y K la dosificación al 50% de compost semimaduro arroja los mejores resultados de todos los tratamientos, mientras que la dosis del 50% con compost maduro arroja el mejor resultado para el P.

Se puede concluir que en el trabajo de estudio planteado, el uso de compost semimaduro podría ser utilizado en suelos que puedan ser recuperados para una actividad agrícola en el mediano o largo plazo, con la finalidad de que la misma materia orgánica sea mineralizada en el suelo y la mejora de componentes físico químicos sea idónea, analizando el comportamiento según la dosificación se puede determinar que es suficiente una aplicación de compost semimaduro al 20% para lograr un aporte ideal de materia orgánica, macronutrientes, así como la mejora de las propiedades físicas del suelo y una reducción de costos asociados, sin embargo si se requiere una recuperación de suelo de mayor agresividad y se poseen los recursos económicos, entonces se recomienda la dosificación del 50%, especialmente para que exista una carga adicional de materia orgánica, N y K.

Mientras que el compost maduro podría ser aplicado en suelos erosionados cuya actividad agrícola sea contemplada iniciarla en un corto periodo de tiempo, la dosificación del 50% es la ideal para el aporte de materia orgánica, macronutrientes, Capacidad de Intercambio Catiónico y mejora en las propiedades físicas del suelo.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alvarenga, P., Mourinha, C., Farto, M., Santos, T., Palma, P., Sengo, J., Morais, MC., Queda, C. (2015). *Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors* | Elsevier Enhanced Reader. 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.027>

AOAC (2019). Official Methods of Analysis (Volume 1), Edition 21. Association of Official Agricultural Chemists, Washington DC. p.771.

Banco Mundial (2019). Índice de producción de alimentos. Recuperado 17 de julio de 2022, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.PRD.FOOD.XD?end=2019&locations=EC&start=1961&view=chart>

Betancourt, E. (2022). Residuos florícolas [Comunicación Personal].

Cadme, M.L., Reyes, J.G. (2021). Aprovechamiento de los residuos forestales para la elaboración de productos con fines comerciales. Trabajo de Titulación. Universidad Técnica Estatal Quevedo (Ecuador). Recuperado 12 de septiembre de 2022, de <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6333>

Carrillo, D. (2009). La Industria de alimentos y bebidas en el Ecuador. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado 5 de agosto de 2022, de <https://www.uasb.edu.ec/observatorio-pyme/wp-content/uploads/sites/6/2021/04/ALIMENTOS-1.pdf>

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA) (2022). Redes de Saneamiento urbano. (s. f.). Recuperado 30 de septiembre de 2016, de <http://cidta.usal.es/Cursos/redes/modulos/Libros/unidad%205/residuales.PDF>

COMAFORS (2022). Industria de la madera: Una gran oportunidad para el país. Recuperado 20 de julio de 2022, de <https://comafors.org/noticias-y-eventos/industria-de-la-madera-una-gran-oportunidad-para-el-pais-944.html>

Constitución República del Ecuador (2021). Recuperado 6 de agosto de 2022, de https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Cornell Composting (1996). C/N Ratio. Recuperado 5 de agosto de 2022, de http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html

Corporación Financiera Nacional (2021a). Ficha Sectorial-Flores. Recuperado 19 de julio de 2022, de <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Flores.pdf>

Corporación Financiera Nacional (2021b) Ficha Sectorial-Silvicultura y extracción de madera. Recuperado 20 de julio de 2022, de <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Silvicultura-y-extraccion-de-madera.pdf>

Docampo, R. (2012). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. Recuperado 2 de agosto de 2022, de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11480/1/sad-687-p.81-88.pdf>

El compostaje de residuos orgánicos (2022). Guía divulgativa sobre las posibilidades de los tratamientos biológicos de los residuos orgánicos. Recuperado 28 de julio de 2022, de <https://docplayer.es/44817326-El-compostaje-de-residuos-organicos-guia-divulgativa-sobre-las-posibilidades-de-los-tratamientos-biologicos-de-los-residuos-organicos.html>

EPA (2004). Method 9045D. Soil and waste ph. Recuperado 6 de agosto de 2022, de <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/9045d.pdf>

