

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL



TESIS

EFFECTOS DE TRES DILUCIONES DE MICROORGANISMOS EFICIENTES
EN LA CALIDAD DEL COMPOST UTILIZANDO LODOS DE LA PTAR
CAJABAMBA - 2019

Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por el Bachiller:
DILMER MAYCOL CASTRO CRUZADO

Asesor:
Ing. M.Sc. ADOLFO M. LÓPEZ AYLAS

CAJAMARCA – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


En la ciudad de Cajamarca, a los ocho días del mes de julio del año dos mil veintidós, se reunieron en el ambiente **2G - 103** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 149-2022-FCA-UNC, de fecha 13 de mayo del 2022**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EFECTOS DE TRES DILUCIONES DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA CALIDAD DEL COMPOST UTILIZANDO LODOS DE LA PTAR CAJABAMBA - 2019"**, realizada por el Bachiller **DILMER MAYCOL CASTRO CRUZADO** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las once horas y cero minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

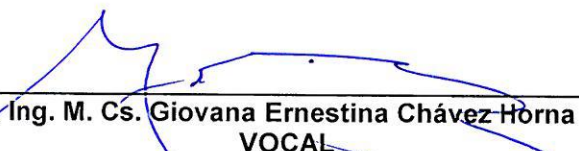
A las doce horas y treinta minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.



Dr. Manuel Salomón Roncal Ordoñez
PRESIDENTE



Ing. M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
SECRETARIO



Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
VOCAL



Ing. M. Sc. Adolfo Máximo López Aylas
ASESOR

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se la dedico: A mi madre, Angela E. Cruzado Vera, por incentivarme a obtener mi Título Profesional, por cuidarme, por sus consejos, comprensión y apoyo incondicional. Por ser mi mayor motivación.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la salud y las oportunidades a fin de cumplir con los objetivos y metas propuestas.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, a través de los docentes quienes, con sus enseñanzas y consejos, contribuyeron a mi formación profesional.

Al Ing. Carlos Segundo Tirado Soto, por su apoyo, orientación, revisiones y sugerencias para mejorar el trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
CAPITULO I - INTRODUCCIÓN	1
1.1. Formulación del problema	2
1.2. Objetivos	2
1.3. Hipótesis	2
CAPITULO II - REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Bases teóricas.....	4
2.2.1.Lodos residuales	4
2.2.2.Microorganismos eficientes	6
2.2.3.Microorganismos eficientes en el proceso de compostaje y tratamiento de lodos	9
2.2.4.Compostaje	9
2.2.5.Contenido nutricional del compost para las plantas.....	14
2.2.6.Metales pesados en el compost	16
2.2.7.Norma Chilena para la calidad del Compost (NCh 2880-2004)	20
CAPITULO III - MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1. Ubicación	22
3.2. Materiales.....	23
3.2.1.Lodo	23
3.2.2.Material biológico	24
3.2.3.Material de campo.....	24
3.3. Métodos	24
3.3.1.Diseño experimental.....	24
3.3.2.Preparación de compostera	26
3.3.3.Trabajo de campo	27

3.3.4. Trabajo de laboratorio	30
3.3.5. Trabajo de gabinete	31
CAPITULO IV - RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. Características físico - químicas de los parámetros de calidad del compost....	32
4.2. Comparación de los parámetros de calidad del compost de cada dilución de microorganismos eficientes (ME) con la norma chilena.....	34
4.3. Relación funcional entre diluciones de microorganismos eficientes (ME) y parámetros de calidad del compost.....	44
CAPITULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1. CONCLUSIONES.....	48
5.2. RECOMENDACIONES	50
CAPITULO IV - BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas y químicas de lodos residuales.....	5
Tabla 2. Parámetros físicos y químicos de calidad de compost	21
Tabla 3. Parámetros sanitarios de calidad de compost.....	21
Tabla 4. Características fisicoquímicas y bacteriológicas del lodo – PTAR Cajabamba	23
Tabla 5. Cantidad de microorganismos eficientes.....	24
Tabla 6. Procedimiento de armado de composteras	26
Tabla 7. Niveles (diluciones) en estudio de la concentración de ME	27
Tabla 8. Dosificación de las diluciones de ME al lodo residual.....	27
Tabla 9. Características físico - químicas de los parámetros de calidad del compost con lodos residuales	33
Tabla 10. Análisis de variancia para la regresión lineal entre diluciones de microorganismos eficientes (ME) y cada parámetro de calidad del compost	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Puntos de generación de lodos en una planta de tratamiento de aguas residuales.	6
Figura 2. Esquema de elementos que intervienen en la formación de compost.	10
Figura 3. Fases del proceso de compostaje.....	12
Figura 4. Influencia del pH en la asimilación por las plantas de algunos nutrientes	15
Figura 5. Ubicación del trabajo de investigación	22
Figura 6. Croquis del experimento.	25
Figura 7. Activación de los microorganismos eficientes	25
Figura 8. Destrucción de las unidades experimentales.	26
Figura 9. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba..	28
Figura 10. Monitoreo de temperatura y humedad	30
Figura 11. Contenido de materia orgánica en el compost.	35
Figura 12. Valores de pH en el compost.	36
Figura 13. Conductividad eléctrica del compost.	36
Figura 14. Contenido de nitrógeno total en el compost.	37
Figura 15. Contenido de fósforo en el compost.....	38
Figura 16. Contenido de potasio en el compost.	39
Figura 17. Contenido de cadmio en el compost.	40
Figura 18. Contenido de cromo en el compost.....	41
Figura 19. Contenido de plomo en el compost.....	42
Figura 20. Contenido de coliformes termotolerantes en el compost.....	43
Figura 21. Regresión lineal entre las diluciones de ME y ppm de potasio (K).	46
Figura 22. Regresión lineal entre las diluciones de ME y la temperatura	47

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de tres diluciones de microorganismos eficientes (600 ml, 1200 ml y 1800 ml) aplicados a lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cajabamba; para lo cual, se implementó 20 composteras con 20 kg de lodos cada una, aplicando el producto de microorganismos eficientes diluidos en agua con melaza. Por lo cual se utilizó un diseño completamente randomizado, obteniendo como resultados que el compost con la dilución de 600 ml presentó concentraciones de 19.37 % MO, 7.49 pH, 4.36 dS/m CE, 0.90 % N, 86.86 ppm P, 1310.00 ppm K, 5.37 ppm Cd, <0.05 ppm Cr, 26.98 ppm Pb, 3.5×10^6 NMP/100g Coliformes Termotolerantes y 25 °C Temperatura; en la dilución de 1200 ml se obtuvo concentraciones de 16.16 % MO, 7.38 pH, 4.77 dS/m CE, 0.74 % N, 82.80 ppm P, 2140.00 ppm K, 6.64 ppm Cd, <0.05 ppm Cr, 12.70 ppm Pb, 9.2×10^8 NMP/100g Coliformes Termotolerantes y 25 °C Temperatura y finalmente en la dilución de 1800 ml se obtuvo concentraciones de 19.51 % MO, 7.30 pH, 5.50 dS/m CE, 0.92 % N, 84.37 ppm P, 2340.00 ppm K, 4.72 ppm Cd, <0.05 ppm Cr, 14.85 ppm Pb, 1.60×10^{10} NMP/100g Coliformes Termotolerantes y 27 °C Temperatura; en este sentido las tres diluciones de microorganismos eficientes presentan concentraciones de pH, cromo (Cr) y plomo (Pb) dentro de los estándares de calidad para compost de clase "A"; el contenido de conductividad eléctrica (CE), nitrógeno total (N) y cadmio (Cd), se encuentran dentro de los estándares de calidad para compost de clase "B"; sin embargo los parámetros de materia orgánica (MO) y coliformes termotolerantes no cumplen con el estándar establecido por la Norma Chilena 2880 por lo cual no pueden ser clasificados como compost clase "A" ni clase "B".

Palabras clave: Lodo, compost, microorganismos eficientes.

ABSTRACT

The present research work aimed to determine the effect of three dilutions of efficient microorganisms (600 ml, 1200 ml and 1800 ml) applied to sludge from the wastewater treatment plant in the city of Cajabamba; for which, 20 compost bins with 20 kg of sludge each were implemented, applying the product of efficient microorganisms diluted in water with molasses. Therefore, a completely randomized design was used, obtaining as results that the compost with the dilution of 600 ml presented concentrations of 19.37 % MO, 7.49 pH, 4.36 dS / m CE, 0.90 % N, 86.86 ppm P, 1310.00 ppm K, 5.37 ppm Cd, <0.05 ppm Cr, 26.98 ppm Pb, 3.5×10^6 NMP / 100g Thermotolerant Coliforms and 25 ° C Temperature; in the dilution of 1200 ml concentrations of 16.16 % MO, 7.38 pH, 4.77 dS/m CE, 0.74 % N, 82.80 ppm P, 2140.00 ppm K, 6.64 ppm Cd, <0.05 ppm Cr, 12.70 ppm Pb, 9.2×10^8 NMP/100g Thermotolerant Coliforms and 25 °C Temperature were obtained, and finally in the dilution of 1800 ml concentrations of 19.51 % MO, 7.30 pH, 5.50 dS/m CE, 0.92 % N, 84.37 ppm P, 2340.00 ppm K, 4.72 ppm Cd, <0.05 ppm Cr, 14.85 ppm Pb, 1.60×10^{10} NMP/100g Thermotolerant Coliforms and 27 °C Temperature were obtained; in this sense the three dilutions of efficient microorganisms have concentrations of pH, chromium (Cr) and lead (Pb) within the quality standards for class "A" compost; the content of electrical conductivity (EC), total nitrogen (N) and cadmium (Cd), are within the quality standards for class "B" compost; however, the parameters of organic matter (MO) and thermotolerant coliforms do not comply with the standard established by Chilean Standard 2880 so they cannot be classified as compost class "A" or class "B".

Keywords: sludge, compost, efficient microorganisms.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Los lodos que se producen en las plantas de tratamiento de aguas residuales contienen alta carga microbiana y al ser tratados como residuos no peligrosos generan una problemática en cuanto a su disposición final, debido al costo y riesgo a la salud del personal encargado; en este sentido se han desarrollado técnicas como el compostaje para tratar estos lodos, que permiten su utilización como abono orgánico, dándole así un valor agregado y disminuyendo el volumen de disposición en los rellenos sanitarios, alargando su vida útil. Por lo tanto, el compostaje es una técnica óptima y de bajo costo para la reutilización de lodos residuales (Córdova 2006).

En el proceso de compostaje se tiene en cuenta los insumos adecuados y el control de los factores ambientales para obtener un compost de calidad, es así que en el mercado se encuentra un producto o tecnología denominado microorganismos eficientes (ME) ampliamente reconocido por acelerar este proceso además de asegurar su calidad. Los ME son productos formulados líquidos que contienen más de 80 especies, representadas por bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas y levaduras (Hoyos *et al.* 2008).

Por lo tanto, con la finalidad de establecer soluciones y alternativas para el manejo de lodos residuales, para su utilización en la agricultura, se evaluó el efecto de tres diluciones de microorganismos eficientes (ME) en la elaboración de compost a partir de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba, obteniendo que las bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetos y hongos de fermentación influyen de manera positiva, directa, alta y significativa en la concentración de potasio (K) y en la temperatura del proceso.

1.1. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de las diluciones de microorganismos eficientes (ME) en la calidad del compost utilizando lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Cajabamba - 2019?.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto de las diluciones (600 ml, 1200 ml y 1800 ml) de microorganismos eficientes (ME) en la calidad del compost utilizando lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Cajabamba.

1.2.2. Objetivos específicos

- a. Determinar los parámetros de calidad del compost (MO, pH, CE, N, P, K, Cd, Cr, Pb, coliformes termotolerantes y temperatura) con lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba, en cada una de las diluciones de microorganismos eficientes estudiados.
- b. Determinar la calidad del compost (MO, pH, CE, N, P, K, Cd, Cr, Pb, coliformes termotolerantes y temperatura) obtenido mediante la comparación con la norma chilena NCh2880.
- c. Determinar la influencia de las diluciones de ME en los parámetros de calidad del compost proveniente de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba.

1.3. Hipótesis

Las diluciones de microorganismos eficientes (ME) influyen significativamente en la calidad del compost utilizando lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Con la finalidad de estabilizar los lodos sépticos para usarlos como abono orgánico se utilizó microorganismos eficientes (ME) en una dosis del 10% logrando la eliminación del 99% de coliformes totales y fecales, reduciendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), el contenido de nitratos y el pH, además de un notorio cambio de color del lodo de gris a café rojizo que evidenciaría la presencia de bacterias ácido lácticas y/o levaduras (Fioravanti y Vega 2003).

La utilización de microorganismos eficientes (ME) contribuye favorablemente en la elaboración de compost; determinando que el contenido de materia orgánica (MO) está entre 37.09 y 38.21%, nitrógeno (N) de 1.88 a 2.10%, fosforo (P) de 0.140 a 0.152 %, potasio (K) de 2%, la relación de carbono/nitrógeno (C/N) es de 10.554 y 11.457; valores que se encuentran superando o idénticos al rango reportado por la FAO. Por otro lado, el contenido de cadmio disminuye entre 2%-8%, el cromo también disminuye entre 2-4%, sin embargo, los valores no superan el EPA de Australia (Huayllani 2017).

Los microorganismos eficaces (ME) son eficientes en el tratamiento de agua y lodo residual, obteniendo una reducción notable de la DBO, DQO, sólidos totales y olor, mejorando de esta manera las condiciones físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales. Respecto al efecto en el lodo residual se obtuvo que disminuyeron la concentración de coliformes termotolerantes, aceites y grasas, también estabilizaron el pH por debajo de los límites máximos en comparación con la norma mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 y los estándares de calidad típicas de lodos residuales según Metcalf y Eddy (Beltrán y Campos 2016).

El compost obtenido aplicando microorganismos eficientes versus el método convencional, demostró ser mejor en cuanto al tamaño de partícula (16 mm) y tiempo de maduración (64 días) en las soluciones de 200, 300 y 400 ml de ME; respecto a los parámetros de calidad de la norma chilena (pH, °C, olor, Cr, Cd, Pb, N, P, K y MO) todos los tratamientos cumplen con lo establecido, obteniendo concentraciones de MO entre 33.36 a 37.31 ppm, N entre 1.67 a 1.87 %, F entre 87.99 a 90.84 ppm, K entre 11940 a 14560 ppm y los metales pesados Cr, Cd y Pb se encuentran en concentraciones indetectables (Livaque 2018).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Lodos residuales

Según la Agencia de Protección Ambiental - EPA (1993), el lodo es el sólido, semisólido o líquido generado durante el tratamiento de aguas residuales domésticas. Los lodos incluyen, pero no están limitados a espumas, sólidos removidos en procesos de tratamiento primario, secundario o avanzado y material derivado de lodos residuales.

También se define como los residuos semisólidos remanentes de los procesos de tratamiento de aguas residuales, que están compuestos por materia orgánica no descompuesta, compuestos no biodegradables y presentan concentraciones de metales pesados y microorganismos patógenos, que han sido removidos durante el tratamiento (Ortiz-Hernández *et al.* 1995).

Características de los lodos

Romero (2004), menciona que las características de los lodos varían dependiendo de su origen, edad y del proceso de tratamiento empleado considerando características del agua residual, grado de tratamiento previo, tiempo de sedimentación, densidad de sólidos, contenido de humedad; y del tipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos.

Tabla 1. Características físicas y químicas de lodos residuales

Parámetro	Unidad	Lodo primario	Lodo primario digerido	Lodo secundario
Concentración de sólidos	%	5-9	2-5	0.8-1.2
Sólidos volátiles	% de ST	60-80	30-60	59-88
Proteína	% de ST	20-30	15-20	32-41
Nitrógeno	% de ST	1.5-4	1.6-3	2.4-5
Fosforo	% de ST	0.8-2.8	1.5-4	2.8-11
Oxido de potasio	% de ST	0-1	0-3	0.5-0.7
Celulosa	% de ST	8-15	8-15	--
Hierro	% de ST	2-4	3-8	--
Oxido de silicio	% de ST	15-20	10-20	--
pH	Unidades de pH	5-8	6.5-7.5	6.5-8
Alcalinidad	Mg CaCO ₂ /l	500-1500	2500-3500	580-1100
Ácidos orgánicos	Mg HA c/l	200-2000	100-600	1100-1700
Contenido energético	KJ ST/kg	23000-29000	9000-14000	19000-23000
Bacterias patógenas	NMP/100 ml	10 ³ - 10 ⁵	100-1000	10-100
Metales pesados Zn, Cu, Pb	% ss	0.2-2	0.2-2	0.2-2

Fuente: Adaptado de Limón 2013 y Oropeza 2006.

Existen antecedentes de que los lodos residuales tienen valor fertilizante y pueden actuar también en el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos por su elevado contenido de materia orgánica. Sin embargo, las limitaciones para su utilización en agricultura son debido a que pueden presentar una alta carga microbiana patógena y presencia de metales pesados, que pueden afectar a la cadena trófica a través de los cultivos y/o contaminar las aguas freáticas (Castro *et al.* 2007).

Clasificación de lodos residuales

En función de la etapa de depuración de las aguas residuales en la que se generen, los lodos se pueden clasificar en primarios, secundarios, mixtos y químicos o físico-químicos (Gonzales 2015).

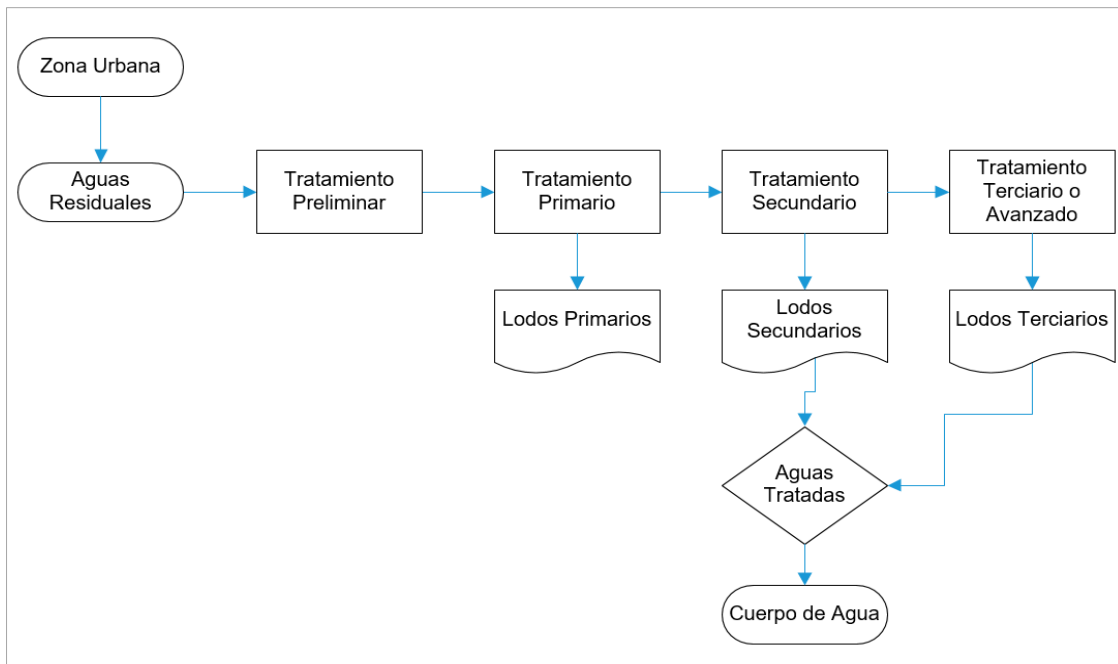


Figura 1. Puntos de generación de lodos en una planta de tratamiento de aguas residuales.
Fuente: Adaptado de Gonzales 2015.

Lodos primarios, de color gris y aspecto grasiento, contiene de 50 a 60 % de sólidos en suspensión, además del excedente de los tanques de sedimentación. Las concentraciones típicas de lodos crudos primarios son de un 6 a 8 % y la porción de sólidos volátiles varía de un 60 a 80 % y tienen un olor extremadamente molesto (Toro 2005).

Lodos biológicos o secundarios, generado por procesos de tratamiento secundarios del agua residual, tales como los sistemas biológicos activados y filtros de goteo, contienen de 0.5 a 2 % de sólidos y son más difíciles de espesarse y deshidratarse que los lodos primarios (Hernández 2004).

Lodo terciario, son producidos por tratamientos avanzados del agua residual, como la precipitación química y filtración. Los químicos usados como el aluminio (Al), fierro (Fe), sales, cal (CaO) o polímeros orgánicos, aumentan la cantidad de lodo y por consiguiente el volumen del lodo (Metcalf y Eddy 1996).

