

**Universidad  
Continental**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

**Influencia de microorganismos eficaces  
(Em-compost) en la producción de compost  
de lodos de la planta de tratamiento de aguas  
residuales, Concepción, 2016**

**Kael Omar Huayllani Hilario**

Huancayo, 2017

Tesis para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental



Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## **AGRADECIMIENTOS**

Definitivamente este trabajo de investigación no se habría podido realizar sin la colaboración de muchas instituciones y personas que me brindaron su ayuda; siempre resultará difícil agradecer a todos los que me acompañaron para el desarrollo de este trabajo de investigación. Por tanto, quiero empezar agradeciendo a la EPS. Municipal Mantaro S.A, encargado de las operaciones de la PTAR de Concepción por facilitarme el ingreso y los subproductos que fueron necesitados, y que sin estos no hubiera sido posible realizar la etapa experimental y la culminación de la tesis. A BIOEM S.A.C, por haberme brindado toda la información referente al uso y aplicación de los Microorganismos Eficaces. Al laboratorio de Química y Biología de la Universidad Continental que me permitió el préstamo de equipos para el monitoreo y control en la etapa de experimentación.

A mis padres, por hacer de mí una persona con formación integral a través de su ejemplo de profesionalismo y valores por lo que siempre han sido una guía a lo largo de mi vida.

Agradezco a mi asesor de tesis, Ing. Andrés Alberto Azabache Leytón por su tiempo, empeño y por acompañarme en todo el proceso de la investigación brindándome todo su apoyo respecto a su conocimiento, información pertinente y consejos, facilitándome también los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Por último, toda mi gratitud al Ing. Donald Berrios Martínez, Gerente de la EPS. Municipal Mantaro S.A y al Ing. Jonhny Vílchez Espejo representante de BIOEM S.A.C sede Huancayo, a ellos mi consideración por su apoyo y aporte incondicional.

## DEDICATORIA

A mi padre Hugo por sus consejos, sus valores y la motivación constante de lograr mis metas; a mi madre Beatriz por su amor, por el apoyo brindado en todo momento que me ha permitido ser una persona de bien; a ambos por su apoyo incondicional en mi formación integral; a mi hermano José por ser un ejemplo en lo profesional y personal de quien aprendo mucho.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
Agradecimiento.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Índice general.....	iv
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Capítulo I. Planteamiento del estudio.....	4
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	4
1.1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.1.2 Formulación del problema.....	10
1.1.2.1 General.....	10
1.1.2.2 Específicos.....	10
1.2 Objetivos.....	10
1.2.1 General.....	10
1.2.2 Específicos.....	10
1.3 Justificación e importancia.....	11
1.4 Hipótesis y descripción de variables.....	12
1.4.1 Hipótesis.....	12
1.4.1.1 General.....	12
1.4.1.2 Específicas.....	12
1.4.2 Descripción de variables.....	12
1.4.2.1 Variable independiente.....	12
1.4.2.2 Variable dependiente.....	12
1.4.3 Indicadores de las variables en estudio.....	12
Capítulo II: Marco teórico.....	14
2.1 Antecedentes de la investigación.....	14
2.2 Bases teóricas.....	24
2.2.1 Microorganismos eficientes (EM).....	24
2.2.2 Componentes de los Microorganismos Eficientes (EM).....	25
2.2.3 Microorganismos en el proceso de compostaje.....	27
2.2.4 El compost.....	27
2.3 Definición de términos básicos.....	33
Capítulo III: Metodología.....	35
3.1 Método y alcance de la investigación.....	35
3.1.1 Método de investigación.....	35
3.1.2 Tipo de investigación.....	36
3.1.3 Nivel de investigación.....	37
3.1.4 Alcance de la investigación.....	37
3.2 Diseño de la investigación.....	38
3.3 Población y muestra.....	55
3.3.1 Población.....	55
3.3.2 Muestra.....	55
3.4 Técnicas de recolección de datos.....	55
3.5 Técnicas de análisis de datos.....	56
Capítulo IV: Resultados y discusión.....	57
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	57
4.1.1 Parámetros químicos del compost.....	57
4.1.1.1 Materia orgánica.....	58
4.1.1.2 Nitrógeno total.....	59
4.1.1.3 Fósforo total.....	60

4.1.1.4 Potasio total.....	61
4.1.1.5 Relación carbono/nitrógeno.....	62
4.1.1.6 pH.....	62
4.1.1.7 La conductividad eléctrica.....	65
4.1.2 Metales pesados.....	68
4.1.2.1 Cromo.....	68
4.1.2.2 Cadmio.....	69
4.1.3 Parámetros físicos.....	70
4.1.3.1 Humedad (%).....	70
4.1.3.2 Rendimiento.....	73
4.1.4 Correlación y regresión.....	75
4.1.4.1 Correlación.....	76
4.1.4.2 Regresión.....	78
Conclusiones.....	85
Recomendaciones.....	88
Referencias bibliográficas.....	89
Anexos.....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
1. Problemas de mantenimiento en las PTAR.....	8
2. Tecnologías de tratamiento de lodos en funcionamiento.....	9
3. Operacionalización de las variables en estudio.....	13
4. Parámetros del compostaje.....	32
5. Pruebas de contaminantes para el producto final.....	33
6. Tratamientos en estudio.....	38
7. Parámetros de análisis de compost.....	55
8. Parámetros químicos para compost maduro.....	57
9. Prueba de normalidad de Shapiro – Willk para pH .....	63
10. Análisis de variancia del pH del compost obtenido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción con aplicación de EM-compost.....	63
11. Prueba de Duncan para tratamientos. pH del compost obtenido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-compost.....	64
12. Prueba de normalidad de Shapiro – Willk para CE .....	65
13. Prueba de Kruskall Wallis rangos de CE.....	66
14. Prueba estadística de Kruskall Wallis de CE.....	66
15. Prueba de Duncan para tratamientos. CE del compost obtenido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, con aplicación de EM-compost.....	67
16. Variación porcentual del cromo en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, con aplicación de EM-compost.....	68
17. Variación porcentual del cadmio en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, con aplicación de EM-compost .....	70
18. Prueba de normalidad de Shapiro – Willk para humedad.....	70
19. Prueba de Kruskall Wallis rangos de humedad.....	71
20. Prueba estadística de Kruskall Wallis de humedad.....	72
21. Prueba de Duncan para tratamientos. Humedad del compost obtenido con lodos de la planta de tratamientos de aguas residuales de Concepción.....	72
22. Prueba de normalidad de Shapiro – Willk para rendimiento.....	73
23. Prueba de Kruskall Wallis rangos de rendimiento.....	74
24. Prueba estadística de Kruskall Wallis de rendimiento.....	74
25. Prueba de Duncan para tratamientos. Rendimiento del compost obtenido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-compost.....	75
26. Análisis de correlación de los parámetros de calidad del compost y las dosis de EM-compost.....	75
27. Análisis de variancia de la regresión entre la dosis de EM-compost y el pH.....	78
28. Análisis de variancia de la regresión entre la dosis de EM-compost y la CE.....	80
29. Análisis de variancia de la regresión entre la dosis de EM-compost y el contenido de humedad .....	81
30. Análisis de variancia de la regresión entre la dosis de EM-compost y el rendimiento.....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje (Moreno y Mormeneo, 2008).....	30
2. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales-Concepción. Fuente: Google Earth.....	40
3. Ubicación del lugar de experimentación. Fuente: Google Earth.....	41
4. Croquis experimental.....	43
5. Diagrama de flujo del proceso experimental.....	54
6. Contenido de materia orgánica en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-compost.....	58
7. Contenido de nitrógeno total en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-compost .....	59
8. Contenido de fósforo total en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-compost .....	60
9. Contenido de potasio total en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-compost .....	61
10. Relación C/N en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-compost.....	62
11. pH en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-compost.....	65
12. Conductividad eléctrica del compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-compost.....	67
13. Contenido de cromo en el compost obtenido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-compost.....	68
14. Contenido de cadmio en el compost obtenido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-compost.....	69
15. Humedad en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción con aplicación de EM-compost.....	73
16. Correlación y regresión entre la dosis de EM-compost y el pH.....	79
17. Correlación y regresión entre la dosis de EM-compost y la conductividad eléctrica.....	80
18. Análisis de correlación y regresión entre la dosis de EM-compost y el contenido de humedad.....	82
19. Correlación y regresión entre la dosis de EM-compost y el rendimiento de compost.....	84

## RESUMEN

Durante junio a setiembre del año 2016 se desarrolló el presente trabajo de investigación con los objetivos de determinar la influencia de la dosis de aplicación de microorganismos eficientes (EM - Compost), en los parámetros de calidad del compost, preparado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, para así determinar la relación entre las dosis de EM y los parámetros de calidad del compost. Se ensayaron cinco dosis de EM-compost: 0%, 2%, 4%, 6% y 8% de EM, dispuestos en un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, utilizando una mezcla de 20 kg. de lodos por unidad experimental. Los resultados muestran que los contenidos de materia orgánica, relación C/N, conductividad eléctrica (CE), humedad, pH, nitrógeno, fósforo, potasio y cromo total, se encuentran dentro de los parámetros de estándares de calidad, evidenciando la obtención de un compost que puede ser utilizado como abono orgánico para los suelos agrícolas. El contenido de Cadmio en el compost supera el límite máximo permisible del EPA-Australia. El rendimiento de peso final de compost fluctuó entre 70.605% y 76.310%. Se encontró correlación y regresión entre las dosis de EM-compost vs. pH, CE, humedad y rendimiento de peso final.

***Palabras clave: compost, microorganismos eficientes, lodos***

## **ABSTRACT**

During the period from June to September 2016, the present research was carried out with the objective of determining the influence of the application rate of efficient microorganisms (EM) on compost quality parameters prepared with sludge from the water treatment plant Residuals of Concepción, and to determine the relationship between MS doses and compost quality parameters. Five doses of EM-compost were tested: 0%, 2%, 4%, 6% and 8% of MS, arranged in a completely randomized design with three replicates, using a mixture of 20 kg of sludge per experimental unit. The results show that the contents of organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, C/N ratio, electrical conductivity (EC), humidity, pH, total chromium are within the parameters of quality standards, of a compost that can be used as organic fertilizer for agricultural soils. The cadmium content in the compost exceeds the maximum permissible EPA- Australia limit. The final compost weight yield fluctuated between 70.605% and 76.310%. Regression and correlation were found between the doses of EM-compost vs. PH, CE, moisture and final weight yield.

*Key words: compost, effective microorganisms, sludge*

## INTRODUCCIÓN

La disposición final de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, como otros lodos similares, deben recibir un tratamiento para ser utilizados con fines de mejora de los suelos, u otra alternativa como sustrato. Dentro de estos tratamientos está el compostaje, que permite no solo reducir el volumen inicial de los lodos, sino generar un producto ambientalmente benéfico para los suelos agrícolas en la mejora de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Para asegurar la obtención de un compost de calidad se deben manejar los factores ambientales y los insumos a utilizar, de tal manera que los microorganismos responsables de la transformación de los materiales orgánicos utilizados sean eficientes. En este contexto, se dispone en el mercado de los Microorganismos Eficientes (EM), que dosificados adecuadamente pueden hacer más efectivo el proceso de compostaje y obtener un compost de calidad. Este tratamiento es una ayuda en el proceso de compostaje debido a que son organismos seleccionados como los contenidos en el EM-compost.