Erickson,MC., Smith,C., Jiang, X., Flitcroft, ID., Doyle, MP. (2015). Manure source and age affect survival of zoonotic pathogens during aerobic composting at sublethal temperatures. *J Food Prot.* 2015 Feb;78(2):302-10. Recuperado 15 de septiembre de 2022, de <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-288>

Escobar, J., Pereira, Martinez, Y., & Sánchez, N. (2012). *EVALUACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD DE LODOS RESIDUALES DE INDUSTRIAS ALIMENTICIAS Y PAPELERAS*. Recuperado 15 de septiembre de 2022, de <https://doi.org/10.13140/2.1.3001.6007>

Eyherabide, M., Saínz Rozas, H., Barbieri, P., Echeverría, H.E. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del Suelo*, 32 (1): 13-19.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. (2022). *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR: Experiencias en América Latina*. Recuperado 15 de septiembre de 2022, de <https://www.fao.org/3/i3388s/l3388S.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). Carbono orgánico del suelo por el método de Walkley-Black. Método de titulación y colorimétrico. Recuperado 12 de septiembre de 2022, de <https://www.fao.org/3/ca7471es/ca7471es.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Standard operating procedure for soil electrical conductivity. Recuperado 12 de septiembre de 2022, de <https://www.fao.org/3/cb3354en/cb3354en.pdf>

Gualpa Calva, M. A., Rosero Haro, S. C., Montenegro Córdova, G. B. (2018, octubre). Estimación de los residuos forestales, en los aserraderos de tres cantones, zona 3 Interandina, Ecuador. *European Scientific Journal*, 14(30), 228-239. pdf.

Hernández-Cázares, A.S., Real-Luna, N., Delgado-Blancas, M., Bautista-Hernández, L., Velasco-Velasco, J. (2016). RESIDUOS AGROINDUSTRIALES CON POTENCIAL DE COMPOSTAJE. *Colegio de Postgraduados Campus Córdoba*, 9(9), 10-17. Recuperado 15 de septiembre de 2022, de <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/2642/1/Agroproductividad%20vol%209%2c%20no%209%2c%20p%2010-17.pdf>

Huachi, I. L. (2006). *MEJORAMIENTO DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO DE LOS RESIDUOS DE POST-COSECHA DE UNA FLORÍCOLA*. Trabajo de Titulación. Universidad Internacional SEK (Ecuador). Recuperado 15 de septiembre de 2022, de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/435/1/Tesis%20Grado%20Cynthia%20S%c3%a1nchez%20Vi%c3%b1a.pdf>

INEC (2020). Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. Gestión de Residuos Sólidos 2020. Recuperado 17 de julio de 2022, de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2020/Residuos_solidos_2020/Presentacion_residuos_2020.pdf

Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (2004). Recuperado 20 de julio de 2022, de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCION-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf>

López, N., Muñoz, J. (2017). La producción forestal una actividad con alto potencial en el Ecuador requiere un cambio de visión. *Bosques Latitud Cero*, 7 (1): 69-76

Lucio-Paredes, J. J. P., Legarda, D., Vivero, M. B., Bayas, E., Caisapanta, G., Robayo, M., Sagnay, C., Simbaña, R., & Yáñez, D. (2021). *MINISTRO DE PRODUCCIÓN, COMERCIO EXTERIO, INVERSIONES Y PESCA*. 25.

M.D. Perez-Murcia, R. Moral, J. Moreno-Caselles, A. Perez-Espinosa, C. Paredes. (2005). Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. *Bioresource Technology*: 2005, 123-130. Recuperado 15 de septiembre de 2022, de <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.02.005>

Ma T, Hernández., García, Carlos., Sánchez, Florencio., Bernal, Ma Pilar., Carrillo, Rafael., Cabrera, Francisco., Madejón, Engracia., Cabrera, Alegría., Cox, Lucía. (2014). *Residuos orgánicos en la restauración/rehabilitación de suelos degradados*. Recuperado 15 de septiembre de 2022, de https://books.google.es/books?hl=es&lr&id=_BdNBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=incubaci%C3%B3n+de+compost+en+suelo+erosionado&ots=xvcVyhzeL&sig=DcXZDW2ijYC1kFc5a2tl0TShFvo&pli=1#v=onepage&q&f=false

Manzanares, K., Velasquez, D., Guyat, M.A. (2007). Experiencia del aprovechamiento de residuos en un aserrío. *Revista Forestal Baracoa*, 13(2), 326-334.