2.2.2. Microorganismos eficientes

La tecnología de los microorganismos eficientes fue desarrollada en la década de los ochenta por el Dr. Teruo Higa, Profesor de Horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón; quien, al estudiar las funciones individuales de

diferentes microorganismos, encuentra que el éxito de su efecto potencializado estaba en su mezcla. Desde entonces esta tecnología ha sido investigada y aplicada en una multitud de usos agropecuarios y ambientales (Arias 2010).

Los microorganismos eficientes son productos líquidos cuya concentración comprende un rango entre 1×10^6 y 1×10^8 microorganismos por mililitro aproximadamente, y contienen bacterias ácido lácticas, levaduras y bacterias fotosintéticas que fijan el nitrógeno atmosférico, descomponen residuos y restos orgánicos, eliminan patógenos transmitidos a través del suelo, reciclan y aumentan los nutrientes disponibles para las plantas (Gallego 2017).

Según Fundases (2014), las especies principales que componen los ME, son cinco (5) grupos microbianos generales, los cuales incluyen: Bacterias del ácido láctico de los géneros *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactics*; Bacterias fotosintéticas del genero *Rhodopseudomonas plastrus*, *Rhodobacter spaeroides*; Levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*; Actinomicetes como *Streptomyces albus*, *Streptomyces griseus* y Hongos de la fermentación como *Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis* sp.

Principales grupos y especies de microorganismos eficientes y sus funciones

Bacterias ácido lácticas

Producen ácido láctico y eliminan microorganismos patógenos al incrementar la velocidad de descomposición de la materia orgánica como la lignina y la celulosa (Rojas 2014). Según Lázaro y Urederra (2014), las bacterias ***Lactobacillus plantarum*** producen ácidos lácticos que ayuda a la fermentación de la celulosa, evitando la estimulación de daños por la putrefacción del material orgánico.

Bacterias fotosintéticas

Son microorganismos independientes y autosuficientes que sintetizan aminoácidos, sustancias bioactivas y ácidos nucleicos a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y sulfato de hidrógeno (HSO_4), utilizando luz solar y calor del suelo como fuentes de energía (Gallego 2017).

Según Morocho y Leiva-Mora (2019), estas bacterias están representados por las especies de *Rhodopseudomonas palustris* y *Rhodobacter sphaeroides*, que aprovechan la energía solar, el calor del suelo y moléculas orgánicas producidas por los exudados de las raíces de las plantas como fuente de carbono.

Levaduras

Son un grupo microbiano capaz de utilizar diversas fuentes de carbono (glucosa, sacarosa, fructosa, galactosa, maltosa, suero hidrolizado y alcohol) y sintetizar sustancias antimicrobianas a partir de azúcares y de aminoácidos secretados por bacterias fotosintéticas (Meena y Meena 2017). Las especies que predomina en esta comunidad microbiana son *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis* (Fayemi y Ojokoh 2014).

Actinomicetos

Son bacterias filamentosas con cierta similitud con los hongos, tienen gran importancia en el compostaje y en la formación de suelos debido a su función en la solubilización de la pared celular o componentes de las plantas, hongos e insectos. Las especies *Streptomyces albus* y *Streptomyces griseus* componen el producto de los microorganismos eficientes (Vurukonda *et al.* 2018).

Las especies del género *Streptomyces*, son excelentes agentes de control biológico debido a que producen compuestos antifúngicos como: enzimas hidrolíticas extracelulares (quitinasas y β -1,3-glucanasa), que inhiben el crecimiento micelial de varios hongos fitopatógenos (Chaurasia *et al.* 2018).

Hongos de Fermentación

Luna y Mesa (2016), señalan que los hongos de fermentación como ***Aspergillus spp.***, ***Penicillium spp.*** y ***Trichoderma spp.*** actúan descomponiendo rápidamente la materia orgánica para producir alcohol, ésteres y sustancias antimicrobianas, lo que produce la desodorización y previene la aparición de insectos perjudiciales.

2.2.3. Microorganismos eficientes en el proceso de compostaje y tratamiento de lodos

Según Bejarano y Delgadillo (2007), la inoculación de microorganismos eficientes (ME) en la pila de compostaje disminuye el tiempo de elaboración del abono orgánico, además de obtener un material microbiológica y nutricionalmente mejorado.

Diversos estudios señalan la inhibición de patógenos mediante el tratamiento con microorganismos eficientes, Fioravanti y Vega (2003) mencionan que el crecimiento de las bacterias *Clostridium botulinum*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella gallinarum* y *Salmonella enteritidis* fue inhibido por acción de los microorganismos eficientes a los 10 días de tratamiento.

2.2.4. Compostaje

El compostaje es un proceso biooxidativo controlado de fermentación aerobia, donde intervienen una diversidad de microorganismos, que requieren humedad adecuada y sustratos orgánicos, los cuales después de pasar por una fase termófila (superior a 45°C), dando como producto dióxido de carbono (CO₂), agua, minerales y materia orgánica estabilizada e higienizada, libre de patógenos y de semillas adventicias; rica en poblaciones microbianas útiles, en sustancias húmicas y bioactivadores de la fisiología vegetal (Soriano 2016).

La transformación de la materia orgánica se efectúa por la actividad de diversos microorganismos, principalmente por bacterias. Las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo durante el proceso son exotérmicas y elevan la temperatura de la composta hasta cerca de 70°C, eliminando todos los agentes patógenos que puedan estar presentes en la masa inicial (SEDESOL 2001).

Proceso del compostaje

Durante el proceso se logra la transformación de materia orgánica (residuos orgánicos); para lo cual se incorpora materias primas y los microorganismos los procesan, consumen oxígeno y el compost genera calor, vapor de agua y dióxido de carbono (CO₂); obteniéndose al final del proceso un compuesto que puede ser utilizado como abono o sustrato útil para las plantas.

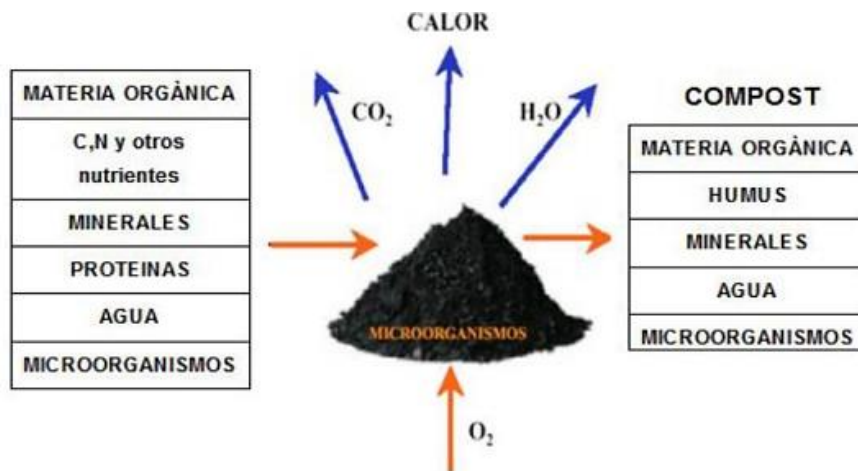


Figura 2. Esquema de elementos que intervienen en la formación de compost.

Fuente: Tomado de Rocha 2009.

Técnicas de compostaje

Pilas estáticas

Se realiza formando montones de residuos de baja altura entre 1 y 2 m, dejándolos todo el proceso sin movimiento, por lo que el compostaje en estas condiciones es lento, necesitando de al menos 1 año para obtener un buen producto con un rendimiento del 40 al 50 %. Las ventajas de este método son el bajo costo de implementación y mano de obra (Córdova 2006).

Pilas de volteo o hilera

Consiste en colocar una mezcla de materiales orgánicos en una pila o hilera, que debe ser agitada o volteada cada 10 a 15 días, de tal forma que el material se empareja y los patógenos y larvas son destruidos por las altas temperaturas (45 - 65 °C) generadas al interior de la pila (Montero 2006).

Reactor

Este proceso se lleva a cabo en un contenedor cerrado, donde se establece un proceso aerobio acelerado para generar compost (alrededor de un mes). Se alimenta al reactor con diferentes tipos de residuos y material rico en carbono (aserrín, paja) para asegurar la descomposición; luego, la mezcla es desmenuzada dentro de la máquina para obtener un tamaño de partícula adecuado, después el material pasa a un contenedor provisto de una bomba para inyectar aire y facilitar el trabajo de los microorganismos que convierten los desechos en compost (Giménez 2010).

2.2.4.1. Etapas del proceso de compostaje

El compostaje consta de cuatro etapas: mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración. En función de los niveles de actividad microbiana y los sustratos disponibles, el proceso se puede dividir en dos fases globales: fase bio-oxidativa o de crecimiento activo de microorganismos, con disponibilidad de nutrientes y fase de maduración, donde la actividad microbiana es menor y los nutrientes limitados (Ortiz 2011).

Etapa Mesofílica

El proceso de compostaje inicia a temperatura ambiente y entre dos a ocho días aumenta hasta los 45°C, debido a la actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. El pH puede bajar hasta 4.0 o 4.5 por la descomposición de compuestos solubles, como azúcares que producen ácidos orgánicos (FAO 2013).

Etapa termofílica

A partir de 40 °C los microorganismos termófilos descomponen los materiales orgánicos generando un calor de hasta 60 a 70 °C. La microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de bacterias del género *Bacillus* y Actinomicetos termófilos (*Streptomyces sp.*). En esta etapa se descomponen las ceras, proteínas y hemicelulosas y se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables (Miyashiro 2014).

Etapa de estabilización o enfriamiento

Cesa la actividad de los microorganismos termofílicos debido a que los nutrientes y energía disminuyen, la temperatura en la pila desciende desde los 75 °C hasta la temperatura ambiente, provocando la reaparición de microorganismos mesofílicos hasta que toda la energía sea utilizada (Valverde 2015).

Etapa de maduración

En esta etapa la temperatura de la pila disminuye hasta la temperatura normal del medio ambiente, produciendo la madurez o el enfriamiento del compost. Las poblaciones microbianas disminuyen debido a la escasez de nutrientes, y el pH del compost oscila entre 7 y 8 (ONUDI 2007).

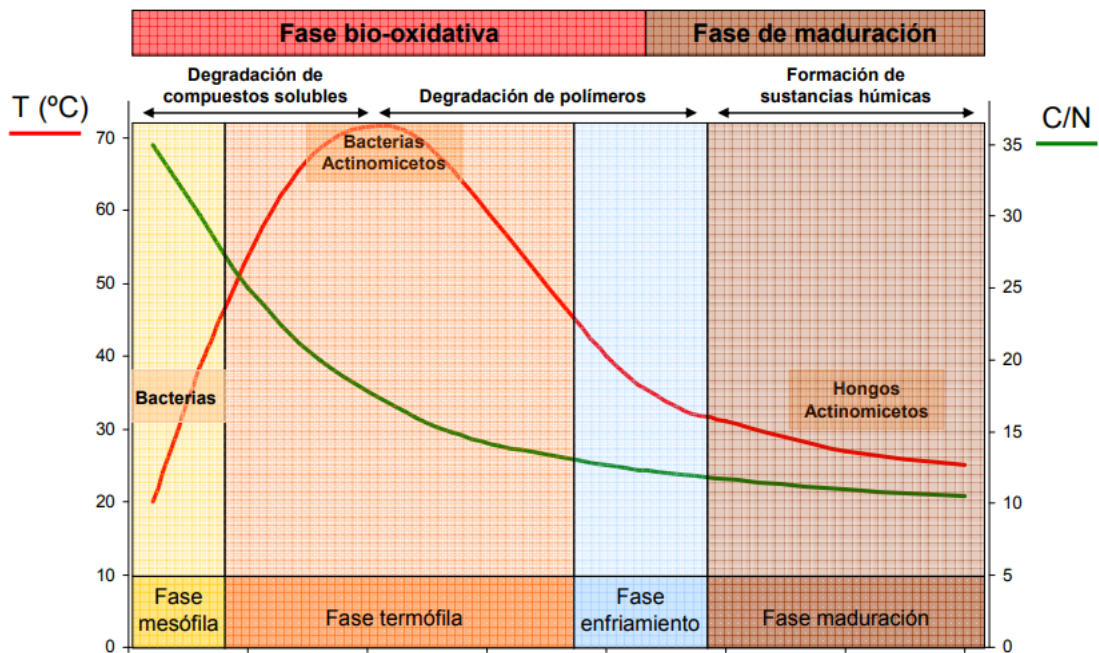


Figura 3. Fases del proceso de compostaje.

Fuente: Tomado de Serramiá 2013.

Factores que afectan el proceso de compostaje

Existen dos tipos de variables que afectan el proceso de compostaje: parámetros de seguimiento y parámetros relativos a la naturaleza del sustrato. Entre los parámetros de seguimiento se encuentran: temperatura, humedad, pH, aireación y espacio de aire libre. Entre los parámetros relativos a la naturaleza del sustrato, están: tamaño de partícula, relaciones C/N y C/P, nutrientes, materia orgánica y conductividad eléctrica. Cabe indicar que, los valores o intervalos óptimos de los parámetros están influenciados por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar y el sistema de compostaje elegido (Bueno *et al.* 2008).

Tiempo de compostaje

Es el tiempo transcurrido desde la conformación de una pila hasta la obtención del compost estable y varía según las características de los residuos a compostar, las condiciones climatológicas (temperatura, % de humedad relativa), manejo fisicoquímico, manejo microbiológico y características del producto final que se desea obtener (Cochachi 2008).

2.2.4.2. Tipos de compost

Compost maduro

Se caracteriza porque la materia orgánica está muy descompuesta, este compost presenta estabilización en las propiedades químicas, tales como, capacidad de intercambio catiónico, pH y materia orgánica; tiene bajo contenido de ácidos fúlvicos y relación C/N menor a 20 (Navarro 2006).

Minaz (1991) indica que el compost está maduro cuando el peso final está entre el 40 y 50 % del inicial, en tanto, Mayea (1992) señala que el compost está maduro cuando la ruma ha bajado un tercio de su tamaño.

Compost joven

Está poco descompuesto y presenta inestabilidad en las propiedades químicas, tales como, capacidad de intercambio catiónico, pH y materia orgánica; tiene alto contenido de ácidos fúlvicos y relación C/N mayor a 20 (Navarro 2006).

2.2.4.3. Calidad del compost

La calidad del compost está relacionada a su valor agronómico y comercial como un acondicionador del suelo. Se determina en base a sus características físicas y químicas, como: porcentaje de materia orgánica, humedad, pH, relación C/N, presencia de metales pesados, entre otros. Además, debe contar con las siguientes características: alto potencial fitosanitario, potencial de fertilización, libre de malos olores y estabilidad microbiológica (Avendaño 2003).

Según la FAO (1991), los parámetros más utilizados para dar criterio de calidad es la composición química del compost maduro, donde se plantea que la materia orgánica está en un rango de 25 a 80 %, nitrógeno de 0,4 a 3,5 %, fósforo de 0,1 a 1,6 %, potasio de 0,4 a 1,6% y calcio de 6,0 a 11%.

Asimismo, Kolmans *et al.* (1996) indica que, el compost debe ser suelto, sin terrones, de color marrón oscuro, si tiene mal olor quiere decir, que la degradación de los materiales por las bacterias no ha concluido, el olor a barro guardado indica la presencia de moho y un pH muy ácido es consecuencia de mala aireación y exceso de humedad.

La calidad del compost para ser catalogada como buena, los metales pesados deben de encontrarse por debajo de los límites máximos establecidos por la legislación vigente (Basaure 2011). En tal sentido, para determinar la calidad se necesita comparar con normativas donde muestran entre que rangos se debe encontrar el compost para una utilización óptima (Rafael 2015). Sin embargo, el Perú no cuenta con una norma específica para definir la calidad del compost, por lo que se recurre a normas de otros países como la Norma Chilena 2880.

2.2.5. Contenido nutricional del compost para las plantas

El compost contiene elementos fertilizantes para las plantas, en forma orgánica y en menor proporción que los fertilizantes químicos, una de sus ventajas es el aporte de materia orgánica ya que, en él se encuentran presentes nutrientes tanto disponibles como de lenta liberación, útiles para la nutrición de las plantas (FAO 2013). A continuación, se describe como estos nutrientes influyen en el desarrollo de las plantas.

El Nitrógeno, es el motor del crecimiento de la planta ya que está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas, por ello se necesita una buena concentración de nitrógeno en el compost para que las plantas absorban otros nutrientes.

El Fósforo, realiza una función importante en la transferencia de energía, siendo esencial en la eficiencia de la fotosíntesis. El Potasio, es importante en la síntesis de carbohidratos y de proteínas, y por ende en la estructura de la planta.

El potasio (k) mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades.

El pH determina la biodisponibilidad de los nutrientes para las plantas (ver Figura 4), por lo cual el pH del compost debe estar en el rango óptimo, cuando el pH excede valores de 8 o es inferior a 6, la actividad microbiana se ve entorpecida, disminuyendo tanto la liberación de amonio como su oxidación a nitrato, disminuyendo la concentración de las formas asimilables de este elemento (Ibañez 2007).

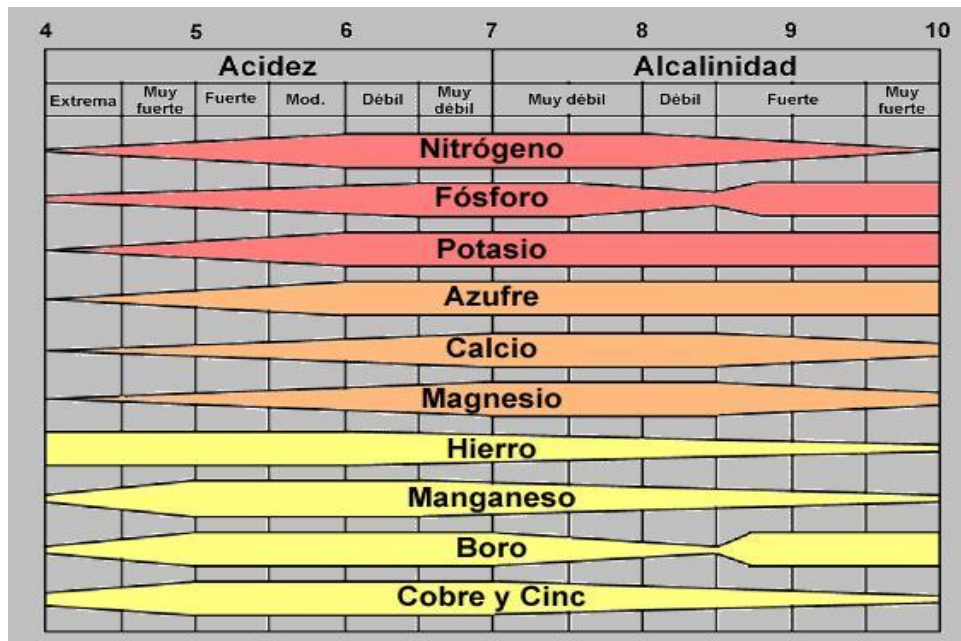


Figura 4. Influencia del pH en la asimilación por las plantas de algunos nutrientes
Fuente: Tomado de Ibañez 2007.

La materia orgánica en el compost tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso; también aumenta la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas. Y en cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado (Julca *et al.* 2006).

La densidad aparente del suelo está relacionada directamente con el grado de compactación, es decir a mayor densidad aparente mayor compactación, por ello la adición de compost produce una disminución de la densidad entre 5 y 45 %, facilitando la disponibilidad de agua, nutrientes y aire para el óptimo desarrollo y crecimiento de las raíces de las plantas (Bohórquez 2019).

2.2.6. Metales pesados en el compost a partir de lodos residuales

Los metales pesados presentes en el compost se deben al material de partida utilizado, por lo cual su concentración no es afectado por el proceso de compostaje; en este sentido el compost a partir de lodos residuales contienen cantidades variables de metales pesados como Pb, Ni, Cd, Cr, Cu y Zn, y su aplicación al suelo conduce a la contaminación de este y la lixiviación por el perfil del suelo puede contaminar las aguas subterráneas (Jiménez 2017).

El riesgo por acumulación de metales pesados en el compost se transfiere a los cultivos, y por ende a los animales y seres humanos causando diversas enfermedades como el cáncer, por lo cual existe normativa nacional e internacional que regula su concentración máxima a fin de permitir su uso agrícola. Sin embargo, Acosta *et al.* (2012) señala que no existe problema de toxicidad para las plantas si los metales se encuentran por debajo de los valores máximos permitidos por la normativa internacional.

