

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Mejoramiento del compost mediante la adición de  
estiércol de vacuno y de cuy para la disminución  
de la concentración de metales pesados en el  
CEPASC-Concepción, 2018**

Ruth Betty Zarate Caja

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2019

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los docentes de la Universidad Continental y colegas que me brindaron un apoyo invaluable a lo largo de esta investigación, puesta en marcha a mediados del 2018 con el único propósito de contribuir con la mejora en la reducción de la concentración de metales pesados presentes en el compost obtenido en el relleno sanitario CEPASC (Centro Ecoturístico de Protección Ambiental Santa Cruz), con el fin de darle un valor a los residuos orgánicos y colaborar en el desarrollo sostenible del distrito de Concepción.

A mis compañeros de trabajo del área de Ecología y Limpieza Pública de la Municipalidad Provincial de Concepción, que se involucraron en la experiencia y aportaron su energía, su tiempo, por su paciencia y tener esas ganas de mejorar la cultura ambiental en la sociedad.

Un agradecimiento especial a mi asesora de tesis, Ingeniera Cindy Ballardo, por confiar en mí y ser mi guía, por su tiempo, por compartir sus conocimientos, su ser amigo y por darle mucha importancia al tema de investigación propuesta.

## **DEDICATORIA**

A mis adorados Padres, Amanda y Antonio, por ser mis mejores y buenos amigos, mis consejeros, por su paciencia y su amor incondicional, por soportarme y ayudarme a crecer día a día como persona y profesionalmente.

Y de una manera muy especial a Sergio por ser mi apoyo y compañero.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	12
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	12
1.1.1 Planteamiento del problema .....	12
1.1.2 Formulación del problema .....	13
1.2 Objetivos .....	13
1.2.2 Objetivo general .....	13
1.2.3 Objetivos específicos.....	13
1.3 Justificación e importancia.....	14
1.4 Hipótesis y descripción de hipótesis .....	15
1.4.2 Hipótesis general .....	15
1.4.3 Hipótesis específicas .....	16
1.4.4 Variables.....	16
1.4.5 Indicadores de las variables en estudio .....	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Antecedentes del problema .....	17
2.2 Bases teóricas .....	26
2.2.1 Residuos sólidos.....	26
2.2.2 Fundamentos teóricos del compostaje.....	31
2.2.3 Marco Legal .....	49
2.2.4 Ciclo de vida de los residuos sólidos.....	52
2.3 Definición de términos básicos .....	54
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	57
3.1 Área de estudio.....	57
3.1.1 Ubicación geográfica.....	57
3.1.2 Ubicación del área de estudio.....	57
3.2 Método y alcance de la investigación.....	58
3.2.1 Método de investigación .....	58
3.2.2 Nivel de investigación .....	58
3.2.3 Tipo de investigación .....	58
3.2.4 Alcance de la investigación.....	59
3.3 Diseño de la investigación.....	59
3.3.1 Procedimiento de campo .....	60
3.4 Población y muestra .....	65
3.4.1 Población.....	65
3.4.2 Muestra.....	65
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	65

3.6	Técnicas de análisis de datos.....	66
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		67
4.1	Resultados del tratamiento y análisis de la información (tablas y figuras) .....	67
4.1.1	Análisis de datos de campo .....	67
4.1.2	Análisis de datos de metales.....	69
4.2	Discusión de resultados.....	77
4.2.1	Parámetros de campo .....	77
4.2.2	Metales pesados.....	79
CONCLUSIONES.....		93
RECOMENDACIONES .....		95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		96

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables e indicadores para determinar la calidad del compost producido a partir de residuos sólidos orgánicos municipales en el Centro de Protección Ambiental Santa Cruz, ciudad de Concepción .....	18
Tabla 2. Vectores, formas de transmisión y enfermedades .....	27
Tabla 3. Relación carbono/nitrógeno de algunos materiales orgánicos. ....	38
Tabla 4. Abono orgánico según la Organización Mundial de la Salud .....	43
Tabla 5. Concentraciones máximas de metales pesados en compost Clase “A” .....	44
Tabla 6. Concentraciones máximas de metales pesados en compost Clase “B” .....	44
Tabla 7. Valores permitidos de las características químicas en compost .....	45
Tabla 8. Calidad del compost de acuerdo al uso .....	45
Tabla 9 Concentraciones máximas de elementos traza en mg·kg-1 en base seca .....	46
Tabla 10. Características generales que deben cumplir los tipos de composta. ....	47
Tabla 11. Tratamientos en Estudio.....	60
Tabla 12. Cantidad de residuos por pila de compostaje .....	62
Tabla 13. Parámetros de análisis de compost.....	66
Tabla 14. Concentración de arsénico por tipo de tratamiento .....	80
Tabla 15. Concentración de cadmio por tipo de tratamiento .....	81
Tabla 16. Concentración de cromo por tipo de tratamiento .....	83
Tabla 17. Concentración de cobre por tipo de tratamiento .....	84
Tabla 18. Concentración de mercurio por tipo de tratamiento .....	86
Tabla 19. Concentración de níquel por tipo de tratamiento .....	87
Tabla 20. Concentración de plomo por tipo de tratamiento .....	89
Tabla 21. Concentración de zinc por tipo de tratamiento.....	91

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases de la biodegradación del Compost. Adaptado de “Microbiología y Bioquímica del proceso de compostaje”, por J. Moreno y S. Mormeneo, 2008, Madrid: Mundi Prensa .....	33
Figura 2. Fases de Temperatura. Adaptado de “Ingeniería y aspectos técnicos de la estabilización aeróbica 3”, por J. Moreno, R. Moral, J. L. García, J. A. Pascual, M. P. Bernal, 2015. España: Mundi-Prensa .....	36
Figura 4. Variación de la temperatura .....	67
Figura 5. Variación de la Humedad .....	68
Figura 6. Niveles de potencial de hidrogeno (pH). .....	69
Figura 7. Contenido de arsénico del compost final .....	70
Figura 8. Contenido de cadmio del compost final.....	71
Figura 9. Contenido de Cromo del compost final. ....	72
Figura 10. Contenido de cobre del compost final .....	73
Figura 11. Contenido de mercurio del compost final .....	74
Figura 12. Contenido de níquel del compost final. ....	75
Figura 13. Contenido de plomo del compost final. ....	76
Figura 14. Contenido de zinc del compost final.....	77



## **ANEXOS**

Anexo 1: Registro de datos de campo

Anexo 2: Resultados de análisis de laboratorio

Anexo 3: Matriz de operacionalización de variables y matriz de consistencia

Anexo 4: Panel fotográfico

## RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo mejorar el compost en la disminución de la concentración de metales pesados en el CEPASC (Centro Ecoturístico de Protección Ambiental Santa Cruz), distrito y provincia de Concepción, departamento de Junín, tomando como referencia la norma Chilena N. 2880, norma ambiental mexicana N. 020-2011 y el reglamento Austriaco BGBL, 2001. Se instalaron tres pilas de compostaje con diferentes proporciones de residuos sólidos orgánicos segregados, estiércol de cuy y estiércol de vacuno. También, se utilizó el EM (microorganismos eficientes) con el fin de acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica. Asimismo, el proceso de compostaje se llevó a cabo en un periodo de 66 días calendario, presentando una descomposición aeróbica, se controlaron parámetros de pH, temperatura y porcentaje de humedad. Luego, las muestras del compost obtenido se enviaron al laboratorio SGS (Société Générale de Surveillance) para los análisis de metales pesados de cada tratamiento. Los resultados de laboratorio confirmaron que el compost tiene altas concentraciones de metales pesados, y que la aplicación de estiércol de cuy disminuye la concentración de estos metales. En conclusión, se determinó que existen concentraciones de metales pesados en un porcentaje elevado, por lo que se recomienda que el compost obtenido no debería ser usado en suelos agrícolas.

**Palabras clave:** metales pesados, compost, estiércol de cuy, estiércol de vacuno, calidad de compost.

## ABSTRACT

The study aimed to improve the compost in the reduction of the concentration of heavy metals in the CEPASC (Santa Cruz Environmental Protection Ecotourism Center), district and province of Concepción, department of Junín, taking as reference the Chilean norm N ° 2880, Mexican environmental standard No. 020-2011 and the Austrian regulation BGBL, 2001. 03 composting piles were installed with different proportions of segregated organic solid waste, guinea pig manure and beef manure. EM (Efficient Microorganisms) was also used to accelerate the process of decomposition of organic matter. The composting process was carried out in a period of 66 calendar days, presenting an aerobic decomposition, pH parameters, temperature and humidity percentage were controlled. Samples of the compost obtained were sent to the SGS (Société Générale de Surveillance) laboratory for heavy metal analyzes of each treatment. The laboratory results confirmed that the compost has high concentrations of heavy metals, and that the application of guinea pig dung decreases the concentration of heavy metals. In conclusion, it was determined that heavy metal concentrations exist in a high percentage, so it is recommended that the compost obtained should not be used in agricultural soils.

**Keywords:** heavy metals, compost, guinea pig manure, manure of bovine cattle, compost quality.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día los residuos sólidos están generando numerosos inconvenientes en la ciudad de Concepción y sus distritos, ya que se evidencia que existe un manejo deficiente de los residuos sólidos, pues no se cuenta con una disposición final adecuada, lo que conlleva a convertir las calles de la ciudad en botaderos e incrementando puntos críticos de acumulación de residuos sólidos municipales.

El manejo de los residuos sólidos, tanto municipales como industriales, se ha convertido en un problema común en la mayoría de ciudades del país y del mundo, sobre todo en ciudades que cuentan con poblaciones grandes, lo que genera cantidades cada vez mayores de residuos, esto sumado al poco interés de las autoridades en el manejo adecuado de los residuos sólidos empeora la situación. Por otro lado, la falta de educación ambiental y participación de los ciudadanos en campañas de limpieza da lugar a la existencia de botaderos, producción de vectores transmisores de enfermedades, generación de malos olores y paisajes degradados.

La ciudad de Concepción no es ajena a esta problemática a pesar de ser reconocida a nivel nacional, como una de las ciudades modelo en mejor manejo y tratamiento de sus residuos sólidos municipales, aún existen deficiencias en la segregación en fuente. La generación diaria de residuos sólidos recolectados en la ciudad de Concepción es de 13 t/día, pero se incrementa en los días feriados y de actividades turísticas, que es cuando se incurre en una deficiente segregación de los residuos sólidos, por tanto, se presentan los residuos no degradables para el proceso de compostaje. El distrito capital de Concepción cuenta con un programa de recolección selectiva donde los residuos son recolectados en diferentes días a la semana, de acuerdo a sus características (orgánicos, inorgánicos y reciclables). Por este motivo, el distrito viene impulsando promover una conciencia ambiental entre los habitantes del casco urbano y mejorar el programa de segregación en fuente.

A inicios del 2018 y de acuerdo a Ley N. 29332, que crea el programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal, el distrito de Concepción se propuso metas para desarrollar en un periodo determinado y además lograr el cumplimiento a la “META 25” (Implementación de un sistema integrado de manejo de residuos sólidos municipales). Dentro de la meta 25, la actividad 2 propone valorizar anualmente los residuos sólidos orgánicos municipales, la misma que fue desarrollada por la Gerencia de Ecología y Servicios Públicos del distrito de Concepción, con una meta a valorizar de 9,1 toneladas de

residuos orgánicos hasta noviembre del 2018. Según el instructivo, para el cumplimiento de meta que establece el Ministerio de Economía y finanzas, se realizó actividades de caracterización de residuos sólidos a nivel distrito, para posteriormente implementar las plataformas de compostaje de los residuos orgánicos para el cumplimiento de la Meta 25.

Frente a esta situación y con antecedentes de estudios realizados, donde se registran altas concentraciones de metales pesados en los compost producidos en CEPASC (1), se ha elaborado el presente trabajo de investigación con el objetivo de disminuir la concentración de metales pesados, agregando estiércol de vacuno y de cuy en el proceso de compostaje, asimismo, se pretende aportar mediante esta investigación a que se generen compost con bajas concentraciones de metales pesados que podrían ser usados para la recuperación de áreas degradadas o plantación de hortalizas.

Cabe señalar que en la actualidad la municipalidad distrital de Concepción ya viene utilizando el compost para el cultivo de hortalizas y viveros forestales, sin embargo, no existe la verificación del contenido de metales pesados en el compost. De existir altas concentraciones de metales pesados, podría afectar de una manera significativa si se utiliza para el cultivo de productos alimenticios, debido a que los metales pesados podrían ingresar en el ciclo alimenticio y dañar la salud de las personas.

Aunque no se cuenta con una normativa sobre calidad de compost en el Perú, esto no debe limitar a que las municipalidades tomen en cuenta analizar los compost en un laboratorio acreditado mínimo dos veces al año y categorizarlo de acuerdo a la normativa chilena N. 2880, mexicana N. 020-2011 o austriaca BGBL-2010, antes de ser dispuestos para cualquier uso. Dependiendo de los resultados, si son favorables se podrían firmar convenios con instituciones para realizar proyectos sostenibles a una escala mayor y controlando todos los parámetros de campo óptimamente.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

Uno de los principales problemas en el sector ambiental en el Perú y en el mundo es el aumento en la generación de residuos sólidos, que vienen asociados al crecimiento acelerado de la población y la globalización que generan una cultura consumista.

En el Perú, las municipalidades distritales son responsables del desarrollo de un adecuado manejo de los residuos sólidos que son generados en su jurisdicción, por lo tanto, es importante que realicen un estudio de caracterización de sus residuos sólidos domiciliarios, no domiciliarios y especiales, con la finalidad de plantear programas como: segregación en fuente, valorización de residuos sólidos orgánicos, recolección selectiva y campañas de reciclaje.

En la ciudad de Concepción, a pesar de los esfuerzos de capacitación hacia la población que viene realizando la municipalidad, con diversos programas ambientales, existe deficiencia en la segregación en fuente y en algunos lugares aún persiste el arrojado de residuos sólidos a la intemperie (plazas, calles, mercados, ríos, etc.), lo que origina puntos críticos donde se presentan acumulaciones de residuos domésticos con presencia de vectores.

Asimismo, el distrito de Concepción cuenta con una planta de tratamiento denominado Centro Ecoturístico de Protección Ambiental Santa Cruz (en adelante CEPASC), donde se realiza la disposición final de los residuos sólidos municipales, tanto orgánicos como inorgánicos. Según la caracterización realizada el año 2018, la cantidad de residuos orgánicos que ingresan a la planta por días de recojo son 7,44 toneladas, que representa un 64% del total de residuos generados en el distrito (2).

En el CEPASC, el principal problema está relacionado a los limitados procesos en la segregación y tratamiento de los residuos sólidos orgánicos, ocasionando la obtención de un compost con elevadas concentraciones de metales pesados y de baja calidad, no siendo apto para ser usado como mejorador de suelo. Esto se debe principalmente a los siguientes factores:

- Mala segregación en la fuente por parte de la población, debido a la presencia de residuos peligrosos (restos de pilas alcalinas, termómetros, jeringas contaminadas,

clavos, vidrio, entre otros compuestos tóxicos), y residuos inorgánicos (plásticos, botellas, entre otros compuestos difíciles de degradar).

- Capacidad técnica operativa limitada y poco presupuesto asignado al área.
- Falta de personal, que ocasiona que los residuos orgánicos sean procesados sin eliminar y separar los impropios (vidrios, plásticos, botellas, latas, piedras, etc.), con los que llegan a la planta de tratamiento.

En el CEPASC, el tratamiento de la materia orgánica se realiza a través de la descomposición aeróbica, mediante la aplicación del producto orgánico EM-COMPOST, que permite acelerar el tiempo de descomposición de los residuos orgánicos.

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1 Problema General**

¿Cómo mejorar el compost de CEPASC con la utilización de estiércol de vacuno y de cuy para la disminución de la concentración de metales pesados?

### **1.1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál es la concentración de metales pesados en el compost de CEPASC con la utilización de estiércol de vacuno y de cuy?
- ¿El compost obtenido en CEPASC con la aplicación de estiércol de vacuno y de cuy, cumplirá con los valores permisibles categorizados por la Norma Chilena N. 2880, Norma Mexica N. 020-2011 y el Reglamento Austriaco en la concentración de metales pesados?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.2 Objetivo general**

Utilizar estiércol de vacuno y de cuy para mejorar el compost de CEPASC en la disminución de la concentración de metales pesados.

### **1.2.3 Objetivos específicos**

- Determinar la concentración de metales pesados en el compost de CEPASC con la utilización de estiércol de vacuno y de cuy.

- Determinar si la concentración de metales pesados del compost elaborado en el CEPASC cumple con lo establecido en la Norma Chilena N. 2880, la Norma Mexicana N. 020-2011 y el Reglamento Austriaco.

### **1.3 Justificación e importancia**

Las malas prácticas en el manejo de los residuos sólidos municipales causan un grave impacto sobre el suelo, el agua, la flora y la fauna, por la generación de lixiviados en el proceso de descomposición. Esto afecta a la agricultura, la salud, el ecosistema y además ocasiona un impacto visual negativo.

Actualmente, la municipalidad del distrito de Concepción, mediante la Gerencia de Ecología y Servicios Públicos y la Subgerencia de Limpieza Pública, viene realizando el compostaje a partir de los residuos sólidos orgánicos generados por la población; de esa manera reducen la contaminación y aporta un beneficio al medio ambiente.

Para llevar a cabo un proceso de compostaje óptimo es necesario tener en cuenta diversos factores como los siguientes: realizar una buena segregación en fuente, ejecutar el adecuado control y monitoreo a las pilas de compostaje mediante la medición frecuente de la temperatura, humedad y pH para garantizar que la actividad microbiana sea eficiente. Por tanto, al controlar estos aspectos, se puede disminuir significativamente el tiempo que demanda el proceso de compostaje. El compost que se obtiene, se está utilizando para cultivos de hortalizas y producción de plantones para las áreas verdes del distrito mediante invernaderos instalados en el CEPASC.

La falta de conocimiento por parte de la población sobre la adecuada segregación de los residuos sólidos municipales y los beneficios económicos que esto podría traer, hacen que no le tomen la debida importancia al manejo de sus residuos, en consecuencia, se tienen problemas en la calidad ambiental, salud de las personas y contaminación ambiental del distrito. Asimismo, dificultan el trabajo del personal de limpieza pública en la disposición final de los residuos sólidos.

En la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos D.L.1278, en el artículo 5, menciona dos principios importantes que deberían ser tomados en cuenta por todo tipo de organización:

- **Principio 1.** Implementar la economía circular, que es dar valor ilimitado al consumo de los recursos, teniendo en cuenta todo el ciclo de vida buscando su regeneración y recuperación dentro de su ciclo biológico.



- **Principio 2.** Valorización de residuos que son generados en las actividades productivas y de consumo masivo, realizando el reciclaje de sustancias inorgánicas y metales, generación de energía, producción de compost, tratamiento o recuperación de suelos, entre otras opciones con el objetivo de evitar su disposición final y lograr que estos constituyan un potencial recurso económico.

La generación total, de residuos sólidos de origen municipal a nivel nacional, registrada el 2014, fue 18,131 t/día de los cuales 12,692 t/día (70% son de origen domiciliario) y 5,439 t/día (30% son de origen no domiciliario), la generación per cápita (GPC) domiciliaria promedio nacional ha ido incrementándose, llegó incluso a 0.61 kg/hab./día, del 100% de residuos sólidos municipales. Además, se estima que el 18.6% son residuos reciclables, de ello, solo el 1.53% actualmente es recuperado (31).

Según OEFA (2017), la generación total de residuos sólidos municipales a nivel nacional es de 20,542.0 t/día y existen 1600 botaderos a nivel nacional y solo se cuenta con 42 rellenos, entre sanitarios (30), mixtos (5) y de seguridad (7).

Para ello el Ministerio del Ambiente, a través de Perú Limpio, viene realizando campañas a nivel nacional con el propósito de lograr que la ciudadanía adopte prácticas ambientales responsables en materia de residuos sólidos, asimismo, se pretende inculcar el reciclaje y la valorización de residuos sólidos para optar como última opción la disposición final en rellenos sanitarios.

La presente tesis tiene como propósito mejorar el compost para la disminución de la concentración de metales pesados del CEPASC, adicionando estiércol de vacuno y de cuy en el proceso de compostaje, asimismo, se busca evaluar si el compost obtenido en CEPASC cumple con los valores permisibles categorizados por la Norma Chilena N. 2880, la Norma Mexicana N. 020 y el Reglamento Austriaco en cuanto a la concentración de metales pesados. Esto con la finalidad de lograr la valorización de los residuos orgánicos.

## **1.4 Hipótesis y descripción de hipótesis**

### **1.4.2 Hipótesis general**

La incorporación del estiércol de vacuno y de cuy en tratamientos diferentes para el proceso de compostaje de CEPASC disminuye la concentración de metales pesados.

### **1.4.3 Hipótesis específicas**

- La concentración de metales pesados en el compost de CEPASC disminuye con la incorporación de estiércol de vacuno y de cuy.
- Las concentraciones de metales pesados en el compost elaborado en el CEPASC con utilización de estiércol de cuy y de vacuno cumplen con los valores permisibles establecidos en la Norma Chilena N. 2880, la Norma Mexicana N. 020-2011 y el Reglamento Austriaco.

### **1.4.4 Variables**

#### **1.4.4.1 Variable independiente (X)**

- Estiércol.

#### **1.4.4.2 Variable dependiente (Y)**

- Concentración de metales pesados.

### **1.4.5 Indicadores de las variables en estudio**

#### **1.4.5.1 Independiente (X)**

- Tipo de estiércol.

#### **1.4.5.2 Dependiente (Y)**

- Metales pesados

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del problema

En primer lugar, uno de los antecedentes al problema que se revisó es el artículo científico que tiene como título “Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol”; cuyo objetivo fue el recuperar un suelo contaminado con hidrocarburos, usando aserrín y estiércol y se usó al maíz (*Zeamays L.*) de variedad Marginal T-28, como planta indicadora. El tipo de investigación fue experimental con un diseño completamente al azar, la investigación se realizó en el laboratorio de la Universidad Agraria la Molina, donde se ejecutaron 12 tratamientos y 3 repeticiones, se emplearon macetas experimentales con una capacidad de 1 kg c/u, con un total de 36 macetas, para lo cual se empleó estiércol y aserrines como sustrato para la planta indicadora de maíz (*Zeamays L.*), asimismo, se controló el desarrollo de la planta por un periodo de dos meses. Los resultados arrojados después de los análisis del suelo contaminado por hidrocarburos, en el tratamiento donde se empleó estiércol y aserrín hubo una disminución de 22.5% del promedio en el contenido de hidrocarburos del suelo, en el tratamiento donde se empleó solo estiércol hubo una disminución de 16.5% y usando solamente aserrín disminuyó 9.6% el contenido de hidrocarburos en el suelo. Finalmente, la investigación presenta como conclusión que la planta de maíz es un buen indicador, que permite evidenciar en el suelo contaminado por hidrocarburos el contenido de los metales a través de sus variables como es la altura de la planta, peso seco foliar y peso seco radicular, asimismo se concluye que el tratamiento de mayor reducción en la concentración de hidrocarburos totales de petróleo ha sido el tratamiento que tuvo vacaza más aserrín de bolaina (T3), que presentó una reducción de 21.81 g de TPH/kg a una concentración de 16.28 g de TPH/kg de suelo, por lo que se obtuvo así una reducción del 25%, mayor a los otros tratamientos realizados (3).

En segundo lugar, otro antecedente que se estudió fue la tesis cuyo título es “Calidad del compost producido a partir de residuos sólidos orgánicos municipales en el Centro de Protección Ambiental Santa Cruz, ciudad de Concepción”; tuvo como finalidad determinar la calidad de compost a partir de RSOM en el CEPASC, ciudad de Concepción sobre la base de los valores permisibles categorizados por la Norma Chilena 2880 y la Norma Mexicana 020. El tipo de investigación fue observacional y descriptivo, se

realizaron muestreos no probabilísticos, las variables e indicadores para determinar la calidad del compost producido en CEPASC fueron las siguientes:

Tabla 1. Variables e indicadores para determinar la calidad del compost producido a partir de residuos sólidos orgánicos municipales en el Centro de Protección Ambiental Santa Cruz, ciudad de Concepción

<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>UM</b>
Características físicas	Tamaño de partículas, materiales inertes, presencia de semillas de maleza, contenido de humedad.	mm, %
Características químicas	Contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, boro, molibdeno, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, relación C/N, madurez, arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc.	% dS/m mg/kg
Características microbiológicas	Coliformes fecales, <i>salmonella</i> sp.	NMP

**Abreviaturas:**

UM: Unidades de medición.

dS/m: Decisiemens por metro

mg/kg: Microgramos por kilogramos

NMP: Número más Probable

RSOM: Residuos sólidos orgánicos municipales

La investigación llegó a la conclusión que la calidad del compost producido a partir de RSOM según sus características químicas, lo clasifica en un 50% como compost de Clase B, según la norma chilena N. 2880, y en un 26% como compost de Clase B, según la norma mexicana N. 020. Asimismo, recomienda propiciar una segregación adecuada de los residuos sólidos en origen para disminuir las concentraciones de metales pesados y de materias inertes (plásticos, vidrios y metales) para mejorar la calidad del compost, se concluye que el compost que se viene produciendo en el CEPASC no debe destinarse para fines agrícolas debido a la presencia de metales pesados que sobrepasa los valores máximos permisibles (1).

En tercer lugar, en el artículo científico que tiene como título “Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual”; tuvo como objetivo principal el comparar dos tipos de compost de tipo manual en poza, el primer tipo de ellos contenía restos orgánicos (restos de cocina), más estiércol de vaca y el segundo contenía

rastrajo más estiércol de cuy. Asimismo, la investigación fue de tipo descriptivo y comparativo. Para esto en el pozo 1 se realizaron dos volteos cada 30 días, con un periodo de proceso de tres meses y una semana; en la poza dos se realizaron dos volteos cada 30 días, y el proceso de compostaje fue de cuatro meses y dos semanas, estos pozos tuvieron las mismas medidas. Además, la investigación presenta como resultados la comparación de parámetros de cada poza como pH, humedad, C.E, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio. Llegando a la conclusión que, según la OMS, con los límites máximos permisibles para compost de tipo comercializado los dos compost obtenidos cumplen con los rangos normales de calidad y que la técnica manual de elaboración de compost es la forma más sencilla, sanitaria y barata de resolver el problema de los residuos orgánicos en las municipalidades y empresas, obteniendo un producto que pueda dar beneficio a los que necesitan un suelo sano y fértil (4).