Mateo Fernández, S. (2017). Evaluación de la degradación de suelos en dos agroecosistemas de la granja Santa Inés. Trabajo de Titulación. Universidad Técnica de Machala (Ecuador). Recuperado 9 de agosto de 2022, de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11698/1/DE00018_TRABAJOJETITULACION.pdf

Mendoza, C., Prats, H. (2010). *Opciones de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales*. *Revista Ingeniería*, 14(3): 1665-529X. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46715742006>

Michel, F., O'Neill, T., Rynk, R., Gilbert, J., Smith, M., Aber, J., Keener, H. (2022a). Chapter 6-Forced aeration composting aerated static pile, and similar

methods. En. R. Rynk (Ed.), *The Composting Handbook*. Academic Press. pp. 197-269.

Michel, F., O'Neill, T., Rynk, R., Gilbert, J., Wisbaum, S., Halbach, T. (2022b). Chapter 5-Passively aerated composting methods, including turned windrows. En R. Rynk (Ed.), *The Composting Handbook*. Academic Press. pp. 159-196

Microsoft Power BI. (s.f.). Recuperado 19 de julio de 2022, de <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMTg5YjM5MmEtZmE0MC00YzliLTg4NjgtNWU0MjcyN2Y2YzAzliwidCI6IjNmMmE4MmYxLTY4NWQtNDVkZi1hMDBmLVWJnN2U4Y2Y4ZGIwZSI6ImMiOjR9>

Ministerio del Ambiente (2014). ACUERDO No. 161 LA MINISTRA DEL AMBIENTE. 44. Recuperado 12 de septiembre de 2022, de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/AM-161-Reforma-al-Titulo-V-y-VI-del-TULSMA-RO-631-01-02-2012.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2014). Sinergias entre Degradación de la Tierra y Cambio Climático en los Paisajes Agrarios del Ecuador. Recuperado 6 de agosto de 2022, de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/57189.pdf>

Monteguano Paredes, M.A. (2019). Valorización del uso de lodos de lavadoras de jeans para el compostaje de la empresa EMMAIT-EP del cantón Pelileo provincia de Tungurahua. Trabajo de Titulación. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo (Ecuador). Recuperado 28 de julio de 2022, de <https://1library.co/article/an%C3%A1lisis-de-las-pilas-de-compostaje-etapa-final.z3do988y>

Moreno Casco, J, Moral Herrero, R., 2008. *Compostaje*. Mundi-Prensa, Madrid. 572 p.

Moreno Casco, J. M., Mormeneo Bernat, S. M. (2008). Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. En: Moreno Casco, J, Moral Herrero, R. (Eds.), *Compostaje*. Mundi-Prensa. pp. 111-140

Nieto del Río, J. (2016). La importancia de la materia orgánica en el suelo. Recuperado 20 de julio de 2022, de <https://www.informeagricola.com/la-importancia-de-la-materia-organica-en-el-suelo/>

Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados (2015). Recuperado 6 de agosto de 2022, de <https://www.informea.org/es/node/331379>

Norma RTCR 228 (1996). Fertilizantes, Tolerancias Permitidas para la Concentración de los Elementos. Recuperado 17 de julio de 2022, de https://members.wto.org/crnattachments/2016/SPS/CRI/16_2523_00_s.pdf.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2022): Ecuador en una mirada | FAO en Ecuador | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2022, de <https://www.fao.org/ecuador/fao-en-ecuador/ecuador-en-una-mirada/es/>

Patiño Paulina. (2017). *FORMULACIÓN Y OBTENCIÓN PARA APLICACIÓN DEL COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS DE TALLOS Y PÉTALOS*. Trabajo de Titulación. Universidad Central del Ecuador (Ecuador) Recuperado 15 de septiembre de 2022, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12680/1/T-UCE-0017-0050-2017.pdf>

Pérez, A. C., Morales, J. L. G. (2008). Aspectos técnicos en el desarrollo y control del proceso de compostaje. En: Moreno Casco, J., Moral Herrero, R. (Eds.), Compostaje. Mundi-Prensa. pp. 141-164.