El D.S. N° 015-2017-VIVIENDA señala al Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel y Zinc como parámetros de toxicidad química en el lodo residual, los cuales deben estar en el rango establecido para su utilización como acondicionador de suelos (compost). En efecto estos metales pesados son considerados como los más peligrosos presentes en el lodo residual debido a su grado de toxicidad y bioacumulación; a continuación, se observa las concentraciones máximas permitidas para su aprovechamiento en la agricultura.

Parámetros	Unidades	D.S. N° 015-2017-Vivienda (Clase A)
Arsenico (As)	mg/Kg	40
Cadmio (Cd)	mg/Kg	40
Cromo (Cr)	mg/Kg	1200
Cobre (Cu)	mg/Kg	1500
Mercurio (Hg)	mg/Kg	17
Niquel (Ni)	mg/Kg	400
Plomo (Pb)	mg/Kg	400
Zinc (Zn)	mg/Kg	2400

Fuente: D.S. N°015-2017-Vivienda (Biosólido Clase A).

Bataller *et al.* (2015) señala que existe un grupo de metales que se encuentran entre los más tóxicos, como el cadmio, el cromo, el mercurio y el arsénico, los cuales requieren una especial atención con respecto a su contenido en los lodos, ya que, si no son controlados debidamente, pueden provocar problemas de anemia y crecimiento retardado. Además, alergia en la piel, daños en el cerebro, en los riñones y en los pulmones. En este sentido Rodríguez *et al.* (2019) menciona que los elementos más importantes en relación a la contaminación de la cadena alimentaria son el arsénico, cadmio, mercurio, plomo y selenio.

Efecto de metales pesados en las plantas y los seres humanos

Arsénico (As)

El arsénico interfiere en el metabolismo de las plantas al inhibir su crecimiento y también puede influir en la absorción de nutrientes, su efecto principal aparece en la destrucción de la clorofila en el follaje como una consecuencia de inhibición de producción de enzimas. La exposición crónica al arsénico causa varias enfermedades humanas cancerosas y no cancerosas, incluido el cáncer de vejiga urinaria, pulmón e hígado (Farnese *et al.* 2014).

Cadmio (Cd)

Entre los principales síntomas visibles que causa la toxicidad por Cd son la clorosis y el enrollamiento en las hojas. Daños asociados también con la clorosis son la deficiencia de P y la reducción en el transporte de Mn; así mismo la reducción en el crecimiento y actividad fotosintética, el desbalance nutricional, el estrés oxidativo y las afectaciones en las actividades enzimáticas son los daños más acentuados que se expresan frecuentemente en los diferentes estudios de toxicidad con Cd (Hernández *et al.* 2019).

El cadmio tiene efectos específicos en la salud humana en los riñones, los huesos y los pulmones; se almacena principalmente en el hígado y los riñones; la excreción es lenta, con una media de vida muy larga (décadas) en el cuerpo humano; se acumula en la mayor parte de los tejidos durante el envejecimiento. Uno de los indicios más típicos y tempranos de la larga exposición al cadmio es el daño que sufre la función renal (Perez y Azcona 2012).

Cromo (Cr)

El cromo es un metal tóxico, que puede producir daños en la planta que lo absorba. La intensidad de los efectos está relacionada directamente con la concentración a la que se encuentre el metal. En las plantas aparecen lesiones en raíces, generadas principalmente por el cromo hexavalente (Orejuela 2017).

La mayor parte del Cr VI ingerido se reduce en el estómago a Cr III, excretándose por vía urinaria en una semana, pero una mínima parte del Cr VI es capaz de atravesar las membranas celulares y puede permanecer en las células, tejidos y órganos durante años, causando genotoxicidad (abortos, alteraciones en el desarrollo del esqueleto del feto) y carcinogenicidad (pulmones y los senos nasales) (Elika 2014).

Cobre (Cu)

Aunque el cobre es un micronutriente esencial, el exceso de cobre puede ser tóxico para las plantas, el exceso de cobre puede inhibir el crecimiento de la planta, causar un daño oxidativo a las células e interferir con el proceso de fotosíntesis. Por ejemplo, cuando se encuentra en exceso, el cobre puede reemplazar al magnesio (Mg^{2+}) en la molécula de clorofila y así interferir en el proceso de fotosíntesis. Además, puede ocasionar deficiencia de otros nutrientes tal como molibdeno, hierro, manganeso y zinc (Guy 2021).

La toxicidad del cobre en las plantas depende principalmente de la especie de la planta y las condiciones del suelo. Los síntomas de toxicidad pueden incluir: Clorosis interveinal, necrosis, retraso en el crecimiento, inhibición del crecimiento radicular y de los brotes.

En el ser humano el cobre es un micronutriente esencial y se encuentra en diversos órganos que tienen elevada actividad metabólica, tales como, el hígado, el cerebro, los riñones y el corazón. Independientemente de todas las funciones descritas, el cobre es altamente tóxico y puede provocar daños que contribuyen al desarrollo de diversas enfermedades como el cáncer, las enfermedades neurodegenerativas y al envejecimiento celular (Feoktistova y Clark 2018).

Mercurio (Hg)

La existencia de niveles altos de mercurio fácilmente disponible en suelo, pueden resultar fitotóxicos, provocando efectos que pueden ir desde la muerte de la planta hasta efectos de carácter subletal (Disminución del crecimiento, senescencia, disminución del contenido de clorofila), de este modo, tanto la fotosíntesis, la transpiración foliar, y la toma de agua se ve reducida ante exposiciones altas de mercurio (López *et al.* 2014).

La EPA considera al Hg como uno de los elementos más peligrosos, es decir, que es muy perjudicial aun en pequeñas cantidades, este funciona como una neurotoxina una vez dentro del cuerpo humano, interfiere con el cerebro y el sistema nervioso. La exposición al Hg antes del nacimiento y durante la infancia puede causar retraso mental, parálisis cerebral, sordera y ceguera. Incluso en dosis pequeñas, el Hg puede afectar el desarrollo del niño, causando déficit de atención y problemas de aprendizaje. En los adultos, el envenenamiento por Hg puede afectar adversamente la fertilidad y la regulación de la presión arterial, además de causar pérdida de la memoria, temblores, pérdida de la visión y entumecimiento de los dedos de manos y pies (Posada y Arroyave 2006).

Níquel (Ni)

El níquel es considerado como un micronutriente esencial ya que las plantas no pueden completar su ciclo de vida en ausencia de éste y no puede ser sustituido por otro elemento. El exceso de concentraciones del níquel es tóxico para la mayoría de las especies de plantas. Los síntomas más comunes son la inhibición del desarrollo, clorosis, necrosis y marchitamientos y se ha atribuido su efecto negativo sobre la fotosíntesis, nutrición mineral, transporte de azúcares y relación con el agua (Gajewska *et al.* 2006).

De acuerdo a la OMS el Ni no es esencial para los humanos a pesar de que juega un papel esencial en el metabolismo de la metionina, algunos estudios en humanos y animales sugieren que la exposición crónica a sales solubles del Ni conduce a la aparición de efectos sistémicos sobre los riñones, mortalidad neonatal y efectos sobre el sistema inmunológico (Gonzales *et al.* 2021).

Plomo (Pb)

El Pb es uno de los metales más tóxicos, una vez absorbido por las raíces de las plantas causa interrupciones en la estructura celular y a lo largo del proceso fotosintético, provocando alteraciones fisiológicas como reducción en el crecimiento, clorosis, necrosis y cambios en el régimen hídrico. Por ejemplo, un cultivo capaz de absorber gran cantidad de Pb es el maíz (Yllanes *et al.* 2014).

En los seres humanos el plomo ocasiona efectos tóxicos sobre el tracto gastrointestinal, sobre el sistema renal y sobre el sistema nervioso central y periférico, así como interferencias con sistemas enzimáticos implicados en la síntesis del grupo hemo (Hardisson *et al.* 2004).

Zinc (Zn)

El zinc es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, pero es tóxico cuando sus niveles en el tejido sobrepasan los 200 ppm. El exceso de Zn es capaz de reemplazar e inhibir la función de otros elementos esenciales, como el Fe y Mn, también se puede unir a proteínas y enzimas que no lo requieren, por lo que causa su inactivación y genera un daño o la muerte de las células. A nivel del organismo, los síntomas visibles en las plantas son: La disminución de frutos y semillas, un crecimiento atrofiado y el amarillamiento de las hojas debido al fenómeno de clorosis (Amescua y Lara 2017).

El zinc es un elemento esencial, necesario para numerosos procesos biológicos y a pesar de que es el menos tóxico de todos los oligoelementos, se ha demostrado en hombres que un elevado consumo de zinc produce un riesgo de cáncer de próstata, así como la inhibición de los efectos beneficiosos de los biofosfonatos, el incremento de los niveles de testosterona, incremento de colesterol, reducción de los niveles de HDL y además puede fomentar una disfunción inmune (Rubio *et al.* 2007).

2.2.7. Norma Chilena para la calidad del Compost (NCh 2880-2004)

La NCh 2880 describe los niveles mínimos y máximos que debe cumplir el compost, en lo que se refiere a parámetros físicos y químicos. Dependiendo de estos valores el compost se puede clasificar como Clase A o Clase B, en donde la primera clasificación no presenta restricciones de uso y la segunda sí.

Compost Clase A: Producto de alto nivel de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase A, en todos los parámetros especificados en la Tabla 2 y 3. Este producto no presenta restricciones de uso.

Compost Clase B: Producto de nivel intermedio de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase B, en todos los parámetros especificados en la Tabla 2 y 3. Este producto puede presentar algunas restricciones de uso si su conductividad eléctrica es mayor de tres decisiemens por metro (3dS/m).

Tabla 2. Parámetros físicos y químicos de calidad de compost

Parámetros Físicos y químicos	Clase A	Clase B
Olor	El compost no debe presentar olores desagradables (compuestos sulfurosos, amoniacales, mercaptanos y/o de azufre reducido, entre otros).	
Humedad	El compost debe presentar un contenido de humedad entre 30% y 45% de la masa del producto, en base húmeda.	
N	≥ a 0.5%	≥ a 0.5%
Relación C/N	≤ a 25	≤ a 30
pH	7 - 8	6,5 – 8,5
Materia Orgánica	≥ a 20%	≥ a 20%
Conductividad eléctrica	< a 3dS/m	≤ a 8 dS/m
	As	20
	Cd	8
	Cu	1000
Metales	Cr	600
Pesados (ppm)	Hg	4
	Ni	80
	Pb	300
	Zn	2000

Fuente: NCh 2880 (2004).

Tabla 3. Parámetros sanitarios de calidad de compost

Parámetros Sanitarios	Clase A	Clase B
Coliformes fecales	< a 1000 NMP/g de compost	
<i>Salmonella sp.</i>	3 NMP/4 g de compost	

Fuente: NCh 2880 (2004).

CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

El trabajo de compostaje fue realizado en el distrito y provincia de Celendín, región Cajamarca, localizado en las coordenadas UTM WGS 84, Este: 815820, Norte: 9241275, a una altitud de 2608 msnm.

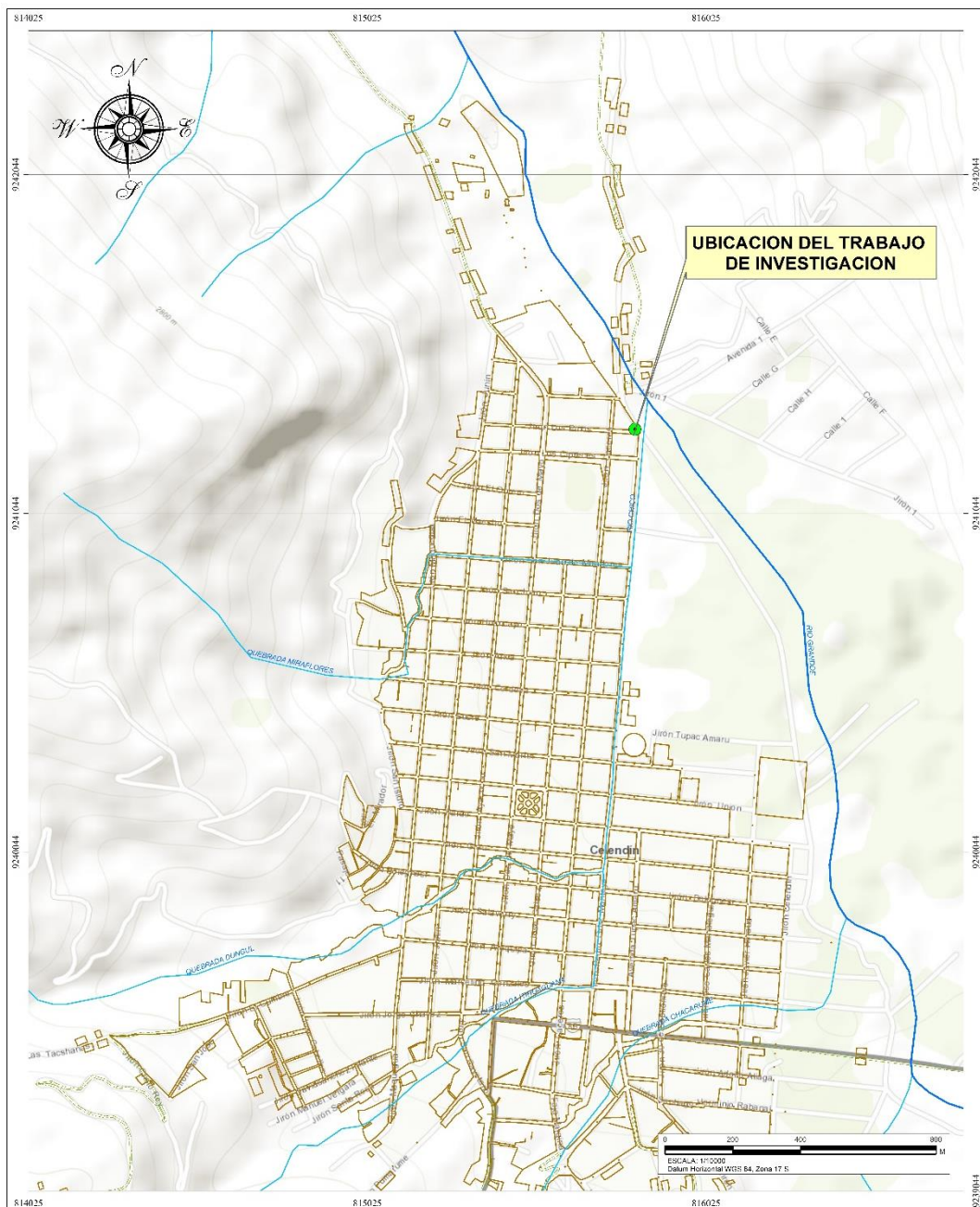


Figura 5. Ubicación del trabajo de investigación

3.2. Materiales

3.2.1. Lodo

Lodo procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba, se realizó el análisis al inicio y los resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Características fisicoquímicas y bacteriológicas del lodo – PTAR Cajabamba

Propiedades físicas y concentración de elementos minerales	Resultado
Análisis Generales	
Potencial de Hidrógeno	7.60 pH
Materia orgánica	33.40 %
Conductividad	8.34 dS/m
Nitrógeno Total	10.30 mg/kg
Análisis Microbiológicos	
Numeración Coliformes fecales	920.00 NMP/g
Metales	
Plata	3.898 mg/kg
Aluminio	5,339.558 mg/kg
Arsénico	23.230 mg/kg
Boro	<17.195 mg/kg
Bario	77.784 mg/kg
Berilio	0.273 mg/kg
Bismuto	11.274 mg/kg
Calcio	55,488.013
Cadmio	0.735 mg/kg
Cobalto	2.155 mg/kg
Cromo	13.267 mg/kg
Cobre	87.739 mg/kg
Hierro	6,151.483 mg/kg
Mercurio	2.075 mg/kg
Potasio	1,097.170 mg/kg
Lantano	2.719 mg/kg
Litio	3.2 mg/kg
Magnesio	1,209.609 mg/kg
Manganeso	152.503 mg/kg
Molibdeno	3.686 mg/kg
Sodio	518.555 mg/kg
Niquel	6.923 mg/kg
Fosforo	3,386.316 mg/kg
Plomo	33.850 mg/kg
Antimonio	4.719 mg/kg
Escandio	0.628 mg/kg
Selenio	<3.605 mg/kg
Estaño	3.034 mg/kg
Estroncio	112.743 mg/kg
Thorio	0.300 mg/kg
Titanio	18.180 mg/kg
Talio	0.111 mg/kg
Uranio	0.586 mg/kg
Vanadio	10.510 mg/kg
Wolframio	<0.231 mg/kg
Ytrio	2.953 mg/kg
Zinc	391.454 mg/kg
Circonio	0.213 mg/kg

Fuente: SGS del Perú S.A.C.

3.2.2. Material biológico

Microorganismos eficientes (ME): Es una mezcla de especies de microorganismos benéficos de origen natural (bacterias fotosintéticas, bacterias acidolácticas y levaduras). La concentración de estos microorganismos se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Cantidad de microorganismos eficientes

Tipos de microorganismos	Cantidad (CFU/mL)
Bacterias acidolácticas	$> 6.0 \times 10^5$
Bacterias fototróficas	$> 4.0 \times 10^5$
Levadura	$> 3.0 \times 10^4$

Fuente: Certificado de Calidad EM-Compost (BIOEM SAC).

Melaza de caña de azúcar, es un líquido denso y viscoso, se utilizó para activar a los microorganismos eficientes.

3.2.3. Material de campo

Se utilizaron herramientas de labranza (pico, palana), cajas de madera, rollo de plástico, sacos de polietileno, clavos, baldes, bidones, wincha, equipo monitor soil survey, libreta de campo, balanza, equipo de protección personal (EPP) y bolsas ziploc.

3.3. Métodos

3.3.1. Diseño experimental

Para la presente investigación se utilizó un Diseño Completamente Randomizado (DCR) con tres (3) diluciones o tratamientos diferentes de microorganismos eficientes y 5 repeticiones por dilución.

- **Características del área y unidades de experimentación**

El área total donde se instaló el experimento fue de 13 m², donde se instalaron 20 composteras, que consistieron en cajones de madera de 0.5 por 0.5 m de largo con 0.3 m de alto y 0.25 m de separación entre camas. En la Figura 6, se observa la distribución del área experimental.

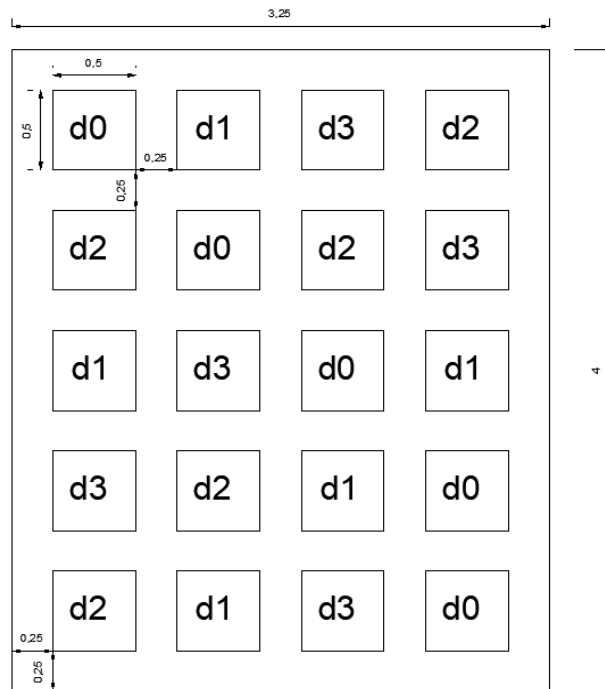


Figura 6. Croquis del experimento.

- **Activación de los microorganismos eficientes**

Se realizó en un bidón de 20 litros, se procedió a mezclar 1 litro de microorganismos eficientes (5%), con 1 litro de melaza de caña de azúcar (5%), en 18 litros de agua (90%), luego se tapa herméticamente para el proceso de fermentación por un periodo de 14 días, de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante.



Figura 7. Activación de los microorganismos eficientes

3.3.2. Preparación de compostera

El procedimiento para el armado de composteras y la dosificación de microorganismos eficientes (ME), se describe en la Tabla 6 y Tabla 8.

Tabla 6. Procedimiento de armado de composteras

Dilución	Primer paso	Segundo paso
d ₀	Se pesaron 20 kg de lodo residual y se agregó agua hasta una humedad de 45%.	Se procedió a aplicar la dilución 0 (0 ml de ME)
d ₁	Se pesaron 20 kg de lodo residual y se agregó agua hasta una humedad de 45%.	Se procedió a aplicar la dilución 1 (200 ml de ME)
d ₂	Se pesaron 20 kg de lodo residual y se agregó agua hasta una humedad de 45%.	Se procedió a aplicar la dilución 2 (400 ml de ME)
d ₃	Se pesaron 20 kg de lodo residual y se agregó agua hasta una humedad de 45%.	Se procedió a aplicar la dilución 3 (600 ml de ME)

Fuente: Elaboración propia.