En cuarto lugar, en el artículo científico que tiene como título: “Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo”; presentó el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación biocompost y vermicompost en la producción de forraje de maíz amarillo con riego por goteo. Para esto, se realizaron dos tratamientos, el primero de ellos consistió en la aplicación de biocompost ( $30 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), vermicompost ( $10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), fertilización química de  $200\text{-}100 \text{ kg ha}^{-1}$  (N-P-K), mientras que el segundo tratamiento fue sin fertilizar. Además, el tipo de investigación fue experimental, con un diseño completamente al azar, se evaluaron variables como producción de forraje verde, materia seca, altura de planta, proteína cruda, fibra ácido detergente, fibra neutra detergente, nitratos, energía neta de lactancia, conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable. Los resultados de la investigación fueron que los mayores rendimientos de forraje correspondieron al vermicompost ( $64 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y al biocompost ( $56 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); los resultados en materia seca fueron de  $13 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y  $11 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y el tratamiento de fertilización química produjo  $48 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de forraje verde y tuvo el valor de 12.68% de proteína cruda siendo el más elevado a diferencia de los otros tratamientos. Sin embargo, los valores en los tratamientos de biocompost (10,41%) y vermicompost (10,23%), con respecto al contenido de proteína cruda que fueron de 10,33%, valor que está dentro del rango óptimo para este cultivo. El biocompost produjo el mayor valor de fibra ácido detergente (28.68%), así como las mayores cantidades de nitratos,  $49,44 \text{ mg kg}^{-1}$ , un valor de sodio intercambiable de 4,19 y conductividad eléctrica de  $2,85 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Con relación a la fibra neutra detergente los valores más altos

correspondieron a la fertilización química y al testigo (sin fertilizar) con un valor de 52,18%. Finalmente, la investigación presenta como conclusión que el tratamiento que mejor resultados tuvo fue el vermicompost con 64,38 Mg.ha<sup>-1</sup> de forraje verde y 12,87 Mg.ha<sup>-1</sup> de materia seca y que la aplicación de abonos orgánicos incrementan la presencia de nitratos lo que permitiría no aplicar nitrógeno en el inicio de un nuevo ciclo agrícola, las variables evaluadas en suelo como materia orgánica, conductividad eléctrica y pH se encuentran dentro de los valores máximos permisibles para el buen desarrollo del cultivo de maíz y las variables de calidad bromatológica del maíz obtenidas, asimismo cabe resaltar que la aplicación de biocompost y vermicompost, son una alternativa de fertilización para alcanzar niveles de calidad óptimos y sobre todo sin contaminar el medio ambiente (5).

En quinto lugar, se revisó el artículo de divulgación que tiene como título “Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente” la investigación tuvo como finalidad contribuir al mejoramiento productivo de una manera a que esto pueda producir sustancias benéficas para la vida animal y vegetal, en cuyo artículo se describe el modo de acción de los microorganismos, usos del EM y los efectos del EM. La investigación llega a la conclusión que con la aplicación de la tecnología del EM se hace posible la transformación de los residuos orgánicos en abonos de excelente calidad, los cuales pueden ser usados en programas de producción limpia. La aplicación de EM, en los restos de excretas de cerdos y ganado, ayudan a reducir drásticamente los malos olores y presencia de vectores. El uso de agroquímicos hace que el suelo pierda diversidad de flora y fauna, lo que disminuye significativamente la materia orgánica, asimismo los agroquímicos tienen un costo elevado en la mayoría de los países, mientras que el uso del EM mejora significativamente la biota del suelo, sus propiedades físicas, y en cuestión de costos es más económica a diferencias de los agroquímicos, también ayuda a incrementar la cosecha y por lo tanto aumenta el ingreso del agricultor (6).

En sexto lugar, la tesis cuyo título es “Diseño de un plan de valorización de residuos orgánicos para las empresas restauranteras de la zona turística de Acapulco” tuvo como finalidad realizar un análisis teórico de la situación actual de México, Guerrero y Acapulco sobre la generación y valorización de residuos orgánicos, además realizó un estudio de campo donde obtuvo datos reales para el desarrollo del plan. En el estudio se realizaron trabajos de campo con el fin de obtener datos precisos, trabajo con una muestra

de 30 restaurantes en el puerto de Acapulco, realizada en dos partes, la primera parte constó de un cuestionario hacia los empresarios y la segunda fue realizar una caracterización de los residuos orgánicos generados para realizar una base de datos para el desarrollo del plan. Asimismo, la investigación llegó a la conclusión que la correcta valorización de los residuos orgánicos permitiría disminuir la contaminación presente en el puerto de Acapulco, disminuir costos a los empresarios restauranteros y al municipio, esto, al reducir los residuos que son enviados al relleno sanitario o los tiraderos a cielo abierto y finalmente a la sociedad, ya que la calidad de vida mejorará al reducirse la contaminación, además de que mejoraría la imagen actual del puerto de Acapulco (7).

En séptimo lugar, la tesis cuyo título es “Oportunidades de valorización mediante compostaje de los residuos orgánicos de origen urbano y afines en Ecuador: Propuesta de gestión para la provincia de Chimborazo”; el cual tuvo por finalidad contribuir a una mejor gestión de sus residuos sólidos orgánicos urbano-municipales mediante la elaboración de compostaje, cuyo objetivo general de la investigación fue realizar un estudio integral de los residuos orgánicos de origen urbano que se generan en las calles de la Provincia de Chimborazo, Ecuador. En esta investigación se ha desarrollado tres fases de análisis:

Experimento 1. Se evaluó los residuos orgánicos de vertederos, mercados, restos de poda de jardín y áreas verdes y lodos de una laguna de oxidación para determinar su fracción orgánica, en este experimento se trabajó con nueve muestras representativas, cuyos resultados arrojaron como conclusión que los residuos sólidos analizados como materia prima para la elaboración de compost presentaron una elevada viabilidad debido a la concentración de nutrientes en los resultados de los análisis realizados y a la baja presencia de metales pesados en la fracción orgánica analizada.

Experimento 2. Para este experimento se realizó un proceso de cocompostaje de residuos sólidos orgánicos procedentes de la recogida selectiva, con el objetivo de evaluar y desarrollar diferentes estrategias de cocompostaje, usando residuos de mercado y de poda de jardinería urbana, para la obtención de compost de alta calidad. Para lo cual se elaboraron tres pilas, posteriormente se realizó un análisis físico-químico de los materiales iniciales, con el fin de comparar los datos en las tres pilas. Se concluyó que los residuos de mercado más los residuos de jardinería presentaron una buena mineralización

y humificación de materia orgánica, obteniendo compost de buenas características aptos para el uso en la agricultura.

Experimento 3. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el compostaje como un método de reciclaje de los residuos orgánicos provenientes de la recolección de residuos de vertederos, mercados y poda de jardín de la región Chimborazo; asimismo, se busca estudiar las características y efectos de los compost más idóneos para el uso en la producción de tres variedades de hortalizas y realizar un análisis de costos usando compost para la producción comercial de plantas. Para esto se busca estimar el valor económico de los nutrientes incluidos en el compost. En este experimento se realizaron seis pilas de compostaje con diferentes tipos de residuos.

Pila 1: Residuos sólidos orgánicos municipales sin clasificar.

Pila 2: Residuos sólidos orgánicos segregados.

Pila 3: Residuos sólidos orgánicos segregados.

Pila 4. Residuos sólidos orgánicos de mercado con segregación manual.

Pila 5: Residuos sólidos orgánicos de mercado y residuos de poda de áreas verdes.

Pila 6: Mezcla de lantana cámara y poda en proporción.

El periodo de maduración fue de 2 meses, asimismo se realizó diez medios de cultivo en un invernadero mezclando el compost de la pila 3, 4 y 5 ya que tuvieron baja fitotoxicidad, se realizaron un análisis químico a los compost generados en las 6 pilas. En este experimento se concluye que el compost elaborado con restos hortícolas y frutícolas procedentes del canal del mercado contienen valores elevados de nitrógeno, fosforo y potasio.

La investigación llegó a la conclusión que el compost elaborado superó los límites máximos permisibles en calidad ambiental a nivel de estabilidad, higienización y contenidos de metales; en cuanto a valores económicos en nutrientes de los compost elaborados en los experimentos de compostaje en unidades de fertilizantes NPK se establecieron valores que oscilan entre 24 y 46 euros/ tonelada (8).



En octavo lugar, se analizó la tesis que lleva como título “Valoración agronómica de compost y vermicompost de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas, efecto como enmiendas sólidas y líquidos”; presentó el objetivo de evaluar el valor como fertilizante nitrogenado y como fuente de materia orgánica de tres tipos de compost que fueron elaborados usando alperujos, posteriormente se evaluó el contenido foliar, crecimiento y producción de biomasa en la producción de lechuga. También se evaluó el valor fertilizante de un compost de alperujos y un vermicompost en dos dosis de un suelo donde se cultivó primero lechuga y posteriormente espinaca; asimismo se valoró la eficacia de la aplicación de sustancias húmicas líquidas extraídas con reactivos alcalinos (KOH) o con agua de un compost y un vermicompost de alperujos al suelo, teniendo en cuenta sus efectos sobre el crecimiento, producción de biomasa y contenido foliar de nutrientes en una secuencia de dos cultivos: lechuga-espinaca. Además, se tomaron muestras representativas de los composts generados en las diferentes pilas de compostaje y se realizaron análisis químicos. Para la valoración agronómica se realizaron seis experimentos.

Experimento 1. Valoración de los composts derivados de alperujos como fuente de nitrógeno, cuyo objeto fue evaluar el valor como fuente de nitrógeno y el contenido de materia orgánica, este experimento se realizó en un invernadero, con el uso de macetas de plástico, se agregaron 7 kg de suelo de textura franca, posteriormente se trasplanta una plántula de lechuga de unos 10 cm de longitud. Se agregaron cuatro dosis de nitrógeno (50, 100, 150 y 200 kg N/ha), a los 10 días después del trasplante se aplicaron los fertilizantes minerales disueltos en el agua de riego, fraccionados de la siguiente manera: a los 10 y 30 días de la plantación la aplicación fue de 33,3% de nitrógeno y de potasio 50% y a los 50 días se aplicó el 33,3% de nitrógeno y potasio restante.

Experimento 2. Valoración de los compost a base de alperujos como enmienda orgánica, cuyo propósito fue evaluar el efecto de la materia orgánica (MO) en los parámetros de crecimiento, producción y nutrición en lechuga, se realizaron 10 tratamientos con seis repeticiones por tratamiento sin aplicación de fertilización mineral, Las plantas de lechuga en los experimentos 1 y 2 se cortaron a los 90 días después del trasplante, posteriormente ya secos y triturados se enviaron a análisis de micronutrientes y macronutrientes; por último se calcularon la eficiencia de utilización del nitrógeno de los composts (EUN) por el cultivo de la lechuga.

Experimento 3. Valoración de los vermicomposts como enmienda orgánica, se realizó en dos fases, la primera con plantas de lechuga y la segunda con plantas de espinaca, a los 65 días se cortaron la lechuga, se cortaron a los 50 días, se pesaron y se lavaron para medir su longitud total, las muestras secas sirvieron para determinar el contenido de macro y micronutrientes en mg por planta.

Experimento 4. Valoración de la aplicación al suelo de las sustancias húmicas extraídas del compost y vermicompost; cuyo objetivo fue evaluar el efecto de fertilización al suelo con agua o con extracción alcalina, se realizó 23 tratamientos, con seis repeticiones, usando plantas de lechuga y espinaca; a los 10 días del trasplante se evaluó el extracto húmico obtenido con agua o con extracción alcalina, ácidos húmicos y fúlvicos, posteriormente se con un tratamiento control sin agua o extracción alcalina y con otros tres tratamientos a base de productos comerciales a las dosis de 12,5 y 25 mg de C/kg de suelo. Se calcularon las dosis correspondientes de los extractos a evaluar y se aplicaron inmediatamente al suelo.

Experimento 5. Valoración de la aplicación foliar de las sustancias húmicas extraídas del compost y vermicompost, se valoró el efecto de aspersiones foliares con SHs extraídas con agua o con extracción alcalina del compost y del vermicompost (9).

En noveno lugar, en el artículo científico cuyo título es “Evaluación de compost con presencia de metales pesados en el crecimiento de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*”, se tuvo como objetivo determinar las propiedades físico-químicas de la composta. Se usó restos de residuos orgánicos y podas de jardín recolectados en el Distrito Federal, se realizaron seis tratamientos, T1 (tierra, composta y semilla), T2 (tierra, composta estéril y semilla), T3 (tierra, compuestas, semilla y biofertilizante), T4 (tierra, composta estéril, semilla y biofertilizante), T5 (tierra, composta, semilla estéril y biofertilizante) y T6 (tierra estéril, composta estéril, semilla estéril y biofertilizante). En esta investigación se concluyó que el uso de compost con presencia de metales pesados no causa ningún efecto adverso sobre el crecimiento de *A. brasilense* y *G. intraradices*, ya que los dos microorganismos pudieron ser aislados e identificados en la rizosfera de la planta. Por otra parte, los metales no excedieron los límites máximos permitidos por las normas internacionales como la NTC-5167 y la norma 503 de EPA (10).

En décimo lugar, se analizó el artículo de investigación cuyo título es “Evaluación de metales pesados en el proceso de compostaje orgánico de residuos de hojas de coca”, tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de metales pesados en el compost elaborado con residuos de hoja de coca, la investigación se realizó en el Centro experimental de Kallutaca de la Universidad Pública de El Alto, La Paz, Bolivia, cuyo diseño fue completamente al azar con cuatro tratamientos, T1 (Hoja de coca + Yogurt); T2 (Hoja de coca + suero de leche); T3 (Hoja de coca + levadura) y T4 (Testigo) y 3 repeticiones, se midieron temperatura y humedad cada 7 días y se hicieron volteos cada 15 días. Asimismo, se determinaron contenidos de Cd, Pb, Hg, Cu, Cr y Ni, usando el método Microwave Reaction System/EPA. Además, la investigación arrojó como resultado en metales pesados como clase A, debido a su bajo contenido los cuales variaron dependiendo de los tratamientos, en el T1 (hoja de coca + Yogurt) las concentraciones de metales fueron más bajas a comparación del T3 (hoja de coca + levadura) (11).

En undécimo lugar, se revisó el artículo de investigación cuyo título es “La incidencia de metales pesados en compost de residuos sólidos urbanos y en su uso agronómico en España”, su objetivo fue de determinar qué tipo de fertilización es la que genera mejores resultados y determinar que la fertilización orgánica es una alternativa con beneficios ambientales. Además, se realizó compost en pila con 20 toneladas de residuos orgánicos, con cultivos alternados de trigo y ajos con repeticiones en tres años en los meses de noviembre y junio. Se usaron tres tipos de aplicaciones de fertilizantes, primero con adición de 180 kg/ha de nitrógeno y un tratamiento control sin nitrógeno, con cuatro repeticiones de cada uno de los tratamientos con la rotación trigo-ajo-trigo y cuatro repeticiones de cada una en parcelas con rotación ajo-trigo-ajo cada año. Por tanto, se estudiaron 32 parcelas de 4 x 10 metros anualmente. Los resultados de cadmio, cobre y zinc fueron muy altos y se observó que no pueden considerar estos compost como productos ecológicos en el ámbito europeo, debido a una pobre segregación que la población hace de los residuos en sus hogares. Finalmente, se concluyó que el compost de residuos sólidos urbanos hecho en Córdoba, satisface los límites actuales de la legislación vigente para su aplicación agrícola. No se detectaron incidencias de metales sobre el grano de trigo y los bulbos de ajo (12).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Residuos sólidos**

#### **2.2.1.1 Definición**

Los residuos sólidos son definidos como cualquier material semisólido o sólido que es generado por actividades humanas como resultado del consumo o de actividades como las siguientes: doméstica, industriales, comerciales, institucionales y de servicios, que el generador abandona y que es susceptible de aprovechamiento y transformación en un nuevo bien, con utilidad para otras personas, o simplemente se le puede dar un valor económico antes de su disposición final, según sea el caso (13).

La Ley Integral de Residuos Sólidos, D.L. 1278, define a los residuos sólidos como “cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio”, del cual su poseedor se desprenda para ser manejados priorizando la valorización de los residuos y en último caso pensar en su disposición final (14).

Los residuos sólidos urbanos, pueden definirse como los desechos generados en la comunidad urbana, provenientes de procesos de consumo, actividades humanas, producidos por los usos residenciales, comerciales e institucionales, y por el aseo del espacio público, también se incluyen como residuos sólidos urbanos a los residuos originados en las industrias y establecimientos de salud, siempre que no tengan características tóxicas ni peligrosas (15).

#### **2.2.1.2 Efectos del inadecuado manejo de los residuos sólidos**

La situación del inadecuado manejo de los residuos sólidos es un tema problemático en la gran mayoría de las ciudades, esto se acrecienta debido al rápido crecimiento poblacional y al crecimiento urbano a causa de las migraciones de los pueblos rurales a la ciudad, desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo y la mejora del nivel de vida. Todo esto ocasiona a corto plazo una mayor producción de residuos sólidos, lo que trae como consecuencia daños a la salud de la población como la del ambiente por el mal manejo de sus residuos sólidos. Asimismo, es necesario incidir que los residuos sólidos son causa directa de enfermedades, aunque no está bien determinada, sin embargo, se les atribuye una incidencia en la transmisión de algunas de ellas (16).

Para comprender con mayor claridad los efectos de los residuos sólidos en la salud de las personas, se mencionan lo siguiente:

- **Riesgos directos.** Son aquellos riesgos ocasionados por el contacto directo que tienen las personas con los residuos sólidos al manipularlos sin el uso correcto de EPP (equipos de protección personal), que contienen materiales peligrosos como vidrios rotos, jeringas, excrementos, residuos infecciosos de hospitales y/o residuos industriales. Las personas más vulnerables a este tipo de riesgos directos son los recolectores informales de botaderos y los recolectores de residuos de las calles.
- **Riesgos indirectos.** Los riesgos indirectos son causados por la proliferación de vectores como moscas, ratas y cucarachas, que se encuentran en los residuos sólidos y estos portan microorganismos que transmiten enfermedades a toda la población vulnerable.

Tabla 2. Vectores, formas de transmisión y enfermedades

Vectores	Formas de transmisión	Principales enfermedades
ratas	Mordisco, orina y heces pulgas	peste bubónica, tifus murino, leptospirosis.
moscas	Vía mecánica (alas, patas, y cuerpo)	fiebre tifoidea, <i>salmonellosis</i> , cólera, amebiasis, disentería, giardiasis
mosquitos	picadura del mosquito hembra.	malaria, <i>leishmaniasis</i> , fiebre amarilla, dengue, filariasis
cucarachas	Vía mecánica (alas, patas, y cuerpo)	
cerdos	Ingestión de carne contaminada.	cisticercosis, toxoplasmosis, triquinosis, teniasis
aves	Heces	toxoplasmosis

*Nota:* Tomado de “Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales”, por J. Jaramillo, 2002, Medellín, Colombia : Universidad de Antioquia.

También el mal manejo de los residuos sólidos ocasiona deterioro estético de las ciudades y del paisaje natural. Asimismo, se identifican las principales afectaciones a los factores ambientales y sociales (16).

- **Agua.** El efecto ambiental más serio causado por el inadecuado manejo de los residuos sólidos es la contaminación de las aguas, tanto superficiales como de las que sufren del arrojado directo de los residuos sólidos a una fuente de agua, se daña y se sufre la contaminación subterránea, debido a la generación de lixiviado que en ocasiones contienen compuestos peligrosos debido a la descomposición de los residuos sólidos, lo que trae como consecuencia el incremento de la carga orgánica, disminuye el oxígeno disuelto, aumenta los nutrientes, algas y causando la muerte de peces y plantas, genera malos olores y deteriora su aspecto estético (16).
- **Suelo.** El efecto en el suelo debido al mal manejo de los residuos sólidos se evidencia en la degradación de los suelos de los botaderos, lo que provoca la contaminación por infiltración de sustancias tóxicas que no se pueden incorporar a los ciclos de los elementos naturales (16).
- **Aire.** El mal manejo de los residuos sólidos trae como consecuencia el deterioro de la calidad del aire, más aún cuando los residuos sólidos son quemados de manera ilegal, lo que incrementan los gases contaminantes que dañan la capa de ozono. Además, la quema de residuos produce infecciones respiratorias e irritaciones nasales y oculares (16).
- **Deterioro del paisaje.** Esto se presenta debido a que no se cuenta con un sistema adecuado de manejo de residuos sólidos por parte de las autoridades competentes, por lo cual las personas dejan los residuos sólidos dispersos en la intemperie y esto ocasiona la degradación del medio natural y provoca mal aspecto al poblador observador o al turista (18).

### 2.2.1.3 Clasificación

La generación de residuos se puede clasificar según su composición.

- **Residuos sólidos orgánicos degradables.** Los residuos sólidos orgánicos degradables, según la RAE (2004), son los restos con contenido de carbono en combinación con otros elementos, principalmente el hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. También, se puede definir como los restos de origen biológico, que alguna vez estuvieron vivos o fue parte de un ser vivo. Por ejemplo, cáscara de

frutas y hortalizas, los restos de la preparación de alimentos en el hogar, las malezas de los jardines, objetos de madera descompuestos, papeles y cartones, entre otros (19).

- **Residuos sólidos inorgánicos.** Los residuos inorgánicos son restos no biodegradables, excepto el plástico, los mismos que pueden ser de origen industrial. Por ejemplo, vidrios, telas sintéticas, latas, entre otros.
- **Residuos sólidos peligrosos.** Los residuos sólidos que se generan en los domicilios son todos los desechos de origen biológico, que constituyen un peligro potencial y que deben ser tratados de forma especial.

Se considera peligrosos a los residuos que presenten por lo menos una de las siguientes características: autocombustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radioactividad o patogenicidad. Por ello, se debe desarrollar un sistema de recolección selectiva en todas las municipalidades (19).

#### 2.2.1.4 Composición

La composición de los residuos sólidos depende de factores como (20):

- Nivel de vida de la población que varía de acuerdo al modo de consumo de los productos alimenticios que generan aumento de contenido de envases y plásticos cuando son industrializados.
- Características y actividades de la población, por ejemplo, en las zonas urbanas el contenido de residuos tanto envases y embalajes son de gran cantidad, pero en las zonas rurales se generan más materia orgánica.

Los residuos urbanos están constituidos por los siguientes elementos que se describe a continuación (20):

- **Papel.** El papel es un tipo de residuo que está compuesto fundamentalmente por celulosa que proviene de la madera, por lo tanto, el papel es un tipo de residuo que puede ser reutilizado y con esta acción se ayuda a no talar más árboles para su fabricación.

- **Cartón.** El cartón es un tipo de residuo que es fabricado con pasta de papel prensada y endurecida, también se usan papel húmedo comprimido para su elaboración, por ello, también es reutilizable.
- **Plástico.** El plástico es elaborado químicamente por la desintegración de carbón, petróleo y gas natural, y además es parte de los polímeros.
- **Vidrio.** El vidrio es un residuo formado por un líquido sobre enfriado, cuyo constituyente principal es la sílice, por tanto, este residuo también es reciclado.
- **Orgánicos.** Los residuos sólidos orgánicos son aquellos que contienen carbono con elevado contenido de humedad, estos restos son vegetales y de origen biológico.
- **Misceláneos.** Son todas aquellas sustancias inertes, que no cumplen con las características anteriores, por lo cual no se puede definir específicamente su composición, entre ellos se encuentran los metales, huesos, tierras, cascotes, etc. (20).

### 2.2.1.5 Caracterización de los residuos sólidos

La caracterización de los residuos sólidos urbanos es muy importante para prever aspectos de planificación y gestión de los residuos sólidos. Asimismo, es importante conocer la cantidad de residuos sólidos generados por cada tipo, para elaborar proyectos de recuperación de residuos sólidos, tratamiento de los residuos, programas de educación y lugar de disposición final (21).

Se describe a continuación una definición sobre los estudios de caracterización de los residuos en algunas investigaciones (21):

- La caracterización permite conocer la composición de los residuos sólidos e identificar sus fuentes de generación.
- La caracterización de residuos sólidos tiene por finalidad identificar las fuentes, características y cantidades de residuos generados, datos que son recolectados con una semana de trabajo de campo.



- La caracterización es muy importante para evaluar las posibilidades de aprovechamiento de los residuos sólidos generados en una determinada población.

Para llevar a cabo un estudio de caracterización de residuos sólidos es muy importante definir el objetivo del plan de caracterización y otros aspectos que se mencionan a continuación (21):

- Es importante tener en cuenta la metodología que se va a usar en el estudio de caracterización de los residuos sólidos y técnicas confiables.
- Es ineludible definir correctamente la población y muestra donde abarcara el estudio de caracterización de los residuos sólidos.
- Es preciso definir y analizar antes de realizar el trabajo de campo los hábitos de la población donde se realizará el estudio de caracterización de residuos sólidos.
- Es necesaria una caracterización, pues ayudará a tomar acciones ambientales a largo y corto plazo en beneficio de toda la población donde se ejecutará el estudio de caracterización de residuos sólidos.

Los resultados confiables dependerán de cómo se ha realizado el trabajo de campo y de las consideraciones tomadas durante ese trabajo. También depende de los objetivos que se hayan trazado para realizar el estudio de caracterización y para poder obtener los siguientes datos como los siguientes: generación, composición, densidad, humedad y otros parámetros químicos y biológicos.

## **2.2.2 Fundamentos teóricos del compostaje**

### **2.2.2.1 Compost**

El compostaje se puede definir como un proceso dirigido, controlado de mineralización y prehumificación de la materia orgánica, que permite la rápida degradación de los residuos orgánicos en sustancias húmicas. Esto con el objetivo de obtener un abono orgánico de alta calidad físico-químicas y microbiológicas (22).

El compostaje es un proceso aeróbico y por ello necesita oxígeno, nutrientes, agua y material estructural. Además, la materia orgánica es usada por los microorganismos como fuente de energía y nutrientes, pues ellos necesitan oxígeno. Asimismo, el agua es

especialmente importante para el proceso, porque los microorganismos pueden absorber nutrientes, pero el oxígeno solo en forma disuelta. Sin embargo, cuando carece de agua el proceso biológico se detiene (19).