Una limitante para evaluar la calidad del compost en nuestro país es la falta de una norma oficial que permita seleccionar y calificar los diferentes parámetros por lo que se tiene que recurrir a normas recientes de otros países para evaluar la calidad de un compost producido en el Perú

En este trabajo de investigación se propone la utilización de diferentes dosis de EM-compost, en base a antecedentes de investigación de otros lugares, para compostar los lodos del tratamiento de aguas residuales de la planta de Concepción y obtener un producto benéfico para el suelo que cumpla con los estándares de calidad.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1 Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1 Caracterización del problema

A nivel mundial, durante las actividades cotidianas del ser humano se emplea el agua para limpiar los residuos que son generados durante el consumo de producto como la comida o el aseo de las superficies (corporal y material); estos residuos son a su vez vertidos a flujos de agua para ser llevados a través de redes de alcantarillado a plantas de tratamiento de aguas residuales, donde son acondicionados para poder ser reintegrados a los ciclos naturales donde el tratamiento de estas aguas está cobrando gran importancia.

En estas plantas de tratamiento se produce; por un lado, el agua a la que se le denomina “tratada”, con baja cantidad de elementos nocivos; y por otro, los compuestos con alto peso, denominados sólidos residuales, lodos orgánicos o biosólidos.

Los tratamientos aeróbicos convencionales de las aguas residuales de origen municipal (domésticas), generan grandes volúmenes de estos lodos orgánicos, que en general no son manejados convenientemente, al grado de que contribuyen al deterioro ecológico del medio ambiente; ya que en su mayoría son confinados a excavaciones a cielo abierto, entonces contaminan ríos y lagos; además, provocan problemas sanitarios, en otros casos son arrojados

directamente a fuentes hídricas o son incinerados.

La Unión Europea genera más de 6.5 millones de toneladas de biosólidos y la utilización de estos residuos va desde la recuperación de energía de la producción de petróleo y biogás en Austria (Sullivan, 1998), hasta la vitrificación a 1400 °C en la fabricación de ladrillos para la construcción en Japón (Stehouwer y Wolf, 1999).

La tendencia general es la sugerida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que consiste en la aplicación controlada de biosólidos en suelos para el desarrollo de cultivos en zonas áridas y semiáridas, también para la biorremediación de los suelos contaminados y/o erosionados. La silvicultura tiene un enorme potencial para absorber lodos en el futuro; sin embargo, esta forma de eliminación depende en gran medida de un apoyo normativo adecuado (Bontoux *et al.*, 2000).

En México, el volumen de aguas residuales es de 187 m<sup>3</sup>/s, y solo 22% recibe algún tipo de tratamiento, lo cual produce 640.000 toneladas de base seca de lodos al año (CONAGUA, 2000); por otra parte, 63% del territorio nacional (1.2 millones de km<sup>2</sup>), es suelo que presenta erosión desde moderada a severa. Algunas ciudades como: Monterrey, Ciudad Juárez y Toluca, ya han empezado a reutilizar sus lodos sobre todo como mejoradores de suelos (Barrio y Jiménez, 2002).

Existe información sobre el efecto de la aplicación de biosólidos, para la recuperación de bosques y de explotaciones mineras (Weisz, 1988; Medalie *et al.*, 1999); sin embargo, para cultivos como el maíz forrajero en regiones como los Altos de Jalisco, en general se carece de investigaciones formales.

En Chihuahua se aplicaron 10 toneladas (base seca) de biosólidos por hectárea, estos estaban estabilizados anaeróbicamente sobre suelos calcáreos de bajo riesgo, y se reportan incrementos sobre los cultivos de algodón y alfalfa de 17 % como fertilización química tradicional (INIFAP, 2002).

La ciudad de Tepatlán de Morelos, ubicada en la región de los Altos de Jalisco, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que opera las 24 horas al día, con una capacidad de 180 l/s, y genera en promedio 150 toneladas base húmeda de lodos orgánicos, estabilizados por día, aproximadamente; los cuales son depositados en excavaciones cercanas a las instalaciones de la

planta. Existen dos conjuntos habitacionales circundantes a estos confinamientos que agrava la situación; además, de que están por entrar en funcionamiento otras plantas de este mismo tipo en otras localidades del municipio (Capilla de Guadalupe y Pegueros), las cuales generará mayor cantidad de lodos orgánicos y de riesgos sanitarios para la población.

Las características físicas, químicas y biológicas determinan su capacidad para la aplicación de los biosólidos en suelos, según sus contenidos tanto de metales pesados y de compuestos orgánicos sintéticos, como bacteriológicos (patógenos); estos lodos son clasificados en excelentes, buenos o tóxicos y en clase A o B (Johern y Yahner, 1994).

En México se encuentra en vigor la norma NOM-004-SERMARNAT-2002, que considera la protección del ambiente a través de la regulación, especificación, límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento, y disposición final. Estos lodos son los que provienen del mantenimiento; asimismo, de la operación de las plantas de tratamiento de las aguas residuales y de los desazolves de los sistemas de alcantarillados urbano y municipal. Para efectos de esta norma, los biosólidos tienen dos clasificaciones; una, por tipos; y dos, por clase A y B, en función de su contenido, de organismos patógenos y de parásitos. Adicionalmente, los lodos deben ser analizados periódicamente para comprobar que no sean corrosivos, reactivos, tóxicos o inflamables, según la norma NOM-052-ECOL-1993.

La problemática asociada a los biosólidos aparece cuando estos dejan de ser un producto para convertirse en un residuo. Por ello, es preciso buscar tratamientos adecuados que permitan preferentemente una utilización racional de los citados biosólidos, sólo en caso de ser inviable esta alternativa, continuar el procesado de los mismos como residuo de la forma más conveniente, tanto desde el punto de vista económico como ambiental. La importancia de una conveniente gestión de los biosólidos es fundamental para el funcionamiento de cualquier instalación de depuración. Además, debe tenerse en cuenta que más de un 40% de los costes de tratamiento de aguas residuales corresponden a los tratamientos y evacuación de los lodos generados (Rich, 1982; Cazurra, 1994; Sastre, 1995).

Los problemas que plantean los lodos de depuradora, dependen en gran medida de su composición química, en especial de la concentración de metales

pesados. La presencia de determinadas sustancias por encima de ciertos límites puede hacer que el lodo no sea adecuado para ciertos usos o que se tengan que adoptar precauciones especiales en su procesado posterior.

Existe además otra razón importante para llevar a cabo un tratamiento del lodo, el reducir su capacidad para producir olores. La producción de olores determina en gran medida la aceptación o rechazo de la población ante una instalación de tratamiento de aguas. Los principales compuestos productores de olores son: compuestos sulfurados y amoníaco. Operaciones tales como el compostaje de lodos o su procesado térmico requieren una cuidadosa atención, ya que son una fuente potencial de olores desagradables. El método tradicionalmente usado para controlar las emisiones de productos causantes de olor en procesos de secado térmico, es el uso de cámaras de postcombustión, que son equipos que reúnen las etapas de recuperación de calor y de destrucción térmica en la misma unidad.

La problemática medioambiental reside en conseguir un destino final de los biosólidos que no produzca consecuencias adversas en el medio ambiente o que incluso pueda contribuir de manera positiva a la preservación y/o recuperación del mismo. Esta motivación medioambiental entendida en sentido amplio puede englobar los cuatro aspectos antes mencionados, ya que la calidad medioambiental está inexorablemente ligada al bienestar humano, a los condicionantes económicos, y por supuesto en estrecha relación con las disposiciones legales al efecto. El tratamiento y uso de los lodos ha de ser llevado a cabo preferiblemente utilizando la mejor opción medioambiental posible (Davis, 1994).

Datos correspondientes a 1991/92 (Hall, 1994), indican un ligero incremento en la cantidad de biosólidos producidos (2,5%) en los países de la Comunidad Europea, manteniéndose casi constantes los porcentajes globales de utilización de los mismos. Según la información disponible (Paulsrud, 1990), en Noruega; por ejemplo, las alternativas contempladas por las autoridades medioambientales en el año 1982, para la utilización de lodos incluían principalmente los usos agrícolas y forestales, así como el depósito en vertederos.

En el Perú, según el “Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución” por parte

de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), se indica que en las plantas de tratamiento de aguas residuales operativas basadas en lagunaje, se observan problemas de mantenimiento que afectan la eficiencia del tratamiento, tal como se muestra a continuación:

Tabla N° 1. Problemas de mantenimiento en las PTAR.

Presencia de arenas y lodos	116	100.0%
PTAR arenadas y con exceso de lodo	44	37.9%
PTAR sin arena ni lodos excesivos	43	37.1%
PTAR sin información de estado	29	25.0%
Presencia de malezas y macrofitas	116	100.0%
PTAR con macrofitas y maleza	17	14.7%
PTAR sin macrofitas y maleza	75	64.7%
PTAR sin información de su estado	24	20.7%

Fuente: Información recopilada por la SUNASS de las EPS en agosto de 2007.

El arenamiento y exceso de lodos (37,9 %). Esta situación se origina por la ausencia de desarenadores, sobrecarga de las lagunas e incumplimiento de la frecuencia de remoción de lodos, que trae como consecuencia la reducción de la altura útil de la laguna, menor periodo de retención y disminución de la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>, coliformes fecales y huevos de helmintos.

Con respecto al tratamiento de lodos en Perú, a través de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), “Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento”, en los procesos de tratamiento de aguas residuales se produce la generación de lodos. La cantidad y el intervalo de purga de estos lodos dependen de la carga de la PTAR y de la tecnología aplicada. Los lodos que tienen concentraciones elevadas de sustancias volátiles requieren ser estabilizados por separado (estabilización aeróbica, anaeróbica o química).

En otros casos, como por ejemplo en PTAR de lagunas de estabilización y

lodos activados con aireación extendida, el lodo ya sale estabilizado del proceso de tratamiento de aguas residuales. Para facilitar el manejo del lodo generalmente se aplica alguna forma de deshidratación del lodo antes de su disposición final. En el cuadro 2 se aprecia que el proceso de estabilización de lodos más utilizado es la digestión anaerobia dentro de las lagunas del tratamiento secundario. Generalmente, el lodo se deshidrata dentro de las lagunas por la evapotranspiración natural. Algunas PTAR han implementado otras tecnologías de deshidratación de lodos.

Tabla N° 2. Tecnologías de tratamiento de lodos en funcionamiento.