Pon, J. (2019). Taller Regional: Instrumentos para la implementación efectiva y coherente de la dimensión ambiental de la agenda de desarrollo. Caso 4: RESIDUOS. Recuperado 17 de julio de 2022, de https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/gestion_de_residuos_-_jordi_pon.pdf

Ramírez, M. E., Limas, E. A., Ortiz, P. R., Díaz, A. R. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, 53-54, 77-88.

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. *Boletín Oficial del Estado*. 164, 51119- 51207

Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2015). Recuperado 20 de julio de 2022, de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_acuerdo-ministerial-061.pdf

Riera, M. A., Maldonado, S., Palma, R. R. (2018). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3): 227-246. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/3924>

Rynk, R., Koerting, N., Ziegenbein, J., Hardin, J., Oshins, C., Brown, N. J., Lampen, N. J., & Lilkas-Rain, D. (2022). Chapter 14-Facility management. En R. Rynk (Ed.), *The Composting Handbook* (pp. 685-736). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85602-7.00017-0>

Sadzawka, A., Carrasco, M.A., Grez, R., Mora, M.L. (2005). *Métodos de Análisis del compost*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas N.º 30, Santiago, Chile, 142 p.

Sánchez, A.M., Vayas, T., Mayorga, F., Freire, C. (2020). Sector maderero Ecuador. Recuperado 20 de julio de 2022, de <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Sector-maderero-Ecuador-aprobado.pdf>

Sánchez, R., Najul, M. V., Ortega, E. (2009). El manejo de los residuos en la industria de agroalimentos en Venezuela. *Interciencia*, 34(2), 91-99.

Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (2017). *Gestión Integral de Desechos Sólidos*. Recuperado 17 de julio de 2022, de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/PNGIDS1.pdf>

Sperling, M. (2007). Chapter 2- sludge characteristics and production En: Andreoli, C., Fernandes, F., Ronteltap, M (Ed) *Sludge Treatment and Disposal*. IWA Publishing. pp. 4-28

Stehouwer, R., Cooperband, L., Rynk, R., Biala, J., Bonhotal, J., Antler, S., Lewandowski, T., Nichols, H. (2022). Chapter 15-Compost characteristics and

quality. En: R. Rynk (Ed.), The Composting Handbook. Academic Press. pp. 737-775.

Trinidad-Santos, A. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agro Productividad*, 9(8): 52-58. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/802>

UNICEF (2020). Diagnóstico de la situación de las niñas, niños y adolescentes de Ecuador frente al cambio climático. Quito, Ecuador: UNICEF Ecuador. Recuperado 2 de agosto de 2022, de https://www.unicef.org/ecuador/media/7056/file/Ecuador_Cambio_climatico_CLAC_0.pdf.pdf

Varnero, M.T., Rojas, C., Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *R.C.Suelo Nutr. Veg.* 7 (1): 28-37.

Vinueza, J.L., Moreno, R.A. (2013). Estudio del aprovechamiento de residuos orgánicos de cultivos de flores (tallos de rosa) como bioabsorbente de cadmio para el tratamiento de aguas residuales. Trabajo de Titulación. Universidad Politécnica Salesiana (Ecuador).

7. ANEXOS

ANEXO 1. ANOVA MATERIAS PRIMAS

Humedad (H)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad (H)	4	0,90	0,85	21,88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3021,81	1	3021,81	17,37	0,0530
MATERIA PRIMA	3021,81	1	3021,81	17,37	0,0530
Error	348,03	2	174,01		
Total	3369,84	3			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=56,70916

Error: 174,0127 gl: 2

MATERIA PRIMA Medias n E.E.

Vegetal	32,81	2	9,33	A
Lodo	87,78	2	9,33	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

% Materia Orgánica Total (MOT)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Materia Orgánica Total (..	4	0,90	0,85	3,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	164,21	1	164,21	18,46	0,0501
MATERIA PRIMA	164,21	1	164,21	18,46	0,0501
Error	17,79	2	8,90		
Total	182,00	3			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=12,82220

Error: 8,8961 gl: 2

MATERIA PRIMA Medias n E.E.