#### 2.2.2.2 Proceso del compostaje

El proceso de compostaje se puede dividir en cuatro períodos, el cual varía de acuerdo a la evolución de la temperatura (22):

- **Mesófila.** En este proceso los residuos orgánicos están a una temperatura ambiente, y esto provoca que los microorganismos mesófilos se multipliquen rápidamente. Lo que da lugar a que la temperatura se eleve debido a la actividad metabólica, con esto baja el contenido de pH, por la generación de ácidos orgánicos.
- **Termófila.** Este proceso se alcanza cuando la temperatura es mayor de los 40°C, a estas temperaturas los microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco y el pH se incrementa. Pero a una temperatura de 60°C los hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos que descomponen las ceras, proteínas y hemicelulosas.
- **De enfriamiento.** El proceso de enfriamiento se da cuando la temperatura es menor de 60°C, lo que da lugar a la presencia de hongos termófilos que descomponen la celulosa. Al disminuir la temperatura a 40°C los mesófilos reinician su actividad, provocando el descenso del pH.
- **De maduración.** El proceso de maduración es un periodo que tarda meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

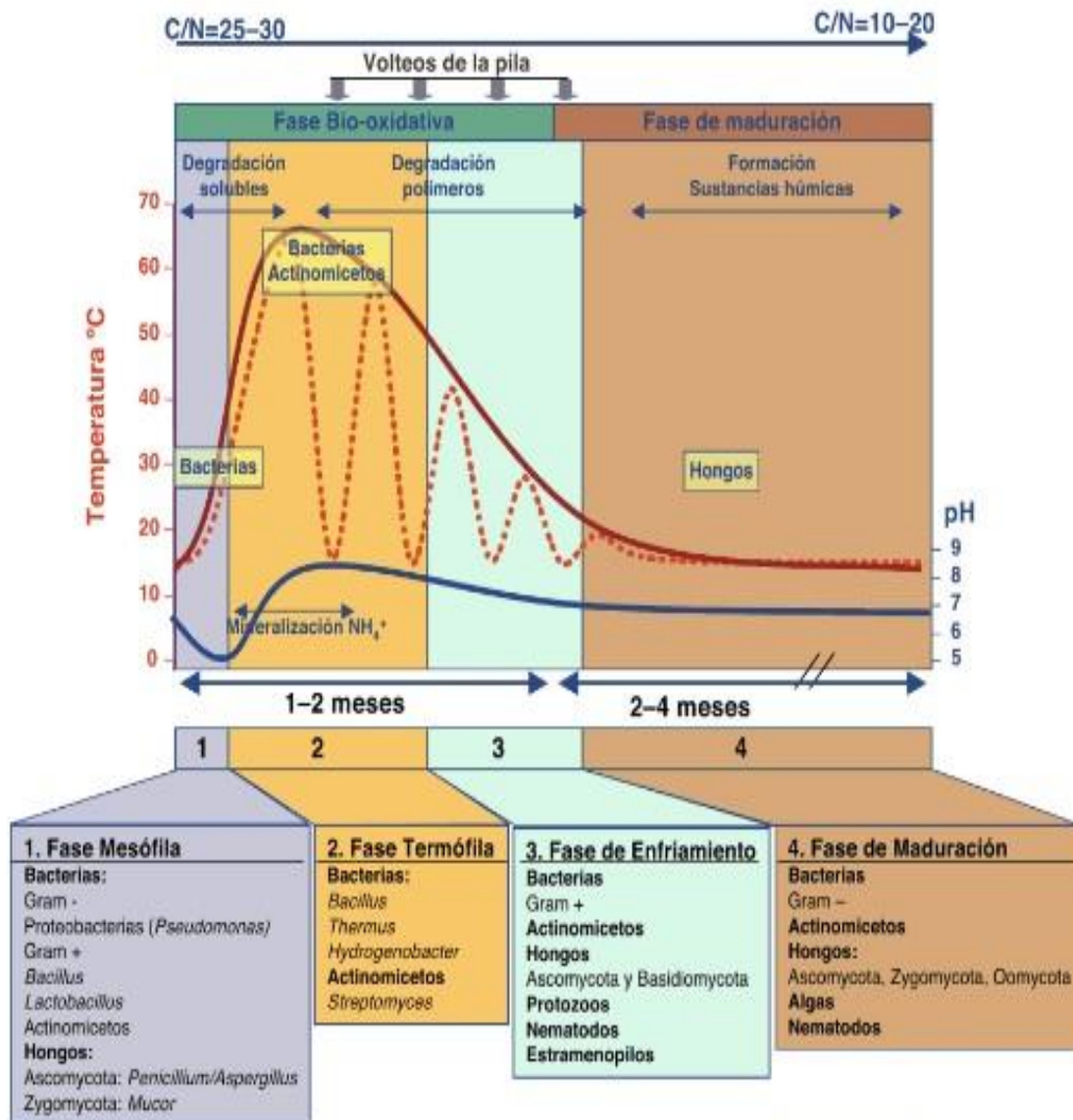


Figura 1. Fases de la biodegradación del Compost. Adaptado de “Microbiología y Bioquímica del proceso de compostaje”, por J. Moreno y S. Mormeneo, 2008, Madrid: Mundi Prensa

### 2.2.2.3 Material compostable

La gran mayoría de los materiales orgánicos son compostables. A continuación, se presenta la relación de materiales que se pueden compostar (24):

- Restos de plantas de cosecha, jardín o huertos, como ramas trituradas procedentes de podas de árboles o arbustos, pastos o césped procedentes de áreas verdes.
- Restos de estiércol de vacuno, porcino, caprino y ovino al limpiar su corral.

- Restos orgánicos procedente de consumo en hogares como frutas y hortalizas, alimentos como cáscaras de frutos secos entre otros, generados después de un consumo primario.
- Aceites y grasas comestibles en pequeñas cantidades.
- Restos de aserrín procedentes de madera sin contacto con otro material contaminante.
- Restos de papel y cartón que no contengan tinta u otra sustancia contaminante.

En el proceso de compostaje no se deben incluir materiales inertes, tóxicos o nocivos tales como los siguientes (24):

- Restos de residuos químicos, como pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículos, pinturas.
- Materiales como vidrio, metales y plástico que no son biodegradables.
- Restos de detergentes, productos clorados ni mucho menos residuos peligrosos como restos de medicamentos e inyectores jeringas usadas y termómetros.
- No se deben incluir animales muertos, restos de alimentos cocinados ni carne de animales que podrían contener patógenos.

#### **2.2.2.4 Tipos de Compostaje**

##### **Compostaje en pilas estáticas o sistemas abiertos**

El compostaje en pilas o sistemas abiertos se realizan cuando hay mayor cantidad de residuos orgánicos, ya que el proceso consiste en amontonar los residuos sobre un pavimento, teniendo en cuenta la forma de la pila y la altura de esta (25).

Según el manual para la elaboración de compost de la FAO, las medidas óptimas son de 1.2-2 metros de altura, por 2-4 metros de ancho, con una longitud variable. Después de construir la pila con residuos sólidos orgánicos lo que procede es realizar los volteos dependiendo de la humedad ya sea manual o mecanizado de acuerdo a la cantidad de residuos apilados.

Se realizan los volteos para mejorar la ventilación y la porosidad de la pila, tras el volteo la temperatura desciende de 10 a 5°C, e incrementándose de nuevo si el proceso aún no termina. Se puede decir que el compost final es óptimo cuando presenta contenido de humus, el contenido de carbono o nitrógeno contenga rangos que pueden ser aplicados al suelo, la humedad este en el rango de 60-70% y existe una baja temperatura (25).

### **Compostaje en sistema cerrado**

En este tipo de compostaje los residuos sólidos son dispuestos en recipientes cerrados como túneles, contenedores o tambores, en este tratamiento solo se pueden añadir los residuos hasta la capacidad del recipiente. Además, en el sistema cerrado se pueden controlar los olores, ya que el proceso de compostaje en este tipo de sistemas es anaeróbico, aunque también se podría controlar el ingreso de oxígeno para el consumo de los microorganismos.

En la elaboración de compost en sistemas cerrados es recomendable usarlos en pequeñas platas con una cantidad pequeña de residuos orgánicos ya que el proceso de degradación es lento, sin embargo, se pueden controlar y regular variables como contenido de humedad, contenido de nutrientes, temperatura, pH, cantidad de gas. (25).

#### **2.2.2.5 Principales variables en el proceso de compostaje**

Para un óptimo proceso de compostaje es necesario garantizar las condiciones de operación, ya sin eso no se podrá alcanzar el proceso ni la calidad para la obtención de compost final. A continuación, se describen las variables para un óptimo proceso de compostaje (26).

#### **Temperatura**

La temperatura de un proceso de compostaje es el resultado del balance energético entre el calor generado en el proceso aerobio de oxidación de los sustratos y las pérdidas de calor. Siendo un factor clave en el proceso de compostaje, ya que de ella depende la activación de microorganismos para realizar la degradación.

Cada especie de microorganismos tiene una temperatura óptima para su desarrollo. Así, para los psicrófilos, el intervalo de temperatura óptimo es de entre 5 y 15°C, mientras que para los mesófilos de entre 15 y 40°C y para los termófilos de entre 40 y 70°C, aunque en el proceso de compostaje se pasa por diferentes etapas,

caracterizadas por diferentes temperaturas, la temperatura óptima para la realización del compostaje se sitúa en el rango termófilo debido a dos motivos principales: favorece una rápida estabilidad de los sustratos y destruye los organismos patógenos y las semillas (26).

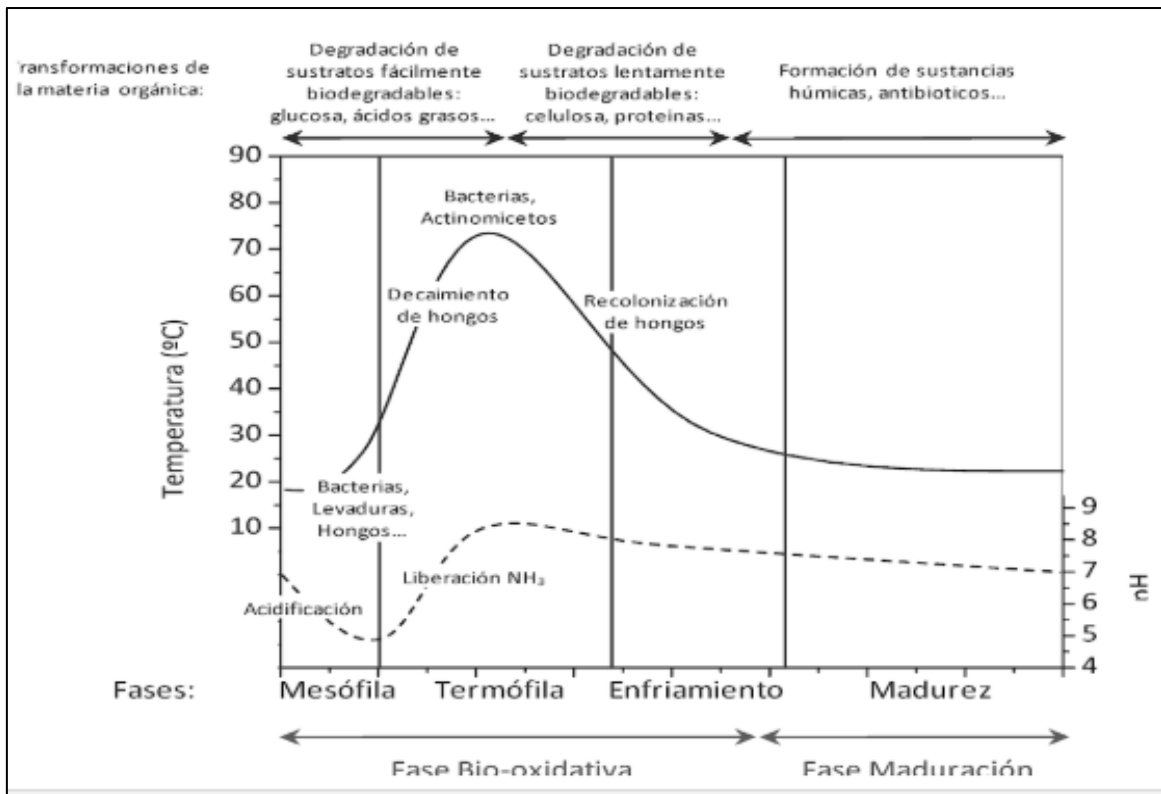


Figura 2. Fases de Temperatura. Adaptado de “Ingeniería y aspectos técnicos de la estabilización aeróbica 3”, por J. Moreno, R. Moral, J. L. García, J. A. Pascual, M. P. Bernal, 2015. España: Mundi-Prensa

## Humedad

El agua es esencial para que tenga lugar la mayor parte de los procesos microbiológicos, ya que los microorganismos necesitan un mínimo de humedad ambiental para vivir, y degradan los sustratos cuando estos están en gusa. Por tanto, presenta un papel primordial también en el compostaje. El agua es esencial, ya que ayuda en la refrigeración de las pilas de compostaje, también permite el movimiento de los nutrientes y contribuye a la definición de la matriz solido-liquido-gas en el que se desarrolla el proceso de compostaje.

El proceso de compostaje debe llevarse a cabo con un contenido inicial de humedad entre 55 y el 85% y valor final debe estar entre 30 y el 40%, si la humedad es

elevada puede producir colmatación en los poros, lo que reduce la disponibilidad del oxígeno y lo que ocasiona la descomposición anaerobia del residuo, que conllevaría al descenso de la temperatura, producción de malos olores y una reducción en la eficacia en la estabilización del residuo. Si los valores de humedad son demasiado bajas, hacen que la humedad no sea disponible a las comunidades microbianas, lo que provoca que la matriz sólida del compost no presente humedad biodisponible para los microorganismos lo que puede inhibir la actividad microbiana y ralentizar el proceso (26).

### **Tamaño de partícula, porosidad, espacios de aire libre**

Tener en cuenta el tamaño de los residuos sólidos a compostar es esencial, ya que los procesos microbianos se llevan a cabo en la superficie de las partículas. Por lo tanto, cuando menor sea la partícula, mayor será la relación superficie/volumen, lo cual lleva asociada a una disminución de la porosidad de la matriz del compost, provocando limitaciones en la transferencia de materia del oxígeno a la fase líquida y, por tanto, una reducción en la velocidad de degradación de los residuos a compostar.

En general se recomienda medidas de un centímetro en sistemas de aireación forzada y cinco centímetros en sistemas de aireación no forzada. Además, es importante dotar al sistema de porosidad adecuada, porque a través de los poros se transportan los nutrientes, permitiendo el crecimiento de los microorganismos y también sirven para almacenar la humedad (26).

### **Relación C/N**

La proporción adecuada de nutrientes facilita el proceso biológico y disponibilidad de los elementos nutritivos en el compost determinando su utilidad agronómica y especialmente su capacidad fertilizante. Entre los nutrientes más importantes para los microorganismos destacan el carbono (C), el nitrógeno (N) y el fósforo (P), que son fundamentales para el crecimiento de los microorganismos y su síntesis celular (26).

Para el buen desarrollo del compostaje, se debe considerar una relación C/N en torno a 20-35 en el material de partida. Con esta relación se asegura que los microorganismos tengan una cantidad idónea de carbono y nitrógeno para la síntesis celular y la degradación de los sustratos, durante el proceso de compostaje la relación C/N disminuye debido a la eliminación CO<sub>2</sub>.

Cabe mencionar que si la relación C/N es muy baja el nitrógeno será eliminado del medio en forma de amoníaco, causando un aumento del pH del compost. De igual modo, para aumentar la relación C/N se pueden añadir residuos ricos en carbono (vegetales), y para disminuir la relación de C/N, se puede adicionar residuos de elevado contenido en nitrógeno, como es la urea, purines, restos de animales (26).

Tabla 3. Relación carbono/nitrógeno de algunos materiales orgánicos.

<b>Materiales</b>	<b>Relación C/N</b>
Cascarilla de arroz	700
Aserrín de madera	500
Papel triturado	170
Paja de cereales (trigo, cebada, arroz, etc.)	80
Caña de maíz	60
Bagazo de caña de azúcar	50
Estiércol seco (con aserrín o paja)	50
Estiércol de vaca (seco)	25
Estiércol de caballo	25
Estiércol de cerdo	12
Estiércol de vaca (fresco)	8
Estiércol de cabra	10
Estiércol de oveja	10
Estiércol de conejo, cuy	8
Estiércol de gallina (gallinaza)	7
Desechos de frutas	35
Pasto verde cortado	19
Trébol verde, alfalfa	16
Desechos de cocina	15
Humus	10
Pescado	6
Sangre	3
Orina	0,8

*Nota:* Tomado de “Agricultura orgánica: Alternativa tecnológica del futuro”, por M, Suquilanda, 2006, Quito-Ecuador: Fundación para el desarrollo Agropecuario



## **pH**

Para un proceso óptimo el valor del pH debe estar en torno a la neutralidad, ya que la mayoría de los microorganismos se desarrollan óptimamente en condiciones de pH neutro. Más los valores, inferiores a 3 o superiores a 11 causan limitaciones en los metabolismos microbianos, por tanto, en el proceso de compostaje. Asimismo, el intervalo óptimo de funcionamiento del proceso de compostaje está entre 6 y 9. Pero los valores de pH extremadamente alcalinos liberan nitrógeno en forma de amoníaco, lo que reduce la relación C/N, y limita la cantidad de nitrógeno disponible para las funciones celulares de los microorganismos. Además, un elemento como el calcio o el magnesio precipita en forma de hidróxido o carbonatos dejando de estar biodisponibles para los microorganismos. En cambio, se favorecerá la complejidad de ciertos metales (Cu, Zn, Pb) con la materia orgánica, para luego transferirse de los impropios al compost en el que se concentra. Esto se podría minimizar evitando que el pH alcance valores por encima de 8 durante el compostaje. Por otro lado, valores de pH muy ácidos, solubilizarán metales tóxicos como el Al, Cu, Zn, etc., y los liberará a la fase líquida, lo que afecta al metabolismo celular y causa inhibiciones y desactivación de los microorganismos implicados en el proceso (24).

## **Disponibilidad de oxígeno**

El oxígeno es fundamental para el metabolismo aerobio de los microorganismos, por lo tanto, es esencial para el proceso de compostaje. Los requerimientos de oxígeno son distintos en cada etapa del compostaje, cuanto mayor sean los procesos de degradación. Mayor será el consumo, siendo mayor en la primera fase mesófila en inicio en la termófila, ya que es cuando se produce un crecimiento microbiológico más rápido.

La aireación durante el proceso de compostaje sirve para suministrar oxígeno para la degradación microbiana, también se controla la temperatura y se elimina la humedad de la materia orgánica. Si no se realiza la aireación en las pilas de compostaje, se da lugar al inicio de las fermentaciones y degradación por la vía de putrefacción, generación de hidruro de azufre SH<sub>2</sub>, esta situación se diagnostica por la aparición de olores nauseabundos, o fuerte olor a amoníaco producto de la amonificación. Por lo cual es importante que al inicio del proceso de compostaje se realicen volteos semanales o quincenales, hasta la obtención del compost maduro (26).

### 2.2.2.6 Metales pesados

Los metales pesados constituyen un grupo de elementos químicos que no se descomponen y que solo pueden cambiar de estado de oxidación. Por tal motivo tienen efectos negativos en la salud humana, ambiente y también impactan en la cadena trófica a nivel terrestre y acuático (24). Asimismo, los metales pesados en el compost son considerados para definir la calidad del producto final variando los límites según los países, aunque se tiene como referente el marco de normativa propuesta por la EPA y por la Unión Europea (EU) (24).

La presencia de metales pesados en el compost es totalmente inherente a los residuos empleados en el proceso de compostaje. La calidad del compost en este aspecto comienza por los materiales de entrada en la planta de compostaje, en el momento que el contaminante entra en el compost el proceso no podrá sino concentrarlo. La solución necesariamente pasa por un sistema de recogida selectiva de los residuos y evitar la contaminación en las propias plantas (28).

El origen de los metales en los residuos sólidos procede de la actividad industrial, ya sea de forma directa o indirecta, por lo tanto, se podría decir que los metales ya están presentes en los materiales de partida tanto orgánicos como inorgánicos (29). Entre los metales que están normados y cuentan con un límite máximo de contenido en el compost final son los que se mencionan a continuación.

- **Arsénico.** El arsénico está presente en pequeñas cantidades en toda la corteza terrestre tanto en el suelo, agua, aire y los seres vivos que son poco tóxicos en cantidades pequeñas; sin embargo, el arsénico que es proveniente de la industria es el más tóxico. Además, la presencia del arsénico en el compost o en el material de origen puede ser debido a un contacto inicial con restos de plaguicidas, contacto con acero o restos de procesos mineralizados. También, el arsénico es tóxico para el ser humano en concentraciones elevadas y siempre son cancerígenas, lo que provoca a largo plazo cáncer de piel, por consumo de agua y alimentos con altas concentraciones elevadas de arsénico (30).
- **Cromo.** El cromo se presenta principalmente como cromo metálico, se presenta en el agua debido a la contaminación a causa de la actividad antropogénica, también está

presente en la fabricación de pigmentos, baterías, fungicidas, industrias del cuero y del papel (1).

- **Cadmio.** El cadmio es considerado como uno de los metales más contaminantes debido a su alta toxicidad para todo organismo vivo, se origina por actividades metalúrgicas, es la principal fuente contaminante en los suelos agrícolas al usar fertilizantes fosfatados, también se deriva por procesos industriales como corrosión de estructuras galvanizadas. Asimismo, la principal fuente de contaminación del ser humano por cadmio se da a través de la ingesta de vegetales que fueron cultivados en suelos que contenían este metal por contacto directo o indirecto o que también fueron regados con agua contaminada por cadmio (31).
- **Cobre.** El cobre es un elemento que está presente en la naturaleza de manera natural, es esencial para el metabolismo de los seres vivos, pero en cantidades mínimas, ya que en cantidades grandes pueden ser tóxico. Este metal es añadido al ambiente por medio de las actividades antropogénicas, pues está presente en los plaguicidas, en preservantes para la industria maderable, en la industria minera y en los medicamentos para animales (1).
- **Mercurio.** El mercurio es un elemento que se encuentra de forma natural, esto se da por erupciones volcánicas, también están presentes en los suelos y rocas en cantidades pequeñas. El mercurio también es liberado al medio ambiente por actividades antropogénicas, está presente en los combustibles fósiles, pesticidas mercuriales, en la minería e industria en general (32).
- **Níquel.** El níquel es un elemento que se encuentra en el ambiente, debido a la meteorización de rocas en cantidades pequeñas y en proporciones más elevadas gracias a las actividades antropogénicas, está presentes en la actividad minera tanto en el proceso de fundición de minerales y refinería, así como en la industria de tintes y en las aguas residuales procedente de las industrias (1).
- **Plomo.** El plomo es un metal que está presente en el ambiente de manera natural y antropogénica. Asimismo, es un elemento que podría ocasionar envenenamiento en los seres humanos en concentraciones elevadas. Este metal puede estar presente en los radiadores y baterías de automóviles, pinturas, computadoras y en aguas residuales procedentes de industrias metalmeccánicas y minerías (33).

- **Zinc.** El zinc es un elemento que se encuentra de forma natural, está presente en el organismo humano, pero en proporciones pequeñas para la dieta humana, pero al igual que todos los metales en cantidades mayores pueden causar daños a la salud y al ambiente. Este metal está presente en la actividad minera, en el proceso del acero, en las aguas residuales de las plantas industriales (1).

#### 2.2.2.7 El compost: calidad del producto final

El compostaje de residuos orgánicos, ya sean agrarios, urbanos o industriales tienen como objetivo la valorización del residuo. Pero al satisfacer esto se debe también asegurar la calidad del compost obtenido, para que pueda ser utilizado agrónicamente. Si no se garantiza la calidad, no debería ser aplicado al suelo agrícola, debido a la contaminación que se generaría por la presencia de metales pesados.

La calidad del compost es difícil de definir, ya que se deben considerar distintos aspectos como las siguientes: propiedades, características, cumplimiento de los requisitos legales, adecuada gestión de los residuos y tratamiento respetuoso con el medio ambiente, con el objetivo de obtener un producto de aplicación agrícola.

Entre las distintas propiedades y características que definen la calidad del compost, además de las reguladas normativamente, pueden distinguirse (26):

- **Calidad física.** Propiedad como, coloración, densidad aparente, olor, humedad, granulometría, retención de agua, contaminantes/ impropios, temperatura y capacidad de autocalentamiento en el proceso de compostaje.
- **Calidad química.** pH, CE, contenido en materia orgánica, nitrógeno en forma mineral, nitrógeno orgánico total y resistente, fosforo y potasio, calcio y sodio, porcentaje de sustancias húmicas, carbonatos, metales pesados, contaminantes orgánicos, etc.
- **Calidad biológica.** Estabilidad alcanzada, ausencia de patógenos, índice de germinación, grado de mineralización, ausencia de semillas de malas hierbas o capacidad supresora de enfermedades en plantas.

### 2.2.2.8 Normativas de calidad de compost

Para este trabajo de investigación se consideró los criterios de las siguientes normativas internacionales en calidad de compost, ya que en el Perú no se cuenta con una:

#### Organización Mundial de la Salud

Según la Organización Mundial de la Salud, para que un compost sea usado como abono orgánico para el cultivo de plantas deberían cumplir ciertos criterios que se mencionan en la siguiente tabla.

Tabla 4. Abono orgánico según la Organización Mundial de la Salud

Propiedades	Rango Normal
Contenido de humedad (%)	30 - 50
Materia inerte (%)	30 - 70
Contenido orgánico (%)	10 - 30
pH	6 - 9
Tamaño máximo de las partículas (mm)	2 - 10
Materia orgánica (%)	25 a 50
Carbono (%)	8 a 50
Nitrógeno (%)	0,4 a 3,5
Fósforo (%)	0,3 a 3,5
Potasio (%)	0,5 a 1,8

*Nota:* Tomado de “Nota descriptiva”, por Organización Mundial de la Salud (OMS), 2013, N. 139, s.l.

#### Norma Chilena N. 2880

La norma chilena N. 2880 fue publicada en el diario oficial de Chile en el 2004. Esta norma que fue elaborada con el objetivo de promover la gestión de los residuos sólidos orgánicos generados en todo el litoral como compost producido en plantas de compostaje o a escala mayor, siempre y cuando el producto se comercialice.

En la norma chilena N. 2880 se describen los niveles mínimos y máximos que debe cumplir el compost para ser comercializado, se consideran factores físicos y químicos. Además, la normativa chilena clasifica al compost en dos clases dependiendo de su nivel de calidad se divide en Clase A o Clase B.