Figura 8. Destrucción de las unidades experimentales.

Factor de tratamiento y sus niveles

El Factor corresponde a las diluciones de microorganismos eficientes (ME). En la Tabla 7, se presenta los niveles o tratamientos de estudio.

Tabla 7. Niveles (diluciones) en estudio de la concentración de ME

Código	Diluciones
d ₀	0 ml de ME/20 L de agua (Testigo)
d ₁	600 ml de ME/20 L de agua
d ₂	1200 ml de ME/20 L de agua
d ₃	1800 ml de ME/20 L de agua

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Dosificación de las diluciones de ME al lodo residual

Código	Diluciones de ME			Total de dilución
	0 días (inicio)	15 días (1er volteo)	30 días (2do volteo)	
d ₀	0 ml	0 ml	0 ml	0 ml
d ₁	200 ml	200 ml	200 ml	600 ml
d ₂	400 ml	400 ml	400 ml	1200 ml
d ₃	600 ml	600 ml	600 ml	1800 ml

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Trabajo de campo

- **Recolección de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Cajabamba**

La PTAR de Cajabamba se ubica en el distrito y provincia con el mismo nombre, región de Cajamarca, a una altitud de 2540 msnm, en las coordenadas UTM WGS 84, Este: 824753 y Norte: 9155661.



Figura 9. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba

De la PTAR de Cajabamba, se extrajo 400 kg de lodos del lecho de secado, para disponerlos en sacos de polietileno de 50 kg, y se trasladó a la ciudad de Celendín donde se realizó el experimento durante los meses de noviembre 2018 a febrero 2019.

- **Análisis del lodo residual**

De un lecho de secado se extrajo 1.5 kg de lodo, la muestra fue llevada al laboratorio **SGS del Perú S.A.C.** en la ciudad de Cajamarca, donde se realizó el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

- **Procedimiento de volteos del compost**

Para todas las unidades experimentales se realizó un volteo cada quince días, para garantizar la presencia de oxígeno, y cumplir con los rangos de humedad establecidos.

En los dos (2) primeros volteos, a los 15 y 30 días de iniciado el compostaje del lodo residual, se aplicó las diluciones (200 ml, 400 ml y 600 ml) de microorganismos eficientes, por medio de un aspersor plástico.

- **Procedimiento de cosecha del compost**

La cosecha del compost se realizó el mismo día para todas las diluciones evaluadas.

De cada repetición por dilución se extrajo 1 kg de muestra, siendo en total 5 kg por dilución y se mezcló los 5 kg para seleccionar dos muestras por dilución, una de 1 Kg y otra de 0.5 kg según recomendaciones técnicas del laboratorio, luego se empacaron en bolsas ziploc, colocando el código correspondiente.

Las 4 muestras de compost de 1 kg se llevaron al laboratorio de suelos, aguas, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) en la ciudad Lima, para analizar los parámetros de calidad del compost (MO, pH, P, K, N, CE, Cd, Cr, Pb).

Las 4 muestras de compost de 0.5 kg se llevaron al laboratorio CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A. en la ciudad Lima, para analizar Coliformes fecales.

- **Monitoreo durante el proceso de compostaje**

Durante todo el proceso de compostaje (89 días), se realizó el monitoreo de temperatura y humedad, hasta el día de la cosecha.

Monitoreo de temperatura

El monitoreo consistió en la medición de temperatura de las pilas de compostaje de manera interdiaria, el cual se realizó con la ayuda de un Equipo Monitor Soil Survey (termómetro de suelo).

Monitoreo de humedad

El monitoreo consistió en la medición de humedad de las pilas de compostaje de manera interdiaria, el cual se realizó con la ayuda de un Equipo Monitor Soil Survey (termómetro de suelo), el cual nos proporciona los siguientes resultados:

WET+ (Muy Húmedo) material contiene más de 50% de humedad.

WET (Húmedo) humedad es cercano al 45%.

NOR (Normal) humedad en 31% a 40%.

DRY (Seco) entre 21 a 30%.

DRY+ (Muy Seco) entre 20% de humedad a menos.



Figura 10. Monitoreo de temperatura y humedad

3.3.4. Trabajo de laboratorio

Para determinar los parámetros químicos de calidad del compost (MO, pH, P, K, N, CE, Cd, Cr, Pb) se enviaron cuatro (4) muestras de compost al laboratorio de suelos, aguas, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Para determinar los parámetros sanitarios (coliformes termotolerantes) de calidad del compost, se enviaron cuatro muestras del compost al laboratorio CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.

3.3.5. Trabajo de gabinete

Los resultados de MO, pH, CE, N, P, K, Cd, Cr, Pb y coliformes termotolerantes obtenidos de los laboratorios, se analizaron a través del análisis descriptivo de estadísticos y gráficos que permitieron analizar la calidad del compost, en comparación con la norma chilena 2880, producido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Cajabamba, departamento de Cajamarca.

Para determinar la mejor relación funcional lineal entre la dilución de ME y los parámetros de calidad del compost se hace un estudio de regresión.

Para ello se utiliza el análisis de la variancia para la regresión.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	Valor-p
Regresión	SCR	1	SCR	R/E	
Error	SCE	2	CME		
Total	Tyy	3			

Para esto, se plantea las siguientes hipótesis para cada uno de los parámetros de calidad del compost.

H_0 : No hay relación funcional lineal entre ME y la materia orgánica.

H_1 : Si hay relación funcional lineal entre ME y la materia orgánica.

Criterio de decisión: Si valor-p < 0.05, rechazar H_0 y aceptar H_1 .

Solo se elaboró la línea de regresión para las relaciones funcionales significativas (valor-p < 0.05).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las siguientes páginas se presenta los resultados del efecto de los microorganismos eficientes, en la de calidad de compost preparado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba, a través de tablas, figuras y respectiva interpretación.

4.1. Características físico - químicas de los parámetros de calidad del compost

Las características físico – químicas de los parámetros de calidad del compost preparado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba, para cada una de las tres diluciones de microorganismos eficientes (ME) estudiados se presentan en la Tabla 9.

Así mismo, se realizó la comparación de los parámetros de calidad del compost de cada dilución de microorganismos eficientes con la norma chilena.

Cabe mencionar que el lodo residual analizado antes de ser compostado presenta metales pesados en diferentes concentraciones, sin embargo, estos no superan el valor establecido en la norma chilena de calidad para compost clase A y clase B. La procedencia de estos metales estaría relacionado a la alimentación de la población, diversos estudios señalan su presencia en productos como cereales, arroz y pescado; otra fuente de procedencia estaría relacionado a los residuos generados en talleres mecánicos y a los productos utilizados en la limpieza doméstica (Castro 2022)¹.

¹ Castro, E. 2022. Determinación de la efectividad del lombricompostaje en la estabilidad de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín. Tesis Ing Ambiental. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 127 p.

Tabla 9. Características físico - químicas de los parámetros de calidad del compost con lodos residuales para cada una de las diluciones de microorganismos eficientes (ME) estudiadas

Parámetro	Unidad	Diluciones de Microorganismos Eficientes				Norma Chilena 2880 (NCh 2880)		Calidad Compost
		0 ml	600 ml	1200 ml	1800 ml	Clase A	Clase B	
Materia Orgánica (M.O.)	%	24.10	19.37	16.16	19.51	> = 20%	> = 20%	No cumple
Potencial de Hidrógeno	Ph	7.45	7.49	7.38	7.30	7 - 8	6.5 - 8.5	Clase A
Conductividad Eléctrica (CE)	dS/m	4.63	4.36	4.77	5.50	< 3	< = 8	Clase B
Nitrógeno Total (N)	%	1.18	0.90	0.74	0.92	> = 0.5%	> = 0.5%	Clase A
Fosforo (P)	ppm	86.22	86.86	82.80	84.37	No Especifica	No Especifica	-
Potasio (K)	ppm	662.00	1,310.00	2,140.00	2,340.00	No Especifica	No Especifica	-
Cadmio (Cd)	ppm	6.39	5.37	6.64	4.72	2	8	Clase B
Cromo (Cr)	ppm	<0.05	<0.05	< 0.05	< 0.05	120	600	Clase A
Plomo (Pb)	ppm	16.98	26.98	12.70	14.85	100	300	Clase A
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 g	3.5x10 ⁵	3.5x10 ⁶	9.2x10 ⁸	1.60x10 ¹⁰	< 1000		No cumple
Temperatura (T°)*	°C	23.00	25.00	25.00	27.00	No Especifica	No Especifica	-

Fuente: Laboratorio 14883 – Análisis de suelo Rutina (LASFIAUNALM.2019); Certificaciones del Perú S.A.

* Promedio de datos obtenidos del monitoreo interdiario.

4.2. Comparación de los parámetros de calidad del compost de cada dilución de microorganismos eficientes (ME) con la norma chilena

4.2.1. Materia orgánica (MO)

En la Figura 11, se muestra el contenido de materia orgánica del compost preparado con lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba, con la aplicación de ME en tres diluciones, presenta valores entre 16.16 % y 19.51 %. Según las especificaciones de la NCh 2880 se puede decir que el nivel de porcentaje de materia orgánica del compost no cumple con el parámetro de calidad.

Las diferencias observadas en el contenido de materia orgánica para las tres diluciones de ME son relativamente bajas, pero la tendencia es hacia una ligera disminución conforme se incrementan las diluciones de ME, lo cual se puede atribuir a una mayor descomposición de los lodos y consecuentemente menor materia orgánica (Huayllani 2017). Esto concuerda con el estudio de Vargas (2017), el cual obtuvo porcentajes de materia orgánica inferiores a los valores permisibles según la norma chilena 2880, por lo que no pudo clasificar la calidad de su compost en ninguna clase, atribuyendo los bajos valores al tipo de sustrato (residuos sólidos orgánicos), sin embargo en el presente estudio el material experimental fue el lodo residual caracterizado por el alto contenido de materia orgánica tal como se evidencia en el análisis del lodo residual (Tabla 4).

En este sentido la disminución del contenido de materia orgánica se debería a la interacción de la temperatura con los microorganismos eficientes adicionados en los tratamientos, ya que la temperatura favorece el predominio de grupos de los aerobios mesofílicos y actinomicetes quienes proporcionan una rápida descomposición de macromoléculas, haciendo que los macro y micronutrientes solubles estén disponibles por la rápida descomposición, entonces esto favorece la hidrolización que realizan los microorganismos para la obtención de nutrientes (Yáñez *et al.*, citado por Llanos 2021).

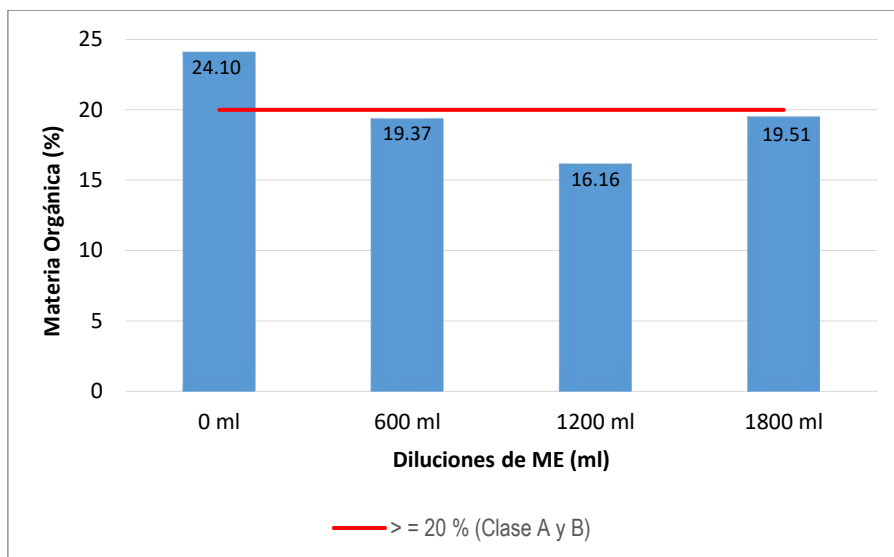


Figura 11. Contenido de materia orgánica en el compost.

4.2.2. pH

la Figura 12, muestra que el valor de pH de las diferentes diluciones de ME se encuentra dentro del rango de calidad de la NCh 2880 (7 – 8), indicando que es un compost de clase A, para uso en la agricultura, el cual tendrá un efecto benéfico si es agregado al suelo.

La aplicación de microorganismos a pesar que aceleran el proceso de descomposición y dotan de mejor valor nutricional al compost, no influyen relevantemente en el comportamiento del pH de producto final obtenido. Sin embargo, Huayllani (2017) en su estudio obtiene un incremento de pH del compostaje de lodos residuales con microorganismos eficaces y lo relaciona con la mayor liberación de iones como calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, que no solo generan mayor cantidad de hidroxilos y aumentan el pH del compost, sino que también contribuyen a la formación de sales que aumentan la conductividad eléctrica.

Es importante señalar que el pH del lodo residual fue de 7.60 unidades y en los tratamientos se han obtenido concentraciones menores, esto se debería a la maduración del compost ya que al final del proceso este tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos (Bueno *et al.* 2021).

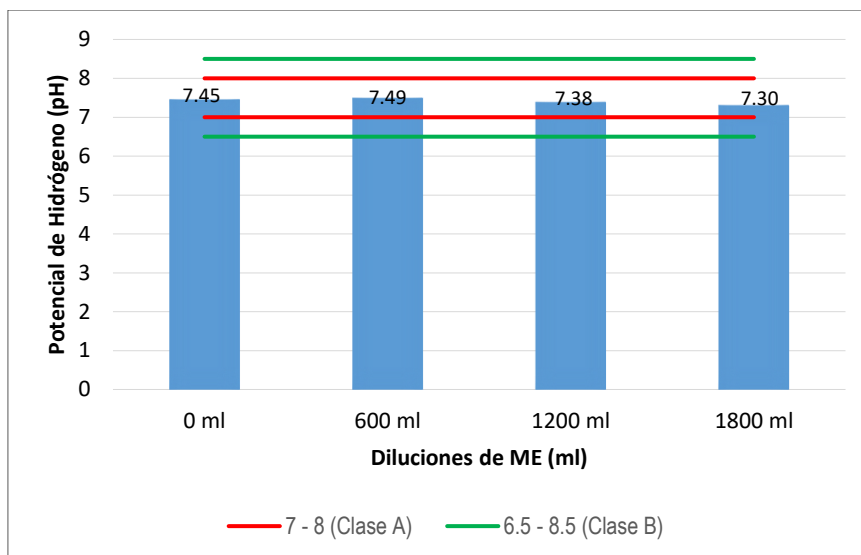


Figura 12. Valores de pH en el compost.

4.2.3. Conductividad eléctrica (CE)

La Figura 13, muestra que los valores de conductividad eléctrica son superiores al parámetro de calidad de compost de Clase A (< a 3 dS/m) de la NCh2880, pero están dentro de rango de calidad de compost de Clase B (<= a 8 dS/m), para uso en parques, jardines y recuperación de áreas degradadas.

Se observa una ligera tendencia a subir en relación a las diluciones de ME, esto se debería a la mineralización de la materia orgánica por los ME que produce un aumento de la concentración de nutrientes (Bueno *et al.* 2021). Cabe mencionar que la CE indica la concentración de sales en el compost por lo cual su aplicación al suelo puede dificultar la absorción de agua por las raíces de las plantas.

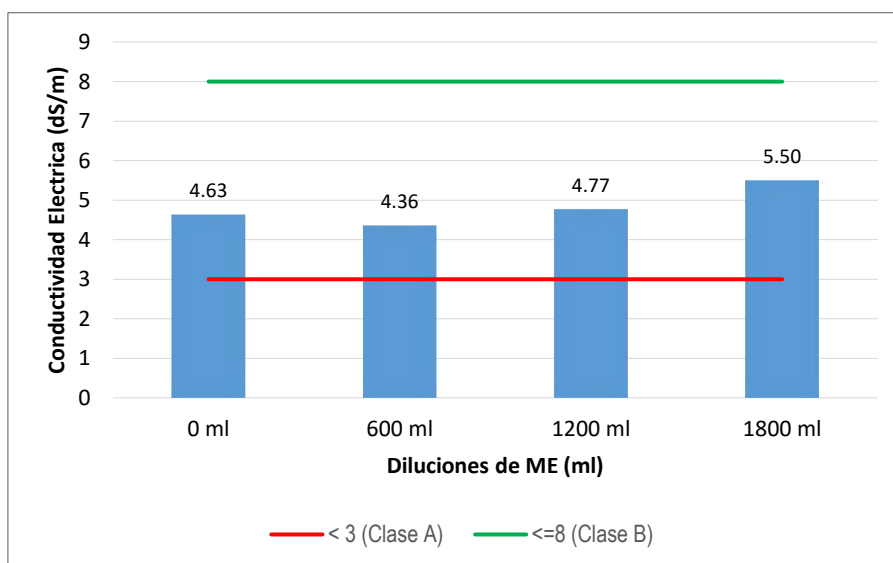


Figura 13. Conductividad eléctrica del compost.

4.2.4. Nitrógeno total

En la Figura 14, se observa que el contenido de nitrógeno en el compost, presenta valores entre 0.74 % y 1.18 %, estos valores obtenidos son superiores a los recomendados por la Nch 2880, cuyo valor de nitrógeno total debe ser mayor o igual a 0.5 %, indicando que es un compost de clase A, para uso en la agricultura.

Lo valores de nitrógeno total en las diferentes diluciones de microorganismos eficientes, en general tienen poca variación, pero se observa una disminución conforme se incrementa las diluciones de microorganismos eficientes de 600 ml a 1800 ml, respecto a la dosis con 0 ml de ME, debido a una posible inmovilización del nitrógeno, al ser asimilado por los microorganismos, así como a la volatilización de compuestos nitrogenados durante la fase termofílica, como lo indica Acosta *et al.* (2012).

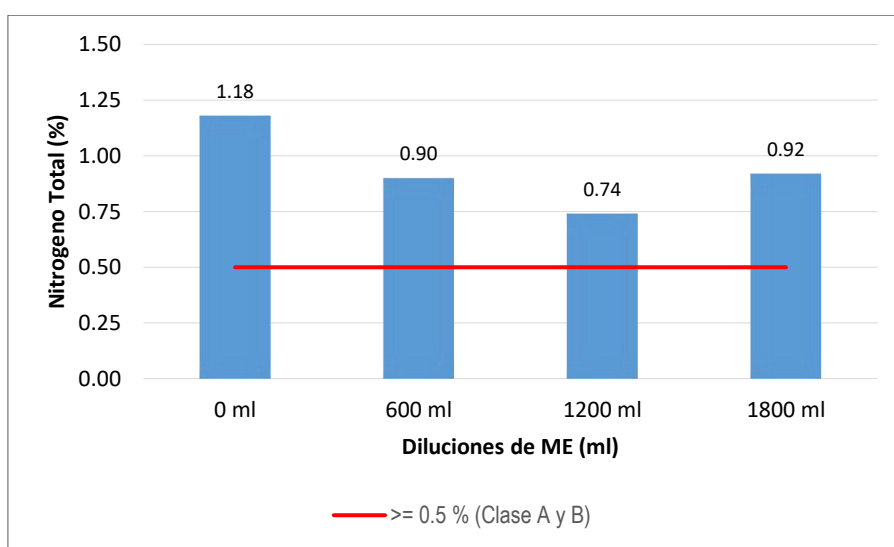


Figura 14. Contenido de nitrógeno total en el compost.

4.2.5. Fósforo y potasio total

El parámetro de fósforo (P) y potasio (K) no son considerado por la NCh 2880 de calidad de compost; pero, se consideró indispensable para conocer las propiedades que tendrá el producto como corrector de suelos.

El contenido de fósforo en los tratamientos no presenta marcadas diferencias en las concentraciones (Figura 15), así mismo este nutriente desempeña un papel muy importante en la formación de compuestos celulares ricos en energía, necesario para el metabolismo de los microorganismos (Bueno *et al.* 2021).