Lodo	75,24	2	2,11	A
Vegetal	88,05	2	2,11	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	4	0,20	0,00	13,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,34	1	0,34	0,50	0,5528
MATERIA PRIMA	0,34	1	0,34	0,50	0,5528
Error	1,37	2	0,69		
Total	1,71	3			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,55972

Error: 0,6857 gl: 2

MATERIA PRIMA	Medias	n	E.E.
Vegetal	5,90	2	0,59 A
Lodo	6,49	2	0,59 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Conductividad eléctrica (Ce)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conductividad eléctrica (C..	4	0,33	7,0E-04	198,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,90	1	0,90	1,00	0,4222
MATERIA PRIMA	0,90	1	0,90	1,00	0,4222
Error	1,79	2	0,89		
Total	2,68	3			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=4,06467

Error: 0,8940 gl: 2

MATERIA PRIMA	Medias	n	E.E.
Vegetal	3,0E-03	2	0,67 A
Lodo	0,95	2	0,67 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Carbono Total (C tot) %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Carbono Total (C tot) %	4	0,49	0,23	9,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	36,29	1	36,29	1,90	0,3022
MATERIA PRIMA	36,29	1	36,29	1,90	0,3022
Error	38,25	2	19,13		
Total	74,54	3			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=18,80029

Error: 19,1251 gl: 2

MATERIA PRIMA	Medias	n	E.E.
Lodo	43,64	2	3,09 A
Vegetal	49,67	2	3,09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Nitrógeno total (N tot) %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nitrógeno total (N tot) %	4	0,09	0,00	115,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,27	1	0,27	0,19	0,7067
MATERIA PRIMA	0,27	1	0,27	0,19	0,7067
Error	2,90	2	1,45		
Total	3,17	3			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=5,17637

Error: 1,4499 gl: 2

MATERIA PRIMA Medias n E.E.

Lodo 0,78 2 0,85 A

Vegetal 1,30 2 0,85 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Fósforo (P) %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fósforo (P) %	4	0,52	0,28	127,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	1	0,03	2,19	0,2774
MATERIA PRIMA	0,03	1	0,03	2,19	0,2774
Error	0,03	2	0,01		
Total	0,06	3			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,49438

Error: 0,0132 gl: 2

MATERIA PRIMA Medias n E.E.

Lodo 0,01 2 0,08 A

Vegetal 0,18 2 0,08 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Potasio (K) %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Potasio (K) %	4	0,42	0,13	163,44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,39	1	3,39	1,47	0,3497
MATERIA PRIMA	3,39	1	3,39	1,47	0,3497
Error	4,62	2	2,31		
Total	8,01	3			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=6,53441

Error: 2,3104 gl: 2

MATERIA PRIMA Medias n E.E.

Lodo 0,01 2 1,07 A

Vegetal 1,85 2 1,07 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

ANEXO 2. ANOVA TIPO DE COMPOST

Humedad (H) %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad (H) %	6	0,95	0,94	5,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	387,93	1	387,93	83,48	0,0008
Tipo de compost	387,93	1	387,93	83,48	0,0008
Error	18,59	4	4,65		
Total	406,52	5			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,88690

Error: 4,6470 gl: 4

Tipo de compost	Medias	n	E.E.
Maduro	31,08	3	1,24 A
Semimaduro	47,16	3	1,24 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Temperatura (T) °C

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Temperatura (T) °C	6	0,01	0,00	6,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	1	0,03	0,03	0,8749
Tipo de compost	0,03	1	0,03	0,03	0,8749
Error	4,79	4	1,20		
Total	4,83	5			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,48161

Error: 1,1983 gl: 4

Tipo de compost	Medias	n	E.E.
Semimaduro	18,02	3	0,63 A
Maduro	18,17	3	0,63 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	6	0,98	0,97	2,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,09	1	4,09	173,22	0,0002
Tipo de compost	4,09	1	4,09	173,22	0,0002
Error	0,09	4	0,02		
Total	4,19	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,34843

Error: 0,0236 gl: 4

Tipo de compost Medias n E.E.

Maduro	6,42	3	0,09	A
Semimaduro	8,07	3	0,09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Conductividad eléctrica (Ce) ds/m

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conductividad eléctrica (C..	6	0,77	0,71	15,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	1	0,02	13,43	0,0215
Tipo de compost	0,02	1	0,02	13,43	0,0215
Error	0,01	4	1,3E-03		
Total	0,02	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08163

Error: 0,0013 gl: 4

Tipo de compost Medias n E.E.