- **Compost Clase A.** Según lo establecido en la normativa chilena N. 2880, el compost es considerado como un producto de alta calidad, pero para que sea catalogado como clase A, deberán cumplir con las exigencias mencionadas en la siguiente tabla:

Tabla 5. Concentraciones máximas de metales pesados en compost Clase “A”

<b>Metal pesado</b>	<b>Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca)</b>
Arsénico	15
Cadmio	2
Cobre	100
Cromo	120
Mercurio	1
Níquel	20
Plomo	100
Zinc	200

*Nota:* Tomado de “Norma Oficial Chilena. Compost-Clasificación y Requisitos N. 2880”, por Instituto nacional de Normalización, 2005. Santiago-Chile

- **Compost Clase B:** Según la norma chilena N. 2880, el compost de clase B es considerado como producto de una calidad intermedia, sin embargo, para ser catalogada así deberán cumplir con los límites máximos establecidos a continuación.

Tabla 6. Concentraciones máximas de metales pesados en compost Clase “B”

<b>Metal pesado</b>	<b>Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca)</b>
Arsénico	20
Cadmio	8
Cobre	1000
Cromo	600
Mercurio	4
Níquel	80
Plomo	300
Zinc	2000

*Nota:* Tomado de “Norma Oficial Chilena. Compost-Clasificación y Requisitos N. 2880”, por Instituto nacional de Normalización, 2005. Santiago-Chile

Tabla 7. Valores permitidos de las características químicas en compost

Parámetros	Tipo	
	Clase A	Clase B
Macronutrientes		
Contenido de N	≥ 0.5%	≥ 0.5%
Contenido de P	No considera	
Contenido de K	No considera	
Materia orgánica	≥ a 20%	≥ a 20%
pH	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5
Conductividad eléctrica	< 3 dS/m	≤ 8 dS/m
Relación C/N	≤ 25	≤ 30
Madurez	Relación C/N ≤ 30	
Microorganismos		
Coliformes fecales	< 1000 NMP/g de compost	
Salmonella sp	3 NMP en 4 g de compost	< 3 NMP en 4 g de compost

*Nota:* Tomado de “Norma Oficial Chilena. Compost-Clasificación y Requisitos N. 2880”, por Instituto nacional de Normalización, 2005. Santiago-Chile

### Reglamento Austriaco de calidad de compost

El reglamento Austriaco de calidad de compost (Kompostverordnung, BGBl, 2001), los cuales exigen bajos contenidos de metales y otros contaminantes.

Tabla 8. Calidad del compost de acuerdo al uso

Parámetros	Calidad A+ (mg/kg)	Calidad A	Calidad B
Cadmio (cd)	0.7	1 /kg	3 mg/kg
Cromo (Cr)	70	70 mg/kg	250 mg/kg
Cobre (Cu)	70	150 mg/kg	500 mg/kg
Mercurio (Hg)	0.4	0.7 mg/kg	3 mg/kg
Níquel (Ni)	25	60 mg/kg	100 mg/kg
Plomo (Pb)	45	120 mg/kg	200 mg/kg
Zinc (Zn)	200	500 mg/kg	1800 mg/kg

*Notas:*

Calidad A+: Uso en la agricultura orgánica o en la agricultura en general.

Calidad A: Uso en la agricultura orgánica en general.

Calidad B: No uso en la agricultura.

*Nota:* Tomado de “Gestión de Residuos Sólidos Municipales en el Perú y Austria”, por E. Binner, C. Méndez y R. Miyashiro, 2016. Lima: Fondo Editorial-Universidad Agraria la Molina

### **Norma Ambiental Mexicana**

La norma ambiental N. 020-2011-México fue aprobada con el fin de establecer los requisitos mínimos que deben cumplir para elaboración de compost a base de residuos sólidos orgánicos biodegradables procedentes del sector agrícola, forestal y pecuario, que no afecten la calidad del producto final ni representen riesgo para la salud humana y el ambiente. A continuación, se presenta las concentraciones máximas que se debe tener en cuenta según la normativa.

Tabla 9  
Concentraciones máximas de elementos traza en mg·kg-1 en base seca

<b>Parámetros</b>	<b>Clase A</b>	<b>Clase B</b>	<b>Clase C</b>
Arsénico (As)	0.1 mg/kg	0.7 mg/kg	2.0 mg/kg
Cadmio (cd)	0.7 mg/kg	1 mg/kg	3 mg/kg
Cromo (Cr)	70 mg/kg	70 mg/kg	250 mg/kg
Cobre (Cu)	70 mg/kg	150 mg/kg	400-500 mg/kg
Mercurio (Hg)	0.4 mg/kg	0.7 mg/kg	3 mg/kg
Níquel (Ni)	25 mg/kg	60 mg/kg	100 mg/kg
Plomo (Pb)	45 mg/kg	120 mg/kg	200 mg/kg
Zinc (Zn)	200 mg/kg	500 mg/kg	1200-1800 g/kg

*Notas*

Calidad A: Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta.

Calidad B: Agricultura ecológica y reforestación.

Calidad C: paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación.

*Nota:* Tomado de “Norma Ambiental para el Distrito Federal. Requerimientos Mínimos para la Producción de Composta a partir de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos, Agrícolas, Pecuarias y Forestales, así como las Especificaciones Mínimas de Calidad de la Composta Producida y/o Distribuida. Distrito Federal México”, por Comité de Normalización Ambiental del Distrito Federal, Norma NADF 020, 2011. Distrito Federal, México.



Tabla 10. Características generales que deben cumplir los tipos de composta.

Parámetro	Tipo de composta		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Humedad	25-35 % en peso		25-45 % en peso
pH	6.7 – 7.5	6.5 – 8	
Conductividad eléctrica	< 4 dS/m	< 8 dS/m	< 12 dS/m
Materia orgánica	> 20% MS		> 25 % MS
Carbono total	Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado		
Nitrógeno total %			
Relación C/N	< 15	< 20	< 25
Macronutrientes (NPK).	De 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma $\leq$ 7%: portará la leyenda “Composta -mejorador de suelos. Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% Debe portar la leyenda “Composta para nutrición vegetal” y se indicarán las cantidades para cada macronutriente.		
Granulometría	$\leq$ 10mm	$\leq$ 30 mm	
Fito toxicidad	IG $\geq$ 85 %	IG $\geq$ 75 %	IG $\geq$ 60 %
Diferencia de temperatura con el ambiente medida a una profundidad $\geq$ 50 cm	$\leq$ 10°C		$\leq$ 15°C

*Notas:*

Calidad A: Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta.

Calidad B: Agricultura ecológica y reforestación.

Calidad C: paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación.

*Nota:* Tomado de “Norma Ambiental para el Distrito Federal. Requerimientos Mínimos para la Producción de Composta a partir de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos, Agrícolas, Pecuarias y Forestales, así como las Especificaciones Mínimas de Calidad de la Composta Producida y/o Distribuida. Distrito Federal México”, por Comité de Normalización Ambiental del Distrito Federal, Norma NADF 020, 2011. Distrito Federal, México.

### 2.2.2.9 EM (Microorganismos eficientes)

Los microorganismos eficientes o EM son una tecnología que fue desarrollada a inicios de los años 60, por un docente de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón, llamado Teruo Higa, que realizaba investigación para reemplazar los fertilizantes y pesticidas sintéticos en la agricultura (22).

Los microorganismos efectivos o EM están conformados por bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetes y hongos fermentadores, conformando una cultura mixta de microorganismos benéficos, estos microorganismos pueden ser usados para incrementar la diversidad microbiana de los suelos, aumentando el rendimiento de los cultivos (6).

En la actualidad, el microorganismo eficiente es usado en cinco continentes, cubriendo 120 países, y son usados para la fábrica de papel, procesamiento de alimentos, para el manejo de residuos sólidos y líquidos generados en la industria, destaca su uso en la producción de alimentos de alta calidad sin presencia de agroquímicos (22).

#### **2.2.2.10 Principales microorganismos en EM y su acción**

Los microorganismos eficientes están compuestos por más de 80 microorganismos benéficos de origen natural. Se presentan a continuación algunos de los principales tipos de microorganismos presentes y su acción.

- **Bacterias fotosintéticas (*Rhodospseudomonas spp*).** Son un grupo de microorganismos independientes y autosuficientes, que son capaces de sintetizar sustancias útiles procedentes de las secreciones de las raíces, materia orgánica o gases nocivos como el sulfuro de hidrógeno, realizan esta acción usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía (22).
- **Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp*).** Estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos que fueron desarrollados por bacterias fotosintéticas y levaduras. Las bacterias ácido lácticas son capaces de eliminar microorganismos patógenos sobre todo aquellos que aparecen en sistemas de producción continua. El uso de este tipo de bacterias reduce las poblaciones de nemátodos y controla la propagación y diseminación de *Fusarium*, lo que mejora así el medio ambiente para el crecimiento de cultivos y también ayuda para degradación rápida de la materia orgánica (22).
- **Levaduras (*Saccharomyces spp*).** Este tipo de microorganismos ayudan a sintetizar sustancias antimicrobiales y sustancias útiles para el crecimiento de las plantas brindándoles vitaminas, ácidos orgánicos y minerales, a partir de

aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas (22).

#### **2.2.2.11 Efectos del EM**

En las siguientes líneas se presentan los efectos beneficiosos más resaltantes tras la aplicación del EM (6).

- En las plantas el uso de EM promueve la reproducción, la germinación, la floración, el desarrollo de los frutos.
- Mejora el incremento de la probabilidad de supervivencia y aumento de la capacidad fotosintética de las plantas.
- Mejora física, química y biológicamente el ambiente de los suelos y suprime los patógenos y plagas que promueven enfermedades.
- Reducción de malos olores y por lo tanto reducción en la utilización de desinfectantes.
- Disminuye el consumo de agua de lavado, implementando el manejo de camas secas para coleccionar excretas.
- Mejora la calidad y aumenta la rapidez en la elaboración del abono.
- En los suelos el EM, ayuda a mejorar las características físicas, químicas y biológicas.
- Se usa en el tratamiento de las aguas residuales.
- Promueve la transformación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando la descomposición de la materia orgánica por oxidación en la que se generan gases sulfurosos y amoniacales.
- Reduce las concentraciones de DBO y DQO en el agua.

#### **2.2.3 Marco Legal**

En el Perú, el marco legal relacionado a los residuos sólidos es el siguiente:

### **2.2.3.1 Constitución Política del Perú**

La Constitución Política del Perú menciona en el artículo 2, inciso 22, que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

### **2.2.3.2 Ley N. 28611, Ley General del Ambiente**

La gestión y manejo de los residuos sólidos se rige especialmente por los siguientes principios.

**Artículo V. Del principio de sostenibilidad.** Este principio se refiere a que debemos tener en cuenta un equilibrio en el aspecto social, ambiental y económico, y garantizar las necesidades de las futuras generaciones.

**Artículo VI. Del principio de prevención.** Este principio menciona que cuando no se pueden eliminar las causas que dan lugar a la degradación ambiental, se deben adoptar medidas de mitigación, recuperación, restauración o eventual compensación.

**Artículo VII. Del principio precautorio.** Este principio hace mención que si se evidenciara indicios de peligro de daño grave o irreversible al ambiente y no existiera certeza de que daños ocasionara no debe utilizarse como razón para no adoptar medidas eficaces y eficientes destinadas a evitar o reducir dicho peligro. Las medidas deben adecuarse a los cambios en el conocimiento científico que se vayan produciendo con posterioridad a su adopción. La autoridad que invoca el principio precautorio es responsable de las consecuencias de su aplicación.

**Artículo IX. Del principio de responsabilidad ambiental.** Este principio hace referencia que las personas ya sean natural o jurídicas que causan la degradación del ambiente y de sus componentes, están obligadas a adoptar medidas para su restauración, rehabilitación o reparación según corresponda o, cuando lo anterior no fuera posible, a compensar en términos ambientales los daños generados, sin perjuicio de otras responsabilidades administrativas, civiles o penales a que hubiera lugar.

### **2.2.3.3 Ley N. 26842, Ley General de Salud**

La ley general de salud, menciona en el capítulo VIII, artículo 103, que está prohibida realizar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o

el suelo, sin previo tratamiento mencionado en las normas sanitarias y protección del ambiente que es responsabilidad del Estado y de las personas naturales y jurídicas.

#### **2.2.3.4 La Ley N. 27972, Ley Orgánica de Municipalidades**

En la ley orgánica de municipalidades, establece que las municipalidades provinciales son responsables de regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial. Asimismo, las municipalidades distritales tienen la responsabilidad de administrar y reglamentar, directamente o por concesión, el tratamiento de residuos sólidos de su jurisdicción.

#### **2.2.3.5 Ley N. 29419, Ley que regula la actividad de los recicladores**

La Ley N. 29419, que regula la actividad de los recicladores, establece marcos normativos para las actividades de los trabajadores que de forma dependiente o independiente realizan actividades de reciclaje, segregación y comercialización de residuos. Esta ley reconoce las actividades de los recicladores, y fomenta su formalización, promoviendo su protección y el desarrollo social y laboral, contribuyendo a la mejora en el manejo ecológicamente eficiente de los residuos sólidos en el país, en el marco de los objetivos y principios de la Ley N. 7314, Ley General de Residuos Sólidos; y la Ley N. 28611, Ley General del Ambiente.

#### **2.2.3.6 Decreto Legislativo N. 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos**

La nueva ley de gestión integral de residuos sólidos establecidos en el Perú, tiene como primera finalidad la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en origen. En segundo lugar, la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, teniendo en cuenta la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras alternativas que garanticen la protección de la salud y del medio ambiente.

El decreto legislativo hace referencia que la disposición final de los residuos sólidos en rellenos sanitarios en condiciones ambientales adecuadas, debería ser la última alternativa de manejo de residuos sólidos.

El presente Decreto Legislativo se aplica a lo siguiente:

- La producción, importación y distribución de bienes y servicios en todos los sectores productivos del país.
- Las actividades, procesos y operaciones de la gestión y manejo de residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, que incluye todas las fuentes de generación, enfatizando la valorización de los residuos. Asimismo, comprende las actividades de internamiento, almacenamiento, tratamiento y transporte de residuos por el territorio nacional.
- El ingreso y tránsito por el territorio nacional y la exportación de todo tipo de residuos se rigen por lo dispuesto en el presente Decreto Legislativo, en concordancia con los acuerdos ambientales internacionales suscritos por el país.
- Sin perjuicio de la regulación especial vigente, los residuos y mezclas oleosas generados en las actividades que realizan en el medio acuático, las naves, artefactos navales, instalaciones acuáticas y embarcaciones en general.
- Las áreas degradadas por la acumulación inadecuada de residuos sólidos de gestión municipal y no municipal.

#### **2.2.4 Ciclo de vida de los residuos sólidos**

El ciclo de vida de los residuos sólidos en el Perú está compuesto por diferentes factores que se detallan a continuación.

##### **2.2.4.1 Generación**

La generación es la etapa inicial del ciclo de vida de los residuos sólidos, se tiene en cuenta la producción diaria de los residuos sólidos que producen los hogares, luego del consumo de los estos.

Según datos del Ministerio del Ambiente, se menciona que el Perú durante el año 2014, generó un total de 7 497 482 t/año de residuos urbanos municipales, de los cuales un 64% son residuos domiciliarios y un 26% son residuos no domiciliarios, las ciudades de la sierra generaron 2736 t/día y las ciudades de la selva se generaron 1314 t/día, la región costa es la que producen la mayor cantidad de residuos, en particular Lima Metropolitana y Callao, donde se genera un promedio de 9 794 t/día (38).

#### **2.2.4.2 Segregación en la fuente**

En la ley integral de residuos sólidos, se menciona que la segregación en fuente es obligatoria por parte de los generadores municipales y no municipales, para entregar debidamente segregados a los operadores de residuos sólidos debidamente autorizados o a las municipalidades que presten el servicio. Por lo queda prohibida la segregación en las áreas donde se realiza la disposición final de los residuos sólidos, para entregar debidamente segregados a los operadores de residuos sólidos debidamente autorizados o a las municipalidades que presten el servicio (14).

#### **2.2.4.3 Recolección**

Las autoridades competentes en el manejo de residuos sólidos, en este caso las municipalidades distritales o provincial, deben promover la recolección de los residuos sólidos municipales con el fin de proponer programas de valorización, asimismo, se debe incentivar la formalización de recicladores que forman parte al sistema de recolección selectiva (14).

#### **2.2.4.4 Valorización**

En la ley integral de residuos sólidos, se menciona que se debe priorizar la valorización de residuos sólidos como una alternativa de gestión y manejo antes de pensar en la disposición final. Se debe de incluir las actividades de reutilización, reciclaje, compostaje, valorización energética y se debe considerar infraestructura adecuada y autorizada para tal fin.

#### **2.2.4.5 Tratamiento**

Los tratamientos de los residuos sólidos deben ser desarrollados por las municipalidades o las empresas operadoras de residuos sólidos en instalaciones autorizadas, con el fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud o al ambiente y orientados facilitar la disposición final.

#### **2.2.4.6 Disposición final**

La disposición final es solo para los residuos que no puedan ser valorizados, por lo que deben ser aislados y/o confinados en infraestructuras debidamente autorizadas, de acuerdo a las características físicas, químicas y biológicas del residuo con la finalidad de eliminar el potencial peligro de causar daños a la salud o al ambiente (14).

### 2.3 Definición de términos básicos

- Disposición final. Consiste en un depósito de los residuos sólidos en el relleno sanitario debidamente autorizado o informalmente en botaderos municipales (38).
- Gestión de residuos sólidos. Es toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos de ámbito nacional, regional y local (38).
- Buenas prácticas ambientales. Se considera buenas prácticas ambientales a quien ejerciendo o habiendo ejercido cualquier actividad económica o de servicio, cumpla con todas las normas ambientales u obligaciones a las que se haya comprometido en sus instrumentos de gestión ambiental (38).
- Ecoeficiencia. En términos amplios, la ecoeficiencia está referida a producir más bienes y servicios con menos impacto ambiental (14).
- Reciclaje. Técnica de reaprovechamiento de residuos sólidos consistente en realizar un proceso de transformación de los residuos para cumplir con su fin inicial u otros fines a efectos de obtener materias primas, lo que permite la minimización en la generación de residuos (14).
- Pigars. Es un instrumento de gestión que se obtiene luego de un proceso de planificación estratégica y participativa, que permite mejorar las condiciones de salud y ambiente en una determinada localidad, para lo cual se establecerán objetivos y metas a diferentes plazos, con la finalidad de establecer un sistema sostenible de gestión de residuos sólidos (14).
- Reaprovechamiento de residuos sólidos. Proceso para volver a obtener un beneficio del bien, artículo, elemento o parte del mismo que constituye el residuo sólido, se reconoce como técnica de reaprovechamiento: reciclaje, recuperación o reutilización (14).
- Recolección y transporte. Actividades propias relacionadas a los residuos sólidos en su sitio de origen, de acuerdo con la frecuencia y los horarios establecidos, y su traslado hasta el sitio donde debe ser descargado una vez agotada su capacidad.



- Relleno sanitario. Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental (19).
- Residuo sólido. Sustancia, producto o subproducto en estado sólido o semisólido, desechado por su generador. Suele considerarse que carece de valor económico, y se les conoce coloquialmente como basura. Asimismo, se considera dentro de esta categoría a los materiales semisólidos (como el lodo, el barro, la sanguaza, entre otros) y los generadores por eventos naturales tales como precipitaciones, derrumbes, entre otros (19).
- Abono orgánico. Abarca los abonos elaborados con estiércol de ganado, compost rurales y urbanos, otros desechos de origen animal y residuos de cultivos. Los abonos orgánicos son materiales cuya eficacia para mejorar la fertilidad y la productividad de los suelos ha sido demostrada (28).
- Proceso aeróbico. Proceso que ocurre en presencia de oxígeno para que un compost funcione con éxito se debe proporcionar suficiente oxígeno para que mantenga el proceso aeróbico (22).
- Estiércol. Material orgánico empleado para fertilizar la tierra, compuesto generalmente por heces y orina de animales domésticos. Puede presentarse mezclado con material vegetal como paja, heno o material de cama de los animales. Aunque el estiércol es rico en nitrógeno, fósforo y potasio, comparado con los fertilizantes sintéticos sus contenidos son menores y se encuentran en forma orgánica. Puede aplicarse en mayor cantidad para alcanzar las cantidades que necesita el cultivo, pero en general, el nitrógeno es menos estable y está disponible por menos tiempo en el suelo. Es rico en materia orgánica, por lo que aumenta la fertilidad del suelo y mejora su capacidad de absorción y retención de agua (24).
- Macroorganismos. Organismos vivos que pueden ser observados a simple vista (arañas, lombrices, roedores, hormigas, escarabajo, entre otros). También se les denomina mesofauna (24).

- Materia orgánica. Residuo vegetal, animal y de microorganismo en distintas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo (22).
- Microorganismos. Organismos vivos microscópicos (hongos, incluyendo levaduras, bacterias incluyendo actinobacterias, protozoos como nemátodos, etc.) (22).
- Nitrato. Forma inorgánica del nitrógeno que se encuentra oxidado y es soluble en la solución del suelo, además, se pierde con más facilidad por lixiviación (28).
- Nitrógeno. Elemento indispensable para las plantas que puede estar en forma orgánica (proteínas y compuestos orgánicos), o inorgánica (nitrato o amonio) (22).
- Patógeno. Microorganismo capaz de producir una enfermedad, puede ser fitopatógeno, cuando la enfermedad se produce en plantas, o patógenos humanos o animales (28).
- Humus. Materia orgánica descompuesta, amorfa y de color marrón oscuro de los suelos, que ha perdido todo indicio de la estructura y la composición de la materia vegetal y animal a partir de la que se originó. Por tanto, el término humus se refiere a cualquier materia orgánica que ha alcanzado la estabilidad y que se utiliza en la agricultura para enmendar el suelo. Se debe tener en cuenta que el producto de la lombriz suele llamarse equivocadamente humus, cuando en realidad debe llamarse vermicompuesto (6).

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1 Área de estudio

El proyecto de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del relleno sanitario del Centro Ecoturístico y de Protección Ambiental Santa Cruz-CEPASC, ubicado en el distrito de Concepción, provincia de Concepción, Junín.

#### 3.1.1 Ubicación geográfica

- Datum: WGS 84, 18 Sur.
- Este: 468 030
- Norte: 8 684 806
- Altitud: 3 334 msnm.

#### 3.1.2 Ubicación del área de estudio

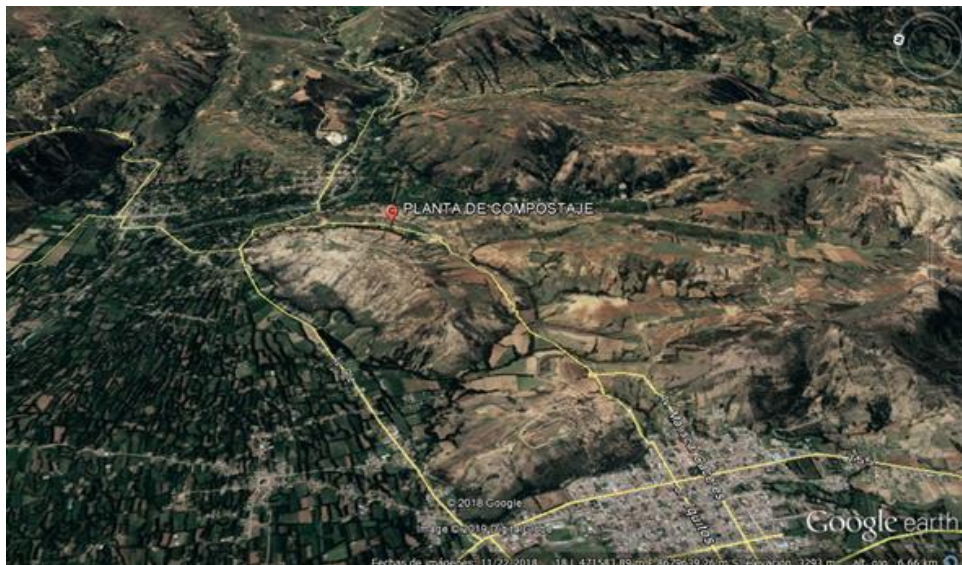


Figura 3. Ubicación de la planta de Compostaje, por Google Earth, 2018.

## **3.2 Método y alcance de la investigación**

### **3.2.1 Método de investigación**

El método de investigación es hipotético deductivo, porque en esta investigación se formula la hipótesis que plantea el efecto de mejoramiento del compost con la aplicación de estiércol de vacuno y de cuy, que causará la disminución de la concentración de metales pesados, posteriormente se analizarán las concentraciones de metales pesados. Asimismo, durante el proceso, fue inoculado con EM-Compost.

El método hipotético deductivo consiste en emitir hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles, si estos están de acuerdo con aquellas (39).

### **3.2.2 Nivel de investigación**

La investigación es del nivel descriptivo, por cuanto se describe los resultados de la aplicación de estiércol de animal a los residuos orgánicos durante la elaboración de compost, en el distrito de Concepción, para determinar si la adición de estiércol de vacuno y de cuy reduce la concentración de metales pesados, a fin de mejorar la calidad del compost final.

### **3.2.3 Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada, pues tuvo la finalidad de adquirir nuevos conocimientos sobre la utilización de estiércol de vacuno y de cuy en la obtención de compost para disminuir la concentración de metales pesados, es decir, estuvo dirigida fundamentalmente a un objetivo práctico específico (40).

La investigación aplicada se emprende para determinar los posibles usos de los resultados de la investigación básica o para determinar nuevos métodos o formas de alcanzar objetivos específicos predeterminados (40).

Este tipo de investigación implica la consideración de todos los conocimientos existentes y su profundización en un intento de solucionar problemas específicos. Los resultados de la investigación aplicada se refieren, en primer lugar, a un único producto o a un número limitado de productos, operaciones, métodos o sistemas (40).

### **3.2.4 Alcance de la investigación**

En el presente trabajo de investigación se planteó utilizar los residuos sólidos orgánicos generados en el distrito de Concepción, el estiércol de cuy y estiércol de vacuno. Asimismo, el objetivo es mejorar el compost para la disminución de la concentración de metales pesados del CEPASC.