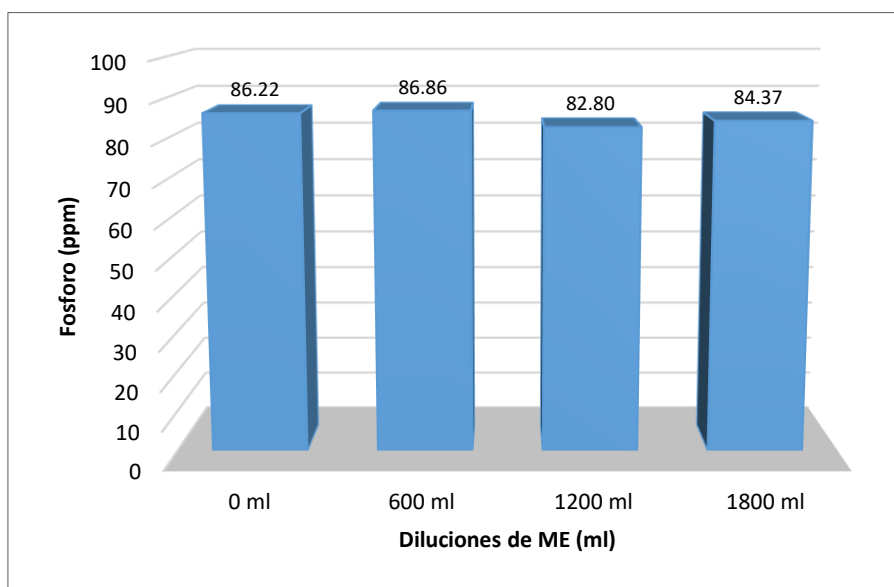


Figura 15. Contenido de fósforo en el compost.

En la Figura 16, se observa que la concentración de potasio (K) se incrementa conforme aumenta las diluciones de ME, esto se debería a la acción propia de los microorganismos eficientes, los cuales tienen el potencial de aumentar la concentración de nutrientes en el compost que, al mismo tiempo, están disponibles para las plantas (Sánchez *et al.*, citado por Álvarez *et al.* 2019).

El potasio al igual que el fósforo y el nitrógeno son macronutrientes primarios indispensables en el suelo por lo que un alto contenido de este componente es favorable para la calidad del compost.

Martínez (2011), menciona que la disponibilidad de fósforo (P) y potasio (K) es probable que obedecen a la composición del material orgánico que se empleó para la producción del compost, en razón que concluyó que el contenido de fósforo (P) y potasio (K) en los compost tiene una gran variabilidad, ya que depende de la fracción orgánica que se composta.

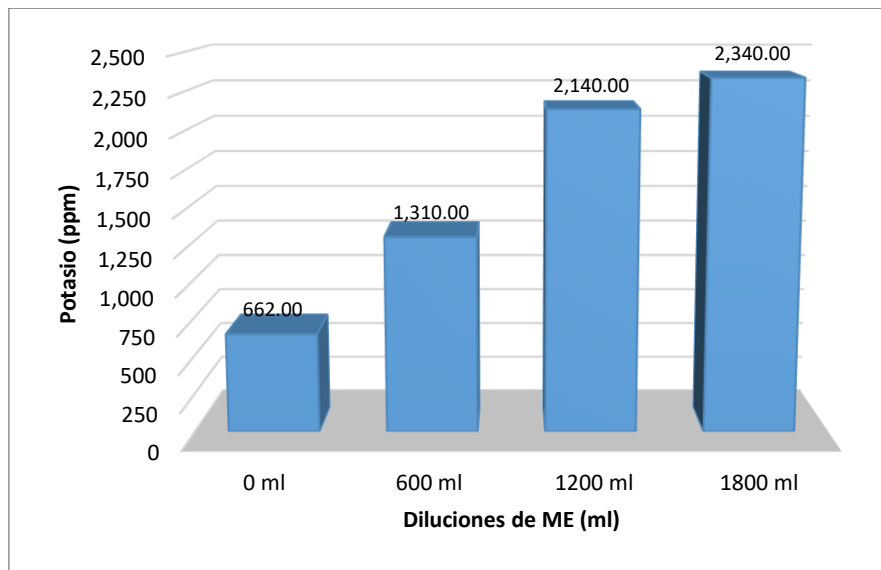


Figura 16. Contenido de potasio en el compost.

4.2.6. Cadmio

En la Figura 17, se muestra el contenido de cadmio en el compost en tres diluciones de ME, el cual presenta un aumento en el contenido total, respecto al lodo sin compostar (Tabla 4). Esto es atribuible a la mayor descomposición de los lodos y liberación de cadmio. Los microorganismos eficientes descomponen los lodos y liberan cadmio a formas solubles.

La mayor concentración de cadmio se registró en la dilución con 1200 ml de ME y la menor en la dilución con 1800 ml de ME, asimismo, no se evidencia alguna influencia de las diluciones de ME y la cantidad de cadmio presente en el compost dado que las tres diluciones (600, 1200 y 1800 ml) presentan concentraciones similares al tratamiento sin ninguna dilución de ME.

En el estudio realizado por Huayllani (2017) se obtuvo resultados similares con concentraciones de cadmio por encima de la norma de calidad de compost, sin embargo, el lodo no compostado presentaba concentraciones mayores a diferencia del presente estudio cuyo contenido de cadmio en el lodo fue menor.

Respecto al contenido de cadmio en el compost, comparando con la Norma Chilena 2880, se obtuvo que los resultados de cadmio de los cuatro tratamientos son mayores de los propuestos por la norma, lo que no cumple con lo establecido para un compost de clase A, la cual solo cumpliría para calidad B (8 ppm), para uso en parques, jardines y recuperación de áreas degradadas.

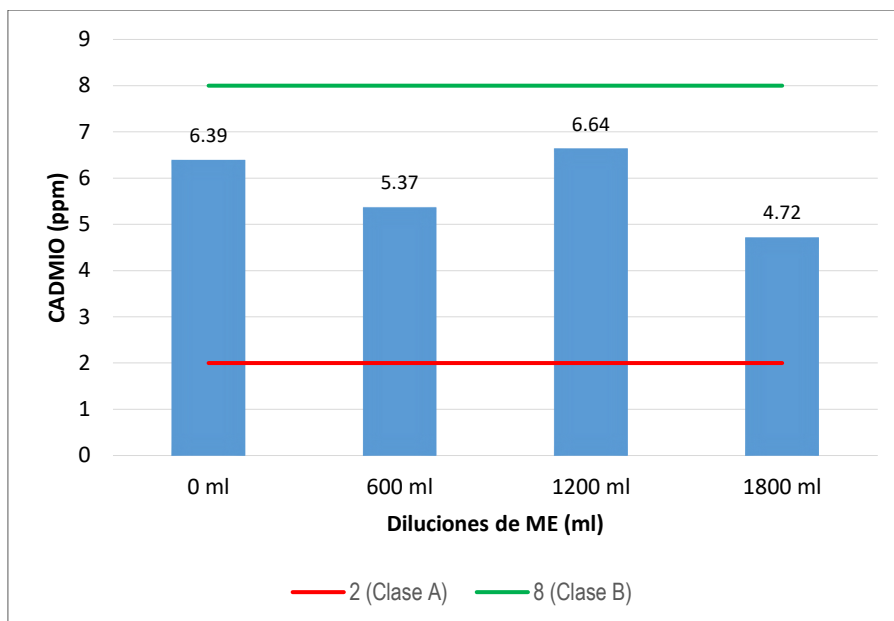


Figura 17. Contenido de cadmio en el compost.

4.2.7. Cromo

En la Figura 18, se muestra el contenido de cromo (Cr) en el compost en diferentes diluciones de microorganismos eficientes, el cual presenta una disminución en el contenido total, respecto al lodo sin compostar (Tabla 4).

Las concentraciones de cromo en todos los tratamientos son indetectables por debajo de los 0.05 ppm, así mismo no se evidencia alguna influencia de las diluciones de ME, dado que las concentraciones son iguales.

Respecto al contenido de cromo de las pilas de compost, en comparación con la Norma Chilena 2880 no sobrepasan las 120 ppm como lo establece la norma, indicando que es un compost de calidad A, para uso agrícola. El contenido de cromo (Cr) en el compost obtenido no afectaría a los suelos agrícolas, si ese fuese su uso final.

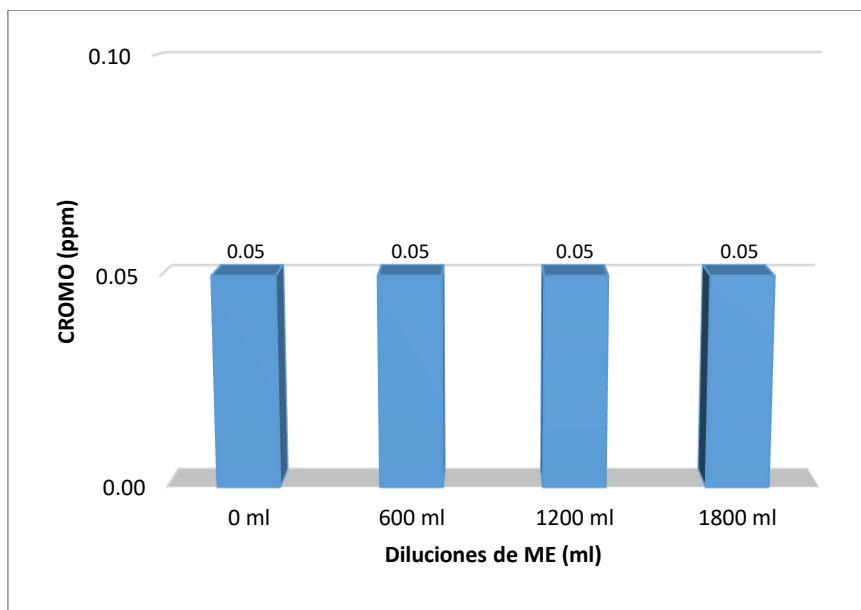


Figura 18. Contenido de cromo en el compost.

4.2.8. Plomo

En la Figura 19, se muestra el contenido de plomo en el compost en diferentes diluciones de microorganismos eficientes, el cual presenta una disminución en el contenido total, respecto al lodo sin compostar (Tabla 4).

La mayor concentración de plomo se registró en la dilución con 600 ml de ME y la menor en la dilución con 1200 ml de ME, así mismo no se evidencia alguna influencia de las diluciones de ME y la cantidad de plomo presente en el compost dado que los tratamientos con 1200 ml y 1800 ml de ME presentan concentraciones similares al tratamiento sin ninguna dilución de ME.

Respecto al contenido de plomo (Pb) en el compost, en comparación con la Norma Chilena 2880, se obtuvo que los resultados son menores a 100 ppm cumpliendo con la norma, indicando que es un compost de calidad A, para uso agrícola.

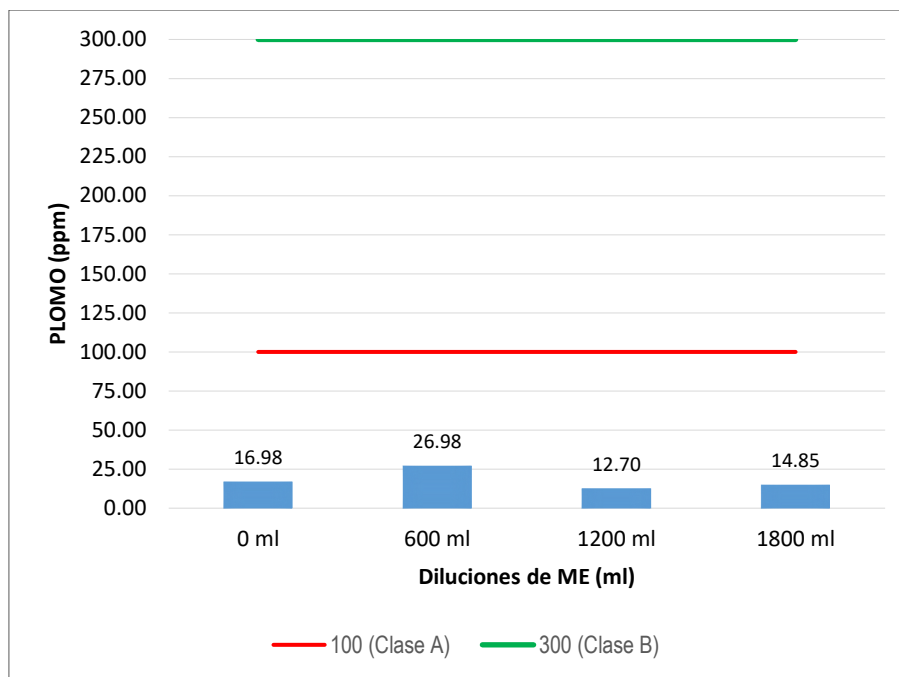


Figura 19. Contenido de plomo en el compost.

4.2.9. Coliformes termotolerantes

En la Figura 20, se muestra el contenido de coliformes termotolerantes, en comparación en la Norma Chilena 2880 se registra que todos los tratamientos superan los 1000 NMP/g tal como lo establece la norma, restringiéndose su uso en agricultura.

Se puede apreciar un incremento progresivo de coliformes termotolerantes, y la dilución de 1800 ml presenta una concentración muy elevada, todo ello porque no se llegó a tener una temperatura óptima de higienización para eliminar patógenos del compost, la cual debería alcanzar los 65 °C.

En la mayoría de trabajos de investigación la presencia de microorganismos va disminuyendo en la etapa termófila por que llegan a tener temperaturas por encima de 60 °C donde se garantiza la higienización, pero en nuestro caso por factores climáticos adversos no se llegó a tener una temperatura óptima para la higienización que garantice la inocuidad del compost.

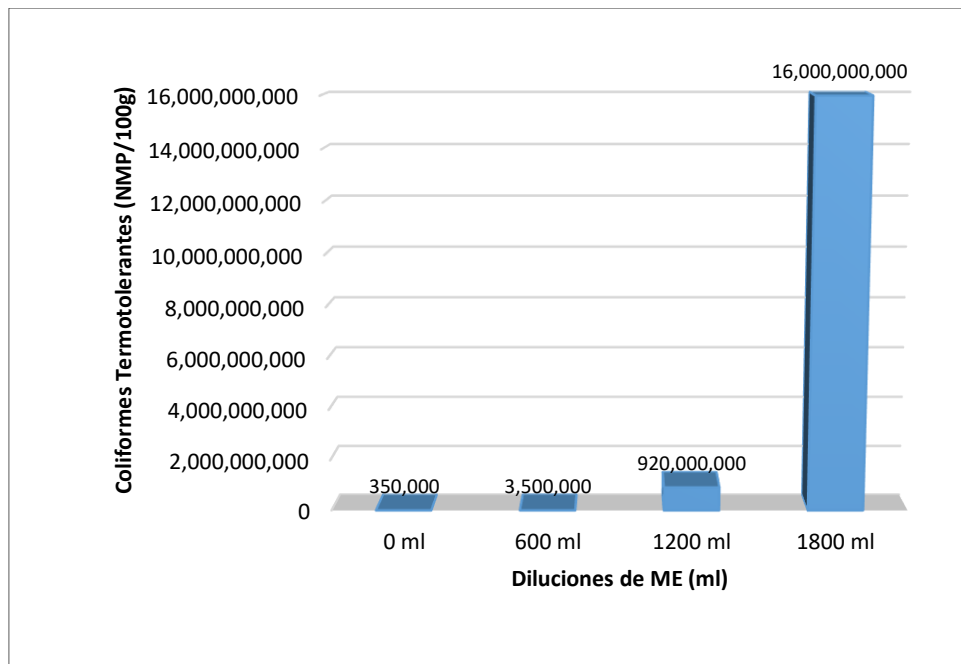


Figura 20. Contenido de coliformes termotolerantes en el compost.

De acuerdo a la EPA (1998) la presencia de estas bacterias en concentraciones altas en un compost o material orgánico indica que el proceso térmico ha sido insuficiente o deficiente. Es decir, el proceso de compostaje no alcanzó la temperatura adecuada para su desinfección, la cual estuvo entre 23 °C a 27°C, favoreciendo el incremento de coliformes termotolerantes.

Esto concuerda con el estudio de Estrada (2003) el cual estudió la influencia de la temperatura en la evolución de la población de microorganismos patógenos de origen fecal, como coliformes fecales en muestras de suelo y en muestras de suelo más biosólido, durante un período de 80 días. Obteniendo que las mayores poblaciones tanto de coliformes fecales como de *Escherichia coli* en las muestras de suelo más biosólido, se alcanzan a temperatura de 25 °C a partir del día 5 de incubación. Así mismo estas bacterias sufren un período de latencia o de aclimatación, en el que se van adaptando progresivamente a las condiciones del medio donde se encuentran; luego suelen tener una fase de crecimiento logarítmico, en el que comienzan su división y aumento a velocidad constante como consecuencia de la disponibilidad de aporte de nutrientes siendo mayor en los biosólidos (Fuccz *et al.* 2007).

Entonces en el presente estudio, el lodo residual combinado con las diluciones de microorganismos eficientes al no superar los 35 °C y permanecer entre los 23 °C a 27 °C favoreció el crecimiento logarítmico de coliformes termotolerantes además de brindarle los nutrientes necesario para su desarrollo.

4.3. Relación funcional entre diluciones de microorganismos eficientes (ME) y parámetros de calidad del compost

Los análisis de varianza para la regresión lineal entre las diluciones de microorganismos eficientes (ME) y los parámetros de calidad del compost se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis de variancia para la regresión lineal entre diluciones de microorganismos eficientes (ME) y cada parámetro de calidad del compost

Parámetro	SCR	SCE	CME	F₀	R²	Valor-p
Materia Orgánica (M.O.)	14.42	17.59	8.80	1.64	0.45	0.3289
Potencial de Hidrógeno	0.02	0.01	2.6E-03	6.01	0.75	0.1338
Conductividad Eléctrica (CE)	0.46	0.26	0.46	3.56	0.64	0.2000
Nitrógeno Total (N)	0.04	0.06	0.03	1.60	0.44	0.3337
Fosforo (P)	4.62	5.55	2.78	1.66	0.45	0.3261
Potasio (K)	1719324.80	83143.20	41571.60	41.36	0.95	0.0233
Cadmio (Cd)	0.70	1.70	0.85	0.82	0.29	0.4606
Cromo (Cr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Plomo (Pb)	21.36	98.27	49.14	0.43	0.18	0.5774
Coliformes Termotolerantes	1.19636062435125E20	6.560617523175E19	3.2803087615875E19	3.65	0.65	0.1964
Temperatura	42.88	4.88	0.27	158.28	0.90	0.0001

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en la Tabla 10, informa que existe una relación lineal significativa entre las diluciones de microorganismos eficientes y los parámetros de potasio (K) y temperatura (T°), para los otros parámetros no existe relación lineal significativa (valor-p > 0.05), lo que nos da a entender que los parámetros de MO, pH, CE, N, P, Cd, Cr, Pb y coliformes termotolerantes, no son influenciados por las diluciones de microorganismos eficientes (ME), esto puede explicarse a las bajas temperaturas obtenidas en el proceso de compostaje, no logrando temperaturas óptimas. Ya que la concentración de microorganismos presentes en el compostaje está relacionado a la temperatura, ya que a mayor temperatura mayor actividad microbiana y por ende mayor descomposición y mineralización de la materia orgánica (Bueno *et al.* 2008).

Determinada la significancia entre la dilución de ME y los parámetros de potasio (K) y temperatura, se representan las líneas de regresión para cada uno de estos parámetros en la Figura 21 y Figura 22, respectivamente.

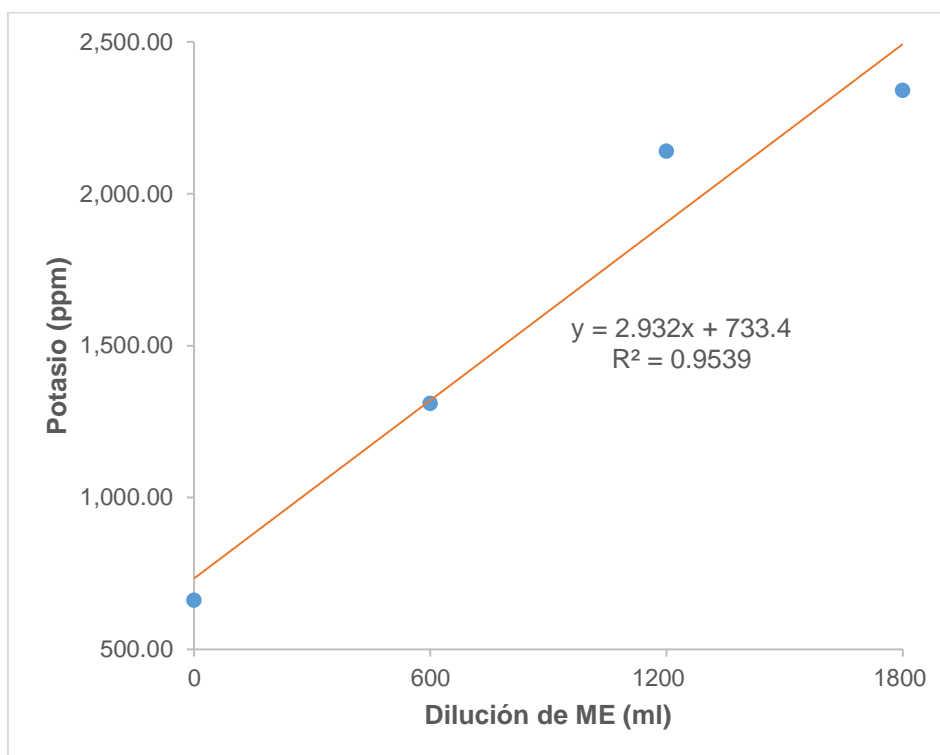


Figura 21. Regresión lineal entre las diluciones de ME y ppm de potasio (K).