Semimaduro	0,17	3	0,02	A
Maduro	0,28	3	0,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Densidad Aparente g/ml

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad Aparente g/ml	6	0,63	0,54	6,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	1	0,03	6,89	0,0585
Tipo de compost	0,03	1	0,03	6,89	0,0585
Error	0,02	4	4,5E-03		
Total	0,05	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,15232

Error: 0,0045 gl: 4

Tipo de compost Medias n E.E.

Maduro	0,98	3	0,04	A
Semimaduro	1,12	3	0,04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Relación C/N %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Relación C/N %	6	0,92	0,90	3,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,45	1	6,45	44,14	0,0027
Tipo de compost	6,45	1	6,45	44,14	0,0027
Error	0,58	4	0,15		
Total	7,03	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,86640

Error: 0,1461 gl: 4

Tipo de compost	Medias	n	E.E.
Maduro	11,09	3	0,22 A
Semimaduro	13,16	3	0,22 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

% Materia Orgánica Total (MOT)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Materia Orgánica Total (..	6	0,93	0,91	3,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18,96	1	18,96	54,53	0,0018
Tipo de compost	18,96	1	18,96	54,53	0,0018
Error	1,39	4	0,35		
Total	20,35	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,33673

Error: 0,3477 gl: 4

Tipo de compost	Medias	n	E.E.
Maduro	13,62	3	0,34 A
Semimaduro	17,18	3	0,34 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Nitrógeno (N) total %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nitrógeno (N) total %	6	0,84	0,80	6,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,04	1	0,04	20,66	0,0105
Tipo de compost	0,04	1	0,04	20,66	0,0105
Error	0,01	4	2,0E-03		
Total	0,05	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10180

Error: 0,0020 gl: 4

Tipo de compost Medias n E.E.

Semimaduro 0,63 3 0,03 A

Maduro 0,80 3 0,03 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Fósforo (P) %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fósforo (P) %	6	0,50	0,37	38,89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,05	1	3,05	3,97	0,1171
Tipo de compost	3,05	1	3,05	3,97	0,1171
Error	3,07	4	0,77		
Total	6,12	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,98609

Error: 0,7676 gl: 4

Tipo de compost Medias n E.E.

Semimaduro 1,54 3 0,51 A

Maduro 2,97 3 0,51 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Potasio (K) %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Potasio (K) %	6	0,31	0,14	14,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,2E-03	1	2,2E-03	1,83	0,2475
Tipo de compost	2,2E-03	1	2,2E-03	1,83	0,2475
Error	4,8E-03	4	1,2E-03		
Total	0,01	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07867

Error: 0,0012 gl: 4

Tipo de compost Medias n E.E.

Semimaduro 0,22 3 0,02 A

Maduro 0,26 3 0,02 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Magnesio (Mg) %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Magnesio (Mg) %	6	0,83	0,79	4,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	1	0,02	19,61	0,0114
Tipo de compost	0,02	1	0,02	19,61	0,0114
Error	3,3E-03	4	8,2E-04		
Total	0,02	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06478

Error: 0,0008 gl: 4

Tipo de compost Medias n E.E.

Semimaduro 0,57 3 0,02 A

Maduro 0,67 3 0,02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Calcio (Ca) %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Calcio (Ca) %	6	0,50	0,37	16,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,44	1	1,44	4,00	0,1163
Tipo de compost	1,44	1	1,44	4,00	0,1163
Error	1,44	4	0,36		
Total	2,88	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,36131

Error: 0,3606 gl: 4

Tipo de compost Medias n E.E.

Semimaduro 3,17 3 0,35 A

Maduro 4,15 3 0,35 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Arsénico (As) mg/kg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arsénico (As) mg/kg	6	sd	sd	sd

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	1	0,00	sd	sd
Tipo de compost	0,00	1	0,00	sd	sd
Error	0,00	4	0,00		
Total	0,00	5			

Cadmio (Cd) ppm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cadmio (Cd) ppm	6	1,00	1,00	5,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22,31	1	22,31	1771,14	<0,0001
Tipo de compost	22,31	1	22,31	1771,14	<0,0001
Error	0,05	4	0,01		
Total	22,36	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,25441

Error: 0,0126 gl: 4

Tipo de compost	Medias	n	E.E.
Semimaduro	0,00	3	0,06 A
Maduro	3,86	3	0,06 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Cobre (Cu) ppm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cobre (Cu) ppm	6	1,00	1,00	5,40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4926,60	1	4926,60	2053,83	<0,0001
Tipo de compost	4926,60	1	4926,60	2053,83	<0,0001
Error	9,59	4	2,40		
Total	4936,19	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,51105