Además, los resultados de esta investigación servirán para disminuir la concentración de metales pesados en el compost con la adición de estiércol de vacuno y de cuy. Estos resultados podrán ser aprovechados en la toma de medidas para disminuir las concentraciones de metales pesados y así beneficiar a los suelos agrícolas de la localidad en la mejora de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y proponer la construcción de una planta de valorización de residuos sólidos orgánicos en el distrito.

La utilización de estiércol de vacuno y de cuy tiene como finalidad incrementar las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio de las plantas, asimismo, ayuda a acelerar el proceso de compostaje y asegura la calidad del compost.

### **3.3 Diseño de la investigación**

**Diseño cuasi experimental de series cronológicas.** También llamado series temporales, el cual consiste en aplicar a un grupo un tratamiento o variable independiente y someterlo a varias observaciones, para posteriormente comparar las mediciones antes y después de la aplicación del tratamiento, determinar la influencia de este, es decir, de la variable independiente, sobre la variable dependiente (41).

El diseño aplicado en esta investigación es el diseño “cuasi experimental de series temporales”. Para la investigación se realizaron dos tratamientos con la adición de estiércol de cuy (tratamiento 2) y estiércol de vacuno (tratamiento 3), por un periodo de 66 días, y se evaluó los parámetros de campo, para posteriormente obtener el compost final. Además, los resultados se compararon con los datos obtenidos del tratamiento testigo y así determinar la influencia de la variable independiente en la variable dependiente.

Tabla 11. Tratamientos en Estudio

N.	TRATAMIENTO
1	Compost de RSOS + EM (testigo)
2	Compost de RSOS + EC + EM
3	Compost de RSOS + EV + EM

**Abreviaturas:**

RSOS: Residuos sólidos orgánicos segregados.

EC: Estiércol de cuy.

EV: Estiércol de vacuno.

EM: microorganismos eficientes.

### 3.3.1 Procedimiento de campo

#### 3.3.1.1 Fase de precampo

##### a) Adecuación del área experimental

Para la ejecución del experimento se construyó una caseta con un área de 35 m<sup>2</sup>, con techos de calima, piso de arcilla y cerrados con malla raschel y plástico, para proteger de la lluvia, regular la temperatura del proceso de compostaje y el ingreso de vectores como moscas y animales menores.

##### b) Armado de las instalaciones de las pilas

- La pila 1 es de 7.5 m<sup>2</sup>; la pila, 2 de 10.38 m<sup>2</sup>, y la pila 3, de 9.5 m<sup>2</sup>. Todas cuentan con una profundidad de 20 cm y están impermeabilizadas con arcilla y forradas con plástico para evitar la filtración del lixiviado, además se colocaron tubos para el drenaje de lixiviados.
- Para el experimento se trabajó con la pila 1, se la dividió en tres partes, para realizar los tres tratamientos: el tratamiento 1 fue de 2.5 m<sup>2</sup>, el tratamiento 2 fue de 2.5 m<sup>2</sup> y el tratamiento 3 de 2.5 m<sup>2</sup>.
- Las pilas 2 y 3 fueron para procesar los compost del experimento, mientras que la pila 1 corresponde al compost del testigo.

**c) Activación de los microorganismos eficientes**

Para activar los microorganismos eficientes se usó un balde de 20 litros, donde se agregó un litro de melaza de caña de azúcar, un litro de microorganismos eficaces, se realizó una mezcla uniforme en 18 litros de agua sin cloro, posteriormente se tapó y guardó en un ambiente bajo sombra por un periodo de siete días, para lograr un proceso de fermentación, transcurrido este periodo se observó una nata y un olor agridulce, lo que fue un indicador de que el EM está activado.

**3.3.1.2 Etapa de campo**

**a) Recolección de la materia orgánica**

Los residuos sólidos usados en el experimento fueron generados por la población del distrito de Concepción, se tomaron directamente del camión recolector de residuos orgánicos que transportan a la planta de compostaje del CEPASC, sin ninguna alteración ni mezcla, se descargaron 500 kg en las instalaciones del área donde se realizó el experimento.

**b) Recolección de estiércol de vacuno**

El estiércol de vacuno se adquirió de un establo del barrio Palia, Concepción y ya estaba estabilizado (seco), luego se llenó en dos costales de una capacidad de 100 kg cada uno, posteriormente se transportó con movilidad hasta la planta de compostaje del CEPASC.

**c) Recolección de estiércol de cuy**

El estiércol de cuy se adquirió de una granja instalada en las áreas del CEPASC, y ya estaba estabilizado (seco), luego se llenó en dos costales de una capacidad de 100 kg cada uno, posteriormente fue transportado por los trabajadores del CEPASC hasta las instalaciones del laboratorio para el experimento.

**d) Clasificación y picado de los residuos sólidos**

Se realizó las labores de clasificación donde se quitaron los materiales no biodegradables como restos de plástico, clavos, vidrio, tapas de botella, etc. y los residuos

de gran tamaño como verduras, frutas y restos de jardines se sometieron a un picado manual, obteniendo un tamaño ideal que fue de 3 a 6 cm con ayuda de machetes. Este proceso se realizó con el objetivo de facilitar el proceso de descomposición de los residuos sólidos orgánicos.

**e) Formación de las composteras**

A continuación, se describen los procedimientos para cada pila.

- **Pila uno, tratamiento N. 01.** Se colocó una capa delgada de restos de paja de trigo con el fin de que exista aireación en el proceso de compostaje, se agregó 250 kg de residuos sólidos orgánicos segregados.
- **Pila dos, tratamiento N. 02.** Se colocó una capa delgada de restos de paja de trigo con el fin de que exista aireación en el proceso de compostaje, luego se agregó 125 kg de residuos sólidos orgánicos segregados y 125 de estiércol de cuy estabilizado, los dos tipos de residuos sólidos se mezclaron uniformemente.
- **Pila tres, tratamiento N. 03.** Se colocó una capa delgada de restos de paja de trigo con el fin de que exista aireación en el proceso de compostaje, se agregó 125 kg de residuos sólidos orgánicos segregados y 125 de estiércol de vacuno estabilizado, los dos tipos de residuos sólidos se mezclaron uniformemente.

Tabla 12. Cantidad de residuos por pila de compostaje

<b>Tipo de residuos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>kg</b>
<b>Pila N. 01</b>		
Residuos sólidos orgánicos segregados. (testigo)	250 kg de residuos orgánicos segregados.	250
EM-COMPOST activado	1L	
<b>Pila N. 02</b>		
Residuos sólidos orgánicos segregados	125 kg de residuos sólidos orgánicos segregados	125
Estiércol de cuy seco	125 kg de estiércol de cuy.	125
EM-COMPOST activado	1L	
<b>Pila N. 03</b>		



Residuos sólidos orgánicos segregados	125 kg de residuos sólidos orgánicos segregados	125
Estiércol de vacuno seco	125 kg de estiércol de vacuno.	125
EM-COMPOST activado	1L	
Total	750 kg a compostar	

**f) Inoculación de microorganismos**

En cada pila se colocaron 250 kg de residuos orgánicos para iniciar el proceso de compostaje, posteriormente transcurrido los cinco días se realizó el primer volteo a cada tratamiento y se adiciono 1L de EM-COMPOST activado por aspersion.

**3.3.1.3 Monitoreo de los parámetros de campo**

**a) Temperatura**

Para el estudio se consideró registros de temperatura de manera interdiaria, debido a la distancia del lugar y la falta de movilidad, las temperaturas se tomaron entre las 10:00:00 am a 12:00:00 pm en cada tratamiento con cuatro repeticiones dependiendo de la variación de la temperatura para luego sacar un promedio de los datos. Para la medición se usó un termo hidrómetro digital de propiedad de la oficina de CEPASC. El sensor se introdujo directamente a la pila de compostaje y después de estabilizarse se tomaron las medidas.

**b) Humedad**

El contenido de humedad es importante en el proceso de compostaje, por lo tanto, en este experimento se mantuvo el contenido de humedad óptimo que varía en un rango de 50-60%, asimismo los monitoreos se realizaron a diario para controlar la humedad optima con el sensor del laboratorio del CEPASC. Durante todo el proceso de compostaje se mantuvo una humedad óptima y no se agregaron agua al proceso de compostaje.

**c) Aireación**

El objetivo de la aireación durante todo el proceso de compostaje fue suministrar oxígeno a los microorganismos y estos puedan realizar la degradación microbiana, también con la aireación se puede controlar la temperatura y la humedad del proceso de

compostaje, al inicio del proceso de compostaje se adicionaron restos de paja de cebada para controlar la aireación y la generación de lixiviados, y evitar la compactación de los residuos sólidos orgánicos. Se realizó el volteo manual cuando la humedad superaba el valor de 60%.

#### **d) pH**

El control del pH es un parámetro importante por evaluar debido a la acción microbiana que requiere de un pH adecuado para realizar su actividad microbiana y esto varía durante todo el proceso microbiano; para el estudio realizado se llevó las muestras al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental, ya que los equipos de laboratorio no pueden salir a campo por temas de seguridad. Para esto se usó 10 gramos de suelo y 20 ml de agua destilada.

#### **3.3.1.4 Toma de muestras**

Después de haber culminado el proceso de compostaje y de que verificar que el compost ya cumpla con los parámetros de maduración, se procedió a sacar la muestra para su respectivo envío al laboratorio a continuación se detalla dicho proceso:

#### **a) Cosecha**

La cosecha se realizó cuando la materia orgánica ya no se presenta, además de que la temperatura y humedad sean constantes y se evidencie un color marrón y ya no existan olores a descomposición. En esta investigación se obtuvo el compost final después de 66 días de haber instalado las pilas de compostaje del tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3.

#### **b) Tamizado**

Después de culminar con el proceso de compostaje, los residuos de cada tratamiento, por separado, fueron tamizados con una malla, para uniformizarlos y poder tomar la muestra respectiva para los análisis de laboratorio.

#### **c) Toma de muestra**

Después de que se culminó con el proceso de compostaje y el tamizado del producto final, se procedió a tomar la muestra por el método del cuarteo, obteniendo 300 g de compost

de cada tratamiento para ser enviados a laboratorio para prevenir inconvenientes de la muestra en el traslado hacia el laboratorio se enviaron 100 g más.

### **3.3.1.5 Etapa de laboratorio**

Las muestras de compost final fueron enviadas para su respectivo análisis al laboratorio de la empresa SGS del Perú S.A.C., acreditado por INACAL (Instituto Nacional de Calidad). Con el objetivo de determinar mediante un análisis químico la concentración de metales pesados por cada tipo de tratamiento.

### **3.3.1.6 Fase de gabinete**

En esta fase se analizaron e interpretaron los resultados obtenidos en laboratorio y datos de campo. Para los análisis de datos cuantitativos se usó el *software* SPSS 23, mientras que para la interpretación de cada uno de los tratamientos realizados se tomaron como referencia las normativas de calidad de compost de Austria, México y Chile.

## **3.4 Población y muestra**

### **3.4.1 Población**

El lugar donde se realizará esta investigación es el distrito de Concepción, Provincia de Concepción, que de acuerdo al PIGARS, 2018 se genera 7.44 t de residuos sólidos orgánicos. Estos son trasladados al CEPASC (Centro Ecoturístico de Protección Ambiental Santa Cruz), Departamento de Junín, Perú. Asimismo, la población del trabajo de investigación estuvo constituida por la masa total de compost en las diferentes pilas preparadas.

### **3.4.2 Muestra**

Las muestras estarán comprendidas por 400 g de compost por cada tratamiento, las mismas que serán tomadas de las pilas de compostaje de cada tratamiento, las muestras para análisis de metales pesados se enviarán al laboratorio de la empresa SGS del Perú S.A.C, acreditada por INACAL.

## **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Durante el proceso de compostaje se evaluaron los datos de temperatura, pH y humedad.

Tabla 13. Parámetros de análisis de compost.

<b>Parámetro de contenido de metales pesados</b>	<b>Unidad de expresión</b>
Arsénico	mg/kg
Cadmio	mg/kg
Cobre	mg/kg
Cromo	mg/kg
Mercurio	mg/kg
Níquel	mg/kg
Plomo	mg/kg
Zinc	mg/kg

### 3.6 Técnicas de análisis de datos

Al finalizar el experimento se realizó la tabulación de los resultados obtenidos en el laboratorio, como parte de la estadística descriptiva. Una vez obtenidos los datos, se procedió a analizar cada uno de ellos, atendiendo a los objetivos y variables de la investigación, de manera tal que se contrastaran en la hipótesis con variables y objetivos planteados, demostrando así la validez o invalidez de estas. Esto se realizó mediante el *software* Excel, versión 2016 y el *software* IBM SPSS Statistics 22.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información (tablas y figuras)

#### 4.1.1 Análisis de datos de campo

Para los análisis de los parámetros físicos de campo, se tomaron los datos a lo largo del proceso de compostaje con el objetivo de determinar la variación de cada tratamiento.

##### 4.1.1.1 Análisis de la temperatura

En la figura 4 se presenta la curva de evolución de la temperatura de los tres tratamientos realizados, datos que se evaluaron cada dos días por un periodo de 66 días hasta la obtención del producto final.

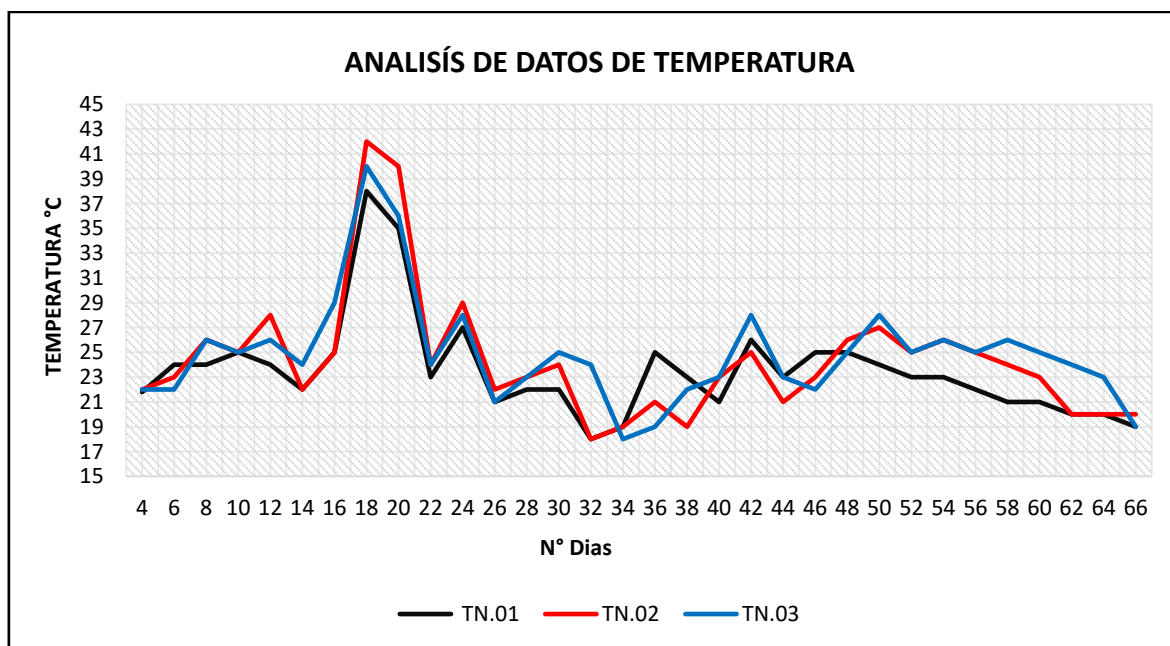


Figura 4. Variación de la temperatura

Como se observa en el gráfico anterior, el tratamiento N. 02 y N. 03, que contiene estiércol de cuy y estiércol de vacuno respectivamente, tienen un comportamiento similar a lo largo de todo el proceso, sin embargo, el tratamiento N. 02 logra un mayor incremento de temperaturas máximas. Por otra parte, el tratamiento N. 01, que no cuenta con la adición de estiércol, tiene la temperatura más baja en todo el proceso de compostaje. Esto podría ser debido a que el estiércol seco (estabilizado) ayuda a incrementar la temperatura y reducir el tiempo de compostaje. Los tratamientos lograron alcanzar las temperaturas

requeridas para considerar al producto final como un compost que atravesó todas las etapas del proceso del compostaje.

#### 4.1.1.2 Análisis de humedad

En la figura 5 se presenta la curva de evolución de la humedad de los tres tratamientos realizados, datos que se evaluaron cada 02 días por un periodo de 66 días hasta la obtención del producto final.

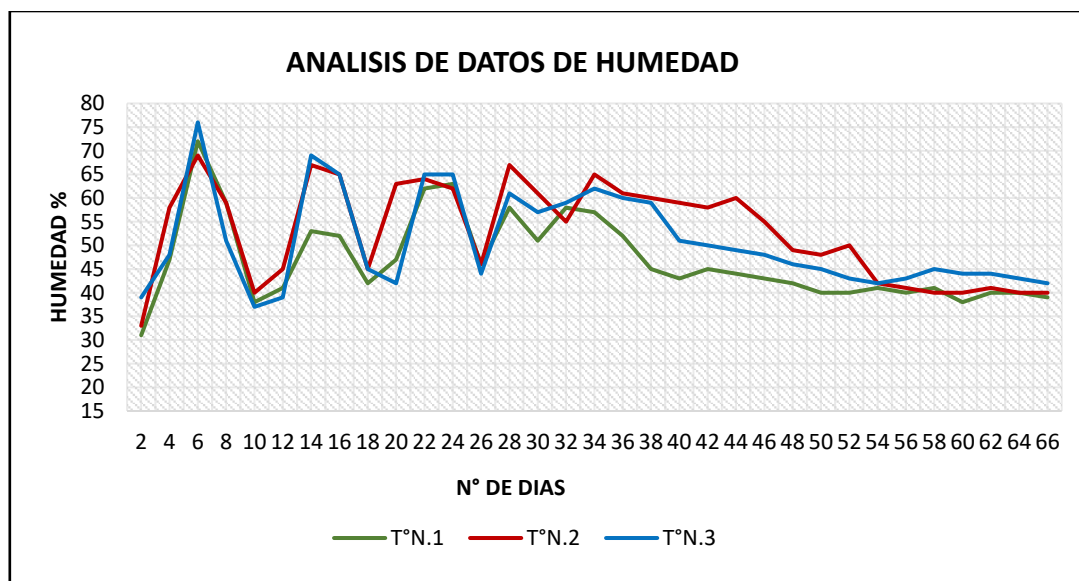


Figura 5. Variación de la Humedad

Como se observa, se puede notar diferencias mínimas entre los niveles de humedad durante todo el proceso de compostaje en los tres tipos de tratamiento, aunque se puede evidenciar pequeñas variaciones en las humedades en los tratamientos N. 02 y N. 03 (estiércol de cuy y estiércol de vacuno, respectivamente), el tratamiento N. 01 (con residuos orgánicos segregados), sin adición de estiércol, tiene una humedad mayor a diferencia de los demás tratamientos. Además, cabe destacar que, durante todo el proceso de compostaje en los tres tipos de tratamientos realizados en esta investigación, no existieron presencia de lixiviados, lo cual, significa que se controló al máximo la humedad y temperatura de todo el proceso de compostaje.

#### 4.1.1.3 Análisis de pH

Para esta variable se presenta la curva de evolución del pH durante el proceso de compostaje de los tres tipos de tratamientos realizados en este estudio, los datos se tomaron cada 10 días o 8 días, dependiendo de la disponibilidad del Laboratorio de

Química de la Universidad Continental. En todo el proceso de compostaje se realizaron 6 análisis de pH en diferentes etapas del proceso.

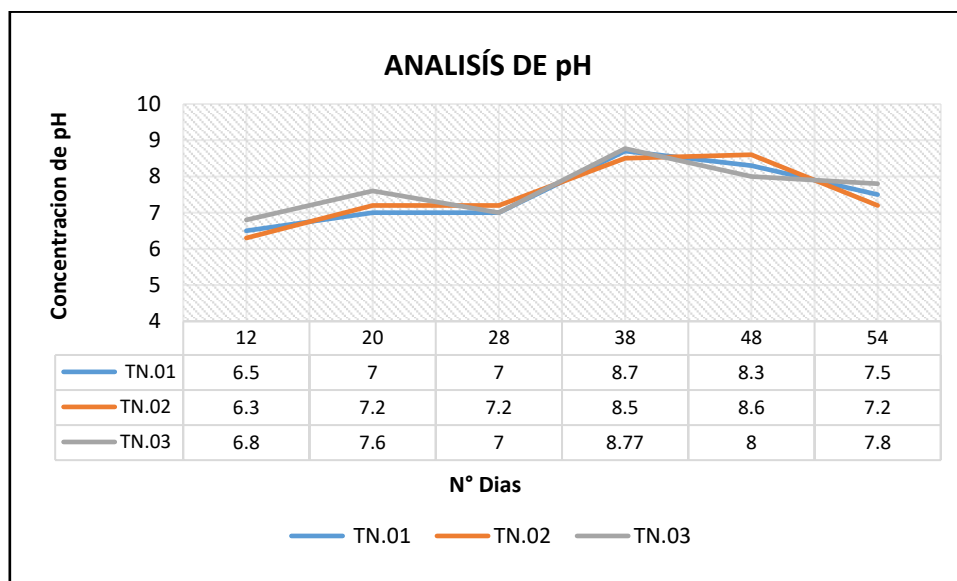


Figura 6. Niveles de potencial de hidrogeno (pH).

En la figura 6 podemos observar que, el pH en los tres tratamientos realizados evidenció ligeras variaciones del contenido de pH, presentó un rango de 6.3 a 8.7, que indicaron un adecuado control de la aireación, esto a su vez, favoreció a la proliferación de las bacterias de los microorganismos eficientes (EM), agregado con el fin de acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica. Sin embargo, se evidenció que a partir del día 38 del proceso de compostaje, se estabilizó en valores óptimos que favorecen la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

#### 4.1.2 Análisis de datos de metales

Para el análisis del contenido de metales se realizó ensayos en el laboratorio SGS de la ciudad de Lima. Los resultados emitidos por el laboratorio, se muestran en el Anexo N. 02.

A continuación, se realizó una comparación del contenido de metales en ppm, para los tres tipos de tratamientos aplicados en la investigación. Asimismo, se graficó, como referencia, la normativa chilena, mexicana y el reglamento Austriaco. Cabe señalar, que en el Perú no se cuenta con una normativa de calidad de compost. Las nomenclaturas utilizadas en los gráficos son las siguientes:

- T1: RSOS = residuos sólidos orgánicos segregados, corresponde al testigo.
- T2: RSOS+EC = residuos sólidos segregados más estiércol de cuy 50/50.
- T3: RSOS+EV = residuos sólidos segregados más estiércol de vacuno 50/50.

#### 4.1.2.1 Concentración de arsénico

Los resultados obtenidos para el contenido de arsénico en los diferentes tratamientos se grafican en la figura 4.4.

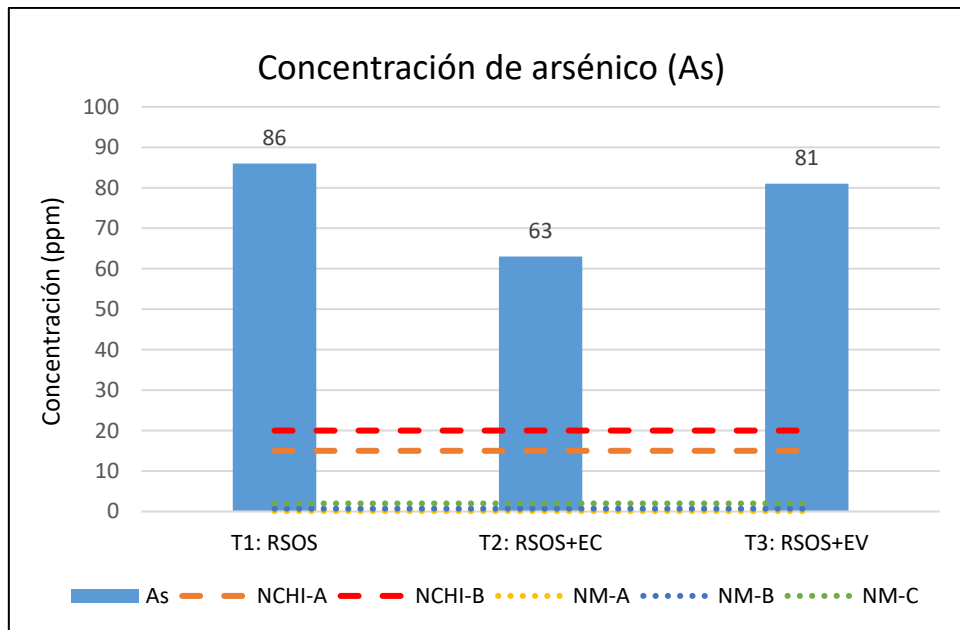


Figura 7. Contenido de arsénico del compost final

En la figura 7, se observa que el tratamiento T2 (estiércol de cuy), presentó una concentración de 63 ppm de arsénico, que corresponde al valor mínimo alcanzado. Asimismo, las concentraciones de arsénico tanto en el T2 y T3, son menores a los resultados obtenidos en el T1 (testigo), y disminuyeron en el T2 de 86 ppm a 63 ppm y en el T3 de 86 ppm a 81 ppm. Sin embargo, los valores obtenidos en los tres tratamientos, incluyendo el testigo (T1), no cumplen con la concentración máxima (20 ppm), para la clase B establecida por la norma chilena N. 2880, tampoco cumple con la concentración máxima de 2 ppm para clase C, establecida en la Normativa Ambiental Mexicana N. 020-2011. Ninguno de los tres tratamientos está dentro de los límites máximos de concentración de arsénico, pues superó ampliamente el rango de las normativas evaluadas.