EPS	PTAR								
	DENTRO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO	DENTRO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO	DIGESTOR AEROBIO	DIGESTOR ANAEROBIO	ESPESADOR ESTÁTICO	FLOTACIÓN	CENTRÍFUGA	LECHO DE SECADO	DENTRO DE LA LAGUNA
SEDA HUÁNUCO S.A.	3								
EMAPACOP S.A.		1							1
EPS SEDALORETO S.A.		1							
EMAPA CAÑETE S.A.		2							2
EMSA PUNO S.A.	1	2						1	2
AGUAS DE TUMBES.	1	16							16
EMAPISCO S.A.		2							2
EPS TACNA S.A.		2							2
EMAPAVIGS S.A.C.		2							2
SEDACHIMBOTE S.A.		6							6
EPSASA	2	2						2	2
EMAPA SAN MARTÍN S.A.		1							1
SEMAPACH S.A.		5							5
EPS SELVA CENTRAL S.A.	1	2						1	2
EPS MOQUEGUA S.A.		3							3
EMAPA Y S.R.L.			1		1		1		
SEDAPAL	1	16	3		5		7	10	6
EPS ILO S.A.		1							1
SEDALIB S.A.		12							12
EPSEL S.A.		24							24
SEDAPAR S.A.	3	5						2	5
SEDACUSCO S.A.				1	1		1		
EPS GRAU S.A.	1	27						2	27
SEMAPA BARRANCA S.A.		1							1
EMAPICA S.A.		4							4
NORPUNO S.A.		1							1
SEDAJULIACA S.A.		1							1

EPS MANTARO S.A.		1	1			1		1	1
EPS MARAÑÓN S.R.L.		3							3
TOTAL	13	143	5	1	7	1	9	19	132

Fuente: SUNASS.

Como resultado del tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Empresa Prestadora de Servicios “El Mantaro” ubicada en la provincia de Concepción, región Junín; se generan lodos que por sus características tienen potencial de contaminantes por efecto de sedimentación generando cantidades significativas de lodo, que constituye una problemática ambiental en su disposición final. Actualmente estos lodos son depositados en lechos de secado y deshidratados con la acción solar durante un periodo, después de este proceso por el exceso de generación se hace la disposición final a exteriores de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con un mal manejo de este residuo y presentando contaminación.

### 1.1.2 Formulación del problema

#### A) Problema general

¿Cuál es la influencia de los microorganismos eficaces (EM - Compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016?

#### B) Problemas específicos

¿Cuál es el efecto de la aplicación de diferentes dosis de microorganismos eficaces (EM - Compost) en los parámetros de calidad del compost (químicos y físicos), preparado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción?

¿Qué tipo de relación presentan las dosis de EM-compost y los parámetros de calidad del compost?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Determinar la influencia de los microorganismos eficaces (EM - Compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Determinar la influencia de la dosis de aplicación de microorganismos eficientes (EM - Compost) en los parámetros de calidad del compost (químicos y físicos), preparado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción.

Determinar la relación entre las dosis de EM-compost y los parámetros de calidad del compost.

## **1.3 Justificación e importancia**

### **1.3.1 Justificación e importancia de la investigación**

Este proyecto tiene como propósito reconocer la manera en que influyen los microorganismos eficientes (EM - Compost), en el proceso de compostaje de lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Provincia de Concepción, Región Junín en el año 2016 y cómo ayudará a dicha área en cuanto a la buena gestión de los lodos de manera sostenible y poder ser aprovechada en otros recursos de manera amigable al medio ambiente.

Los beneficios que traen consigo los microorganismos eficientes (EM - Compost), es que son una mezcla de diferentes microorganismos naturales benéficos, acelerando la descomposición natural de la materia orgánica, incrementando la calidad nutricional y biológica de los abonos orgánicos, eliminando los microorganismos patógenos que promueven la putrefacción y reduciendo los malos olores. El compostaje mediante la aplicación de EM (microorganismos eficaces) en los residuos de lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, es una forma de tratamiento que tiene la finalidad de convertir los lodos en un abono orgánico de mejor calidad para fines de uso en cultivos, jardinería, áreas verdes y en zonas de reforestación. La realización de este trabajo es posible ya que se cuenta con la información necesaria y la disponibilidad de materiales para la conducción experimental.

### **1.3.2 Limitaciones**

No se presentaron limitaciones en el proceso de investigación, porque la Empresa Prestadora de Servicios Municipal Mantaro S.A., quien está a cargo

de las operaciones de la PTAR de Concepción, puso a disposición los recursos necesarios para realizar el trabajo de investigación.

Por otro lado, se presentó la limitación de conocer de manera específica los componentes microbianos de EM (Effective Microorganisms), por la condición de estar patentado y respaldado como producto internacional por EMRO-Japón (EM Research Organization).

## **1.4 Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1 Hipótesis**

#### **General**

Los microorganismos eficaces (EM-compost) logran mayor eficiencia en la producción de compost utilizando lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, 2016.

#### **Específicas**

La aplicación de diferentes dosis de EM-compost mejoran los parámetros de calidad del compost (químicos y físicos), preparado con lodos de aguas residuales de Concepción.

Las dosis de EM-compost se relacionan estrechamente con algunos parámetros de calidad del compost.

### **1.4.2 Descripción de variables**

#### **A) Variable independiente (X)**

Microorganismos eficientes (EM - Compost): es una solución inoculante de diferentes microorganismos benéficos, aeróbicos como anaeróbicos biosintetizadores de origen natural.

#### **B) Variable dependiente (Y)**

Compost: producto de la descomposición biológica aerobia, de la materia orgánica de los residuos en condiciones de control.

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

#### **Independiente (X):**

- Dosis crecientes de EM-Compost.

**Dependiente (Y):**

- Parámetros de calidad del compost: MO, C/N, pH, CE, P, K, N, H°, rendimiento, Cd, Cr.

Tabla N° 3. Operacionalización de las variables en estudio.

Variable	Conceptualización	Definición operacional	Dimensiones	Indicador
Independiente (VI): Microorganismos eficientes (ME)	El EM consiste en cultivos mixtos de microorganismos benéficos y naturales que coexisten en un medio líquido. Cuando se aplican inoculadores microbianos a la basura orgánica o se introducen en el medio ambiente, su efecto benéfico individual se multiplica en forma sinérgica. El cultivo consiste sobre todo de bacterias lácticas, bacterias fotosintéticas y levaduras; además, contiene más de 80 diferentes microorganismos en total (Correa, 2005)	Aplicación de EM-Compost a lodos de planta de tratamiento de aguas residuales	ml/kg	Dosis crecientes de EM-compost
Dependiente (VD): Compost	El compost se define como el producto de la descomposición biológica de la materia orgánica de los residuos en condiciones de control. Este proceso se puede realizar con o sin oxígeno, es decir, compost aeróbico o anaeróbico (Bejarano y Delgadillo, 2007).	Se evaluará el compost obtenido, analizando los parámetros químicos, físicos; asimismo, contenido de cadmio y cromo.	Niveles altos, bajos o medios	Contenido de MO, N, P, K, C/N, Cd, Cr, humedad, pH, conductividad eléctrica, rendimiento.

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

En el artículo científico de los autores (Acosta, y otros, 2012), tiene como título “Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales”, cuyo objetivo de la investigación es evaluar los cambios ocurridos en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje (biodegradación de la materia orgánica), de un lodo residual del tratamiento de aguas servidas mezclado con estiércol caprino y residuo del procesamiento de sábila (Aloe vera), empleando el método de apilamiento por volteos (aeróbico), La investigación presenta que durante todo el proceso de compostaje (0 – 210 días ), empleado por el método aeróbico de apilamiento por volteos, cada pila estuvo compostada en un total de 197 kg. con proporciones de 87 kg. de lodo residual de la planta de tratamiento de aguas servida, 85 kg. de estiércol de caprino y 25 kg. de residuo de sábila. El trabajo concluye que las propiedades fisicoquímicas generales registraron cambios significativos al final (210 días), donde los valores de pH (6,74 - 7,97); y conductividad eléctrica (1,40 - 2,87 mS.cm<sup>-1</sup>) se incrementaron, mientras que el contenido de carbono orgánico total (37 - 27%), y nitrógeno total (2,38 - 1,04%) disminuyeron con el tiempo, el valor

de la relación C/N (28 - 18), la temperatura en todo el proceso (24 - 34°C) con temperatura máxima 58°C llegando a la fase termófila. El contenido total de Cd y Pb, considerados tóxicos para los seres vivos, fue de 4,1 y 76,1 mg.kg<sup>-1</sup> respectivamente; valores inferiores a los límites de concentración establecidos por las normas internacionales. El trabajo concluye que al final del proceso, el compost como producto del lodo residual es rico en nutrientes orgánico, libre de metales pesados potencialmente tóxicos, pudiendo adicionar al suelo para mejorar sus propiedades fisicoquímicas como también su fertilidad.

En el artículo científico de los autores (Cariello, y otros, 2007), tiene como título "Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos", cuyo objetivo de la investigación fue aislar cepas de microorganismos nativos para acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos. Los microorganismos seleccionados fueron cepas de microorganismos *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* y la cepa del hongo *Aspergillus fumigatus*, Las variables consideradas tales como: temperatura, pH, relación C/N, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico; además, en el contenido de humedad se observó la estabilidad y madurez del producto final. La investigación presenta como resultado al producto final obtenido de una humedad menor al 40 %, en las pilas inoculadas el pico de temperatura se alcanzó una semana después en relación al testigo, logrando así un valor mayor de 63°C, y se mantuvo por más tiempo, esto evidencia una mayor actividad metabólica, resultando beneficiosa para la eliminación de potenciales patógenos, el pH en las pilas inoculadas se mantuvo por debajo del de las pilas testigo. Al tratarse de residuos sólidos urbanos se partió de un valor alto de 80,6 %, obteniendo a los tres meses un valor de 51,7% en las pilas testigo, y de 62,8 % en las inoculadas. La relación C/N evaluada en las pilas muestra una tendencia general a la disminución. El trabajo concluye que, de acuerdo a los indicadores de estabilidad y madurez, las pilas de compostaje inoculadas con estos microorganismos endógenos alcanzaron su estabilidad y madurez en menor tiempo que las testigos sin inocular, y el compost final presentó los parámetros de calidad estándares establecidos en Argentina. Los microorganismos seleccionados, componentes del inóculo, aislados del proceso

en forma natural, minimizaron el riesgo de impacto negativo en el ambiente y generaron un compost de calidad. El compost final obtenido posee olor a tierra mojada, color oscuro; no se distingue la materia orgánica de las que se partió y redujo su volumen a un 35 % de la inicial.

En el artículo científico de los autores (Rodríguez, y otros, 2007), tiene como título “El compost de lodo de estaciones de depuradora de aguas residuales”, cuyo objetivo de la investigación es realizar compostaje de lodos para emplear en cultivos del Olivar y mejorar características del suelo. La investigación concluye que el compost de lodos de depuradora ha beneficiado a las propiedades físicas, físico-químicas, nutricionales y microbiológicas, siendo estas últimas las más destacables, puesto que son en gran medida responsables del aumento de calidad agrícola del suelo. Utilizar lodo sometido a un proceso de compostaje y maduración, proporciona una materia orgánica estable y biodisponible a medio y largo plazo, estimulando el crecimiento de poblaciones microbianas del suelo. El empleo de este material orgánico, como enmienda, favorece al desarrollo y producción de las oliveras.