La relación lineal significativa entre la dilución de ME y niveles de ppm de potasio en el compost representada en la Figura 21, nos informa que por cada mililitro de ME que se encuentra en la dilución, existe una variación de 2.932 ppm de potasio en el compost, lo que nos afirma de una relación directa (positiva) que al aumentar la dilución de ME se incrementa las ppm de potasio en el compost. Esta línea de regresión explica una alta influencia de la dilución de ME en el potasio, ya que alcanza un coeficiente de determinación alto ($R^2 = 95.39\%$).

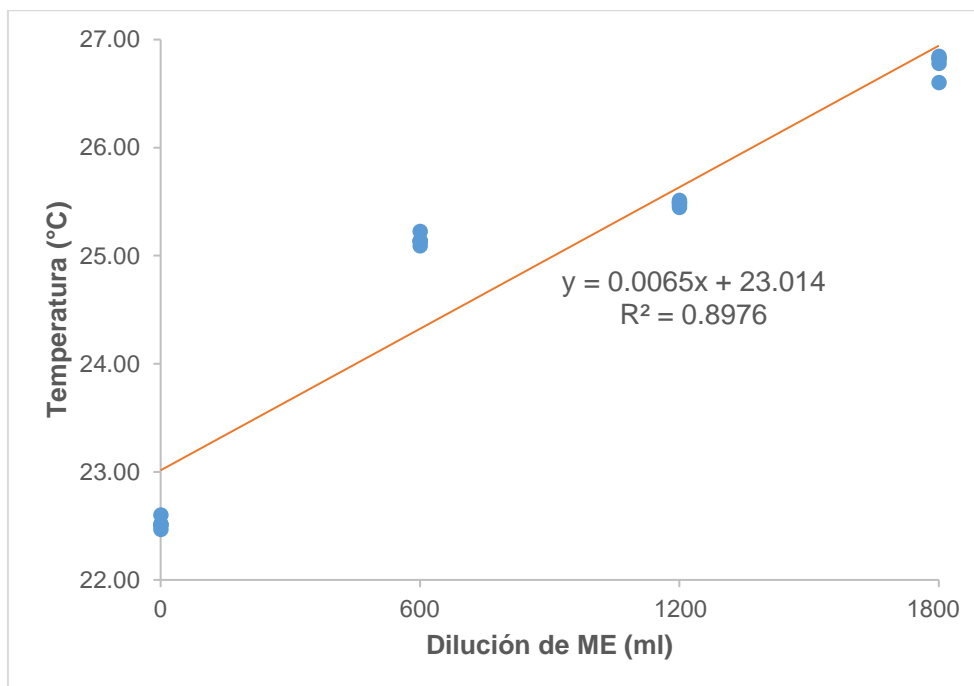


Figura 22. Regresión lineal entre las diluciones de ME y la temperatura

Al confeccionar la línea de regresión entre las diluciones de ME y la temperatura, se evidencia una relación lineal estadísticamente significativa, alta y directamente proporcional entre estas dos variables, informado que la temperatura del compost se incrementa en 0.0065 °C, por cada ml de ME que se incrementa en la dilución de ME, en un coeficiente de determinación (R^2) de 89.76 % que indica que la variación de la temperatura del compost es explicada en un 89.76 % a la influencia de la dilución de ME y el 12.24 % restante es explicado por otros factores no incluidos en el estudio de esta relación.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los objetivos propuestos y bajo las condiciones en las que ha sido conducido esta investigación, podemos llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

5.1. CONCLUSIONES

1. Las diluciones de microorganismos eficientes (ME) influyen de manera positiva, directa, alta y significativa en el K y la temperatura; y moderada y no significativa en la MO, pH, CE, N, Cd, Cr, Pb y coliformes termotolerantes.
2. Se encuentra una relación lineal estadísticamente significativa, alta y directamente proporcional entre las diluciones de microorganismos eficientes y el K ($R^2 = 0.95$, $p < 0.05$) y temperatura ($R^2 = 0.90$, $p < 0.05$).
3. Los resultados de la caracterización físico - química de los parámetros de calidad de compost, fueron comparados con la Norma Chilena 2880, donde:
 - a. El contenido de materia orgánica varía entre 16.16 % y 19.51 %, por ende, según las especificaciones de la Norma Chilena 2880 no cumple con el parámetro de calidad.
 - b. El pH de las diferentes diluciones de ME se encuentra dentro del rango de calidad de la Norma Chilena 2880 (7 - 8), indicando que es un compost de clase A, para uso agrícola.
 - c. Los valores de CE, están dentro de rango de calidad de compost de Clase B (≤ 8 dS/m), para uso en parques, jardines y recuperación de áreas degradadas.
 - d. El nitrógeno total en el compost, presenta valores entre 0.74 % y 1.18 %, superiores a los recomendados por la Norma Chilena 2880, indicando que es un compost de clase A, para uso agrícola.

- e. Los parámetros de fósforo (P) y potasio (K) no son considerados por la Norma Chilena 2880 de calidad de compost; pero, se consideró indispensable para conocer las propiedades que tendría el producto como corrector de suelos.
 - f. El contenido de cadmio en el compost, cumple para un compost de clase B en comparación con los estándares de calidad de la Norma Chilena 2880.
 - g. El contenido de cromo en el compost, no sobrepasan las 120 ppm como lo establece la Norma Chilena 2880, indicando que es un compost de clase A.
 - h. El contenido de plomo en el compost, son menores a 100 ppm cumpliendo con la Norma Chilena 2880, para un compost de clase A.
 - i. El contenido de coliformes termotolerantes en el compost, superan los límites permisibles como lo establece la Norma Chilena 2880, lo cual hace que el compost obtenido no garantiza la inocuidad e higienización del producto final en ninguno de las diluciones.
 - j. La temperatura promedio del compost varió entre 23 °C en la dilución de 0 ml de ME y 27 °C en la dilución de 1800 ml de ME, concluyendo que los ME si intervienen en la temperatura en el proceso de descomposición de los lodos para la elaboración de compost.
4. El tiempo de compostaje, para la dilución de 0 ml de ME (testigo) se dio en 89 días; para la dilución de 600 ml, dilución de 1200 ml y dilución de 1800 ml de ME en 70 días.

5.2. RECOMENDACIONES

Para próximas investigaciones de deberá tomar en cuenta las características climáticas de la región sierra, para la realización de compostaje de lodos residuales, siendo favorables los meses de estiaje.

Realizar el compostaje de lodos residuales con coberturas, para aumentar la temperatura del compost y alcanzar temperaturas de higienización e inocuidad y eliminar patógenos del compost, para lo cual debe alcanzar los 65 °C en la fase termofílica, así mismo tener en cuenta las características de los insumos y materiales de pisos y techos puesto que pueden influir de manera indirecta en el proceso de compostaje.

Realizar trabajos de investigación sobre compostaje de lodos residuales, con la aplicación de microorganismo eficientes, ya que se contribuye al aprovechamiento de estos y a la reducción de la contaminación ambiental que se pueda producir por el mal manejo y disposición de los lodos.

Continuar con las investigaciones de compostaje de lodos residuales, en combinación con otros materiales a compostar, u otras técnicas como el lombricompostaje y métodos de estabilización precompostaje, para que de esa forma se logre obtener un compost de calidad como producto de venta.

CAPITULO IV

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y; Zárraga, A; Rodríguez, L; El Zauahre, M. 2012. Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. Revista Multiciencias 12:18-24.
- Álvarez, M; Largo, A; Iglesias, S; Castillo, J. 2019. Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos (en línea). Scientia Agropecuaria 10(3):353-361. Consultado 11 jun. 2022. Disponible en <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05>
- Avendaño, D. 2003. El proceso de compostaje. Tesis ing. Agrónomo. Chile, Pontificia Universidad de Chile. 38 p.
- Amescua, J y Lara, M. 2017. El Zinc en las plantas. Revista Ciencia 68(3):1-8.
- Basaure, P. 2011, Manual de Lombricultura (en línea). Consultado 20 ago. 2018. Disponible en <http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/22523.html>.
- Bejarano, E; Delgadillo, S. 2007. Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá "La Modelo" por medio de la utilización de Microorganismos Eficientes. Tesis Ing. Ambiental y Sanitaria. Bogotá, Colombia, Universidad de la Salle. 187 p.
- Beltrán, T; Campos, C. 2016. Influencia de microorganismos eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, planta de tratamiento de Jauja. Tesis Ing. Ambiental y Forestal. Huancayo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú. 206 p.
- Bataller, M; Veliz, E y Díaz, A. 2015. Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. Revista CENIC. Ciencias Químicas 46:1-10. Consultado 27 de ago. 2022. ISSN: 1015-8553. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181642434003>
- Bohórquez, W. 2019. El proceso de compostaje. Universidad la Salle, Bogotá, Colombia. 40 p.
- Bueno Márquez, P; Díaz Blanco, M; Cabrera, F. 2008. Factores que afectan al proceso de Compostaje. España. 16 p.

- Castro, C; Henríquez, O; Freres, R. 2007. Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. *Revista de Geografía Norte Grande* 37:35-45.
- Cochachi, E; Vargas, M. 2008. Determinación del efecto de la relación C/N y la humedad en la calidad de compost obtenido a partir del tratamiento de residuos orgánicos del Distrito de San Pedro de Saño mediante el proceso de degradación aerobia a nivel laboratorio. Tesis de grado. Huancayo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Córdova Molina, CA. 2006. Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos. Tesis Ing. Forestal. Santiago, Chile, Universidad de Chile. 100 p.
- Cuevas-González, BG; Salgado-Valdés, A; Luna-Hernández, F; Díaz-García, A. 2016. Deshidratación y estabilización de lodos en biodigestor solar. *Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable* 2(2):44-54.
- Elika (Fundación Vasca para la seguridad alimentaria). 2014. Cromo (en línea). Consultado 28 ago. 2022. Disponible en https://seguridadalimentaria.elika.eus/wp-content/uploads/2018/01/30.Cromo_.pdf
- EPA (Environmental Protection Agency, United States). 1993. Code of Federal Regulations (CFR), title 40, Part 503: Standards for the use or disposal of sewage sludge. Washington, DC., EE.UU.
- EPA (Environmental Protection Agency, United States). 1998. An analysis of composting as an environmental remediation technology. EPA530-R-98-008. USA. P.15.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina. Santiago, Chile. 112 p.
- Farnese, S; Oliveira, A; Farnese, S; Gusman, S; Silveira, M; & Siman, I. 2014. Absorción de arsénico por las plantas: efectos sobre la nutrición mineral, el crecimiento y la capacidad antioxidante. *Idesia (Arica)* 32(1):99-106. Consultado 28 ago. 2022. Disponible en https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292014000100012
- Feoktistova, L y Clark, Y. 2018. El metabolismo del cobre. Sus consecuencias para la salud humana. *Cuba, Guantánamo, Universidad de Guantánamo.* 16(4):1-9

- Fioravanti, M; Vega, N. 2003. Eficiencia de microorganismos eficaces (ME) en la estabilización de lodos sépticos para su reúso agrícola. Tesis Ing. Agrónomo. Guácimo, Costa Rica, Universidad EARTH. 58 p.
- Fuccz, J; Cárdenas, M; Campos, C; Gómez, R. 2007. Comportamiento de coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de biosólido y estériles utilizados para la restauración ecológica de la cantera soratama, Bogotá (en línea). Universitas Scientiarum 12(2):111-120. Consultado 12 jun. 2022. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49912210>
- Gajewska, E. and Skłodowska M. 2007. Effect of nickel on ROS content and antioxidative enzyme activities in wheat leaves. BioMetals (20):27–36.
- Gallego, G. 2017. Estudio del uso de microorganismos eficientes para la valorización de residuos orgánicos como suplemento alimenticio animal. Tesis Ing. Químico. Catalunya, España, Universidad Politécnica de Catalunya. 63 p.
- Gil, M; Rueda, P; Salgado, A; Varela, A. 2006. Guía de uso de la tecnología EM en manejo de residuos sólidos orgánicos. FUNDASES. Colombia. 6 p.
- Giménez, P. 2010. Efectos sobre el sistema suelo-planta de compost de lodo anaerobio. Comparación con un fertilizante tradicional de la comarca de Cartagena. Tesis MSc. Cartagena, Colombia, Universidad politécnica de Cartagena. 179 p.
- Gonzales, IC. 2015. Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR. Tesis Dr. Córdoba, España, Universidad de Córdoba. 356 p.
- González, M; Houda, R; Daschner, A; Gil, A y Pichardo, S. 2021. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre el riesgo asociado a la presencia de níquel en alimentos para población sensibilizada a este metal. Revista del Comité Científico (35):1-38.
- Guy, S. 2021. El cobre en las plantas (en línea). Consultado 28 ago. 2022. Disponible en <https://cropaia.com/es/blog/cobre-en-las-plantas/>
- Hardisson, A; Revert, C; Martín, RE; Lozano, G; Rubio, C; Gutiérrez, AJ. 2004. El plomo como contaminante alimentario (en línea). Revista de Toxicología 21(2-3):72-80. Consultado 28 ago. 2022. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91921303>

- Hernández, JM. 2004. Uso de lodos residuales procedentes de la ciudad de Durango y su efecto en la productividad y concentración de metales en sorgo forrajero (*Sorghum vulgare Pers.*). Tesis Dr. CA. México, Universidad Autónoma de Nuevo León. 145 p.
- Hernández, Y; Rodríguez, P; Peña, M; Meriño, Y; y Cartaya, O. 2019. Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. 10 ed. Cultivos Tropicales 40(3):1-19.
- Huayllani, K. 2017. Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de Compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016. Tesis Ing. Ambiental. Huancayo, Perú, Universidad Continental. 152 p.
- Hoyos, D; Alvis, N; Jabib, L; *et al.* 2008. Utilidad de los microorganismos eficaces (EM) en una explotación avícola de Córdoba: Parámetros productivos y control ambiental. Revista MVZ Córdoba, 13 (2): 1369-1379.
- Ibañez, J. 2007. Biodisponibilidad de los Nutrientes por las Plantas, pH del Suelo y el Complejo de Cambio o Absorbente (en línea). Consultado 8 ago. 2022. Disponible en <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/09/65262>
- INN (Instituto Nacional de Normalización, Chile). 2005. Compost-Clasificación y requisitos. Nch2880-2004. Santiago, Chile. 22 feb. 19 p.
- Jiménez, R. 2017. Introducción a la contaminación de suelos. Mundi Prensa, Madrid, España. 604 p.
- Julca, A, Meneses, L, Blas, R y Bello, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. Idesia (Arica), 24(1):49-61. Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Kolmans, E; Vásquez, D. 1996. Estiércol y compost. Manual de agricultura ecológica. p. 101 -105.
- Limón Macías, JG. 2013. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿Problema o Recurso?. Jalisco, México. 45 P.
- López, I; Sierra, M. J; Rodríguez, J; y Millán, R. 2014. Estudio de la absorción y distribución de mercurio en *Nerium oleander L.* en la ribera del río Valdeazogues (Estación de Chillón-Almadén). Ciemat 67(14):1-41.

- Mahamud, M; Gutiérrez, A; Sastre, H. 1996. Biosólidos generados en la depuración de aguas (I): Planteamiento del problema. *Ingeniería del agua* 3(2):47-62.
- Mayea, S. 1992. Tecnología para la producción de compost (biotierra) a partir de la inoculación con microorganismos de diversos restos vegetales. CIDA.
- Metcalf y Eddy. 1996. *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. 3 ed. México, McGraw-Hill. 530 p.
- Minaz. 1991. Instructivo para la elaboración de compost a partir de la agroindustria azucarera. ICIDCA. Dirección de agrotecnia. La Habana. 40 p.
- Miyashiro, I. 2014. Calidad de seis formulaciones de compost enriquecido con guano de islas. Tesis Ing. Amb. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 164p.
- Miyashiro, G; Meggs, J. 2007. Medición del efecto de la aplicación de Microorganismos Eficaces (EM) en la generación de gas metano (CH₄) en los sistemas biodigestores a escala (en línea). Tesis Ing. Agrónomo. Costa Rica, Universidad Earth. 65 p.
- Montero, J. 2006. Diseño de máquina volteadora de Compost. Tesis Ing. Mecánico. Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile. 88 p.
- Morocho, MT; Leiva-Mora, M. 2019. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola* 46(2): 93-103.
- Navarro, R. 2006. CESTA. Amigos de la tierra Manual para hacer composta aeróbica. 21 p.
- ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial). 2007. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Secretaría Estatal para Asuntos Económicos (SECO), Laboratorio de Análisis de Residuos (LARE). La Habana, Cuba. 153 p.
- Orejuela, J. 2017. Evaluación de la eficacia de la *Heliconia psittacorum* (heliconiaceae) cultivada hidropónicamente para la fitorremediación de aguas con presencia de cromo (VI). Tesis ing Biotecnología ambiental. Ecuador, Escuela superior politécnica de chimborazo. 141 p.
- Oropeza García, N. 2006. Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia* 1:51-58.

- Ortiz-Hernández, M; Gutiérre- Ruiz, M; Sánchez-Salinas, E. 1995. Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 11(2):105-115.
- Ortiz Muñoz, DF. 2011. Manual de Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales para poblaciones medianas de la Región Sur del Ecuador. Tesis Ing. Civil. Loja, Ecuador, Universidad Técnica Particular de Loja. 388 p.
- Perez, P y Azcona, M. 2012. Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas* 17(3):199-205.
- Posada, M y Arroyave, M. 2006. Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Revista EIA* (6):57-67.
- Rafael, M. 2015. Proceso de producción y aplicación del producto microorganismos eficaces en la calidad de compost a partir de la mezcla de tres tipos de residuos orgánicos, Sapallanga – Huancayo. Tesis Ing. Forestal y Ambiental. Huancayo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú. 116 p.
- Rodriguez, N; McLaughlin, M y Pennock, D. 2019. La contaminación del suelo: una realidad oculta. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, FAO. 144 p.
- Rojas, H. 2014. Estudio del efecto de la aplicación de microorganismos efectivos en la calidad del biol en un proceso de biodigestión anaerobia. Tesis Lic. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 86 p.
- Romero, JA. 2004. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. 3 ed. Bogotá, Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería. 1254 p.
- Rubio, C; González Weller, D; Martín-Izquierdo, R. E; Revert, C; Rodríguez, I; & Hardisson, A. 2007. El zinc: oligoelemento esencial (en línea). *Nutrición Hospitalaria* 22(1):101-107. Consultado 29 ago. 2022. Disponible en http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112007000100012&lng=es&tlng=es.
- Sánchez Gonzales, f. 2015. Evaluación de la producción de compost con microorganismos eficientes en el distrito de Rupa Rupa. Tesis ing. En Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. 125 p.

- SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social, México). 2001. Manual Técnico administrativo para el Servicio de Limpia Municipal. México. p. 69-86.
- Serramiá Moreno, N. 2013. Evaluación de los gases de efecto invernadero en el compostaje de alperujo y de la inmovilización de carbono en su aplicación al suelo. Murcia, España, Universidad de Murcia. 154 p.
- Soriano, JA. 2016. Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de "Microorganismos Eficaces"- Concepción. Tesis Ing. Forestal y Ambiental. Huancayo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú. 113 p.
- Tellez, D. 2004. Caracterización de las melazas empleadas en el proceso fermentativo de la destilería San Martín-Industria de licores del valle. Tesis pregrado Bacteriología. Santiago de Cali, Cali, Colombia, Facultad de bacteriología y Laboratorio clínico, Universidad del Valle. 79 p.
- Toro Carrasco, FC. 2005. Áreas potenciales para la aplicación de biosólidos en plantaciones forestales de VI región de Chile. Tesis Ing. Forestal. Santiago, Chile, Universidad de Chile. 74 p.
- Valverde, H. 2015. Diseño y automatización de un sistema de aireación forzada para el compostaje de residuos hortícolas en la comunidad de Gatazo Cantón Colta. Tesis Ing. Quim. Riobamba, Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 193 p.
- Velasco, M; Polo, A. (2000). Características ácido base de ácidos húmicos de compost de lodos de aguas residuales. Información Tecnológica, vol 11, N°2. La Serena, Chile.
- Yllanes, P; Vélez A y Lozano, S. 2014. Efectos fitotóxicos del plomo en maíz híbrido dekalb (zea mays l.) En suelo arenoso y limoso. The Biologist (Lima) 12(2):1-12.