#### 4.1.2.2 Concentración de cadmio

Los resultados obtenidos para el contenido de cadmio en los diferentes tratamientos que fueron:

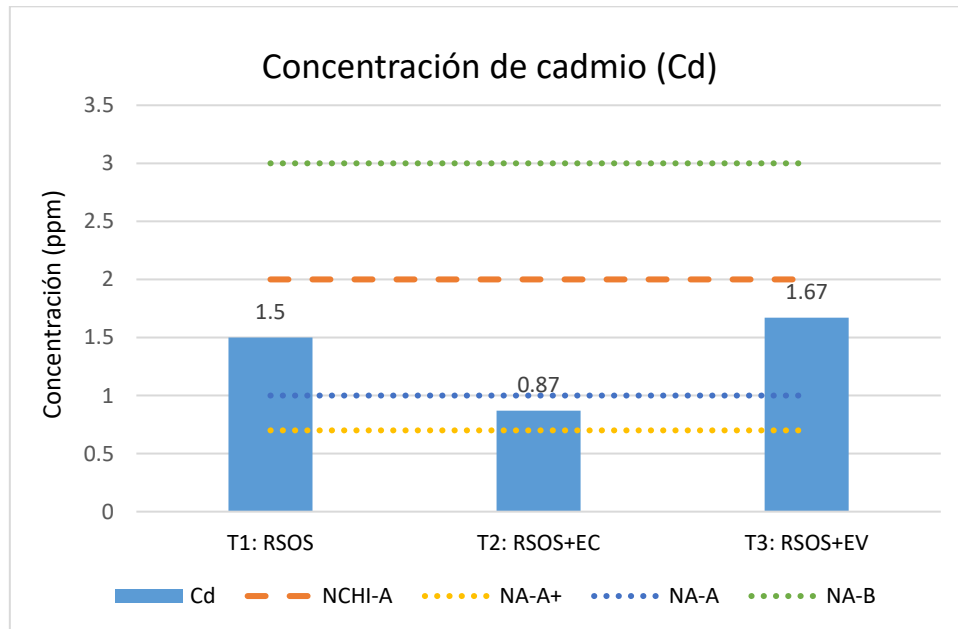


Figura 8. Contenido de cadmio del compost final.

En la figura 8, se observa que el contenido de cadmio en el T2 (estiércol de cuy), registró una concentración de 0.87 ppm, menor que el T1 (testigo) y T3 (estiércol de vacuno), categorizado como un compost de clase A (1 ppm), según la norma Austriaca BGBl, 2001. Sin embargo, el tratamiento T3 (estiércol de vacuno), tiene la mayor concentración, ya que llegó a 1.67 ppm, y logró superar al T1 (testigo). Además, los valores obtenidos en los tres tratamientos están dentro de los límites máximos establecidos por la normativa chilena (compost de tipo A) y austriaca (compost de clase B).

#### 4.1.2.3 Concentración de cromo

Los resultados obtenidos para el contenido de cromo en los diferentes tratamientos que fueron:

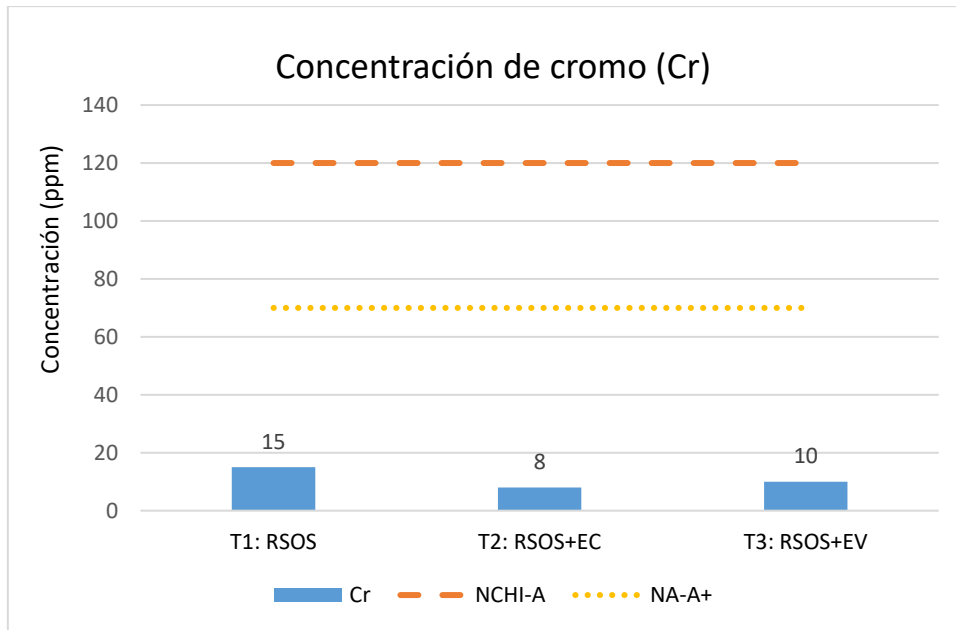


Figura 9. Contenido de Cromo del compost final.

En la figura 9, los valores obtenidos en los tres tratamientos están dentro de los límites máximos establecidos por la normativa chilena 2880 para compost tipo A (120 ppm), mexicana 020-2011 y austriaca BGBL, 2001 para compost tipo A+ (70 ppm). Asimismo, el tratamiento T2 (estiércol de cuy) contiene menor concentración de cromo, y es el tratamiento donde se redujo la concentración de cromo, tomando como referencia es T1 (testigo).

#### 4.1.2.4 Concentración de cobre

Los resultados obtenidos para el contenido de cobre en los diferentes tratamientos que fueron los siguientes:

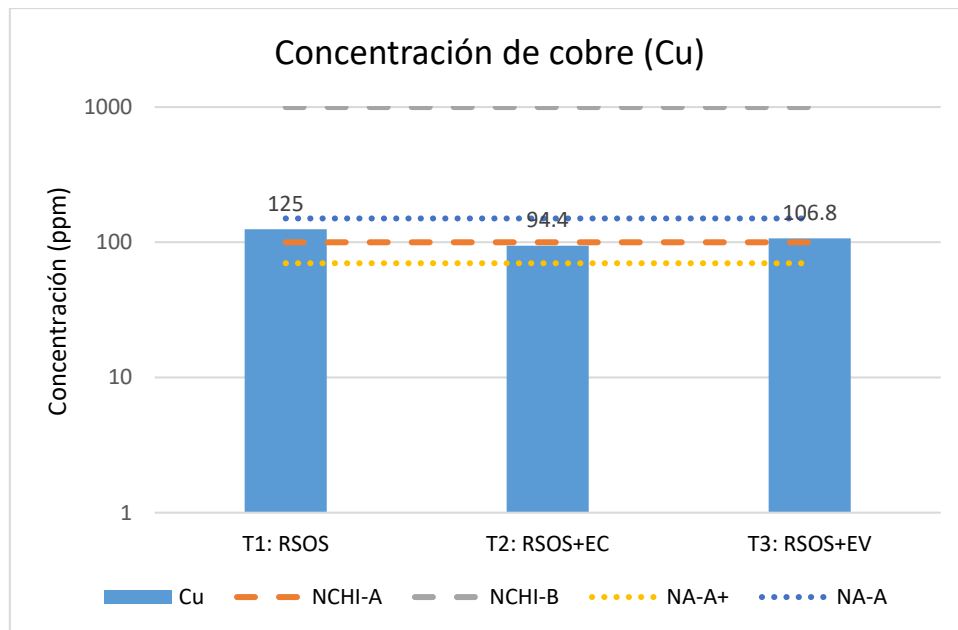


Figura 10. Contenido de cobre del compost final

En la figura 10 se observa que el tratamiento T2 (estiércol de cuy) tuvo una concentración de 94.4 ppm que se encuentra dentro de los límites máximos señalados en la normativa chilena 2880, correspondiente a la calidad de tipo A (100 ppm), asimismo, está dentro del límite máximo señalado en la normativa ambiental mexicana 020-2011 y normativa austriaca BGBL, 2001, correspondiente a la clase A (150 ppm). También se puede señalar que los valores obtenidos del contenido de cobre en los tratamientos T1 (testigo) son 125 ppm y en el T3 (estiércol de vacuno) de 106.8 ppm, no superan los límites máximos señalados en la normativa chilena 2880, correspondiente a la clase B (1000 ppm), de este modo, no superan los límites máximos mencionados en la normativa austriaca BGBL, 2001, correspondiente a la clase A (150 ppm).

#### 4.1.2.5 Concentración de mercurio

Los resultados obtenidos para el contenido de mercurio en los diferentes tratamientos que fueron los siguientes:

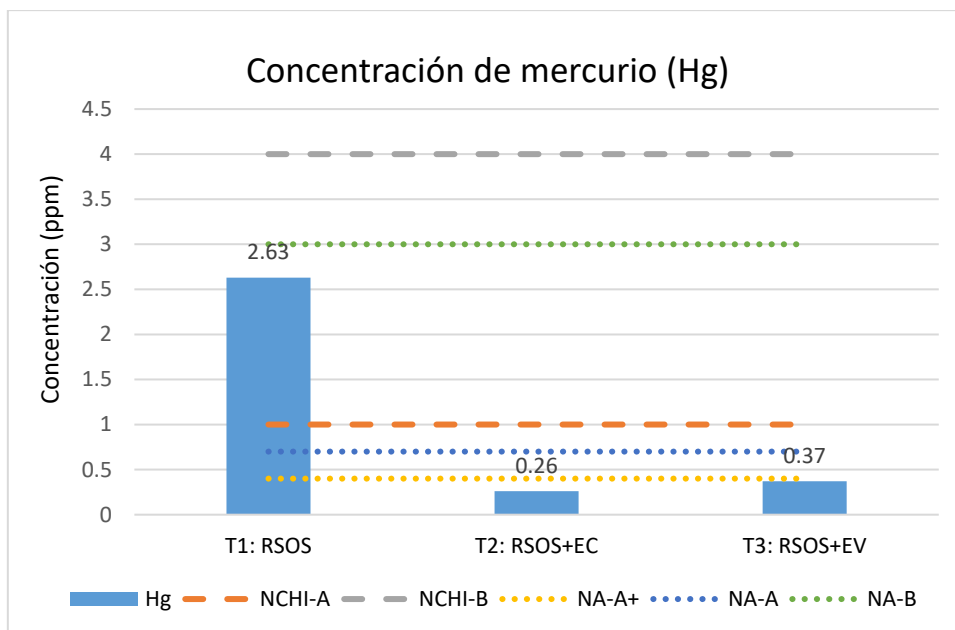


Figura 11. Contenido de mercurio del compost final

En la figura 11, se observa que la concentración de mercurio en el producto final de los tres tratamientos tuvo variaciones significativas. En el T1 (testigo) fue de 2.63 ppm, resultado que fue mucho mayor a los obtenidos en los tratamientos T2 (estiércol de cuy) que fue de 0.26 ppm y T3 (estiércol de vacuno) que estuvo en 0.37 ppm. El T1 corresponde a un compost de tipo B (4 ppm), según lo establecido por la normativa chilena N. 2880, asimismo se encuentra por debajo de la concentración máxima establecida por la norma austriaca BGBl, 2001, correspondiente a la clase B (3 ppm). Además, los resultados de los tratamientos T2 y T3, cumplen con los parámetros establecidos en la normativa chilena, mexicana y austriaca con valores menores a 0.4 ppm y 1 ppm, correspondientes a la clase A+ y A respectivamente.

#### 4.1.2.6 Concentración de níquel

Los resultados obtenidos para el contenido de níquel en los diferentes tratamientos que fueron los siguientes:

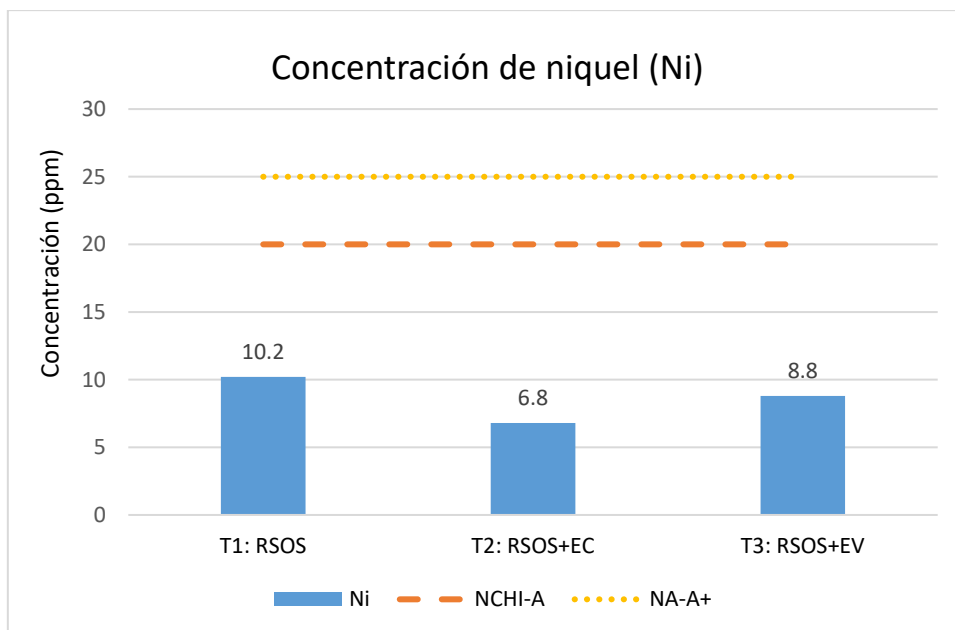


Figura 12. Contenido de níquel del compost final.

En la figura 12, se observó que el T1 (testigo), T2 (estiércol de cuy) y T3 (estiércol de vacuno), con concentraciones de níquel de 10.2 ppm, 6.8 ppm y 8.8 ppm respectivamente, están catalogados, según la normativa chilena N. 2880, como compost de clase A (20 ppm) y según la norma austriaca BGBl, 2001, corresponde a un compost de clase A+ (25 ppm). Asimismo, se evidencia que el T2 (estiércol de cuy), contiene menor concentración de níquel.

#### 4.1.2.7 Concentración de plomo

Los resultados obtenidos para el contenido de plomo en los diferentes tratamientos que fueron estos:

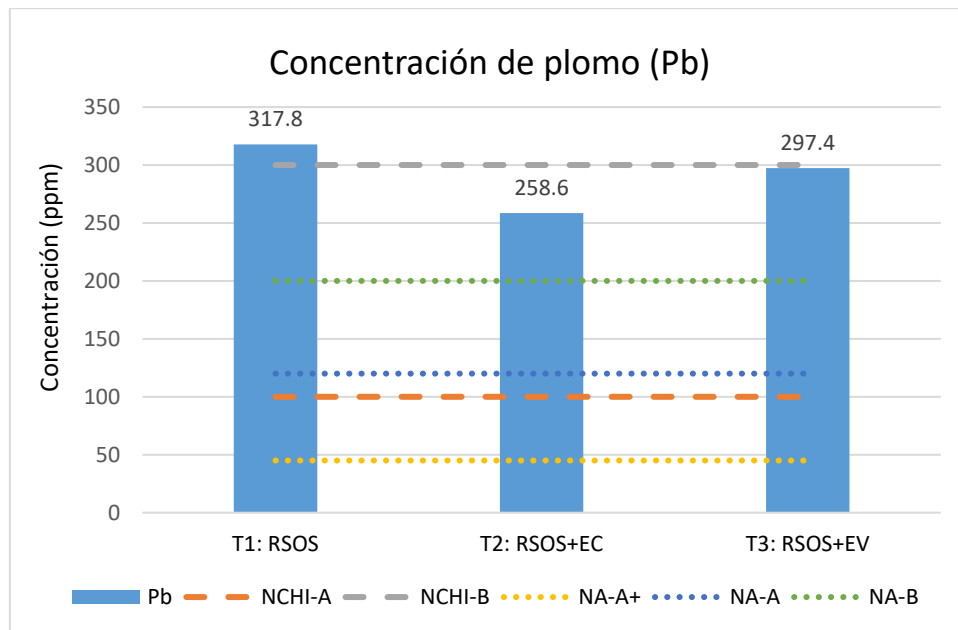


Figura 13. Contenido de plomo del compost final.

En la figura 13, se observa que el tratamiento T1 (testigo), presentó una concentración de 317.8 ppm, que supera los valores máximos permisibles de todas las normas en todas las categorías de compost. Mientras que el tratamiento T2 (estiércol de cuy) fue de 258.6 ppm y T3 (estiércol de vacuno) estuvo en 297.4 ppm, que apenas se encuentran dentro del límite establecido por la norma chilena 2880 para un compost de clase B (300 ppm) y no cumplen con los valores máximos establecidos en la normativa ambiental mexicana 020-2011 y normativa austriaca BGBL, 2001, para ninguna categoría. De gráfico también se desprende que el T2 registra el valor menor de concentración de plomo.

#### 4.1.2.8 Concentración de zinc

Los resultados obtenidos para el contenido de zinc en los diferentes tratamientos que fueron los siguientes:

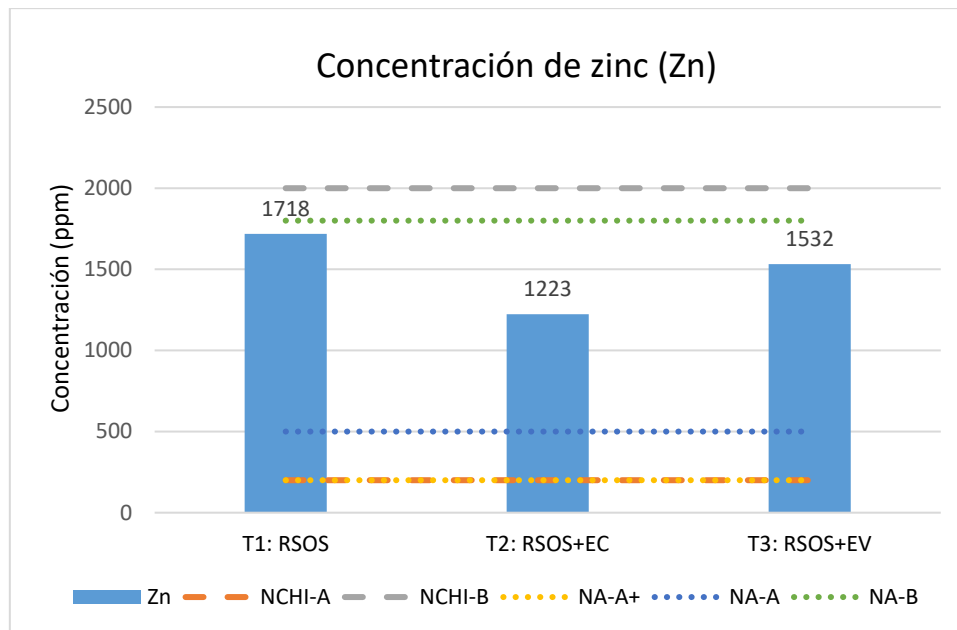


Figura 14. Contenido de zinc del compost final.

En la figura 14, el contenido de zinc en el tratamiento T1 (testigo), T2 (estiércol de cuy) y T3 (estiércol de vacuno), registraron concentraciones de 1718 ppm, 1223 ppm y 1532 ppm respectivamente, valores que están dentro de los límites máximos establecidos por la normativa chilena 2880 para compost de clase B (2000 ppm), asimismo, están dentro de los límites máximos establecidos por la normativa austriaca BGBL, 2001, para compost de clase B (1800 ppm). Por tanto, el tratamiento T2 (estiércol de cuy) registra menores concentraciones de zinc que los demás tratamientos.

## 4.2 Discusión de resultados

### 4.2.1 Parámetros de campo

#### 4.2.1.1 Temperatura

Los parámetros de campo se evaluaron cada dos días, durante el proceso de compostaje. Respecto a la temperatura, se puede mencionar que en el tratamiento T2 (estiércol de cuy) y el tratamiento T3 (estiércol de vacuno), alcanzaron temperaturas entre 40°C y 43°C, en los días 18 y 20. Mientras que el tratamiento T1 (testigo) solo alcanzó temperaturas máximas de 38°C. Esto pudo ser debido a que el T1 no contó con estiércol de animal, el mismo que ayuda a incrementar el factor calorífico, que es propicio para una mayor proliferación de bacterias y por ende, la rápida descomposición de la materia

orgánica. En conclusión, se podría mencionar que existieron mejores condiciones de temperatura en los tratamientos que contenían estiércol.

La temperatura en este tratamiento tuvo una variación entre 18°C a 43°C que permitió la obtención de un compost maduro en un periodo de 66 días. La temperatura es un factor que en el proceso del compost debería darse de forma natural, sin alteraciones artificiales, teniendo en cuenta que las poblaciones de microorganismos se perturban a temperaturas mayores de 60°C, por lo tanto, es recomendable considerar una adecuada disipación del calor, especialmente en sistemas cerrados. Asimismo, es importante que los rangos de temperatura sean entre 30°C a 65°C, para garantizar la disponibilidad de cada uno de los componentes y su degradación eficaz por los microorganismos (19). Los datos de la temperatura se elevaron rápidamente en los tres tratamientos, llegando a un rango óptimo para la degradación de los residuos orgánicos y la activación de los microorganismos en el día 20 del proceso de descomposición, luego la temperatura fue reduciendo debido a la inexistencia de materia orgánica para degradarse. Según el estudio realizado por Soriano Vilcahuman, en su proceso de elaboración de compost en un periodo de 44 días, logró alcanzar una temperatura de 52°C en la semana cuatro del proceso de compostaje, quizás por eso, el compost se pudo obtener en menor tiempo. A diferencia del estudio citado, en el presente estudio se obtuvo un compost maduro en 66 días.

#### **4.2.1.2 Humedad**

El tratamiento T3 (estiércol de vacuno) logró hasta 75% de contenido de humedad, que fue ligeramente mayor que los tratamientos T1 (testigo) de 73% y T2 (estiércol de cuy) de 70%, sin embargo, los tres tratamientos mostraron similar comportamiento en el tiempo de proceso, teniendo mínimas variaciones.

Entonces, la humedad es un parámetro que está estrechamente vinculada a los microorganismos, ya que usan agua como medio de transporte de nutrientes y elementos energéticos. Para un buen proceso de compostaje, la humedad óptima es de 55% (28). En el presente trabajo se trató de mantener la humedad óptima, por ello, se logró un rango de 31% a 72% de humedad al iniciar el proceso y de un promedio de 40% de humedad al final del proceso, asimismo, no se generó lixiviados.



### **4.2.1.3 pH**

Se tuvo valores de pH entre 6.3 a 8.8, durante todo el proceso de compostaje, al inicio del proceso se registró valores entre 6.3 a 6.8, donde los más altos correspondieron al tratamiento T3 (estiércol de vacuno). Al finalizar el proceso de compostaje se obtuvieron valores de pH neutro, similares entre los tres tratamientos.

Según se menciona en el texto del manual para la elaboración del compost elaborado por la FAO, que en un pH de rango 6 a 7.5 existe mayor actividad bacteriana, asimismo, el pH óptimo para todo el proceso de compostaje varía entre 5.8 a 7.2, valores cercanos a los que se obtuvieron en el proceso del compostaje del presente estudio. Por lo tanto, se podría presumir que existió una adecuada actividad microbiana, que produjo un proceso de compostaje acelerado y óptimo. Cabe mencionar que, durante el proceso de compostaje no se agregó ningún material adicional para controlar el contenido de nitrógeno, ni carbono ya que la concentración de pH está relacionada con la relación C/N.

## **4.2.2 Metales pesados**

Los datos de las concentraciones de los diferentes metales fueron analizados por tipo de tratamiento, tomando como referencia el tratamiento T1 (testigo) y comparándolo con los tratamientos T2 (estiércol de cuy) y T3 (estiércol de vacuno), para determinar la disminución del metal respecto al testigo. Así, en las tablas subsiguientes, los datos comparativos de las columnas “% contenido” y “reducción en %”, toman como referencia el tratamiento T1, donde siempre será 100% y 0% respectivamente.

### **4.2.2.1 Arsénico**

En la Tabla 14, se muestran los resultados de laboratorio en contenido de arsénico, respecto a los tipos de tratamiento.

Tabla 14. Concentración de arsénico por tipo de tratamiento

Tratamiento	Tipo de tratamiento	ppm	Contenido en %	Reducción en %	Normativa
T1	Residuos sólidos orgánicos segregados (testigo)	86	100%	-	Los valores no están dentro de ninguna de los límites máximos permisibles
T2	Residuos sólidos segregados más estiércol de cuy	63	73%	21%	
T3	Residuos sólidos orgánicos más estiércol de vacuno.	81	94%	6%	

En la Tabla 14 se muestran concentraciones elevadas de arsénico que superan los límites máximos establecidos por la normativa chilena, mexicana y el reglamento austriaco. Esto puede ser debido a que la materia prima haya tenido concentración de arsénico antes de realizar el proceso de compostaje, debido a que el arsénico se encuentra principalmente en algunos compuestos usados en la agricultura como pesticidas, herbicidas, en colorantes, industrias de vidrio y en la industria microelectrónica. Asimismo, algunos autores como Madrid, (2011) y Rosal (2007) señalaron que la presencia de metales pesados en concentraciones elevadas se debe a una mala segregación de los residuos sólidos orgánicos antes de realizar el proceso de compostaje. Cabe señalar que, en este estudio, el compostaje se realizó con residuos sólidos segregados en fuente, y se adicionó estiércol de vacuno y de cuy. Sin embargo, aún se presenta elevadas concentraciones de metales pesados, que superan los límites máximos permisibles.

Según Vargas (1) en su estudio realizado sobre “Calidad de los compost producidos a partir de residuos sólidos orgánicos municipales en el centro de protección ambiental santa cruz- ciudad de Concepción”, también analiza la concentración del contenido de arsénico con cuatro meses de compostaje y registró un valor de 67.5 mg/kg y a los cinco meses el contenido es de 79.5 mg/kg. Asimismo, observó que el contenido de arsénico cuando más tiempo se da el proceso de compostaje se incrementa. Sin embargo, en este estudio realizado con un proceso de compostaje de dos meses se puede mencionar que, con la segregación en fuente, el contenido de arsénico es similar a lo evaluado en un compost de cuatro o cinco meses, y si le agregamos estiércol de cuy la

concentración de metales disminuye significativamente a 63 mg/kg, a comparación del T1 (testigo) que contenía una concentración de 86 ppm, logrando reducir el contenido de arsénico el compost final en un 21%. Además, es necesario indicar que quedó así el estiércol de vacuno y de cuy a un 50/50 disminuyen la concentración de arsénico, aunque aún no estén dentro de la normativa debido a algunos factores que quizás hayan afectado el proceso realizado, se evidencia una reducción significativa.

#### 4.2.2.2 Cadmio

En la Tabla 15 se muestran los resultados de laboratorio en contenido de cadmio, respecto a los tipos de tratamiento.