En el artículo científico de los autores (Torres y otros, 2007), tiene como título “Aplicación agrícola de lodos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”, cuyo objetivo de la investigación es evaluar el aprovechamiento agrícola de 2 tipos de compost, producidos con lodo primario espesado y deshidratado de la PTAR Cañaveralejo en el cultivo de rábano y acelga como especies indicadoras. La investigación presenta dos tipos de compost: el compost de lodo primario espesado y deshidratado al 100% (SC1), y al compost en una proporción 54% lodo primario espesado y deshidratado, 10% poda y 36% cachaza (SC2), donde se presentan los resultados siguientes en su caracterización física y química: SC1 con pH = 6.7, materia orgánica % = 27.4, carbono orgánico % = 15.9, nitrógeno total % = 1.14, fósforo % = 1.63, potasio % = 0.039, densidad real g/cm<sup>3</sup> = 0.7, humedad % = 36.3, relación C/N = 14.0, NPK = 2.8 y el SC2 con pH = 7.1, materia orgánica % = 33.9, carbono orgánico % = 19.7, nitrógeno total % = 1.07, fósforo % = 2.33, potasio % = 0.245, densidad real g/cm<sup>3</sup> = 0.4, humedad % = 36.5, relación C/N = 18.4, NPK

= 3.7. La investigación concluye que los dos tipos de compost tienen potencialidad para mejorar las características del suelo, debido al mayor contenido de materia orgánica y nutrientes, los cuales son deficientes en el suelo; a parte de ello, favorecen a las características y crecimiento de los cultivos.

El autor (Tituaña, 2009), realizó la investigación: "Elaboración de Compost mediante la inoculación de tres dosis de microorganismos a tres dosis, Tabacundo, Pichincha, Ecuador durante el año 2009", en la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad Central del Ecuador. Las fuentes de microorganismos fueron: f1, *Compost treet*, f2, *PE Compost*, f3, microorganismos benéficos, y las dosis: d1, dosis baja (-50%); d2, dosis media (50%); d3, dosis alta (+ 50%). La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

- a. La fuente de microorganismos que permitió la mejor descomposición de los desechos orgánicos fue f1 (*Compost treet*).
- b. La investigación presenta resultados en las siguientes variables: temperatura a diferentes semanas: semana 1 (57.16°C); semana 5 (36.33°C); semana 9 (22.66°C), pH (8.51), humedad (68.63%), tiempo de descomposición (72.33 días) y grado de conversión (81.21% de materia seca); además, presentó los más altos valores de macronutrientes y materia orgánica.
- c. La mejor dosis de aplicación de los microorganismos para la elaboración de compost fue la dosis alta d3 (Más el 50% de la dosis recomendada), pues presentó los mejores resultados en las siguientes variables: temperatura semana 1 (53.39°C); semana 5 (34.44°C); semana 9 (20.75°C), pH (8.51) y se obtuvo en un tiempo de 71.42 días.
- d. En cuanto a los análisis químicos, la d1 (menos del 50% fue la mejor). La mejor interacción fue f2d1 (*PE Compost* 7.5 g en 10 litros de agua x m<sup>3</sup>), la cual presentó los mejores resultados referentes al proceso, y a una mayor cantidad de elementos nutrimentales.

El autor (Rivera, 2011), realizó la investigación: “Evaluación de microorganismos eficaces en procesos de compostaje de residuos de maleza, Lima, durante el año 2011”, en la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo. El estudio se fundamentó en la comparación de tres tipos de sustratos (pavo, cuy y res), más maleza mediante la comparación del método convencional y la aplicación de microorganismos eficaces (EM), evaluando las condiciones de temperatura y pH durante el proceso de compostaje, la calidad nutricional y las propiedades químicas y físicas obtenidas en las muestras finales de las tres pilas en los dos métodos aplicados de compost. La investigación llegó a la conclusión:

- a. Mediante la aplicación de microorganismos eficaces (EM), se mostró ser más eficiente por tener menos tiempo de compostaje (mitad de tiempo que el método convencional) en su descomposición. Esto se debió a la inoculación de los EM, pues estas bacterias aeróbicas y anaeróbicas aceleran la descomposición de la materia orgánica actuando como agentes catalizadores y los volteos, que se hizo para sus condiciones óptimas, y que finalizó su degradación en 7 semanas. Mientras tanto con el método convencional se determinó su tiempo de degradación en 12 semanas.
- b. La aplicación de EM es una mejor alternativa óptima de tratamiento de estiércol y maleza, que contribuye al control de patógenos, amortiguación de olores, al desarrollo de una práctica mejorada y a un ambiente saludable; mientras tanto en el método convencional durante el proceso se han generado olores desagradables de ácido sulfhídrico durante el proceso.
- c. El uso de diferentes tipos de estiércol más maleza, tanto en el tiempo de duración de su descomposición como en el contenido nutricional se obtuvieron diferentes resultados, donde induce que cada tipo de estiércol; resultando la mejor combinación: maleza, estiércol de cuy y EM.

Los autores (Vicente y otros, 2012), realizaron la investigación: “Evaluación físico-químico y microbiológico de cuatro niveles de lodos ordinarios en la

elaboración de Compost”, El Salvador, Centro América durante el año 2012”, en la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de El Salvador. Obtención de cuatro niveles de lodo ordinarios (L), adicionando material vegetal (V), y estopa de coco como estructurante (E) con tratamientos detallados de la siguiente manera: T1 = L = 70%; E = 30%; V = 0%; T2 = L = 60%; E = 30%; V = 10%; T3 = L = 50%; E = 30%; V = 20%; T4 = L = 40%; E = 30%; V = 30%. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

- a. El proceso de compostaje se realizó adecuadamente observándose los 3 periodos que se deben de cumplir en un compost, las cuales son las fases: mesofílica que duró 3 días, termofílica que duró 58 días, y maduración que duró 60 días, para lo cual se utilizó la fibra de coco desmenuzada como estructurante.
- b. Los tratamientos en estudio, los T2, T3 y T1 presentan las mejores características físicas con respecto al % de granulometría menor a 16 mm y % de humedad, siendo el T4, el que presenta los peores resultados.
- c. El T3 presenta el mejor resultado en cuanto a pH, con relación a los T4, T2 y T1, los cuales poseen menores valores a pH, a pesar de que a los tratamientos no se les adicionó cal para elevar la alcalinidad; así mismo, los tratamientos presentan valores bajos de pH con respecto a la Norma NCH2880–2003.
- d. Con respecto a conductividad eléctrica y salinidad, los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre ellos, aunque el T1 y T3 presentan mejores valores que el T2 y T4; también, hay que saber que C.E. y salinidad están relacionados.
- e. Los valores obtenidos de nitrógeno, fosforo, potasio, materia orgánica y carbono orgánico, no mostraron diferencias significativas entre los cuatro tratamientos que se estudiaron en esta investigación, y los datos que se obtuvieron en N fue alto; en cuanto a P y K fueron valores bajos.

- f. En cuanto a los valores obtenidos en la relación C/N, sí muestran diferencias significativas, siendo los valores de T3 y T4 los mejores con respecto a la relación C/N, se clasifican en: Clase A, que son significativamente mejor que T2 y T1; Clase B, debido a que los valores son menores a 10, esto según la Norma NCH2880–2003.
- g. De los factores físicos, químicos y microbiológicos, el único parámetro que no cumple con la Norma NCH2880–2003, es el pH ya que en todos los tratamientos se obtuvieron valores bajos, aunque de todos los tratamientos el T3 = 4.94, es el resultado más alto y es el que más se acerca a 5.
- h. Los valores obtenidos de los tratamientos estudiados en esta investigación, en cuanto a calidad físico-química y microbiológica de compost, el tratamiento que muestra los mejores resultados es el T3, para el cual se utilizó 50% de lodo de fibra de coco y 20% de materia vegetal.

El autor (Valderrama, 2013), realizó la investigación: “Factibilidad de aprovechamiento de lodos residuales de la PTAR del Municipio de Chivanita, Boyacá, Colombia durante el año 2013”, en la Escuela de Postgrado de la Universidad de Manizales. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

- a. De acuerdo a la caracterización microbiológica (coliformes fecales, *Salmonella* y huevos de Helminto) de los lodos en la PTAR del municipio de Chinavita en Boyacá, se puede determinar que corresponden a un material Clase B (normatividad EPA), lo cual significa que requiere la reducción de los patógenos para potenciar su aprovechamiento.
- b. En referencia a los valores de la concentración de metales pesados de los lodos de la PTAR Chinavita que pueden ser potencialmente peligrosos, estos no están presentes en concentraciones que puedan limitar su uso de acuerdo a los parámetros estipulados por la EPA; es decir, que el lodo generado se puede clasificar como lodo no peligroso.
- c. Respecto a la concentración del componente para una calidad excepcional (EPA), la concentración de metales pesados potencialmente peligrosos

está también por debajo de los límites permisibles, por lo que los lodos se pueden considerar como lodos de buena calidad.

- d. En relación a los límites máximos permisibles de metales en compost y abonos orgánicos, los valores de metales pesados que pueden ser potencialmente peligrosos en los lodos de la PTAR Chinavita, se observa que se encuentran presentes en concentraciones que no limitan su aprovechamiento como material orgánico.
- e. De los valores obtenidos en el análisis de parámetros agronómicos, se evidencia que los lodos presentan cantidades mínimas de elementos nutrientes, una cantidad moderada de materia orgánica y un pH dentro del rango, al ser comparados con parámetros establecidos para otros materiales orgánicos.
- f. Por el contenido de materia orgánica, los lodos de la PTAR pueden ser aprovechados como enmienda orgánica para mejorar las propiedades físicas y biológicas de los suelos.

El autor (Fioravanti, 2003), realizó la investigación: "Eficiencia de los microorganismos eficaces en la estabilización de lodos sépticos para su reuso agrícola, Guácimo, Costa Rica durante el año 2003", en la Escuela de Agronomía de la Universidad Earth. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

- a. El tratamiento con EM, eliminó efectivamente más del 99% de los coliformes totales y fecales a las dos semanas de tratamiento. Con esto se superaron los límites legales establecidos por la ley para el reuso agrícola de lodos sépticos.
- b. El tiempo necesario de estabilización con EM fue de dos semanas.
- c. Las variables del pH, temperatura, contenido nutricional, mostraron evolución positiva después de la segunda semana.

- d. Los microorganismos eficientes fueron un catalizador eficaz del proceso de estabilización como se pretendía. Las condiciones ambientales generadas por los microorganismos eficientes en el tanque anaeróbico generaron una efectiva remoción de elementos contaminantes presentes en los lodos sépticos. El aumento de pH significó una amenaza en la estabilización de los lodos, debido a que favoreció el desarrollo de ciertos microorganismos y dificultó la desnitrificación, entre otras cosas.

El autor (Bejarano y otros, 2007), realizó la investigación: “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 (EM)”. El estudio fundamentó la dosificación del EM, teniendo en cuenta la información contenida en la etiqueta del producto y en la guía de uso de la tecnología EM en manejo de residuos sólidos orgánicos, siendo el uso de 5 litros de EM por una tonelada de material. Los 5 litros de EM se distribuyen de la siguiente manera: armado de la pila, 2 litros de EM diluidos en 18 litros de agua; volteos, 1 litro de EM diluido en 9 litros de agua por volteo y durante 3 volteos, con esta relación se determinan los volúmenes para el armado de las pilas siendo en relación a estos aspectos: masa de composteras (etiqueta EM: 1 tonelada; composteras piloto: 20 kg); volumen EM (etiqueta EM: 5 litros; composteras piloto: 100 ml). La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

- a. Las composteras: 1, 2, 5 y 6 que contenían pasto, residuos de comida y aserrín, producen mayor volumen de compost en 43 días, comparadas con las composteras: 3, 4, 7 y 8 que contenían cartón, papel y residuos de comida que producen menor volumen de compost en el mismo periodo de tiempo; sin embargo, cabe anotar que los primeros producen un compost joven y los segundos un compost maduro, lo cual hace que se deba tener en cuenta esta característica para la aplicación de este a los cultivos, dependiendo de la época del año que este vaya a ser utilizado.
- b. Los EM son una buena alternativa para hacer compostaje cuando no se tienen materiales ricos en microorganismos y nutrientes, como lo son: el

estiércol, la gallinaza, la conejina, entre otros; ya que el EM contiene diversos microorganismos con los cuales se pueden inocular los materiales que tienen poca población microbiana, y obtener un compost joven o maduro de buena calidad en 40 a 45 días.