Error: 2,3987 gl: 4

Tipo de compost	Medias	n	E.E.
Semimaduro	0,00	3	0,89 A
Maduro	57,31	3	0,89 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Cromo (Cr) ppm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cromo (Cr) ppm	6	1,00	1,00	3,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4645,50	1	4645,50	4591,63	<0,0001
Tipo de compost	4645,50	1	4645,50	4591,63	<0,0001
Error	4,05	4	1,01		
Total	4649,54	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,28023

Error: 1,0117 gl: 4

Tipo de compost	Medias	n	E.E.
Semimaduro	0,00	3	0,58 A
Maduro	55,65	3	0,58 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Mercurio (Hg) mg/kg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mercurio (Hg) mg/kg	6	1,00	1,00	2,2E-06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,09	1	0,09	12547117458508900,00	<0,0001
Tipo de compost	0,09	1	0,09		sd sd
Error	0,00	4	0,00		
Total	0,09	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00000

Error: 0,0000 gl: 4

Tipo de compost Medias n E.E.

Semimaduro 0,00 3 0,00 A

Maduro 0,24 3 0,00 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Níquel (Ni) ppm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Níquel (Ni) ppm	6	1,00	1,00	6,58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	43205,62	1	43205,62	1387,70	<0,0001
Tipo de compost	43205,62	1	43205,62	1387,70	<0,0001
Error	124,54	4	31,13		
Total	43330,16	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=12,64935

Error: 31,1348 gl: 4

Tipo de compost Medias n E.E.

Semimaduro 0,00 3 3,22 A

Maduro 169,72 3 3,22 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Plomo (Pb) ppm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Plomo (Pb) ppm	6	0,94	0,92	32,14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,09	1	7,09	58,10	0,0016
Tipo de compost	7,09	1	7,09	58,10	0,0016
Error	0,49	4	0,12		
Total	7,58	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,79188

Error: 0,1220 gl: 4

Tipo de compost Medias n E.E.

Semimaduro 0,00 3 0,20 A

Maduro 2,17 3 0,20 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Zinc (Zn) ppm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Zinc (Zn) ppm	6	1,00	1,00	5,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	43455,29	1	43455,29	2007,37	<0,0001
Tipo de compost	43455,29	1	43455,29	2007,37	<0,0001
Error	86,59	4	21,65		
Total	43541,89	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=10,54760

Error: 21,6479 gl: 4

Tipo de compost	Medias	n	E.E.
Semimaduro	0,00	3	2,69 A
Maduro	170,21	3	2,69 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Índice de Germinación %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Índice de Germinación %	6	0,91	0,89	15,88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3504,17	1	3504,17	42,05	0,0029
Tipo de compost	3504,17	1	3504,17	42,05	0,0029
Error	333,33	4	83,33		
Total	3837,50	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=20,69449

Error: 83,3333 gl: 4

Tipo de compost	Medias	n	E.E.
Semimaduro	33,33	3	5,27 A
Maduro	81,67	3	5,27 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Coliformes totales

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Coliformes totales	6	sd	sd	sd

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	1	0,00	sd	sd
Tipo de compost	0,00	1	0,00	sd	sd
Error	0,00	4	0,00		
Total	0,00	5			

ANEXO 3. ANOVA INCUBACIONES

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	10	0,09	0,00	11,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,33	4	0,08	0,13	0,9659
Tratamiento	0,33	4	0,08	0,13	0,9659
Error	3,22	5	0,64		
Total	3,55	9			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,21897

Error: 0,6439 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T1-20	6,95	2	0,57 A
T1-50	6,97	2	0,57 A
T2-50	7,22	2	0,57 A
T2-20	7,34	2	0,57 A
T0	7,38	2	0,57 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Conductividad eléctrica CE (ds/m)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conductividad eléctrica CE..	10	0,81	0,66	32,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,33	4	0,83	5,38	0,0467
Tratamiento	3,33	4	0,83	5,38	0,0467
Error	0,77	5	0,15		
Total	4,11	9			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,57801