Tabla 15. Concentración de cadmio por tipo de tratamiento

Tratamiento	Tipo de tratamiento	ppm	Contenido en %	Reducción en %	Normativa
T1	Residuos sólidos orgánicos segregados	1.5	100%	-	NC- A NM-C NA-B
T2	Residuos sólidos segregados más estiércol de cuy	0.87	58%	42%	NC- A NM-B NA-B
T3	Residuos sólidos orgánicos más estiércol de vacuno.	1.67	111%	-11%	NC- A NM-C NA-B

#### Abreviaturas:

NC-A\_ Norma chilena 2880, clase A, producto de alta calidad

NM-C \_ Norma mexicana 020-2011, clase C, compost para áreas verdes, reforestación y paisaje

NA-B\_ Norma austriaca BGBL, 2001, clase B, no uso en la agricultura

NM-B\_ Norma mexicana 020-2011, clase B, compost para agricultura ecológica y reforestación.

En la Tabla 15 se muestran los resultados de laboratorio respecto al contenido de cadmio en los dos tratamientos, donde se puede evidenciar que el T3 (estiércol de vacuno), contiene la concentración más alta a diferencia del T2 (estiércol de cuy), tratamiento de menor concentración.

Asimismo, las concentraciones de cadmio en los dos tratamientos realizados están dentro de la normativa chilena, mexicana y el reglamento austriaco. Entonces, se puede catalogarlos con respecto a este parámetro como compost de alta calidad que se podrían usar para áreas verdes, reforestación y paisaje. Sin embargo, la presencia de cadmio en los residuos sólidos orgánicos se debe al uso de fertilizantes fosfatados y pesticidas usados en la agricultura del distrito de Concepción. Aunque también están presentes de manera natural en los suelos a unas concentraciones menores a 1ppm, esto puede incrementarse debido a la contaminación que generan las industrias. Según Vargas (1) en su estudio realizado muestra unos resultados de 2.13 mg/kg de un compost de un periodo de compostaje de cuatro meses y 2.22 mg/kg en un compost de un periodo de cinco meses, siendo estos valores elevados con respecto a la investigación que se realizó con un proceso de compostaje de 66 días. El T1 (testigo), el contenido de cadmio es de 1.5 mg/kg, en el T2 (estiércol de cuy), es de 0.87 mg/kg y en el T3 (estiércol de vacuno), es 1.67 mg/kg. Además, se evidencia claramente que los procesos tomados en cuenta en este estudio ayudaron en tener menor presencia de cadmio en el compost final. Asimismo, existe un estudio realizado por Soriano, que lleva por título “Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces-Concepción”, que usa estiércol de vacuno en un periodo de 43 días de compostaje, mostrando los siguientes resultados en su tratamiento T0 es de 2.32 mg/kg; T1 es 2.17 mg/kg; T2 es 2.30 mg/kg y en T3 es 2.43 mg/kg, resultados que superan los valores obtenidos en este estudio, mas no los valores establecidos por las normativas ya mencionadas.

Entonces, se puede afirmar que usando estiércol de cuy la concentración de cadmio es menor, a diferencia de los estudios ya realizados, porque se evidenció una reducción de 42% respecto a los resultados del T1 (testigo), sin embargo, en el T3 (estiércol de vacuno), la concentración de cadmio se incrementó a 1.67 mg/kg, esto podría ser debido a que el estiércol de vacuno contenía restos de pesticidas por su alimentación.

#### **4.2.2.3 Cromo**

En la Tabla 16, se muestran los resultados de laboratorio en contenido de cromo, respecto a los tipos de tratamiento.

Tabla 16. Concentración de cromo por tipo de tratamiento

Tratamiento	Tipo de tratamiento	ppm	Contenido en %	Reducción en %	Normativa
T1	Residuos sólidos orgánicos segregados	15	100%	-	NC- A NM-A NA-A+
T2	Residuos sólidos segregados más estiércol de cuy	8	53%	47%	NC- A NM-A NA-A+
T3	Residuos sólidos orgánicos más estiércol de vacuno	10	67%	33%	NC- A NM-A NA-A+

**Abreviaturas:**

NC-A\_ Norma chilena 2880, clase A, producto de alta calidad

NM-A \_ Norma mexicana 020-2011, clase A, sustratos en viveros y sustituto de tierra para maceta.

NA-A+\_ Norma austriaca BGBL, 2001, clase A+, uso en la agricultura orgánica o en la agricultura en general.

En la Tabla 16, se muestran los resultados de laboratorio acerca del contenido de cromo, respecto a los tipos de tratamiento, donde se puede evidenciar que el nivel más alto de cromo es en el tratamiento T°01 y el tratamiento de menor concentración es el T°02.

La concentración de cromo en el compost producido en el CEPASC, aplicando estiércol de cuy y vacuno, puede ser debido principalmente de origen antropogénico ya sea por presencia de pigmentos, baterías y fungicidas que tuvieron contacto con el material de origen, antes de ser compostados. Según Vargas (1), en su estudio realizado en el CEPASC, presenta una concentración de este metal en diferentes tiempos de compostaje a los cuatro meses la concentración es de 25 mg/kg y a los cinco meses es de 24.5 mg/kg, lo que evidencia una ligera disminución de concentraciones según se incrementa los días de compostaje. Esta ligera disminución puede ser debido a que el cromo haya disminuido por lixiviación debido a que el compost se procesó al aire libre, lo que se evidencia es que estos valores están por debajo de la normativa chilena 2880 y mexicana 020-2011. Asimismo, se toma como referencia el estudio realizado por Soriano, que lleva por título “Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de

microorganismos eficaces-Concepción”, que usa estiércol de vacuno en un periodo de 43 días de compostaje, con un resultado en su tratamiento T0 es de 44.67 mg/kg; T1 es de 43.07 mg/kg; T2 es de 43.43 mg/kg y T3 es de 42.83, y que evidencia poca variación de la concentración en sus cuatro tratamientos que están por debajo de los límites establecidos por la normativa chilena N. 2880 y mexicana N. 020-2011. En el estudio realizado en un periodo de 66 días controlando estrictamente los parámetros de temperatura, humedad y pH, y con la adición de estiércol cuy y vacuno, las concentraciones de cromo son menores a diferencia de los dos estudios realizados. Lo cual se podría inferir que el uso de estiércol de cuy y vacuno, más la adición de EM (microorganismos eficientes), reducen la concentración del cromo en un 47% y 33% respectivamente en el compost final, y se obtiene un producto de alta calidad según lo cataloga la norma chilena N. 2880. Estos productos que pueden ser usados como sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta según la norma mexicana N. 020-2011, también podrían ser usados en la agricultura orgánica o en la agricultura en general según el reglamento austriaco BGBL, 2001.

#### 4.2.2.4 Cobre

En la Tabla 17 se muestran los resultados de laboratorio en contenido de cobre, respecto a los tipos de tratamiento.

Tabla 17. Concentración de cobre por tipo de tratamiento

Tratamiento	Tipo de tratamiento	ppm	Contenido en %	Reducción en %	Normativa
T1	Residuos sólidos orgánicos segregados	125	100%	-	NC- B NM-B NA-A
T2	Residuos sólidos segregados más estiércol de cuy	94.4	76%	24%	NC- B NM-B NA-A
T3	Residuos sólidos orgánicos más estiércol de vacuno.	106.8	85%	15%	NC- B NM-B NA-A

Abreviaturas:

NC-B\_ Norma chilena 2880, clase B, producto de calidad intermedia.

NM-B\_ Norma mexicana 020-2011, clase B, compost para agricultura ecológica y reforestación.

NA-A\_ Norma austriaca BGBL, 2001, clase A, uso en la agricultura orgánica en general

En la Tabla 17, se muestran los resultados de laboratorio en contenido de cobre, respecto a los tipos de tratamientos.

La presencia del cobre en el compost producido en el CEPASC, podría ser debido a que los productos de origen, como las verduras hayan sido regadas con aguas que tenían presencia de cobre por actividades mineras o refinerías, o que hayan tenido contacto directo ya sea en su producción o comercialización con plaguicidas o con preservantes.

Según Vargas (1), en su estudio realizado en el CEPASC, los resultados de la concentración de cobre en diferentes periodos, para un periodo de compostaje de cuatro meses es de 214.05 mg/kg y para un periodo de compostaje de cinco meses es de 152.20 mg/kg, lo que evidencia una ligera disminución de la concentración de cobre, lo cual se podría deber a la reducción de la materia orgánica lo cual tiene una alta capacidad de adsorción de Cu, según lo menciona Adriano. Los valores obtenidos de cobre se encuentran por debajo de los valores establecidos por la normativa chilena N. 2880 y la normativa mexicana N. 020-2011. Además, las concentraciones obtenidas en un periodo de 66 días, controlando parámetros de campo, usando estiércol de vacuno y de cuy, son valores menores a los obtenidos en un compost de cuatro meses o cinco meses. Entonces, el uso de estiércol de cuy es el tratamiento que más ayudo en la concentración de cobre en el compost final, pues logró reducir en un 24%, de la concentración inicial en el T1 (testigo), que fue 125 mg/kg, y se obtuvo un producto de calidad intermedia según lo categoriza la normativa chilena N. 2880; un producto de clase B, que podría ser usado para agricultura ecológica y reforestación según la normativa mexicana N. 020-2011 y un producto de clase A, producto que puede ser usado en la agricultura orgánica en general según el reglamento austriaco BGBL, 2001.

#### **4.2.2.5 Mercurio**

En la Tabla 18, se muestran los resultados de laboratorio en contenido de mercurio, respecto a los tipos de tratamiento.

Tabla 18. Concentración de mercurio por tipo de tratamiento

Tratamiento	Tipos de tratamiento	ppm	Contenido en %	Reducción en %	Normativa
T1	Residuos sólidos orgánicos segregados	2.63	100%	-	NC- B NM-C NA-B
T2	Residuos sólidos segregados más estiércol de cuy	0.26	10%	90%	NC- A NM-A NA-A+
T3	Residuos sólidos orgánicos más estiércol de vacuno.	0.37	14%	86%	NC- A NM-A NA-A+

Abreviaturas:

NC-B\_ Norma chilena 2880, clase B, producto de calidad intermedia.

NM-C \_ Norma mexicana 020-2011, clase C, compost para áreas verdes, reforestación y paisaje

NA-B\_ Norma austriaca BGBL, 2001, clase B, no uso en la agricultura

NC-A\_ Norma chilena 2880, clase A, producto de alta calidad

NM-A \_ Norma mexicana 020-2011, clase A, sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta

NA-A+\_ Norma austriaca BGBL, 2001, clase A+, uso en la agricultura orgánica o en la agricultura en general.

En la Tabla 18, se muestran los resultados de laboratorio en contenido de mercurio, respecto a los tipos de tratamientos.

La presencia de mercurio en el compost final obtenido en el CEPASC, después de realizar los tratamientos ya mencionados puede ser debido a causas antropogénicas, como el contacto de la materia prima con pesticidas mercuriales que aun algunos agricultores utilizan para el control de las plagas y el contacto directo con termómetros que contienen mercurio, al momento de la segregación de los residuos sólidos en campo se encontraron termómetros y pilas alcalinas en la materia orgánica de origen domestico pudiendo esto afectar de manera negativa en la concentración elevada de mercurio en el compost final.

Según Vargas (1), en su estudio realizado en el CEPASC, presenta concentraciones de metales en dos periodos de compostaje diferentes que se mencionan a continuación: en un periodo de cuatro meses la concentración es de 0.285 mg/kg y en un periodo de cinco meses la concentración es de 0.90 mg/kg, resultados que están por



debajo de los límites máximos establecidos por la normativa chilena N. 2880 y normativa mexicana N. 020-2011. Dichos resultados son menores a los obtenidos en este estudio, que podría ser debido a la presencia de diferentes tipos de residuos procesados, porque los residuos en el distrito de concepción se recolectan por sectores y este hace a que los residuos varíen en contenido como restos de frutas, verduras y material verde. También, podría ser debido a que en este estudio no se generaron lixiviados durante todo el proceso de compostaje, pues se controló de manera óptima la humedad y la temperatura, por lo cual el metal no pudo lixiviar hacia el suelo. Sin embargo, los valores obtenidos en el T2 (estiércol de cuy), fue de 0.26 mg/kg, concentración menor que el T3 (estiércol de vacuno); y con esto se logró reducir en un 90% y 86% respectivamente la concentración de mercurio en el producto final, respecto al T1 (testigo), con una concentración de 2.63 mg/kg. Además, la concentración de mercurio en los tres tratamientos, incluyendo el T1 (testigo), cumple con los valores establecidos en la normativa, para el T1 (testigo), la normativa chilena N. 2880, lo categoriza como producto de calidad intermedia; la normativa mexicana N. 020-2011, lo categoriza como producto que se podría usar solo en áreas verdes, reforestación y paisaje; y el reglamento austriaco BGBL, 2001. Se resalta que en la concentración de mercurio en el compost final del CEPASC, con la adición de estiércol de cuy es el que mejor resultado se obtuvo a nivel de todos los metales analizados.

#### 4.2.2.6 Níquel

En la Tabla 19, se muestran los resultados de laboratorio en contenido de níquel, respecto a los tipos de tratamiento.

Tabla 19. Concentración de níquel por tipo de tratamiento

Tratamiento	Tipos de tratamiento	ppm	Contenido en %	Reducción en %	Normativa
T1	Residuos sólidos orgánicos segregados	10.2	100%	-	NC- A NM-A NA-A+
T2	Residuos sólidos segregados más estiércol de cuy	6.8	67%	33%	NC- A NM-A NA-A+
T3	Residuos sólidos orgánicos más estiércol de vacuno.	8.8	86%	14%	NC- A NM-A NA-A+

Abreviaturas:

NC-A\_ Norma chilena 2880, clase A, producto de alta calidad

NM-A\_ Norma mexicana 020-2011, clase A, sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta

NA-A+\_ Norma austriaca BGBL, 2001, clase A- A+, uso en la agricultura orgánica o en la agricultura en general.

En la Tabla 19, se muestran los resultados de laboratorio en contenido de níquel, respecto a los tipos de tratamientos, donde se puede evidenciar que el nivel más alto de níquel es en el tratamiento T3 y el tratamiento de menor concentración es el T2. Asimismo, la presencia del metal níquel en el compost elaborado en el CEPASC, con diferentes tratamientos, se podría deber principalmente a que el material de origen, ya sean las verduras o frutas, hayan tenido contacto directo con aguas procedentes de la industria minera, fundición, tintes y aguas urbanas de escorrentía superficial según lo menciona (Marín, 1996) (42).

Vargas (1), en su estudio realizado en el CEPASC, presenta datos de concentración de níquel de un proceso de compostaje de cuatro meses donde su concentración es de 16.95 mg/kg y de 16.60 mg/kg en cinco meses, estos valores están dentro de los límites máximos establecidos por la normativa chilena N. 2880 y normativa mexicana N. 020-2011. En este estudio realizado se tuvo en cuenta la segregación de los residuos sólidos orgánicos, adición de estiércol de vacuno y de cuy en un periodo de compostaje de 66 días las concentraciones de níquel son mucho más menores al estudio anterior. Además, esto podría ser debido a que en este estudio se controlaron muy bien los parámetros de campo y también la adición de estiércol de cuy ayudó de una manera muy positiva en la concentración de níquel y fue uno de los tratamientos de menor concentración a diferencia de los otros dos tratamientos realizados. Asimismo, el estiércol ayudó a acelerar el proceso de compostaje y obtener un producto final de alta calidad según lo categoriza la norma chilena N. 2880, un producto que puede ser usado en viveros y como sustituto de tierra para maceta según la normativa mexicana N. 020-2011 y un producto que puede ser usado en la agricultura orgánica o en la agricultura en general según el reglamento austriaco BGBL, 2001.

#### 4.2.2.7 Plomo

En la Tabla 20, se muestran los resultados de laboratorio en contenido de plomo, respecto a los tipos de tratamiento.

Tabla 20. Concentración de plomo por tipo de tratamiento

Tratamiento	Tipos de tratamiento	ppm	Contenido en %	Reducción en %	Normativa
T1	Residuos sólidos orgánicos segregados	317.8	100%	-	No cumple
T2	Residuos sólidos segregados más estiércol de cuy	258.6	81%	19%	NC- B
T3	Residuos sólidos orgánicos más estiércol de vacuno.	297.4	94%	6%	NC- B

Abreviaturas:

NC-B\_ Norma chilena 2880, clase B, producto de calidad intermedia.

En la Tabla 20, se muestran los resultados de laboratorio en contenido de plomo, respecto a los tipos de tratamientos, donde se puede evidenciar que el nivel más alto de plomo es en el tratamiento T3 (estiércol de vacuno) y el tratamiento de menor concentración es el T2 (estiércol de cuy). La presencia de plomo en el compost elaborado en el CEPASC, teniendo en cuenta la segregación de los residuos sólidos orgánicos, adición de estiércol de vacuno y estiércol de cuy, puede deberse principalmente a que el material de origen tuvo contacto directo con actividades antropogénicas que afectaron su concentración natural como, por ejemplo, contacto con insecticidas, o riego con aguas residuales, contacto con baterías o pinturas y fundiciones.

Según Vargas (1), en su estudio realizado en el CEPASC, donde presenta resultados de concentración de metales del compost obtenido en un periodo de cuatro meses donde la concentración de plomo es de 239 mg/kg y en un periodo de cinco meses la concentración es 285.85 mg/kg, estos valores están dentro de los límites máximos establecidos en la normativa chilena N. 2880, la cual los categoriza como compost de

clase intermedia, mas no cumple con los valores establecidos por la norma mexicana N. 020-2011. Además, los valores obtenidos en este estudio fueron más llevados a diferencia del estudio realizado Vargas, lo cual puede deberse a la variación de los lotes de materia orgánica, al tiempo de compostaje y al lugar de compostaje el estudio realizado por Vargas, fue al aire libre sin protección de las lluvias, lo cual podría haber ayudado a lixiviar la concentración de plomo hacia el suelo a diferencia del estudio que se realizo fue en un laboratorio implementado en el CEPASC, donde se controló el ingreso de lluvias y vectores, también no hubo presencia de lixiviados por lo cual el metal no pudo filtrarse al suelo. Lo cual nos arrojó resultados que se mencionan a continuación: El T1 (testigo), su concentración de plomo fue 317.8 mg/kg que sobrepasan los valores máximos establecidos en la normativa chilena N. 2880, norma mexicana N. 020-2011 y el reglamento austriaco BGBL 2001; en el T2 (estiércol de cuy), presento una reducción de plomo de 19% respecto a los resultados del T1 (testigo) y en el T3 (estiércol de vacuno). Los valores están catalogados dentro de la categoría B, donde menciona que es un producto calidad intermedia, mas no cumple para ninguna categoría en la normativa chilena N. 2880 y el reglamento austriaco BGBL 2001. Por lo cual se podría mencionar que el compost de CEPASC, procesado con diferentes tratamientos o de la manera que lo hacen sin segregar tiene las mismas concentraciones de plomo, esto sería porque ya los productos tienen esas concentraciones antes del proceso de compostaje. Por lo cual se debería buscar otra manera de poder reducir las concentraciones de plomo en el compost final.

#### **4.2.2.8 Zinc**

En la Tabla 21, se muestran los resultados de laboratorio en contenido de zinc, respecto a los tipos de tratamiento.

Tabla 21. Concentración de zinc por tipo de tratamiento

Tratamiento	Tipos de tratamiento	ppm	Contenido en %	Reducción en %	Normativa
T1	Residuos sólidos orgánicos segregados	1718	100%	-	NC- B NM-C NA-B
T2	Residuos sólidos segregados más estiércol de cuy	1223	71%	29%	NC- B NM-C NA-B
T3	Residuos sólidos orgánicos más estiércol de vacuno.	1532	89%	11%	NC- B NM-C NA-B

Abreviaturas:

NC-B\_ Norma chilena 2880, clase B, producto de calidad intermedia

NM-C \_ Norma mexicana 020-2011, clase C, compost para áreas verdes, reforestación y paisaje

NA-B\_ Norma austriaca BGBL,2001, clase B, no uso en la agricultura

En la Tabla 21, se muestran los resultados de laboratorio en contenido de zinc, respecto a los tipos de tratamientos, donde se puede evidenciar que el nivel más alto de zinc es en el tratamiento T3 (estiércol de vacuno) y el tratamiento de menor concentración es el T2 (estiércol de cuy). Se podría presumir que, la presencia del zinc en el compost elaborado en el CEPASC, se deba a que los productos iniciales para el proceso del compost, como verduras o frutas, hayan sido cultivadas en suelos contaminados, por lo que sus concentraciones son muy elevadas, asimismo depende mucho del pH del suelo según Lindsay (43).

Según Vargas (1), en un estudio realizado en el CEPASC, donde evalúa las concentraciones de metales pesados en el compost, entre ellos el zinc presentando valores en un periodo de cuatro meses la concentración de zinc es de 1139.5 mg/kg y la concentración en un periodo de cinco meses es de 1203 mg/kg, valores que están dentro

de los límites máximos correspondientes a la clase B de la normativa chilena N. 2880, y para la norma mexicana corresponde a la clase C. según los análisis en este trabajo de investigación donde se realizó segregación, adición de estiércol de cuy y vacuno se obtuvieron altas concentraciones de zinc, pudiendo mencionar que fueron valores mucho más mayores que en el estudio realizado por Vargas, esto se podría deber a las diferencias de los lotes de residuos sólidos orgánicos para el proceso de compostaje y a la no generación de lixiviados por lo cual no pudieron filtrarse los metales hacia el suelo. Sin embargo se debe mencionar que el estiércol de cuy y vacuno influye de manera positiva en la concentración de zinc, ya que tienen valores menores a diferencia del tratamiento uno donde fue mucho más mayor; pero aun así se hayan tenido valores elevados estos fueron categorizados de la siguiente manera los tres tratamientos cumplen con los valores establecidos por la norma chilena N. 2880 lo cual lo considera como producto con una calidad intermedia, según la normativa mexicana N. 020-2011, lo considera como un producto que se puede usar en áreas verdes, reforestación y paisaje; según la normativa austriaca BGBL, 2001, este producto no se podría usar en la agricultura.

## CONCLUSIONES

- La adición de estiércol de vacuno y de cuy disminuyen la concentración de metales pesados en el compost elaborado en el CEPASC. Esto se demuestra luego de la comparación con otros estudios, también realizados en el CEPASC, los cuales presentan concentraciones mucho más elevadas a diferencia del tratamiento realizado para la presente investigación.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que solo en el caso del mercurio hay una reducción considerable del 90% de los niveles de concentración presentes en el tratamiento T1 (testigo), en caso de los otros metales pesados no hay una variación significativa.
- Existen diferencias mínimas entre el uso de estiércol de vacuno y de cuy, la reducción de contenido de los diferentes metales pesados analizados siempre es menor cuando se adicionó estiércol de cuy. Asimismo, los resultados demuestran que si existe una disminución de metales pesados cuando se usa estiércol de vacuno o cuy, respecto al tratamiento T1 (testigo).
- La concentración de arsénico es muy elevada y supera ampliamente todas las categorías de los límites permisibles establecidos por las normativas, siendo 20 ppm lo máximo permisible por la normativa chilena para compost tipo B y el menor valor obtenido en la investigación fue de 63 ppm. Por lo tanto, los compost generados no podrían ser usados para áreas verdes, mucho menos para agricultura ecológica.
- La concentración de plomo es elevada y se encuentra en el límite de los rangos permisibles establecidos por la norma chilena para compost de tipo B (300 ppm). Además, los tratamientos con adición de estiércol cuy y vacuno dieron como resultado 258.6 ppm y 297.4 ppm respectivamente y se ubican apenas por debajo del límite, mientras que el tratamiento donde solo se realizó segregación registra un valor de 317.8 ppm y supera a todos los límites permisibles.
- Las concentraciones de cadmio, cromo, cobre, níquel y zinc cumplen con la normativa para categoría A y B.

- Se mejoró el compost usando estiércol de vacuno, cuy y controlando parámetros de campo como pH, temperatura y humedad, en un periodo de 66 días calendario, por lo que se obtuvo un producto que está dentro de los valores máximos establecidos por la normativa chilena N. 2880, mexicana N. 020-2011 y austriaca BGBL, 2001, respecto a las concentraciones de metales pesados.
- La segregación de los residuos sólidos orgánicos, antes del proceso de compostaje, ayuda a disminuir el contenido elevado de restos impropios como la presencia de metales pesados a altas concentración y los restos de microplásticos, por lo que se obtuvo como producto final un compost de una baja calidad según normativa.
- Los tratamientos realizados se diferencian por el contenido de metales pesados, y parámetros de campo como pH, Humedad y Temperatura.



## RECOMENDACIONES

- Realizar analíticas antes de realizar el proceso de compostaje por tratamiento, para luego después del proceso de compostaje evaluar la concentración de metales y así verificar si reduce o no la concentración de metales con los tratamientos empleados.
- Realizar las mediciones de pH en campo, y no en laboratorio como se realizó en esta investigación debido a la disponibilidad de equipo por parte de la universidad, ya que la concentración de pH podría variar significativamente durante el traslado al laboratorio.
- Enviar muestras por triplicado o duplicado como mínimo a laboratorio para los respectivos análisis de concentración de metales, para así contar con mayor cantidad de datos y realizar los análisis estadísticos inferenciales.
- Realizar pruebas de germinación o sembrar hortalizas con los compost ya obtenidos de los tres tratamientos planteados en este estudio para verificar si las concentraciones de metales pesados obtenidos son absorbidas por las plantas y en qué porcentaje se queda en el suelo y que otro es absorbido por las hojas o tallos.
- Realizar compost a una escala mayor o proponer una planta de valorización de residuos sólidos orgánicos, a través de la implementación del uso de estiércol de vacuno y de cuy, ya que estos ayudan a reducir la concentración de metales pesados en el producto final también el tiempo, y se obtiene valores mínimos de concentración de metales se pueden usar como compost para producción de hortalizas.
- Realizar análisis de metales de las pilas de compostaje del CEPASC, por lo menos tres veces al año, para garantizar un compost de calidad y aptos para cultivar hortalizas, y para disponer en las áreas verdes del Distrito de Concepción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VARGAS, Y. Calidad del compost producido a partir de residuos sólidos orgánicos municipales en el Centro de Protección Ambiental Santa Cruz. Tesis de Doctorado. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú. 2017.
2. MUNICIPALIDAD Provincial de Concepción. Informe de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del año 2018. 2018.
3. HILDEBRANDO, R. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO)*, Lima: FIGMMG-UNMSM, 2012, Vol. 15.
4. ALTAMIRANO, M. y CABRERA, C. Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2006, Vol. 9. ISSN: 1561-0888.
5. FORTIS, M., LEOS, J., PRECIADO, P., ORONA, I., GARCÍA, J., GARCÍA, J., OROZCO, J., Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana* [en línea]. 2009, 27(4), 329-336 [fecha de Consulta 7 de Octubre de 2019]. ISSN: 2395-8030. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57313040007>.
6. ARIAS, A. Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio Ambiente, Popayán, Colombia: Universidad Autónoma del Cauca, 2010, Vol. 2.
7. BELLO, M. Diseño de un plan de valorización de residuos orgánicos para las empresas restauranteras de la zona turística de Acapulco. Tesis de Maestría. México: Instituto Politécnico Nacional, 2017.
8. JARA, L. Oportunidad de valorización mediante el compostaje de los residuos orgánicos de origen urbano y afines en Ecuador: Propuesta de gestión para la provincia de Chimborazo Tesis Doctoral. España: Universidad Miguel Hernández de Elche, 2016.
9. CRUZ, J. Valoración agronómica de compost y vermicompost de alpures mezclados con otros residuos agrícolas, efecto como enmiendas sólidas y líquidas. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral, 2009.
10. ROJAS, A., VÁZQUEZ, J., ROMERO, N. RODRÍGUEZ, M., TORIBIO, y ROMERO, Y. Evaluación de compost con presencia de metales pesados en el crecimiento de *azospirillum brasilense* y *glomus intraradices*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7 (8), 2047-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v7i8.137>. 2017. ISSN 2308-3859.
11. APAZA-CONDORI, E.; MAMANI, F. y SAINZ, H. Evaluación de metales pesados en el proceso de compostaje orgánico de residuos de hojas de coca. *J. Selva Andina Biosph.* [online]. 2015, vol.3, n.2 [citado 2019-10-07], pp. 95-102. Disponible en: <[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2308-38592015000200005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592015000200005&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 2308-3859.
12. ROSAL, A.; PEREZ, J. P; ARCOS, M. y DIOS, M. La incidencia de metales pesados en compost de residuos sólidos urbanos y en su uso agronómico en España. *Inf.*

*tecnol.* [online]. 2007, vol.18, n.6 [cited 2019-10-07], pp.75-82. Disponible en: <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642007000600010&lng=en&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642007000600010&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0718-0764.