- c. El pH no tuvo variaciones drásticas durante todo el proceso; la temperatura presentó las variaciones que determinaron las fases del compostaje. Esto se debe a la eficiente actividad microbiológica que hicieron que se dieran las fases mesofílica, de enfriamiento y maduración, logrando una descomposición aerobia óptima, esto representado en los valores de pH que estaban entre 8 y 9 durante el proceso.
- d. En el proceso de compostaje no se alcanzaron temperaturas mayores a los 40° C, lo que indica que no se alcanzó la fase termofílica, debido al bajo contenido de nitrógeno de los materiales a compostar, falta de apilación en las composteras y la no adición de una sustancia que aportara nitrógeno.
- e. Para obtener una relación óptima entre humedad (40-60%) y temperatura (T° ambiente – 65°C) durante el proceso de compostaje, fue necesario mantener el sistema en equilibrio, por medio de aspersion de 200 ml de agua en promedio y volteo semanal, a los cajones: 2, 4, 6 y 8. Igualmente, a las composteras: 1, 3, 5 y 7, se le realizaba el riego conjunto con la inoculación de la dilución 2 (20 ml EM por cada 180 ml de agua). Se hizo el seguimiento diario a estas variables y se tomaron las medidas correctivas necesarias según fuera el caso.
- f. Se evidenció el crecimiento de actinomicetos y hongos en las composteras con EM, ya que presentaron colonias grises y blancas en forma de micelios, que ayudaron en la descomposición de la materia orgánica. Así mismo, en el envase del producto, se veían colonias de *lactobacillus*.
- g. Los EM sí aportan a la descomposición de residuos orgánicos, ya que la mayor degradación de estos se logró en las fases termofílica y mesofílica. También, al realizar el primer volteo, se vio que en los cajones con EM, el

90% de los residuos orgánicos – a diferencia de los que no tenían EM – se observaba el 60% de estos residuos en forma de grumos.

- h. En cuanto el contenido de materia orgánica de las composteras, todas presentaron un porcentaje mayor al 50%, lo que indica que este compost da estabilidad y nutrientes al suelo permitiendo buen desarrollo radicular, dando como resultado un equilibrio orgánico para los cultivos.
- i. El sistema funcionó correctamente, ya que los problemas presentados se solucionaron a tiempo, se vieron los cuatro periodos que atienden a la evolución de la temperatura, se logró la homogenización de los materiales, la inoculación con EM disminuyó el tiempo del proceso de compostaje, entre otros. La variable que no nos permite calificar este sistema como excelente, es la relación C/N, ya que los cajones: 1, 2, 5 y 6, no cumplen con el rango compost, madurará lo suficiente.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Microorganismos eficientes (EM)**

Según Higa y Parra. (1994), EM es una solución que contiene varios microorganismos benéficos tanto aeróbicos como anaeróbicos, los cuales tienen diferentes funciones. Como el EM está compuesto por microorganismos, es una entidad viva. En la producción de compost, los microorganismos eficientes se utilizan como inoculante del material en la fase inicial y durante el proceso. La tecnología de los microorganismos eficientes fue desarrollada por el Dr. Teruo Higa, profesor en la Universidad del Ryukyus. La mayoría de los microorganismos en el EM son heterotróficos; es decir, ellos requieren de fuentes orgánicas de carbón y nitrógeno. Los microorganismos eficientes han sido más eficaces cuando están aplicados conjuntamente con enmiendas orgánicas para proporcionar carbón, oxígeno y energía. El EM contiene un gran número de microorganismos, entre ellos: bacterias fotosintéticas, levaduras, bacterias de ácidos lácticos y hongos. Además, los microorganismos

eficientes son un producto comercial producido por la Universidad Earth bajo la licencia de EMRO en Costa Rica. Los alcances de esta investigación no contemplan el análisis de los microorganismos eficientes o su efecto en el proceso, Nieves (2005).

### **2.2.2 Componentes de los microorganismos eficientes (EM)**

Los microorganismos eficientes, son un cultivo microbiano mixto de especies seleccionadas de microorganismos. Este contiene un alto número de: levaduras, bacterias ácido-lácticas, bacterias fotosintéticas y cantidades menores de otros tipos de organismos. Se incluyen también los actinomicetos, que son mutuamente compatibles entre sí y coexisten en un cultivo líquido. Debido a la amplia variedad de microorganismos presentes en el EM, es posible que se lleven a cabo procesos de fermentación anaeróbica y degradación anaeróbica, así como la sana descomposición, Tabora, (1999). Dentro de las funciones que realizan los principales grupos de microorganismos eficientes están: bacterias fotosintéticas, bacterias lácticas y levaduras.

#### **A. Bacterias fotosintéticas**

Son bacterias autótrofas (*Rhodopseudomonas spp*), que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía (Arias, 2010).

Su función es la de ayudar a sintetizar sustancias útiles para las raíces, materia orgánica o gases nocivos (sulfuro de hidrógeno). Algunas de las sustancias sintetizadas por las bacterias fotosintéticas son: aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, las cuales promueven el crecimiento y el desarrollo celular en las plantas, Sangakkara, (1999).

Las bacterias fotosintéticas presentes en este grupo son:

- *Rhodopseudomonas palustris* (ATCC 17001).
- *Rhodobacter lactis* (IFO 12007).

## B. Bacterias ácido lácticas

Dentro de las funciones primordiales de estas bacterias está el producir ácido láctico, logrando así suprimir microorganismos dañinos (*Fusarium*, *nematodos*, etc.). De igual forma ayudan a promover la descomposición de la materia orgánica. Estas bacterias son sumamente importantes en los procesos de fermentación y descomposición de material como la lignina y la celulosa, Sangakkara, (1999). Así mismo, juegan un papel muy importante, ya que son las causantes del proceso de fermentación.

Algunos microorganismos de éste grupo son (Valle, 2004):

- *Lactobacillus plantarum* (ATCC 98014).
- *Lactobacillus casei* (ATCC 7469).
- *Streptococcus lactis* (IFO 12007).

## C. Levaduras

El rol de las levaduras en el EM, es el de sintetizar sustancias antimicrobiales, aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fotosintéticas.

Estas son benéficas para el crecimiento de las plantas y sus raíces. Las sustancias bioactivas, como las hormonas y las enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división activa de células y raíces; estas secreciones también son sustratos útiles para microorganismos eficaces como las bacterias lácticas y actinomicetos, Sangakkara, (1999).

Las levaduras presentes en este grupo de microorganismos eficaces son:

- *Saccharomyces cerevisiae* (IFO 0203).
- Hongos (fungi).
- *Aspergillus oryzae* (IFO 5770).
- *Mucor hiemalis* (IFO 8567).

### **2.2.3 Microorganismos en el proceso de compostaje**

Rynk, citado por (Uribe Lorío, 2003), dice que los grupos más importantes de microorganismos presentes en los abonos orgánicos son las bacterias, hongos y actinomicetos. Y los grupos comprenden tanto especies mesofílicas como termofílicas. Paul y Clark, mencionados por (Soto, 2003), establecieron que las bacterias y hongos se encargan de la fase mesófila, especialmente bacterias del género *Bacillus sp*, aunque existen también algunos *Bacillus termófilos*. Además, indican que el 10% de la descomposición es realizada por bacterias, del 15-30% es realizada por actinomicetos. Después de que los materiales lábiles han desaparecido, los predominantes son los actinomicetos, hongos y levaduras. (Gómez, E; Molina, S. 2006)

### **2.2.4 El compost**

El compost es una palabra que viene del latín y significa componer (juntar). Una definición aceptada de compostaje es “la descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos en condiciones controladas”, (INTEC, 1999). El proceso de compostaje depende de la descomposición microbiana de compuestos orgánicos bajo condiciones en las cuales se permite el aumento de la temperatura como producto de la oxidación aeróbica de los desechos, (Coyne, 2000).

#### **Función del compost**

La función del compostaje es lograr un balance entre los materiales orgánicos de fácil y difícil descomposición. Este proceso da lugar a una transformación de la materia orgánica, tanto química como mecánica. Se requiere la utilización de materia prima adecuada para poder tener un producto final con buenas características para incorporar al suelo. Con el compost se logra dar al cultivo la nutrición adecuada, así como brindar al suelo, humus estable como aporte a la estructura. El compostaje tiene las ventajas de reducir el volumen de las materias primas (concentrar los nutrientes), disminuir la emisión de malos olores, matar gérmenes de enfermedades y destruir semillas de malezas, (Elzakker, 1995).

## **El proceso de compostaje**

La fabricación de compost es iniciada por organismos quimioheterótrofos mesófilos. A medida que estos respiran, la temperatura del compost aumenta y éstos van siendo sustituidos por organismos termófilos, (Coyne, 2000). Una división del proceso en tres fases, iniciando con una fase mesofílica de descomposición rápida de los materiales más lábiles, tales como: azúcares, proteínas, almidones y hemicelulosas. Luego una segunda fase termófila, de temperaturas más altas, donde se degradan los materiales más recalcitrantes como celulosa y la lignina, para pasar finalmente la fase de síntesis, enfriado y maduración, donde se forman sustancias húmicas, (Teruo Higa, 1982).

El compost se realiza a partir del proceso de descomposición por medio de diferentes microorganismos. Los microorganismos naturales son los responsables directos de degradar la materia. Sin embargo, para que estos puedan llevarse a cabo eficientemente, el proceso necesita un medio con ciertas características favorables. Algunas de estas características son: humedad, temperatura adecuada, condiciones aeróbicas, pH, relación nutritiva de los materiales a ser compostados entre otros, (Cerrato, 2000).

El proceso de compostaje (Elzakker, 1995), comienza con la pila de compost recién hecha la cual se calienta a los pocos días, alcanzando temperaturas de hasta 70° C y más. Al llegar a estas temperaturas, los patógenos, y semillas de malezas son eliminados. Esta temperatura no debe de permanecer más de unos cuantos días; ya que se pierde mucho carbono y nitrógeno. A diferencia de la temperatura óptima para el proceso de descomposición realizado en la pila de compost que es de 55 a 65 centígrados (Teruo Higa, 1982).

Durante el proceso de compostaje, los microorganismos consumen la mayor cantidad del oxígeno en poco tiempo; luego de esto su actividad se ve reducida, lo cual se puede notar en la disminución de la temperatura, la cual llega a los 20° a 25° centígrados. Con el fin de uniformar el resultado del compostaje, se da vuelta a la mezcla después de 30 días y se añade

un poco de compost viejo. Una vez enfriada la mezcla, comienza otra fase de descomposición, en la cual animales más grandes como lombrices y especies de *Collembola* son los activadores del proceso. Los estiércoles de estos animales son descompuestos por bacterias y hongos.