Error: 0,1547 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	0,17	2	0,28 A
T2-20	1,21	2	0,28 A B
T2-50	1,27	2	0,28 A B
T1-20	1,58	2	0,28 A B
T1-50	1,88	2	0,28 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad (Dens)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad (Dens)	10	0,98	0,96	3,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,22	4	0,05	59,37	0,0002
Tratamiento	0,22	4	0,05	59,37	0,0002
Error	4,6E-03	5	9,1E-04		
Total	0,22	9			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12101

Error: 0,0009 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2-50	0,76	2	0,02 A
T1-50	0,76	2	0,02 A
T1-20	0,81	2	0,02 A
T2-20	0,86	2	0,02 A
T0	1,15	2	0,02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Capacidad de Intercambio Catiónico

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Capacidad de Intercambio C..	10	0,93	0,87	11,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	147,93	4	36,98	15,63	0,0049
Tratamiento	147,93	4	36,98	15,63	0,0049
Error	11,83	5	2,37		
Total	159,75	9			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=6,16966

Error: 2,3654 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	6,54	2	1,09 A
T2-20	12,78	2	1,09 B
T1-20	14,63	2	1,09 B
T1-50	15,70	2	1,09 B
T2-50	17,85	2	1,09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Nitrógeno total N tot (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nitrógeno total N tot (%)	10	0,99	0,99	5,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,18	4	0,04	163,76	<0,0001
Tratamiento	0,18	4	0,04	163,76	<0,0001
Error	1,4E-03	5	2,7E-04		
Total	0,18	9			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06592

Error: 0,0003 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T0	0,05	2	0,01	A
T1-20	0,27	2	0,01	B
T2-20	0,35	2	0,01	C
T1-50	0,37	2	0,01	C
T2-50	0,44	2	0,01	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Fósforo (P) suelo (mg/kg)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fósforo (P) suelo (mg/kg)	10	1,00	1,00	2,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	170394,93	4	42598,73	693,93	<0,0001
Tratamiento	170394,93	4	42598,73	693,93	<0,0001
Error	306,94	5	61,39		
Total	170701,86	9			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=31,43033

Error: 61,3880 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T0	17,40	2	5,54	A
T1-20	307,19	2	5,54	B
T1-50	320,20	2	5,54	B C
T2-20	348,34	2	5,54	C D
T2-50	376,92	2	5,54	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Potasio (K) suelo (cmol/kg)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Potasio (K) suelo (cmol/kg..	10	0,78	0,60	26,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,34	4	2,09	4,38	0,0684
Tratamiento	8,34	4	2,09	4,38	0,0684
Error	2,38	5	0,48		
Total	10,72	9			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,76750

Error: 0,4759 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	0,91	2	0,49 A
T2-20	2,33	2	0,49 A
T1-50	3,01	2	0,49 A
T2-50	3,10	2	0,49 A
T1-20	3,52	2	0,49 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Carbono Orgánico CO (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Carbono Orgánico CO (%)	10	0,84	0,71	30,87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12,63	4	3,16	6,42	0,0331
Tratamiento	12,63	4	3,16	6,42	0,0331
Error	2,46	5	0,49		
Total	15,09	9			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,81215

Error: 0,4914 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	0,16	2	0,50 A
T2-20	2,23	2	0,50 A B
T1-20	2,76	2	0,50 A B
T1-50	2,77	2	0,50 A B
T2-50	3,45	2	0,50 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Materia Orgánica MO (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Materia Orgánica MO (%)	10	0,23	0,00	60,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	21,89	4	5,47	0,38	0,8135
Tratamiento	21,89	4	5,47	0,38	0,8135
Error	71,54	5	14,31		
Total	93,43	9			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=15,17360

Error: 14,3075 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	3,81	2	2,67 A
T1-20	5,41	2	2,67 A
T1-50	6,88	2	2,67 A
T2-20	7,59	2	2,67 A
T2-50	7,71	2	2,67 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fósforo P fertilizante (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fósforo P fertilizante (%)..	10	1,00	1,00	0,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,76	4	0,19	sd	sd
Tratamiento	0,76	4	0,19	sd	sd
Error	0,00	5	0,00		
Total	0,76	9			

Potasio K fertilizante (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Potasio K fertilizante (%)..	10	1,00	1,00	0,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	4	0,01	sd	sd
Tratamiento	0,03	4	0,01	sd	sd
Error	0,00	5	0,00		
Total	0,03	9			