ANEXOS

Anexo 1

Monitoreo de temperatura durante el proceso de compostaje

Control de Temperatura (°C) - DILUCION 0 (Aplicación de 0 ml de ME)						
FECHA	DÍA	REPETICIONES				
		I	II	III	IV	V
15/11/2018	Jueves	17	17	17	17	17
17/11/2018	Sábado	17	17	17	17	17
19/11/2018	Lunes	17	17	17	17	17
21/11/2018	Miércoles	17	17	17	17	17
23/11/2018	Viernes	17	17	17	17	17
25/11/2018	Domingo	18	18	18	18	18
27/11/2018	Martes	18	18	18	18	18
29/11/2018	Jueves	18	18	18	18	18
01/12/2018	Sábado	19	19	19	19	19
03/12/2018	Lunes	19	19	19	19	19
05/12/2018	Miércoles	19	19	19	19	19
07/12/2018	Viernes	20	20	20	20	20
09/12/2018	Domingo	20	20	20	20	20
11/12/2018	Martes	20	20	20	20	20
13/12/2018	Jueves	21	21	22	22	22
15/12/2018	Sábado	22	22	22	22	22
17/12/2018	Lunes	23	23	23	23	23
19/12/2018	Miércoles	24	24	24	24	24
21/12/2018	Viernes	25	25	25	25	25
23/12/2018	Domingo	25	25	25	26	25
25/12/2018	Martes	27	27	27	27	27
27/12/2018	Jueves	29	29	30	30	30
29/12/2018	Sábado	30	30	30	30	30
31/12/2018	Lunes	31	31	30	30	30
02/01/2019	Miércoles	30	30	30	32	31
04/01/2019	Viernes	30	30	30	30	30
06/01/2019	Domingo	29	29	30	30	30
08/01/2019	Martes	29	29	29	29	28
10/01/2019	Jueves	29	28	28	29	28
12/01/2019	Sábado	28	28	28	28	27
14/01/2019	Lunes	27	27	27	27	27
16/01/2019	Miércoles	26	26	26	26	27
18/01/2019	Viernes	26	25	25	25	25
20/01/2019	Domingo	25	25	25	25	25
22/01/2019	Martes	24	24	24	24	24
24/01/2019	Jueves	23	23	23	23	23
26/01/2019	Sábado	22	22	22	22	22
28/01/2019	Lunes	21	21	21	21	21
30/01/2019	Miércoles	20	20	20	20	20
01/02/2019	Viernes	19	19	19	19	19
03/02/2019	Domingo	19	19	19	19	19
05/02/2019	Martes	19	19	19	19	19
07/02/2019	Jueves	18	18	18	18	18
09/02/2019	Sábado	18	18	18	18	18
11/02/2019	Lunes	18	18	18	18	18

Control de Temperatura (°C) - DILUCION 1 (Aplicación de 600 ml de ME)						
FECHA	DÍA	REPETICIONES				
		I	II	III	IV	V
15/11/2018	Jueves	17	17	17	17	17
17/11/2018	Sábado	18	18	18	18	18
19/11/2018	Lunes	18	18	18	18	18
21/11/2018	Miércoles	19	19	19	19	19
23/11/2018	Viernes	20	20	20	20	20
25/11/2018	Domingo	23	23	23	23	23
27/11/2018	Martes	26	26	26	26	26
29/11/2018	Jueves	28	28	28	28	28
01/12/2018	Sábado	30	31	31	31	31
03/12/2018	Lunes	33	33	33	33	34
05/12/2018	Miércoles	35	35	35	35	36
07/12/2018	Viernes	38	38	38	38	38
09/12/2018	Domingo	40	40	40	40	40
11/12/2018	Martes	41	41	41	41	41
13/12/2018	Jueves	39	40	40	40	40
15/12/2018	Sábado	38	38	38	38	38
17/12/2018	Lunes	37	37	37	37	37
19/12/2018	Miércoles	35	35	35	35	36
21/12/2018	Viernes	32	32	32	32	32
23/12/2018	Domingo	30	30	30	30	30
25/12/2018	Martes	28	28	28	28	29
27/12/2018	Jueves	28	29	28	28	28
29/12/2018	Sábado	27	27	27	27	27
31/12/2018	Lunes	27	27	27	27	27
02/01/2019	Miércoles	26	26	26	26	26
04/01/2019	Viernes	25	25	25	25	25
06/01/2019	Domingo	24	24	24	24	24
08/01/2019	Martes	23	23	23	23	23
10/01/2019	Jueves	23	22	22	22	22
12/01/2019	Sábado	21	21	21	21	21
14/01/2019	Lunes	20	20	20	20	20
16/01/2019	Miércoles	20	20	20	20	20
18/01/2019	Viernes	20	20	20	20	20
20/01/2019	Domingo	19	19	19	19	19
22/01/2019	Martes	19	19	19	19	19
24/01/2019	Jueves	19	19	19	19	19
26/01/2019	Sábado	19	19	19	19	19
28/01/2019	Lunes	18	18	19	19	19
30/01/2019	Miércoles	18	18	18	18	18
01/02/2019	Viernes	18	18	18	18	18
03/02/2019	Domingo	18	18	18	18	18
05/02/2019	Martes	18	18	18	18	18
07/02/2019	Jueves	18	18	18	18	18
09/02/2019	Sábado	18	18	18	18	18
11/02/2019	Lunes	18	18	18	18	18

Control de Temperatura (°C) - DILUCION 2 (Aplicación de 1200 ml de ME)						
FECHA	DÍA	REPETICIONES				
		I	II	III	IV	V
15/11/2018	Jueves	17	17	17	17	17
17/11/2018	Sábado	18	18	18	18	18
19/11/2018	Lunes	18	18	18	18	18
21/11/2018	Miércoles	20	20	20	20	20
23/11/2018	Viernes	24	25	25	25	25
25/11/2018	Domingo	27	27	27	27	28
27/11/2018	Martes	29	29	29	29	29
29/11/2018	Jueves	30	30	30	30	30
01/12/2018	Sábado	32	32	32	32	32
03/12/2018	Lunes	35	34	34	34	34
05/12/2018	Miércoles	38	39	39	39	39
07/12/2018	Viernes	41	42	42	42	42
09/12/2018	Domingo	43	43	43	43	43
11/12/2018	Martes	40	40	40	40	41
13/12/2018	Jueves	38	37	37	37	37
15/12/2018	Sábado	35	35	35	35	35
17/12/2018	Lunes	32	33	32	32	32
19/12/2018	Miércoles	30	30	31	30	30
21/12/2018	Viernes	30	30	30	30	30
23/12/2018	Domingo	29	29	29	29	29
25/12/2018	Martes	29	29	29	29	29
27/12/2018	Jueves	28	28	28	28	28
29/12/2018	Sábado	27	27	27	27	27
31/12/2018	Lunes	26	26	26	26	26
02/01/2019	Miércoles	25	25	25	25	25
04/01/2019	Viernes	24	24	24	24	24
06/01/2019	Domingo	24	24	24	24	24
08/01/2019	Martes	23	23	23	23	23
10/01/2019	Jueves	23	23	23	23	23
12/01/2019	Sábado	22	22	22	22	22
14/01/2019	Lunes	22	22	22	22	22
16/01/2019	Miércoles	21	21	21	21	21
18/01/2019	Viernes	21	21	21	21	21
20/01/2019	Domingo	20	20	20	20	20
22/01/2019	Martes	20	20	20	20	20
24/01/2019	Jueves	19	19	19	19	19
26/01/2019	Sábado	19	19	19	19	19
28/01/2019	Lunes	19	19	19	19	19
30/01/2019	Miércoles	19	19	19	19	19
01/02/2019	Viernes	18	18	18	18	18
03/02/2019	Domingo	18	18	18	18	18
05/02/2019	Martes	18	18	18	18	18
07/02/2019	Jueves	18	18	18	18	18
09/02/2019	Sábado	18	18	18	18	18
11/02/2019	Lunes	18	18	18	18	18

Control de Temperatura (°C) - DILUCION 3 (Aplicación de 1800 ml de ME)						
FECHA	DÍA	REPETICIONES				
		I	II	III	IV	V
15/11/2018	Jueves	17	17	17	17	17
17/11/2018	Sábado	19	19	19	19	19
19/11/2018	Lunes	21	21	21	21	12
21/11/2018	Miércoles	25	25	25	25	25
23/11/2018	Viernes	28	28	29	29	29
25/11/2018	Domingo	33	33	33	33	33
27/11/2018	Martes	37	37	36	37	36
29/11/2018	Jueves	39	39	39	39	39
01/12/2018	Sábado	41	41	41	41	40
03/12/2018	Lunes	43	45	45	45	45
05/12/2018	Miércoles	46	46	46	46	46
07/12/2018	Viernes	44	44	44	44	44
09/12/2018	Domingo	43	42	42	42	42
11/12/2018	Martes	39	39	39	39	39
13/12/2018	Jueves	38	38	38	37	38
15/12/2018	Sábado	35	35	35	35	35
17/12/2018	Lunes	33	33	33	33	33
19/12/2018	Miércoles	32	31	31	31	31
21/12/2018	Viernes	31	31	30	31	31
23/12/2018	Domingo	29	29	29	30	29
25/12/2018	Martes	29	29	29	29	29
27/12/2018	Jueves	28	28	28	28	28
29/12/2018	Sábado	27	27	27	27	27
31/12/2018	Lunes	26	26	26	27	26
02/01/2019	Miércoles	26	26	25	25	25
04/01/2019	Viernes	24	24	24	24	25
06/01/2019	Domingo	24	24	24	24	24
08/01/2019	Martes	23	23	23	23	23
10/01/2019	Jueves	23	23	23	22	22
12/01/2019	Sábado	21	21	21	21	21
14/01/2019	Lunes	21	21	21	21	21
16/01/2019	Miércoles	20	20	20	20	20
18/01/2019	Viernes	20	20	20	20	20
20/01/2019	Domingo	20	20	20	20	20
22/01/2019	Martes	19	19	19	19	19
24/01/2019	Jueves	19	19	19	19	19
26/01/2019	Sábado	19	19	19	19	19
28/01/2019	Lunes	19	19	19	19	19
30/01/2019	Miércoles	18	19	18	18	19
01/02/2019	Viernes	18	18	18	18	18
03/02/2019	Domingo	18	18	18	18	18
05/02/2019	Martes	18	18	18	18	18
07/02/2019	Jueves	18	18	18	18	18
09/02/2019	Sábado	18	18	18	18	18
11/02/2019	Lunes	18	18	18	18	18

Anexo 2

Monitoreo de humedad durante el proceso de compostaje

Control de Humedad % - DILUCION 0 (Aplicación de 0 ml de ME)						
FECHA	DÍA	REPETICIONES				
		I	II	III	IV	V
15/11/2018	Jueves	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
17/11/2018	Sábado	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
19/11/2018	Lunes	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
21/11/2018	Miércoles	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
23/11/2018	Viernes	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
25/11/2018	Domingo	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
27/11/2018	Martes	WET	WET	WET	WET	WET
29/11/2018	Jueves	WET	WET	WET	WET	WET
01/12/2018	Sábado	WET	WET	WET	WET	WET
03/12/2018	Lunes	WET	WET	WET	WET	WET
05/12/2018	Miércoles	WET	WET	WET	WET	WET
07/12/2018	Viernes	WET	WET	WET	WET	WET
09/12/2018	Domingo	WET	WET	WET	WET	WET
11/12/2018	Martes	WET	WET	WET	WET	WET
13/12/2018	Jueves	WET	WET	WET	WET	WET
15/12/2018	Sábado	WET	WET	WET	WET	WET
17/12/2018	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
19/12/2018	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
21/12/2018	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
23/12/2018	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
25/12/2018	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
27/12/2018	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
29/12/2018	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
31/12/2018	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
02/01/2019	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
04/01/2019	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
06/01/2019	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
08/01/2019	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
10/01/2019	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
12/01/2019	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
14/01/2019	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
16/01/2019	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
18/01/2019	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
20/01/2019	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
22/01/2019	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
24/01/2019	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
26/01/2019	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
28/01/2019	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
30/01/2019	Miércoles	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
01/02/2019	Viernes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
03/02/2019	Domingo	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
05/02/2019	Martes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
07/02/2019	Jueves	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
09/02/2019	Sábado	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
11/02/2019	Lunes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY

Control de Humedad % - DILUCION 1 (Aplicación de 600 ml de ME)						
FECHA	DÍA	REPETICIONES				
		I	II	III	IV	V
15/11/2018	Jueves	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
17/11/2018	Sábado	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
19/11/2018	Lunes	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
21/11/2018	Miércoles	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
23/11/2018	Viernes	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
25/11/2018	Domingo	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
27/11/2018	Martes	WET	WET	WET	WET	WET
29/11/2018	Jueves	WET	WET	WET	WET	WET
01/12/2018	Sábado	WET	WET	WET	WET	WET
03/12/2018	Lunes	WET	WET	WET	WET	WET
05/12/2018	Miércoles	WET	WET	WET	WET	WET
07/12/2018	Viernes	WET	WET	WET	WET	WET
09/12/2018	Domingo	WET	WET	WET	WET	WET
11/12/2018	Martes	WET	WET	WET	WET	WET
13/12/2018	Jueves	WET	WET	WET	WET	WET
15/12/2018	Sábado	WET	WET	WET	WET	WET
17/12/2018	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
19/12/2018	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
21/12/2018	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
23/12/2018	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
25/12/2018	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
27/12/2018	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
29/12/2018	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
31/12/2018	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
02/01/2019	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
04/01/2019	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
06/01/2019	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
08/01/2019	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
10/01/2019	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
12/01/2019	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
14/01/2019	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
16/01/2019	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
18/01/2019	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
20/01/2019	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
22/01/2019	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
24/01/2019	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
26/01/2019	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
28/01/2019	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
30/01/2019	Miércoles	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
01/02/2019	Viernes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
03/02/2019	Domingo	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
05/02/2019	Martes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
07/02/2019	Jueves	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
09/02/2019	Sábado	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
11/02/2019	Lunes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY

Control de Humedad % - DILUCION 2 (Aplicación de 1200 ml de ME)						
FECHA	DÍA	REPETICIONES				
		I	II	III	IV	V
15/11/2018	Jueves	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
17/11/2018	Sábado	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
19/11/2018	Lunes	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
21/11/2018	Miércoles	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
23/11/2018	Viernes	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
25/11/2018	Domingo	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
27/11/2018	Martes	WET	WET	WET	WET	WET
29/11/2018	Jueves	WET	WET	WET	WET	WET
01/12/2018	Sábado	WET	WET	WET	WET	WET
03/12/2018	Lunes	WET	WET	WET	WET	WET
05/12/2018	Miércoles	WET	WET	WET	WET	WET
07/12/2018	Viernes	WET	WET	WET	WET	WET
09/12/2018	Domingo	WET	WET	WET	WET	WET
11/12/2018	Martes	WET	WET	WET	WET	WET
13/12/2018	Jueves	WET	WET	WET	WET	WET
15/12/2018	Sábado	WET	WET	WET	WET	WET
17/12/2018	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
19/12/2018	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
21/12/2018	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
23/12/2018	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
25/12/2018	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
27/12/2018	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
29/12/2018	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
31/12/2018	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
02/01/2019	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
04/01/2019	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
06/01/2019	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
08/01/2019	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
10/01/2019	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
12/01/2019	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
14/01/2019	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
16/01/2019	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
18/01/2019	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
20/01/2019	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
22/01/2019	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
24/01/2019	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
26/01/2019	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
28/01/2019	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
30/01/2019	Miércoles	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
01/02/2019	Viernes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
03/02/2019	Domingo	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
05/02/2019	Martes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
07/02/2019	Jueves	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
09/02/2019	Sábado	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
11/02/2019	Lunes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY

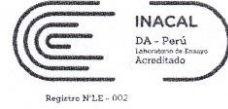
Control de Humedad % - DILUCION 3 (Aplicación de 1800 ml de ME)						
FECHA	DÍA	REPETICIONES				
		I	II	III	IV	V
15/11/2018	Jueves	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
17/11/2018	Sábado	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
19/11/2018	Lunes	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
21/11/2018	Miércoles	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
23/11/2018	Viernes	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
25/11/2018	Domingo	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
27/11/2018	Martes	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
29/11/2018	Jueves	WET+	WET+	WET+	WET+	WET+
01/12/2018	Sábado	WET	WET	WET	WET	WET
03/12/2018	Lunes	WET	WET	WET	WET	WET
05/12/2018	Miércoles	WET	WET	WET	WET	WET
07/12/2018	Viernes	WET	WET	WET	WET	WET
09/12/2018	Domingo	WET	WET	WET	WET	WET
11/12/2018	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
13/12/2018	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
15/12/2018	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
17/12/2018	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
19/12/2018	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
21/12/2018	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
23/12/2018	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
25/12/2018	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
27/12/2018	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
29/12/2018	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
31/12/2018	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
02/01/2019	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
04/01/2019	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
06/01/2019	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
08/01/2019	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
10/01/2019	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
12/01/2019	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
14/01/2019	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
16/01/2019	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
18/01/2019	Viernes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
20/01/2019	Domingo	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
22/01/2019	Martes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
24/01/2019	Jueves	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
26/01/2019	Sábado	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
28/01/2019	Lunes	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
30/01/2019	Miércoles	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
01/02/2019	Viernes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
03/02/2019	Domingo	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
05/02/2019	Martes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
07/02/2019	Jueves	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
09/02/2019	Sábado	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY
11/02/2019	Lunes	DRY	DRY	DRY	DRY	DRY

Anexo 3

Resultados del análisis fisicoquímico de lodo – PTAR Cajabamba



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL MA1822347

CASTRO CRUZADO DILMER MAYCOL

JR. LOS LEONES N° 202, PISO 4, DPTO. 1, CAJAMARCA

ENV / LB-344735-004

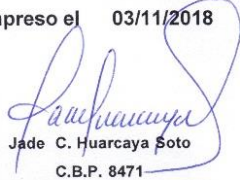
PROCEDENCIA : Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de CAJABAMBA

Fecha de Recepción SGS : 24-10-2018
Fecha de Ejecución : Del 24-10-2018 al 03-11-2018
Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
ESTACION 1

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 03/11/2018


Jade C. Huarcaya Soto
C.B.P. 8471
Jefe de Oficina


SGS DEL PERÚ S.A.C.
Ejec. de Jade Charlot Huarcaya Soto
C.B.P. 8471
JEFE DE OFICINA

Página 1 de 5

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

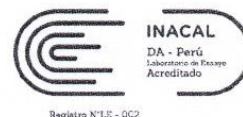
Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1822347**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 1
FECHA DE MUESTREO					ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 1
HORA DE MUESTREO					24/10/2018	24/10/2018	24/10/2018
MATRIZ					12:05:00	12:10:00	12:14:00
PRODUCTO DESCRITO COMO					LODOS	LODOS	LODOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Análisis Generales							
Potencial de Hidrógeno	ES_EPA9045	pH	-	-	7.60		
Materia orgánica	ES_NOM21_AS07_MO_TOC	%	0.1	0.3		33.4	
Conductividad	ES_NOM21_AS18	dS/m	-	-	8.34 *		
Nitrógeno Total	ES_SGS_ME45	mg/kg	0.3	0.8			10.3 *

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 1
FECHA DE MUESTREO					ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 1
HORA DE MUESTREO					24/10/2018	24/10/2018
MATRIZ					12:17:00	12:20:00
PRODUCTO DESCRITO COMO					LODOS	LODOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
Análisis Microbiológicos						
Numeración Coliformes fecales	ES_APHA9221E_CX	NMP/g	-	-		920.0 *
Metales						
Cobre	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	87.739	
Aluminio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	5.339.558	
Antimonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	4.719	
Arsénico	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	23.230	
Bario	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	77.784	
Berilio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	0.273	
Bismuto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	11.274	
Boro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	<17.195	
Cadmio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	0.735	
Calcio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	55.488.013	
Circonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	0.213	
Cobalto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	2.155	
Cromo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	13.267	
Escandio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	0.628	
Estaño	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	3.034	
Estroncio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	112.743	
Fosforo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	3.386.316	
Hierro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	6.151.483	
Lantano	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	2.719	
Litio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	3.2	