Los subproductos que se generan a través de este proceso son: energía, dióxido de carbono y agua. Una parte de la energía liberada es utilizada por los microorganismos para poder realizar sus actividades metabólicas. La otra o comúnmente llamada exceso de energía que se convierte en calor, de ahí la importancia de estar controlando la temperatura constantemente, (Cerrato, 2000), ya que el proyecto pretende conservar al máximo la energía.

### **Fabricación óptima de un compost**

Las consideraciones más importantes asociadas con la fabricación óptima del compost, (Coyne, 2000), son las siguientes: 1) el tipo y la composición de los desechos orgánicos; 2) la disponibilidad de los microorganismos; 3) la aireación; 4) los niveles de C, N y P; 5) el contenido de humedad; 6) la temperatura; 7) el pH; y 8) el tiempo.

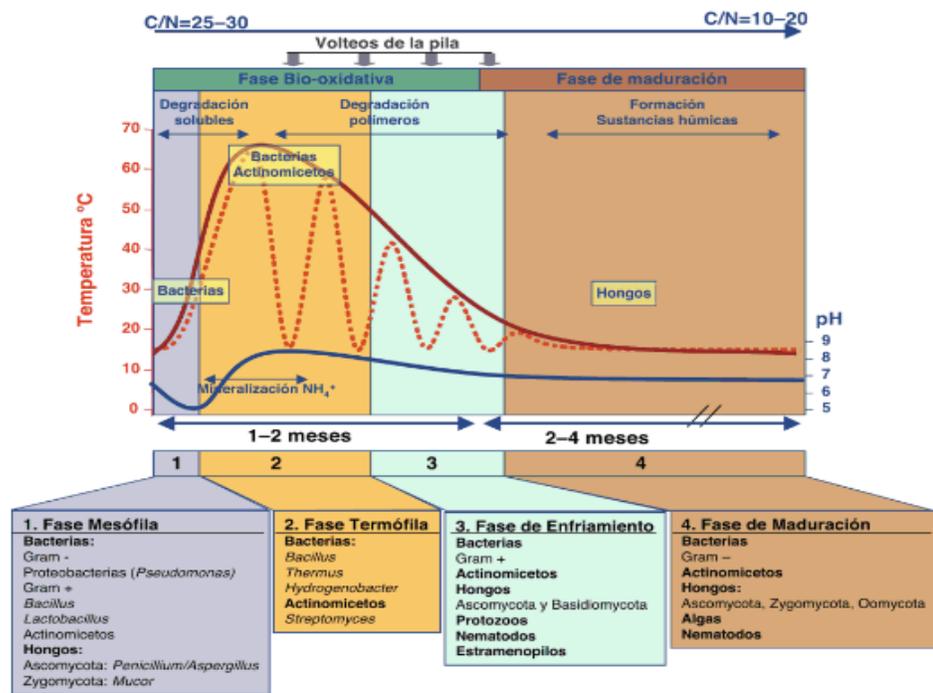
### **Etapas del proceso de compostaje**

El proceso de compostaje puede dividirse en cuatro períodos, de acuerdo con la evolución de la temperatura:

- **Mesófila.** La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.
- **Termófila.** Cuando se alcanza una temperatura de 40° C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60° C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.

- **De enfriamiento.** Cuando la temperatura es menor de 60° C, reaparecen los hongos termófilos que reinviden el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40° C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.
- **De maduración.** Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus.

Figura N° 1. Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje.



Fuente: Microbiología del compost según la temperatura del compostaje, Moreno y Mormeneo, 2008.

## Propiedades y ventajas del compostaje

Mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la

densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua. Mejora las propiedades químicas. Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos. Mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. Se obtiene en corto tiempo un producto final fértil, de gran utilidad y a un bajo costo. No se producen gases tóxicos ni olores ofensivos. Fácil de manejar, almacenar y transportar. El proceso desactiva agentes patógenos perjudiciales para los cultivos. Mejora gradualmente la fertilidad de los suelos asociada con los microorganismos. Estimulan el ciclo vegetativo de cultivo hortícola, haciéndolo más corto. Mayor rendimiento de número de plantas por hectárea. Fuente constante de materia orgánica. Se incorporan macro y micronutrientes en los abonos. No afectan negativamente la fauna y la flora. Costos bajos si se comparan con los abonos químicos. Mejoran textura y permeabilidad (Porta, 1994).

### **Calidad del compost**

Los criterios de aptitud del compost como abono orgánico tratan del contenido de materias nutritivas y de criterio generales de calidad. Si se encuentran más del 75% de las muestras analizadas del producto de una planta de compostaje dentro de los márgenes indicados, se considera como compost de buena calidad fertilizante. Si el contenido de materias nutritivas es muy bajo, el compost no sirve como fertilizante. En el caso inverso, puede ocurrir una sobrefertilización que puede lixiviar el suelo a largo plazo y que puede causar graves daños a las aguas subterráneas. La conductividad eléctrica debe tener un mínimo de 2.0 dS/m, un máximo de 4.0 dS/m y un promedio de 2.5 dS/m (Roben, 2002).

FAO (2013) reporta los siguientes parámetros del compostaje:

Tabla N° 4. Parámetros del compostaje.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango ideal de compost maduro</b>
C:N	10:1 – 15:1
Humedad (%)	30 – 40
pH	6.5 - 8.5
Materia orgánica (%)	> 20%
Nitrógeno (%)	0.3 - 1.5
Fósforo (%)	0.1 – 1.0
Potasio (%)	0.3 – 1.0

Fuente: FAO.

(Soliva y López, 2004), mencionan que el concepto de calidad es difícil de definir, ya que ha de tener en cuenta múltiples aspectos; además, puede ser siempre muy subjetivo. Siempre debería considerarse la calidad del compost a partir de aquellas características que resulten de aplicar un tratamiento respetuoso con el medio ambiente acorde con una gestión racional de los residuos y que tenga como objetivo fabricar un producto destinado para su uso en el suelo o como sustrato. Dentro de los niveles de calidad deben o pueden establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado; pero siempre habrá unos mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Es necesario establecer unos parámetros diferenciados para usos diversos, sin querer significar esta afirmación que los máximos permitidos de contaminantes se puedan sobrepasar según el destino.

El EPA Australia (2013), reporta los siguientes valores para el compost:

Tabla N° 5. Pruebas de contaminantes para el producto final.

Contaminante químico	Máxima concentración (mg/kg)
Aldrin/dieldrin	0.02
Arsénico	20
Cadmio	1
Cromo	100
Cobre	150
Plomo	150
Mercurio	1

Fuente: EPA Australia.

### 2.3 Definición de términos básicos

- a) **Microorganismos eficientes (EM-Compost):** Son organismos microscópicos biosintetizadores de origen natural, aplicados como inoculantes para incrementar la diversidad microbial de los suelos y plantas.
- b) **Compostaje:** Proceso de degradación biológica aeróbica en condiciones controladas.
- c) **Compost:** Enmienda orgánica con el fin de mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de intercambio catiónico, eliminar patógenos y así, aumentar el crecimiento de las plantas.
- d) **Planta de tratamiento de aguas residuales:** Instalación donde a las aguas residuales se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos para la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural.
- e) **Lodos:** Son los subproductos obtenidos en las estaciones de tratamiento de las aguas residuales, tanto de aguas urbanas como industriales.

- f) **Condición aeróbica:** se denominan aerobios o aeróbicos a los organismos que pueden vivir, desarrollarse y biosintetizar en presencia de oxígeno.
- g) **Condición anaeróbica:** se denominan aerobios o aeróbicos a los organismos que pueden vivir, desarrollarse y biosintetizar sin presencia de oxígeno.
- h) **Relación carbono/nitrógeno:** valor numérico que determina la proporción de carbono/nitrógeno que podemos encontrar en un suelo o en enmiendas orgánicas por degradación biológica.
- i) **Humedad:** cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.
- j) **Temperatura:** grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera.
- k) **Potencial de hidrogeno (pH):** el pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio  $H_3O^+$  presentes en determinadas disoluciones.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 Método y alcance de la investigación

##### 3.1.1 Método de investigación

El método de investigación es **experimental**, donde se prepara compost con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, de Concepción, inoculado con EM-Compost y se analizará el proceso de compostaje, periodo de obtención de compost, así como parámetros de calidad: C/N, MO, pH, P, K, N, CE, Cd, Cr, humedad y rendimiento.

El primer requisito de un experimento es la **manipulación intencional de una o más variables independientes**. La variable independiente es la que se considera como supuesta causa en una relación entre variables, y al efecto provocado por dicha causa se le denomina variable dependiente. **La variable dependiente no se manipula, sino que se mide para ver el efecto que la manipulación de la variable independiente tiene en ella.**

El tercer requisito que **todo experimento debe cumplir es el control o validez interna de la situación experimental**. La acepción más común del término “control”, es que, si en el experimento se observa que una o más variables independientes hacen variar a las dependientes, la variación de

estas últimas se debe a la manipulación de las primeras y no a otros factores o causas; y si se observa que una o más independientes no tienen efecto sobre las dependientes, se puede estar seguro de ello. También, el control en un experimento es que contenga la influencia de otras variables extrañas en las variables dependientes, para así saber en realidad si las variables independientes que nos interesan tienen o no efecto en las dependientes (Hernández et al., 2014).

### **3.1.2 Tipo de investigación**

El tipo de investigación es **aplicada**, pues es de naturaleza eminentemente práctica para aplicar las bases teóricas del proceso de compostaje, utilizando lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción con la aplicación de EM-Compost.

Páez (2013), reporta que una investigación aplicada es de naturaleza eminentemente práctica, y es realizada con la intención de aplicar los conocimientos científicos a la solución o tratamiento de problemas específicos, correspondientes a diversos tipos de situaciones. La investigación aplicada tiene la siguientes estructura general: (i) se parte de una situación problemática, que requiere ser intervenida y mejorada y se describe sistemáticamente esta situación, aplicando los criterios para tal fin; (ii) se selecciona una teoría reconocida aplicable al problema, se expone sistemáticamente esta teoría, tanto en sus conceptos centrales como en sus rasgos contextuales; (iii) se examina la situación problemática descrita, a la luz de la teoría seleccionada, de éste examen se deriva un sistema de acciones y de previsiones que de ponerse en práctica, resolvería favorablemente la situación problemática o el problema estudiado. Se describe sistemáticamente la propuesta, tanto en su secuencia de empleo como en su instrumentación; y (iv) se prueba la propuesta y se determina la probabilidad que tiene el modelo aplicativo de resolver el problema objeto de estudio.

### **3.1.3 Nivel de investigación**

El nivel del presente trabajo de investigación es **explicativo**, pues trata de encontrar una relación causa–efecto, en la cual la variable independiente produce indefectiblemente en la variable dependiente. Toda causalidad implica correlación.

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos, fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos o fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. Las investigaciones explicativas son más estructuradas que los estudios con los demás alcances y de hecho implican los propósitos de estos (exploración, descripción y correlación o asociación); además, de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno al que hacen referencia (Hernández et al., 2014).