13. COORPORACIÓN Empresarial Ambiental. Manejo de Residuos Sólidos. 2012.

14. CONGRESO de la República. Decreto Legislativo N. 1278. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Lima, Perú: s.n., 2017.

15. ORDOÑEZ, E. Gestión integral de residuos sólidos urbanos. Buenos Aires, Argentina: s.n., 2012.

16. LACAYO, A. Plan integral de manejo de residuos sólidos urbanos para el municipio de Diriamba. Nicaragua: Universidad Centroamericana, Facultad de Ciencias. Tesis de Pregrado, 2009.

17. JARAMILLO, J. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Colombia: Universidad de Antioquia, 2002.

18. PACCHA, P. Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos en Zonas Urbanas para Reducir la Contaminación Ambiental. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Tesis de Pregrado, 2011.

19. BINNER, E, MÉNDEZ, C. y MIYASHIRO, R. Gestión de residuos sólidos municipales en el Perú y Austria. Lima : Fondo Editorial, UNALM, 2016. ISBN: 978-612-4147-53-1.

20. SEMPETEGUI, J. Determinación de la producción de residuos sólidos domésticos y sus principales componentes en Riobamba. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Tesis de Pregrado, 2008.

21. CORO, E. Plan de Manejo de Residuos Sólidos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Tesis de Pregrado, 2008.

22. PROGRAMA de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral. Manual para la Producción de Compost con Microorganismos Eficientes. Lima - Perú : Fondo Concursable, 2007. Instructivo N° 001-2007.

23. MORENO, J. y MORMENEO, B. Microbiología y Bioquímica del proceso de compostaje. Madrid : Mundi Prensa, 2008.

24. PILAR, M. y PANTOJA, A. Manual del Compostaje del Agricultor Experiencias en América latina. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013. ISBN 978-92-5-307844-8.

25. CONSEJO Nacional de Producción Limpia. Guía de Mejores Técnicas Disponibles para la Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Generados en la Agroindustria para el Mejoramiento de Suelos del Sector Frutícola. Chile: Creanativa, 2012. ISBN 978-956-8535-23-0.

26. MORENO, R. MORAL, J. GARCIA, J. PASCUAL, M. Ingeniería y aspectos técnicos de la estabilización aeróbica 3. España: Mundi-Prensa, 2015. ISBN: 978-84-8476-706-0.

27. VALDIVIESO, M. Agricultura organica: Alternativa tecnológica del futuro. Quito, Ecuador: Fundación para el Desarrollo Agropecuario, 2006.
28. MORENO, J. y MORAL, R. Compostaje. Madrid, Barcelona: Mundi-Prensa, 2008. ISBN 13: 978-84-8476-346-8.
29. GUTIÉRREZ, C. y CORREDERA, A. La disminución del contenido metálico en el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos es factible. España: Universidad Internacional de Andalucía, 2012. ISBN 978-84-7993-098-5.
30. COREY, L. Arsénico. Metepec, México: Serie Vigilancia, 1987.
31. RODRÍQUEZ-SERRANO, M, MARTÍNEZ. N., ROMERO-PUERTAS, M.C., RÍO, L.A., Sandalio, L, Toxicidad del cadmio en plantas. Ecosistemas [en línea]. 2008, 17(3), 139-146[fecha de Consulta 7 de Octubre de 2019]. ISSN: 1132-6344. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54017106014>
32. WEINBERG, J. Introducción a la contaminación por mercurio para las ONG. s.l.: IPEN, 2007.
33. POMA, P. Intoxicación por plomo en humanos. Chicago, EE UU. : s.n., 2008. ISSN 1025-5583
34. ORGANIZACIÓN Mundial de la Salud. N. 139, Vol. Nota descriptiva. s.l. : OMS, 2013,
35. INSTITUTO Nacional de Normalización. Norma Oficial Chilena. Compost-Clasificación y Requisitos. Santiago-Chile: Norma NCh 2880, 2005.
36. REGLAMENTO Austríaco. Reglamento Austríaco en Calidad de compost. Austria : Kompostverordnung, BGBL, 2001.
37. COMITÉ de Normalización Ambiental del Distrito Federal. Norma Ambiental para el Distrito Federal. Requerimientos Mínimos para la Producción de Composta a partir de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos, Agrícolas, Pecuarias y Forestales, así como las Especificaciones Mínimas de Calidad de la Composta Producida y/o Distribuida. Distrito Federal México: Norma NADF 020, 2011.
38. MINISTERIO del Ambiente. Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024. Lima, Perú : s.n., 2016.
39. ORTIZ, F. Diccionario de Metodología de la investigación científica. México: Limusa, 2004. ISBN: 968-18-6433-6.
40. ARROJO, J. Manual del investigador. Pasos para investigar científicamente hechos o fenómenos, ¿cómo ejecutar un plan de investigación? s.l. : Fundación para el desarrollo y aplicación de las ciencias, 2012.
41. HURTADO, I. y TORO G., Josefina. Paradigmas y métodos de investigación en tiempos de cambio. Venezuela: Editorial CEC. S.A, 2007. ISBN: 978-980-388-284-6.
42. MARIN, R. Química, microbiología, tratamiento y control analítico de aguas . Universidad de Cordova: Ed. Serv. Pub, 1996.

43. ROBSON, A. D. Zinc in soils and plants. Westem, Australia: Shool of Agriculture, 1993. ISBN: 978-94-010-4380-9.
44. RPP Noticias. Cada día se generan más de 18 mil toneladas de residuos sólidos en el Perú. Cada día se generan más de 18 mil toneladas de residuos sólidos en el Perú. 19 de Septiembre de 2016, p. 1.
45. CORREO. Huancayo entre las 10 ciudades con más basura. Huancayo entre las 10 ciudades con más basura. 21 de Noviembre de 2014, p. 1.
46. COLOMER F, IZQUIERDO A. Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos. DF - México : LIMUSA, 2007.
47. JARAMILLO, J. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Colombia: Universidad de Antioquia, 2002.
48. industrial, Escuela de organización. Empleo Verde en España. España : s.n., 2010.
49. H, AVILA BARAY. Introducción a la metodología de la investigación. [www.eumed.net/libros/2006c/203/](http://www.eumed.net/libros/2006c/203/). [En línea] 07 de enero de 2006.
50. MERCADO, A. Manual de tecnica de investigación para estudiantes de ciencias sociales y humanidades. México : Colegio de Mexico. A. C, 2007.
51. BERNAL, A. Metología de la investigación para administración, economica. humanidades y ciencias sociales. s.l. : Pearson education, 2016.

# *ANEXOS*

**ANEXO 1**  
**PARÁMETROS DE CAMPO**

- ❖ Registro de la temperatura (°C) de los tratamientos durante el proceso de compostaje

DIA	FECHA	TN.01	TN.02	TN.03
		RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS SEGREGADOS	RESIDUOS SOLIDOS SEGREGADOS + ESTIERCOL DE CUY	RESIDUOS SOLIDOS SEGREGADOS + ESTIERCOL DE VACUNO
2	7/09/2018	23.7	25	24
4	10/09/2018	21.8	22	22
6	12/09/2018	24	23	22
8	14/09/2018	24	26	26
10	17/09/1018	25	25	25
12	19/09/2018	24	28	26
14	21/09/2018	22	22	24
16	24/09/2018	25	25	29
18	26/09/2018	38	42	40
20	27/09/2018	35	40	36
22	29/09/2018	23	24	24
24	1/10/2018	27	29	28
26	3/10/2018	21	22	21
28	5/10/2018	22	23	23
30	7/10/2018	22	24	25
32	12/10/2018	18	18	24
34	15/10/2018	19	19	18
36	17/10/2018	25	21	19
38	19/10/2018	23	19	22
40	21/10/2018	21	23	23
42	23/10/2018	26	25	28
44	25/10/2018	23	21	23
46	27/10/2018	25	23	22
48	29/10/2018	25	26	25
50	31/10/2018	24	27	28
52	02/11/2018	23	25	25
54	04/11/2018	23	26	26
56	06/11/2018	22	25	25
58	08/11/2018	21	24	26
60	10/11/2018	21	23	25
62	12/11/2018	20	20	24
64	14/11/2018	20	20	23
66	16/11/2018	19	20	19

❖ Registro de la Humedad (%) de los tratamientos durante el proceso de compostaje

<b>DIA</b>	<b>FECHA</b>	<b>TN.01 RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS SEGREGADOS</b>	<b>TN.02 RESIDUOS SOLIDOS SEGREGADOS + ESTIERCOL DE CUY</b>	<b>TN.03 RESIDUOS SOLIDOS SEGREGADOS + ESTIERCOL DE VACUNO</b>
2	7/09/2018	31	33	39
4	10/09/2018	47	58	48
6	12/09/2018	72	69	76
8	14/09/2018	59	59	51
10	17/09/2018	38	40	37
12	19/09/2018	41	45	39
14	21/09/2018	53	67	69
16	24/09/2018	52	65	65
18	26/09/2018	42	45	45
20	27/09/2018	47	63	42
22	29/09/2018	62	64	65
24	1/10/2018	63	62	65
26	3/10/2018	46	46	44
28	5/10/2018	58	67	61
30	7/10/2018	51	61	57
32	12/10/2018	58	55	59
34	15/10/2018	57	65	62
36	17/10/2018	52	61	60
38	19/10/2018	45	60	59
40	21/10/2018	43	59	51
42	23/10/2018	45	58	50
44	25/10/2018	44	60	49
46	27/10/2018	43	55	48
48	29/10/2018	42	49	46
50	31/10/2018	40	48	45
52	02/11/2018	40	50	43
54	04/11/2018	41	42	42
56	06/11/2018	40	41	43
58	08/11/2018	41	40	45
60	10/11/2018	38	40	44
62	12/11/2018	40	41	44
64	14/11/2018	40	40	43
66	16/11/2018	39	40	42



❖ Registro del pH de los tratamientos durante el proceso de compostaje

<b>DIA</b>	<b>FECHA</b>	<b>TN.01 RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS SEGREGADOS</b>	<b>TN.02 RESIDUOS SOLIDOS SEGREGADOS + ESTIERCOL DE CUY</b>	<b>TN.03 RESIDUOS SOLIDOS SEGREGADOS + ESTIERCOL DE VACUNO</b>
12	19/09/2018	6.5	6.3	6.8
20	27/09/2018	7	7.2	7.6
28	5/10/2018	7	7.2	7
38	19/10/2018	8.7	8.5	8.77
48	29/10/2018	8.3	8.6	8
54	04/11/2018	7.5	7.2	7.8

**ANEXO 2**  
RESULTADO DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

**INFORME DE ENSAYO**  
**SA1802299**

Página 1 de 5

<b>A solicitud de:</b>	MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CONCEPCION		
<b>Por cuenta de:</b>	MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CONCEPCION		
<b>Producto:</b>	Fertilizers	<b>Cantidad Muestras:</b>	5
<b>Tipo de Análisis:</b>	ANALISIS QUIMICO	<b>Fecha de Recepción:</b>	21/11/2018
<b>Localidad de preparación:</b>	CALLAO	<b>Fecha de Ensayo:</b>	Del 21/11/2018 Al 27/11/2018
<b>Descripción del Estado y Condición de la Muestra:</b>	En bolsas de plástico con seguro a presión		
	Granulometría aprox. de 1 mm		
	Peso aprox. a 350g húmedas.		
<b>Referencia Cliente:</b>	OL228547 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CONCEPCION		
<b>Notas:</b>	MUESTRAS RECIBIDAS		

Esquema	Método
SA_ICM12B	SGS-MN-ME- / Abril 2018 Rev.00/ Suelos Agrícolas y Fertilizantes::Digestión Ácido Nítrico y Clorhídrico - ICPMS
PMI_CHGR	Peso de Muestra Recibido

Elemento Esquema Unidad Limite de Detección	Ag SA_ICM12B ppm 0.01	Al SA_ICM12B % 0.01	As SA_ICM12B ppm 1	B SA_ICM12B ppm 10	Ba SA_ICM12B ppm 5	Be SA_ICM12B ppm 0.1
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°01-RSOS / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.71	0.47	86	32	142	0.4
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°02-RSOS + EC / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.44	0.27	63	25	117	0.3
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°03-RSOS +EV / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.55	0.39	81	28	144	0.4
FERTILIZANTES COMPOST / T.N °04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.54	0.54	35	38	568	0.5
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°05-RSO-T02 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.59	0.89	56	30	215	0.7
FERTILIZANTES *DUP COMPOST / T.N °04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.59	0.54	37	38	599	0.5

**INFORME DE ENSAYO  
SA1802299**

Página 2 de 5

<b>Elemento Esquema Unidad</b>	<b>Bi SA_ICM12B ppm</b>	<b>Ca SA_ICM12B %</b>	<b>Cd SA_ICM12B ppm</b>	<b>Ce SA_ICM12B ppm</b>	<b>Co SA_ICM12B ppm</b>	<b>Cr SA_ICM12B ppm</b>
<b>Limite de Detección</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>	<b>0.1</b>	<b>1</b>
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº01-RSOS / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	1.36	4.03	1.50	9.21	5.4	15
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº02-RSOS + EC / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.88	2.62	0.87	6.19	3.4	8
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº03-RSOS +EV / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	1.43	3.64	1.67	7.97	4.4	10
FERTILIZANTES COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.76	6.64	1.76	9.06	4.3	21
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº05-RSO-T02 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	1.19	5.23	2.44	19.30	9.0	23
FERTILIZANTES *DUP COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.79	6.74	1.91	9.90	4.7	20

<b>Elemento Esquema Unidad</b>	<b>Cs SA_ICM12B ppm</b>	<b>Cu SA_ICM12B ppm</b>	<b>Fe SA_ICM12B %</b>	<b>Ga SA_ICM12B ppm</b>	<b>Ge SA_ICM12B ppm</b>	<b>Hf SA_ICM12B ppm</b>
<b>Limite de Detección</b>	<b>0.05</b>	<b>0.5</b>	<b>0.01</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.05</b>
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº01-RSOS / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	2.03	125.0	1.83	3.0	0.2	<0.05
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº02-RSOS + EC / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	1.64	94.4	1.23	2.0	0.1	<0.05
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº03-RSOS +EV / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	2.04	106.8	1.51	2.6	0.1	<0.05
FERTILIZANTES COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	2.20	88.5	1.20	2.1	0.1	<0.05
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº05-RSO-T02 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	2.70	124.6	2.00	3.9	0.1	0.06
FERTILIZANTES *DUP COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	2.31	97.4	1.22	2.1	0.1	<0.05

**INFORME DE ENSAYO  
SA1802299**

Página 3 de 5

Elemento Esquema Unidad Limite de Detección	Hg SA_ICM12B ppm 0.01	In SA_ICM12B ppm 0.02	K SA_ICM12B % 0.01	La SA_ICM12B ppm 0.1	Li SA_ICM12B ppm 1	Lu SA_ICM12B ppm 0.01
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº01-RSOS / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	2.63	2.12	2.57	4.1	6	0.04
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº02-RSOS + EC / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.26	1.57	4.49	2.7	4	0.03
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº03-RSOS +EV / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.37	2.08	2.41	3.5	5	0.04
FERTILIZANTES COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.41	0.64	2.44	4.2	6	0.04
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº05-RSO-T02 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.32	1.07	1.45	8.4	10	0.07
FERTILIZANTES *DUP COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.45	0.72	2.48	4.6	7	0.04

Elemento Esquema Unidad Limite de Detección	Mg SA_ICM12B % 0.01	Mn SA_ICM12B ppm 5	Mo SA_ICM12B ppm 0.05	Na SA_ICM12B % 0.01	Nb SA_ICM12B ppm 0.05	Ni SA_ICM12B ppm 0.5
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº01-RSOS / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.52	558	4.26	0.32	0.39	10.2
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº02-RSOS + EC / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.74	469	5.75	0.36	0.22	6.8
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº03-RSOS +EV / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.53	578	6.39	0.28	0.37	8.8
FERTILIZANTES COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.68	695	3.03	0.38	0.53	11.6
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº05-RSO-T02 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.63	766	2.95	0.21	0.55	18.0
FERTILIZANTES *DUP COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.69	758	3.29	0.39	0.44	12.6

**INFORME DE ENSAYO  
SA1802299**

Página 4 de 5

Elemento Esquema Unidad	P SA_ICM12B ppm	Pb SA_ICM12B ppm	Rb SA_ICM12B ppm	Re SA_ICM12B ppm	S SA_ICM12B %	Sb SA_ICM12B ppm
Limite de Detección	50	0.2	0.2	0.002	0.01	0.05
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº01-RSOS / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	7562	317.8	39.2	0.004	0.48	84.86
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº02-RSOS + EC / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	>10000	258.6	124.3	<0.002	0.48	66.42
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº03-RSOS +EV / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	7090	297.4	40.4	0.002	0.51	73.69
FERTILIZANTES COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	>10000	139.0	38.9	0.002	0.43	21.45
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº05-RSO-T02 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	8875	192.9	31.5	<0.002	0.36	34.01
FERTILIZANTES *DUP COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	>10000	151.6	40.8	0.004	0.43	21.65

Elemento Esquema Unidad	Sc SA_ICM12B ppm	Se SA_ICM12B ppm	Sn SA_ICM12B ppm	Sr SA_ICM12B ppm	Ta SA_ICM12B ppm	Tb SA_ICM12B ppm
Limite de Detección	0.1	1	0.3	0.5	0.05	0.02
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº01-RSOS / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.1	<1	19.2	164.7	<0.05	0.16
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº02-RSOS + EC / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.3	<1	10.6	107.3	<0.05	0.10
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº03-RSOS +EV / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.4	1	12.9	149.9	<0.05	0.14
FERTILIZANTES COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.5	<1	7.9	248.1	<0.05	0.14
FERTILIZANTES COMPOST / T.Nº05-RSO-T02 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	1.5	<1	9.4	223.3	<0.05	0.28
FERTILIZANTES *DUP COMPOST / T.N º04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.4	<1	7.5	262.6	<0.05	0.15

**INFORME DE ENSAYO  
SA1802299**

Página 5 de 5

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	Te SA_ICM12B ppm 0.05	Th SA_ICM12B ppm 0.1	Ti SA_ICM12B % 0.01	Tl SA_ICM12B ppm 0.02	U SA_ICM12B ppm 0.05	V SA_ICM12B ppm 1
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°01-RSOS / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.12	0.1	<0.01	0.34	0.59	16
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°02-RSOS + EC / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.09	0.3	<0.01	0.22	0.45	10
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°03-RSOS +EV / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.07	0.4	<0.01	0.30	0.52	13
FERTILIZANTES COMPOST / T.N °04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.13	0.2	<0.01	0.26	0.39	14
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°05-RSO-T02 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.11	1.5	0.02	0.27	0.60	28
FERTILIZANTES *DUP COMPOST / T.N °04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	0.14	0.3	<0.01	0.28	0.42	13

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	W SA_ICM12B ppm 0.1	Y SA_ICM12B ppm 0.05	Yb SA_ICM12B ppm 0.1	Zn SA_ICM12B ppm 1	Zr SA_ICM12B ppm 0.5	Peso Muestra PMI_CHGR g
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°01-RSOS / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	6.2	3.58	0.3	1718	<0.5	352.4
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°02-RSOS + EC / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	5.2	2.45	0.2	1223	0.5	351.4
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°03-RSOS +EV / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	5.5	3.23	0.3	1532	0.8	351.9
FERTILIZANTES COMPOST / T.N °04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	1.6	3.44	0.3	713	<0.5	352.5
FERTILIZANTES COMPOST / T.N°05-RSO-T02 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	2.1	6.49	0.6	932	1.7	438.5
FERTILIZANTES *DUP COMPOST / T.N °04-RSO+T01 / RELLENO SANITARIO CONCEPCION (CEPASC )	1.7	3.65	0.3	738	0.7	--

Emitido en Callao-Perú el , 27/11/2018

**Edgar Zárate Aguilar  
Supervisor de Laboratorio  
C.I.P. 22151**

### ANEXO 3

#### MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES Y MATRIZ DE CONSISTENCIA

❖ Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
<b>INDEPENDIENTE (VI):</b>				
Estiércol de Vacuno o Cuy (EV o EC)	Son los excrementos de los animales que resultan como desechos del proceso de digestión de los alimentos, los estiércoles mejoran las propiedades biológicas, físicas y químicas como N, P y K de los suelos.	Kg de estiércol por tratamiento.	Aplicación de estiércol a los residuos orgánicos para su tratamiento.	Tipo de estiércol
<b>DEPENDIENTE (VD):</b>				
Metales pesados	Los metales pesados constituyen un grupo de elementos químicos que se convierten en no deseados, porque no se descomponen (solo cambian de estado de oxidación). Tienen efectos negativos en la salud humana, y un impacto en la cadena trófica a nivel terrestre y acuático.	mg/kg o ppm	Contenido de metales pesados	Análisis de laboratorio

❖ Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES e INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿Cómo mejorar el compost de CEPASC con la utilización de estiércol de vacuno y cuy para la disminución de la concentración de metales pesados?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Utilizar estiércol de vacuno y cuy para mejorar el compost de CEPASC en la disminución de la concentración de metales pesados.</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>La incorporación del estiércol de vacuno y cuy en tratamientos diferentes para el proceso de compostaje de CEPASC, disminuye la concentración de metales pesados.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Estiércol de ganado vacuno y estiércol de cuy.</p> <p><b>INDICADORES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de estiércol</li> </ul>	<p><b>Método de Inv.:</b> Hipotético- deductivo descriptivo</p> <p><b>Nivel de Inv.:</b> descriptivo</p> <p><b>Tipo de Inv.:</b> aplicada</p> <p><b>Por su finalidad:</b> aplicada</p> <p><b>Diseño de Inv.:</b> El diseño es cuasi experimental en series cronológicas</p>



<p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es la concentración de metales pesados en el compost de CEPASC con la utilización de estiércol de vacuno y cuy?</li> <li>• ¿El compost obtenido en CEPASC con la aplicación de estiércol de vacuno y cuy, cumplirá con los valores permisibles categorizados por la Norma Chilena N°2880, Norma Mexicana N°020-2011 y el Reglamento Austriaco en la concentración de metales pesados?</li> </ul>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la concentración de metales pesados en el compost de CEPASC con la utilización de estiércol de vacuno y cuy.</li> <li>• Determinar si la concentración de metales pesados del compost elaborado en el CEPASC cumple con lo establecido en la Norma Chilena N°2880, la Norma Mexicana N°020-2011 y el Reglamento Austriaco.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La concentración de metales pesados en el compost de CEPASC disminuye con la incorporación de estiércol de vacuno y de cuy.</li> <li>• Las concentraciones de metales pesados en el compost elaborado en el CEPASC con utilización de estiércol de cuy y vacuno, cumplen con los valores permisibles establecidos en la Norma Chilena N°2880, la Norma Mexicana N°020-2011 y el Reglamento Austriaco.</li> </ul>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Concentración de metales pesados</p> <p><b>INDICADORES:</b></p> <p>metales pesados</p>	<p><b>Población y muestra:</b> Población: 1 tn Muestra: 400 g</p> <p><b>Técnicas de recolección de datos:</b> Análisis de laboratorio.</p> <p><b>Técnicas de procesamiento de datos:</b> Análisis de datos en el SPSS y Excel</p>
---	---	---	--	---

**ANEXO 4**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**



**Fotografía N°01 Instalación del laboratorio para el trabajo de investigación**



**Fotografía N°02 Instalación e impermeabilización de las pilas de compostaje**





**Fotografía N°03: Disposición de residuos sólidos para los tratamientos.**



**Fotografía N°04: selección de residuos y picado.**





Fotografía N°05: Formación de las composteras por tipo de tratamiento



Fotografía N°06: inoculación del EM (microorganismo Eficiente).



**Fotografía N°06: inoculación del EM (microorganismo Eficiente).**



**Fotografía N°08: Riego de las pilas de compostaje para controlar la humedad.**





Fotografía N°09: Registro de datos de campo como humedad, temperatura y pH.



Fotografía N°10: Proceso de compostaje culminado





**Fotografía N°11: Preparación y cernido del compost para su almacenamiento y para enviar a laboratorio para su análisis.**



**Fotografía N°12: almacenamiento de compost para ser usado en áreas verdes del Distrito.**





**Fotografía N°13: Instalación de invernaderos para plantación de hortalizas.**



**Fotografía N°14: Visita de la Ministra Fabiola Muñoz Dodero a las instalaciones del CEPASC.**