Paul Huaraya
SGS DEL PERÚ S.A.C.
Ing. Carlos Humberto Huaraya Sr.
C.P. 8471
JEFE DE OFICINA

Página 2 de 5

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1822347**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 1
FECHA DE MUESTREO					ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 1
HORA DE MUESTREO					24/10/2018	24/10/2018
MATRIZ					12:17:00	12:20:00
PRODUCTO DESCRITO COMO					LODOS	LODOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					LODOS	LODOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
Metales						
Magnesio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	1.209.609	
Manganeso	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	152.503	
Mercurio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	2.075	
Molibdeno	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	3.686	
Niquel	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	6.923	
Plata	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.084	0.268	3.898	
Plomo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	33.850	
Potasio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	1.097.170	
Selenio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	<3.605	
Sodio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	518.555	
Talio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	0.111	
Thorio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	0.300	
Titanio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	18.180	
Uranio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	0.586	
Vanadio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	10.510	
Wolframio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	<0.231	
Ytrio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	2.953	
Zinc	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	391.454	

[Firma manuscrita]
SGS DEL PERÚ S.A.C.
 Dgo. Alfredo Churruarín Huaracaya Soto
 JEFE DE OFICINA

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1822347

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Conductividad	dS/m	--		0%	98 - 100%		
Potencial de Hidrógeno	pH	--		0%	100%		
Materia orgánica	%	0.3	<0.3	0 - 1%	102 - 104%		
Cobre	mg/kg	1.136	<1.136	9 - 10%	98%	99%	2%
Aluminio	mg/kg	8.602	<8.602	1 - 9%	88 - 96%	88 - 96%	0 - 3%
Antimonio	mg/kg	0.131	<0.131	0 - 9%	108%	108%	0%
Arsénico	mg/kg	2.857	<2.857	0 - 9%	100%	102%	2%
Bario	mg/kg	0.440	<0.440	0 - 8%	102%	101%	2%
Berilio	mg/kg	0.173	<0.173	0 - 6%	98%	98%	0%
Bismuto	mg/kg	0.103	<0.103	0 - 8%	101%	109%	2%
Boro	mg/kg	17.195	<17.195	0 - 6%	97%	98%	0%
Cadmio	mg/kg	0.144	<0.144	0 - 9%	94%	95%	0%
Calcio	mg/kg	208.223	<208.223	0 - 8%	93%	93%	0%
Circonio	mg/kg	0.147	<0.147	0 - 9%	93%	94%	0%
Cobalto	mg/kg	0.128	<0.128	7 - 11%	97%	96%	0%
Cromo	mg/kg	1.001	<1.001	0 - 8%	88%	88%	4%
Escandio	mg/kg	0.317	<0.317	0 - 9%	101%	100%	2%
Estaño	mg/kg	0.940	<0.940	0 - 8%	105%	105%	0%
Estroncio	mg/kg	0.822	<0.822	1 - 6%	104%	105%	0%
Fosforo	mg/kg	15.157	<15.157	1 - 9%	111%	111%	0%
Hierro	mg/kg	29.302	<29.302	1 - 9%	100%	93%	7%
Lantano	mg/kg	0.103	<0.103	1 - 9%	91%	90%	3%
Litio	mg/kg	3.0	<3.0	0 - 9%	104%	98%	8%
Magnesio	mg/kg	17.545	<17.545	0 - 8%	111%	111%	0%
Manganeso	mg/kg	0.643	<0.643	0 - 8%	101%	101%	0%
Mercurio	mg/kg	0.262	<0.262	0 - 6%	93%	94%	1%
Molibdeno	mg/kg	0.182	<0.182	1 - 8%	100%	98%	0%
Niquel	mg/kg	0.498	<0.498	1 - 8%	107%	106%	3%
Plata	mg/kg	0.268	<0.268	0 - 8%	105%	106%	1%
Plomo	mg/kg	0.346	<0.346	0 - 8%	103%	92%	3%
Potasio	mg/kg	42.993	<42.993	0 - 9%	102%	102%	0%
Selenio	mg/kg	3.605	<3.605	0 - 8%	110%	110%	0%
Sodio	mg/kg	24.136	<24.136	0 - 8%	106%	107%	0%
Talio	mg/kg	0.093	<0.093	1 - 8%	105%	105%	0%
Thorio	mg/kg	0.112	<0.112	0 - 6%	105%	110%	1%
Titanio	mg/kg	0.251	<0.251	0 - 4%	106%	106%	0%
Uranio	mg/kg	0.102	<0.102	1 - 7%	90%	90%	1%
Vanadio	mg/kg	4.737	<4.737	0 - 9%	97%	90%	0%
Wolframio	mg/kg	0.231	<0.231	0 - 5%	106%	108%	1%
Ytrio	mg/kg	0.096	<0.096	0 - 9%	91%	91%	5%
Zinc	mg/kg	1.934	<1.934	1 - 8%	98%	98%	2%

[Handwritten Signature]
SGS DEL PERU S.A.C.
Reg. de Comercio y Marcas Soto
JEFE DE OFICINA

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1822347**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
ES_EPA9045	Callao	Potencial de Hidrógeno	EPA 9045D; Rev 4; 2004. Soil and waste PH.
ES_NOM21_AS18	Callao	Conductividad	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, ítem 7.2.5, AS-18, 2000, Medición de la conductividad eléctrica
ES_NOM21_AS07_MO_TO C	Callao	Materia orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000; ítem 7.1.7 AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black). (Validado) 2017
ES_SGS_ME45	Callao	Nitrógeno Total	SGS-ENVIDIV-ME-45, Rev. 00 : 2017. Determinación de Nitrógeno Total en Suelos, Lodos y Sedimentos
ES_EPA3051_6020	Callao	Metales	EPA 3051A:2007. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils/EPA 6020A:2007. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.
ES_APHA9221E_CX	Cajamarca	Numeración de Coliformes fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E, 23rd Ed. 2017; Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

(*) El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL - DA , para la matriz en mención.

Los resultados de las muestras expresados en mg/Kg se calculan sobre base seca.



Charlat Huarcaya Soto
SGS DEL PERÚ S.A.C.
2015.07.15
2015.07.15

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx> Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fé publica y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS de Perú S.A.C.
Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Ultima Revisión Julio 2015

Página 5 de 5

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
e Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

Anexo 4

Resultado del análisis químico del compost – Dilución 0



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 014883

ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA

SOLICITANTE : DILMER MAYCOL CASTRO CRUZADO
 PROYECTO : TESIS: " EFECTO DE TRES DOSIS DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) EN LA CALIDAD DEL COMPOST A PARTIR DE LODOS RESIDUALES"
 PROCEDENCIA : Celendin - Cajamarca
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 15 de febrero 2019

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO ₃	Al ³⁺ +H ⁺	Pb	Cd	Cr	N
Lab.	Campo	dS / m	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%		ppm	ppm	ppm	%
14883	DO-R1R2R3R4R5	4.63	7.45	24.10	86.22	662.00	4.17	-	16.98	6.39	<0,05	1.18

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
 JEFE DE LABORATORIO



Anexo 5

Resultado del análisis químico del compost – Dilución 1



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe
ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA



SOLICITANTE : DILMER MAYCOL CASTRO CRUZADO
PROYECTO : TESIS: " EFECTO DE TRES DOSIS DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) EN LA CALIDAD DEL COMPOST A PARTIR DE LODOS RESIDUALES"
PROCEDENCIA : Celendín - Cajamarca
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 15 de febrero 2019

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO ₃	Al ³⁺ +H ⁺	Pb	Cd	Cr	N
Lab.	Campo	dS / m	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%		ppm	ppm	ppm	%
			Relación 1:1									
14884	D1-R1R2R3R4RS	4.36	7.49	19.37	86.86	1310.00	3.77	-	26.98	5.37	<0,05	0.90

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

 Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
 JEFE DE LABORATORIO



Anexo 6

Resultado del análisis químico del compost – Dilución 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 014885

ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA

SOLICITANTE : DILMER MAYCOL CASTRO CRUZADO
 PROYECTO : TESIS: " EFECTO DE TRES DOSIS DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) EN LA CALIDAD DEL COMPOST A PARTIR DE LODOS RESIDUALES"
 PROCEDENCIA : Celendín - Cajamarca
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 15 de febrero 2019

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO ₃	Al ³⁺ +H ⁺	Pb	Cd	Cr	N
Lab.	Campo	dS / m	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%		ppm	ppm	ppm	%
			Relación 1:1									
14885	D2-R1R2R3R4R5	4.77	7.38	16.16	82.80	2140.00	4.92	-	12.70	6.64	<0,05	0.74

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
JEFE DE LABORATORIO



Anexo 7

Resultado del análisis químico del compost – Dilución 3



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 014886

ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA

SOLICITANTE : DILMER MAYCOL CASTRO CRUZADO
 PROYECTO : TESIS: " EFECTO DE TRES DOSIS DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) EN LA CALIDAD DEL COMPOST A PARTIR DE LODOS RESIDUALES"
 PROCEDENCIA : Celendín - Cajamarca
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 15 de febrero 2019

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO ₃	Al ³⁺ +H ⁺	Pb	Cd	Cr	N
Lab.	Campo	dS / m	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%		ppm	ppm	ppm	%
		Relación 1:1										
14886	D3-R1R2R3R4R5	5.50	7.30	19.51	84.37	2340.00	5.57	-	14.85	4.72	<0,05	0.92

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

 Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado
 JEFE DE LABORATORIO



Anexo 8

Métodos seguidos para los análisis de compost por la UNALM

MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS

1. Análisis Mecánico: Textura por el Método de Hidrómetro.
2. Conductividad eléctrica: C.E. Lectura de extracto de relación suelo agua 1:1 y extracto de la pasta saturada.
3. pH. Método de potenciómetro, relación suelo-agua 1:1 y en la pasta saturada.
4. Calcáreo total: Método gaso-volumétrico.
5. Materia orgánica: Método de Walkley y Black % M.O. = % C x 1,724
6. Nitrógeno total: Método Micro Kjeidahl.
7. Fósforo: Método de Olsen Modificado, Extracto, NaHCO₃ 0.5M, pH = 8.5
8. Potasio Disponible: Extracto Acetato de Amonio 1N, pH 7,0
9. Capacidad de Intercambio Catónico: Acetato de Amonio 1N pH 7,0
10. Cambiables: Determinaciones en extracto Amónico.
 - Ca²⁺ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - Mg²⁺ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - K⁺ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - Na⁺ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
11. Iones Solubles
 - a. Cationes Solubles:
 - Ca²⁺ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - Mg²⁺ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - K⁺ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - Na⁺ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - b. Aniones Solubles:
 - Cl⁻ : Volumétrico: Nitrato de Plata.
 - CO₃⁼ : Volumétrico: Ácido Clorhídrico.
 - HCO₃⁻ : Volumétrico: Ácido Clorhídrico.
 - SO₄⁼ : Tubidimétrico: Sulfato de Bario.
 - NO₃⁻ : Colorimétrico.
12. Yeso Soluble: Solubilización con agua y precipitación con acetona.
13. Boro Soluble: Colorimétrico, Método de la Curcumina.

INTERPRETACIÓN

C.E. (Sales)
Según respuesta de los cultivos
(dS/m)

Muy ligeramente Salino : < 2
Ligeramente Salino : 2 - 4
Moderadamente Salino : 4 - 8
Fuertemente Salino : 8 - 16
Extremadamente Salino : > 16

DISPONIBLES

Clase	Materia Orgánica	Calcáreo Total CaCO ₃ %	Fósforo P (ppm)	Potasio K (ppm)
Bajo	< 2%	< 1%	< 7	< 100
Medio	2 - 4%	1 - 5%	7 - 14	100 - 240
Alto	> 4%	> 5%	> 14	> 240

EQUIVALENCIAS

1 mmhos/cm = 1 ds/m
1 cmol(+)/kg = 1 meq/100gr

CIC Efectiva

< 5 meq/100 gr	Muy baja
5 - 10	Baja
10 - 15	Medio
15 - 20	Alto
> 20	Muy alto

Reacción del Suelo (pH)

5.1 - 5.5 Fuertemente ácido.
5.6 - 6.0 Moderadamente ácido.
6.1 - 6.5 Ligeramente ácido.
6.6 - 7.3 Neutro.
7.4 - 7.8 Ligeramente alcalino.
7.9 - 8.4 Moderadamente alcalino.

* CIC: Capacidad Intercambiable de Cationes.

Anexo 9

Resultado del análisis microbiológico del compost – Dilución 0



INFORME DE ENSAYO N° 1-01753/19

Pág.1/1

Solicitante : CASTRO CRUZADO, DILMER MAYCOL
Domicilio legal : Av. El Cumbre Nro. 591 - Celendín - Celendín - Cajamarca
Producto declarado : COMPOST
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 670 g
Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación de la muestra : MUESTRA D0
CÓDIGO: D0-R1R2R3R4R5
PROCEDENCIA: CELENDÍN - CAJAMARCA
FECHA DE MUESTREO: 12/02/2019
Forma de Presentación : En bolsa plástica cerrada y refrigerado
Fecha de recepción : 2019 - 02 - 15
Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 02 - 15
Fecha de término del ensayo : 2019 - 02 - 19
Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao)
Identificado con : H/S 19001619 (EXAG-02386-2019)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 g	350 000

MÉTODO

Coliformes Termotolerantes (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E1, 23 rd Ed.2017. Multiple-tube fermentation technique for members of the Coliform group. Fecal Coliform procedure. Thermotolerant coliform test (EC medium)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 21 de febrero de 2019
SP

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO
C.I.P. N° 40302
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000
info@cerper.com - www.cerper.com

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CHIMBOTE
Av. José Carlos Mariátegui s/n
Centro Cívico, Nuevo Chimbote
T. (049) 311 048

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Anexo 10

Resultado del análisis microbiológico del compost – Dilución 1



INFORME DE ENSAYO N° 1-01754/19

Pág. 1/1

Solicitante : CASTRO CRUZADO, DILMER MAYCOL
Domicilio legal : Av. El Cumbre Nro. 591 - Celendín - Celendín - Cajamarca
Producto declarado : COMPOST
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 700 g
Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación de la muestra : MUESTRA D1
CÓDIGO: D1-R1R2R3R4R5
PROCEDENCIA: CELENDÍN - CAJAMARCA
FECHA DE MUESTREO: 12/02/2019
Forma de Presentación : En bolsa plástica cerrada y refrigerado
Fecha de recepción : 2019 - 02 - 15
Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 02 - 15
Fecha de término del ensayo : 2019 - 02 - 19
Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao)
Identificado con : H/S 19001619 (EXAG-02386-2019)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 g	3 500 000

MÉTODO

Coliformes Termotolerantes (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E1, 23 rd Ed. 2017. Multiple-tube fermentation technique for members of the Coliform group. Fecal Coliform procedure. Thermotolerant coliform test (EC medium)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 21 de febrero de 2019
SP

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO
C.I.P. N° 40302
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000
info@cerper.com - www.cerper.com

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CHIMBOTE
Av. José Carlos Mariátegui s/n
Centro Cívico, Nuevo Chimbote
T. (049) 311 048

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Anexo 11

Resultado del análisis microbiológico del compost – Dilución 2



INFORME DE ENSAYO N° 1-01755/19

Pág. 1/1

Solicitante : CASTRO CRUZADO, DILMER MAYCOL
Domicilio legal : Av. El Cumbre Nro. 591 - Celendin - Celendin - Cajamarca
Producto declarado : COMPOST
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 670 g
Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación de la muestra : MUESTRA D2
CÓDIGO: D2-R1R2R3R4R5
PROCEDENCIA: CELENDÍN - CAJAMARCA
FECHA DE MUESTREO: 12/02/2019
Forma de Presentación : En bolsa plástica cerrada y refrigerado
Fecha de recepción : 2019 - 02 - 15
Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 02 - 15
Fecha de término del ensayo : 2019 - 02 - 19
Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao)
Identificado con : H/S 19001619 (EXAG-02386-2019)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 g	920 000 000

MÉTODO

Coliformes Termotolerantes (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 9221 E1, 23 rd Ed. 2017. Multiple-tube fermentation technique for members of the Coliform group. Fecal Coliform procedure. Thermotolerant coliform test (EC medium)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 21 de febrero de 2019
SP

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO
C.I.P. N° 40302
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000
info@cerper.com - www.cerper.com

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CHIMBOTE
Av. José Carlos Mariátegui s/n
Centro Cívico, Nuevo Chimbote
T. (049) 311 048

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Anexo 12

Resultado del análisis microbiológico del compost – Dilución 3



INFORME DE ENSAYO N° 1-01756/19

Pág. 1/1

Solicitante : CASTRO CRUZADO, DILMER MAYCOL
Domicilio legal : Av. El Cumbre Nro. 591 - Celendín - Celendín - Cajamarca
Producto declarado : COMPOST
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 620 g
Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación de la muestra : MUESTRA D3
CÓDIGO: D3-R1R2R3R4R5
PROCEDECENCIA: CELENDÍN - CAJAMARCA
FECHA DE MUESTREO: 12/02/2019
Forma de Presentación : En bolsa plástica cerrada y refrigerado
Fecha de recepción : 2019 - 02 - 15
Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 02 - 15
Fecha de término del ensayo : 2019 - 02 - 19
Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología (Callao)
Identificado con : H/S 19001619 (EXAG-02386-2019)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 g	16 000 000 000

MÉTODO

Coliformes Termotolerantes (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 9221 E1, 23 rd Ed. 2017. Multiple-tube fermentation technique for members of the Coliform group. Fecal Coliform procedure. Thermotolerant coliform test (EC medium)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 21 de febrero de 2019
SP

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO
C.I.P. N° 40302
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CHIMBOTE
Av. José Carlos Mariátegui s/n
Centro Cívico, Nuevo Chimbote
T. (049) 311 048

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Anexo 13

Certificado de calidad del producto microorganismo eficientes (ME)



EM Research Organization
2440 N. Coyote Dr # 125 • Tucson, AZ 85745 • U.S.A
TEL: +1 (520) 920 - 9282 e-mail: keita_k@emro.co.jp

CERTIFICADO DE CALIDAD SOLUCIONES DE MICROORGANISMOS EFICACES (EM™)

EM•Compost ®

22 de Noviembre, 2018

A quien corresponda:

La oficina Interamerica de EM Research Organization, Inc., localizada en Tucson, Arizona certifica que las soluciones de EM™, materia prima para la fabricación de los productos de EM™ usados en agricultura y programas ambientales, tienen las siguientes características.

Tipos de Microorganismos	Cantidad (CFU/mL)
Bacterias Acidolácticas	> 6.0 x 10 ⁵
Bacterias Fototróficas	> 4.0 x 10 ⁵
Levadura	> 3.0 x 10 ⁴

Estos microorganismos NO han sido genéticamente modificados ó sintetizados en laboratorio.

Control de Calidad:

Lote: LA1PE123-209-19

F. P.: Nov.-2018

F. V.: Dic.-2020

Metodología de Análisis

- Bacteria Acidoláctica: ISO 15214-1998(MRS Agar plate count)
- Bacteria Fototrófica: Método Vanelslander (SA Agar plate count)
- Levadura: ISO 7954-1987

- Aerobic Plate Count: FDA-BAM
- Salmonella: PCR-BAX AOAC 2003.09
- Coliform Count: Petrifilm AOAC
- E.coli Count: Petrifilm AOAC
- Mold Count: FDA-BAM

EM Research Organization Inc. certifica que todo producto EM•Compost® elaborado en el futuro, hasta que se notifique de otra manera, contendrá únicamente estos organismos en el momento de hacerse disponible para su uso y será de la misma calidad. A su vez, cada batch de materia prima y producto final es sometido a laboratorios independientes para analisis de bacterias patógenas como Salmonella, coliformes fecales, Shigella, Staphylococcus sp., Streptococcus sp., Escherichia coli y presencia de mohos.

Considérese esta información como la más reciente proporcionada por nuestra organización; por lo tanto, este certificado invalida todos los emitidos anteriormente por la misma.

Este certificado es válido hasta el 31 de Diciembre, 2019.

Keita Kojima

Executive Director
EM Research Organization, Inc.
Interamerica Branch Office

Anexo 14
Registro fotográfico



Vista panorámica de la PTAR Cajabamba



Extracción de lodos y traslado a Celendín



Activación de los Microorganismos Eficientes



Trituración manual de lodos residuales



Composteras terminadas



Inspección de Asesor Ing. Adolfo M. López Aylas



Aplicación de las diluciones de microorganismo eficientes



Monitoreo de temperatura y humedad



Control de peso final del compost