En la presente investigación, se trata de relacionar las dosis de EM-Compost inoculadas y los parámetros del compost obtenido.

### **3.1.4 Alcance de la investigación**

El presente trabajo de investigación se planteó para utilizar los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Concepción, con el objetivo de reducir su volumen y obtener compost, mediante la aplicación de microorganismos eficientes para compost (EM-compost), durante el año 2016.

Los resultados servirán para tener una alternativa de utilización de estos lodos y su utilización como abono orgánico para los suelos, de tal manera que se pueda reducir su volumen y beneficiar a los suelos agrícolas en la mejora de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

La utilización del EM tiene por finalidad hacer eficiente y acelerado el proceso de compostaje y asegurar la calidad del compost.

### 3.2 Diseño de la investigación

El diseño es experimental donde los tratamientos fueron dispuestos en un **Diseño Completamente al Azar (DCA)** con un total de 5 tratamientos, cada uno con 3 repeticiones, totalizando 15 unidades experimentales.

Modelo aditivo lineal del diseño experimental:

$$\gamma_{ik} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$\gamma_{ik}$  = Cualquier observación del experimento

$\mu$  = Media poblacional

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo Tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

#### Tratamientos en estudio

Los tratamientos a estudiar serán los siguientes.

Tabla N° 6. Tratamientos en estudio.

N°	TRATAMIENTO
1	Compost + EM – compost (2%)
2	Compost + EM - compost (4%)
3	Compost + EM – compost (6%)
4	Compost + EM – compost (8%)
5	Compost (solo con lodos de depuradora)

Fuente: Elaboración propia.

Las proporciones detalladas por tratamiento se definieron con enfoque a la dosificación del EM–Compost por parte del investigador con criterio propio con una valoración creciente en dosis.

Se ensayaron cinco dosis de EM-Compost detallados de la siguiente manera:

0% (sin dosis), 2% (muy bajo), 4% (bajo), 6% (alto) y 8% (muy alto).

### **3.3 Procedimiento experimental**

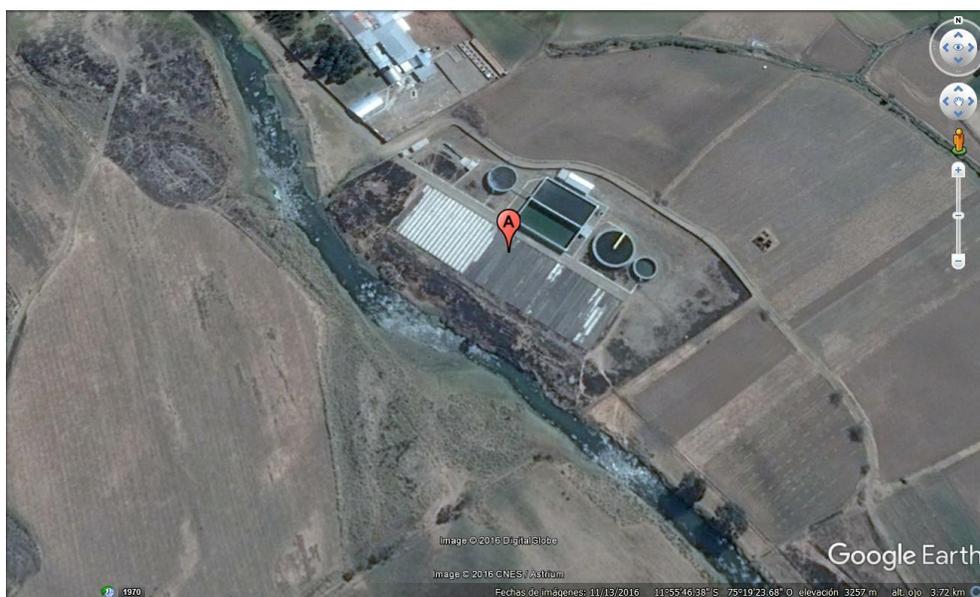
#### **3.3.1 Obtención de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Concepción (PTAR): 14/06/16 - 15/06/16**

- Se realizó el ingreso a la PTAR para sacar los lodos de los lechos de secado con previa autorización de la EPS–El Mantaro S.A., encargada de las operaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Concepción.
- El ingreso a la PTAR se tuvo en cuenta los Equipos de Protección Personal (EPP) en el enfoque de seguridad para el manejo de los lodos (lentes de seguridad, zapatos de seguridad, overol descartable 3M de uso ligero, guantes, respirador y lentes de seguridad).
- Se extrajo la cantidad de lodo, la cual fue determinada para la experimentación, siendo 300 kg en total, y que por día se extrajo 150 kg, siendo 2 días de ingreso a la PTAR.

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Concepción

- Distrito: Concepción.
- Provincia: Concepción.
- Región: Junín.
- Latitud: 11°55'45.25"S.
- Longitud: 75°19'23.48"O.
- Altitud: 3257 msnm.

Figura N° 2. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales – Concepción.



Fuente: Google Earth.

### 3.3.2 Análisis de laboratorio de lodos, caracterización fisicoquímica.

**Fecha de entrega de muestra:** 16 de junio del 2016

- Se entregó la muestra de 1 kg de lodo al laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima.

**Instalación del experimento:** 09 de agosto del 2016.

#### a. Lugar de la experimentación

- Anexo: Pachascucho.
- Distrito: Acolla
- Provincia: Jauja.
- Región: Junín.
- Latitud: 11°55'45.25"S.
- Longitud: 75°19'23.48"O.
- Altitud: 3498 msnm.

Figura N° 3. Ubicación del lugar de experimentación



Fuente: Google Earth.

**b. Características del Área de experimentación:**

- Área total de experimentación: 12 m<sup>2</sup>
- Largo = 4 m
- Ancho = 3 m

**c. Características de las unidades experimentales:**

- Número de unidades experimentales: 15 unidades.
- Área de cada unidad experimental (pilas): 0.36 m<sup>2</sup>
- Unidad experimental: Largo 0.6 m (0.60 cm), Ancho 0.6 m (0.60 cm).
- Forma de la unidad experimental: montículo.

**d. Materiales utilizados para la instalación de área de experimentación**

- 1 plancha de plástico de 5 m de ancho x 5 m de largo (base de unidades experimentales).

- 1 plancha de plástico de 5 m de ancho x 5 m de largo (cubrimiento de unidades experimentales).
- 200 gramos de tachuelas.
- 200 gramos de clavos 3".
- 2 listones de madera de 4"x 4" x 3 m.
- 2 listones de madera de 4"x 4" x 3 m.
- 15 cuadrángulos de 0.60 cm x 0.60 cm.

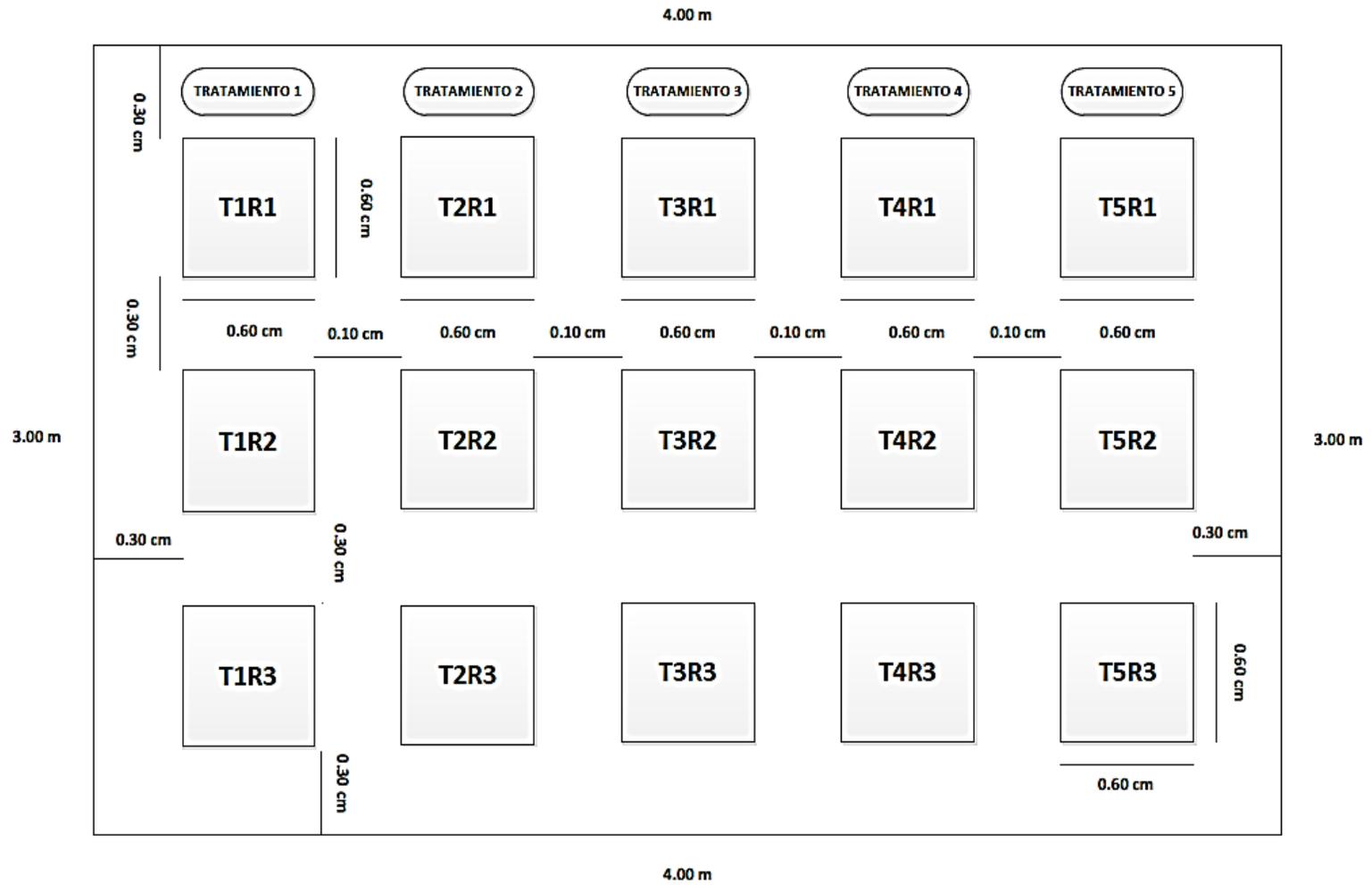


Figura N° 4. Croquis experimental

El croquis experimental se presenta con un diseño propio de investigación, teniendo en cuenta el total de los 5 tratamientos planteados, cada uno con 3 repeticiones y de acuerdo al sistema de Diseño Completamente al Azar (DCA).

Por otro lado, se tuvo en cuenta las diferentes técnicas de compostaje optando la técnica de pilas estáticas en forma de montículo para cada unidad experimental (Navarro, R. *op. cit.* P. 10).

Para la determinación de las magnitudes de las pilas de compostaje se diseñó cuadrángulos de madera de 0.60 cm x 0.60 cm, ya que se ubicaron en la base de cada fila con la función de no permitir la caída del montículo formado, con el criterio de volumen de muestra por pila.

El área seleccionada es de forma plana, en el diseño se definieron filas respecto al tratamiento con una separación por pila de 0.10 cm en forma horizontal y las columnas al número de repeticiones con una separación de 0.30 cm en forma vertical, estas distancias se definieron por criterio propio de acuerdo a la accesibilidad de las muestras y, por otro lado, a que no existe una distancia específica para el proceso de compostaje a un nivel piloto.

#### **e. Procedimiento del armado de la instalación de lugar de experimentación.**

- Se conectaron los 4 listones con los clavos sacando el cuadrante de 12 m<sup>2</sup>.
- Se puso el cuadrante sobre el plástico de 5 m x 5m tendido en el área de experimentación.
- Se forraron los listones con el plástico que sobraba alrededor de estos, reforzándolos con las tachuelas respectivamente en los 4 lados.

#### **f. Insumos**

Los insumos utilizados para los ensayos de la investigación fueron los siguientes:

- Microorganismos eficaces (EM - Compost), según proporción.
- Melaza de caña, según proporción.

- Agua, según proporción.

### **3.3.3 Activación de microorganismos eficaces:** 21 de julio del 2016

Se procedió a la activación de los microorganismos eficaces EM–Compost con las dosis determinadas de acuerdo a los kilogramos y tratamientos de cada unidad, las dosis de EM–Compost y melaza de caña se dan en la proporción 1:1 por tratamiento para la activación, esta se dio:

- Armado de las pilas: 12 disoluciones, 3 por tratamiento por las repeticiones.
- Volteos de las pilas: 12 disoluciones, 3 por tratamiento por las repeticiones.

Se necesitaron los siguientes insumos en cantidades.

- Microorganismos eficaces (EM-Compost) – 2 litros.
- Melaza de caña 3 kg.
- Agua 15 litros.
- 24 botellas de plástico etiquetadas por dosis para la activación de microorganismos eficaces EM–Compost.
- 1 jeringa de 60 ml para los microorganismos eficaces EM–Compost.
- 1 jeringa de 60 ml para la melaza de caña.
- 1 jeringa de 60 ml para el agua.

### **3.3.4 Preparación de disoluciones por tratamiento**

#### **a. Tratamiento 1 – disolución T<sub>1</sub> (275 ml EMA)**

##### **1er paso**

Se extrajo la melaza de caña con una jeringa, en cantidad de 25 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

##### **2do paso**

Luego se extrajeron los microorganismos eficaces (EM–Compost) con la jeringa respectiva la cantidad de 25 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

### **3er paso**

Finalmente, se extrajo agua con la jeringa respectiva la cantidad de 225 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

### **4to paso**

Se procedió a cerrar las botellas con las disoluciones por tratamiento colocándolos en cajas y en un lugar bajo techo para su posterior activación en 15 días.

## **b. Tratamiento 2 – disolución T<sub>2</sub> (550 ml EMA)**

### **1er paso**

Se extrajo la melaza de caña con la jeringa respectiva la cantidad de 50 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

### **2do paso**

Luego se extrajeron los microorganismos eficaces (EM – Compost) con la jeringa respectiva la cantidad de 50 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

### **3er paso**

Finalmente, se extrajo agua con la jeringa respectiva la cantidad de 450 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

### **4to paso**

Se procedió a cerrar las botellas con las disoluciones por tratamiento colocándolos en cajas y en un lugar bajo techo para su posterior activación en 15 días.

### **c. Tratamiento 3 – disolución T<sub>3</sub> (825 ml EMA)**

#### **1er paso**

Se extrajo la melaza de caña con la jeringa respectiva la cantidad de 75 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

#### **2do paso**

Luego se extrajeron los microorganismos eficaces (EM–Compost) con la jeringa respectiva la cantidad de 75 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

#### **3er paso**

Finalmente, se extrajo agua con la jeringa respectiva la cantidad de 675 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

#### **4to paso**

Se procedió a cerrar las botellas con las disoluciones por tratamiento colocándolos en cajas y en un lugar bajo techo para su posterior activación en 15 días.

### **d. Tratamiento 4 – disolución T<sub>4</sub> (1100 ml EMA)**

#### **1er paso**

Se extrajo la melaza de caña con la jeringa respectiva la cantidad de 100 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

#### **2do paso**

Luego se extrajeron los microorganismos eficaces (EM–Compost) con la jeringa respectiva la cantidad de 100 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

### **3er paso**

Finalmente, se extrajo agua con la jeringa respectiva la cantidad de 900 ml y se inóculo a las 3 botellas de plástico para las 3 repeticiones por el tratamiento.

### **4to paso**

Se procedió a cerrar las botellas con las disoluciones por tratamiento colocándolos en cajas y en un lugar bajo techo para su posterior activación en 15 días.

## **3.3.5 Procedimiento de armado de pilas: 08 de agosto del 2016**

### **a. Tratamiento 1 – pilas T1R1, T1R2 y T1R3**

#### **1er paso**

Se pesaron los 20 kg de lodo y agregamos agua hasta una humedad de 45%.

#### **2do paso**

Luego en el cuadrante instalado se le colocó una base de 30 cm de espesor del material a compostar (lodos), se procedió a dispersar la **disolución T<sub>1</sub> (275 ml EMA)** y así sucesivamente hasta formar el montículo de los 20 kg por pila con sus respectivas repeticiones.

#### **3er paso**

Finalmente, se dejó al aire libre hasta las 4.00 pm, donde se procedió a cubrirlo con el plástico destinado hasta el día siguiente por el frío de las noches.

### **b. Tratamiento 2 – Pilas T2R1, T2R2 y T2R3**

#### **1er paso**

Se pesaron los 20 kg de lodo y agregamos agua hasta una humedad de 45%.

### **2do paso**

Luego en el cuadrante instalado se le colocó una base de 30 cm de espesor del material a compostar (lodos), se procedió a dispersar la **disolución T<sub>2</sub> (550 ml EMA)**, y sucesivamente hasta formar el montículo de los 20 kg por pila con sus respectivas repeticiones.

### **3er paso**

Finalmente, se dejó al aire libre hasta las 4.00 pm, donde se procedió a cubrirlo con el plástico destinado hasta el día siguiente por el frío de las noches.

## **c. Tratamiento 3 – pilas T3R1, T3R2 y T3R3**

### **1er paso**

Se pesaron los 20 kg de lodo y agregamos agua hasta una humedad de 45%.

### **2do paso**

Luego en el cuadrante instalado se le colocó una base de 30 cm de espesor del material a compostar (lodos), se procedió a dispersar la **disolución T<sub>3</sub> (825 ml EMA)**, y sucesivamente hasta formar el montículo de los 20 kg por pila con sus respectivas repeticiones.

### **3er paso**

Finalmente, se dejó al aire libre hasta las 4.00 pm, donde se procedió a cubrirlo con el plástico destinado hasta el día siguiente por el frío de las noches.

## **d. Tratamiento 4 – pilas T4R1, T4R2 y T4R3**

### **1er paso**

Se pesaron los 20 kg de lodo y agregamos agua hasta una humedad de 45%.

### **2do paso**

Luego en el cuadrante instalado se le colocó una base de 30 cm de espesor del material a compostar (lodos); también, se procedió a dispersar la **disolución T<sub>4</sub> (1100 ml EMA)**, y sucesivamente hasta formar el montículo de los 20 kg por pila con sus respectivas repeticiones.

### **3er paso**

Finalmente se dejó al aire libre hasta las 4.00 pm, donde se procedió a cubrirlo con el plástico destinado hasta el día siguiente por el tema de frío por las noches.

## **e. Tratamiento 5 – pilas T5R1, T5R2 y T5R3**

### **1er paso**

Se pesaron los 20 kg de lodo y agregamos agua hasta una humedad de 45%.

### **2do paso**

Luego en el cuadrante instalado se le colocó una base de 30 cm de espesor del material a compostar (lodos), no se agregó la disolución de EM-Compost activado porque este tratamiento es la muestra testigo.

### **3er paso**

Finalmente, se dejó al aire libre hasta las 4.00 pm, donde se procedió a cubrirlo con el plástico destinado hasta el día siguiente, debido al frío de la noche.

## **3.3.6 Procedimiento de volteos de las pilas**

Para todos los tratamientos los volteos se realizaron cuando se identificó que las temperaturas de las pilas eran 50° C, o sobrepasaban esto para no permitir la volatilización del nitrógeno, donde se realizó una remoción total de cada pila y luego se agregó de nuevo una dosis más por tratamiento especificado.

### 3.3.7 Procedimiento de cosecha del compost

El procedimiento fue para los 5 tratamientos de la experimentación:

- Se pesó la cantidad de compost de cada pila por tratamiento para ver el rendimiento y ver la reducción del volumen de la materia orgánica a un inicio.
- De cada repetición por tratamiento se extrajo 1 kg de muestra, siendo en total 3 kg por tratamiento.
- Se mezclaron los 3 kg y se procedió a tamizarlos con una malla.
- Después de tamizarlo se realizó la selección de 1kg de muestra por tratamiento.
- Se llevaron las muestras de compost al laboratorio de suelos, aguas, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima.

### 3.3.8 Dosis por tratamiento y aplicación

Se utiliza esta proporción. Los 5 litros de EM se distribuyen de la siguiente manera: armado de la pila, 2 litros de EM diluidos en 18 litros de agua; volteos, 1 litro de EM diluido en 9 litros de agua por volteo y durante 3 volteos, teniendo en cuenta las recomendaciones “Guía de uso de la tecnología EM en manejo de residuos sólidos orgánicos”. Bogotá D.C. Fundases. 2006.

Con esta relación se determinan los volúmenes para el armado de las pilas siendo en relación a estos aspectos:

- Masa de composteras (Etiqueta EM: 1 tonelada; composteras piloto: 20 kg).
- Volumen EM (etiqueta EM: 5 litros; composteras piloto: 100 ml).

Siendo las dosis por tratamiento:

- T1: Compost + EM – compost (2%), Dosis de EM – Compost 25 ml.
- T2: Compost + EM - compost (4%), Dosis de EM – Compost 50 ml.
- T3: Compost + EM - compost (6%), Dosis de EM – Compost 75 ml.
- T4: Compost + EM - compost (8%), Dosis de EM – Compost 100 ml.
- T5: Compost (solo con lodos de depuradora) (0%), sin dosis.  
(Ver Anexo N° 8. Cálculo de dosis de EM–Compost por tratamiento).

### 3.3.9 Instrumentos de medición

- pH-metro digital Hanna HI98107 Precisión  $\pm 0.01$  (Portátil), calibración con solución buffer de 4.0, 7.0 y 10.
- Conductímetro Hanna HI99301 (Portátil).
- Termómetro Digital Boeco.
- Termo-higrómetro digital CoolBox (0.5 % precisión HR).
- Balanza de pesas de capacidad de 500 Kg.

### 3.3.10 Control de parámetros

Se realizó el monitoreo y control de los tratamientos y todo el proceso de compostaje hasta el día de su cosecha.

#### a. Primer parámetro – medición de pH.

La medición del pH se realizó una vez por semana por la disposición de préstamo del Laboratorio de Química y Biología de la Universidad Continental.

#### b. Segundo parámetro – medición de temperatura.

El monitoreo y registro de la temperatura se realizó a diario con ayuda del termómetro digital para ver la actividad microbial en el proceso de compostaje; también, para realizar los volteos de las pilas.

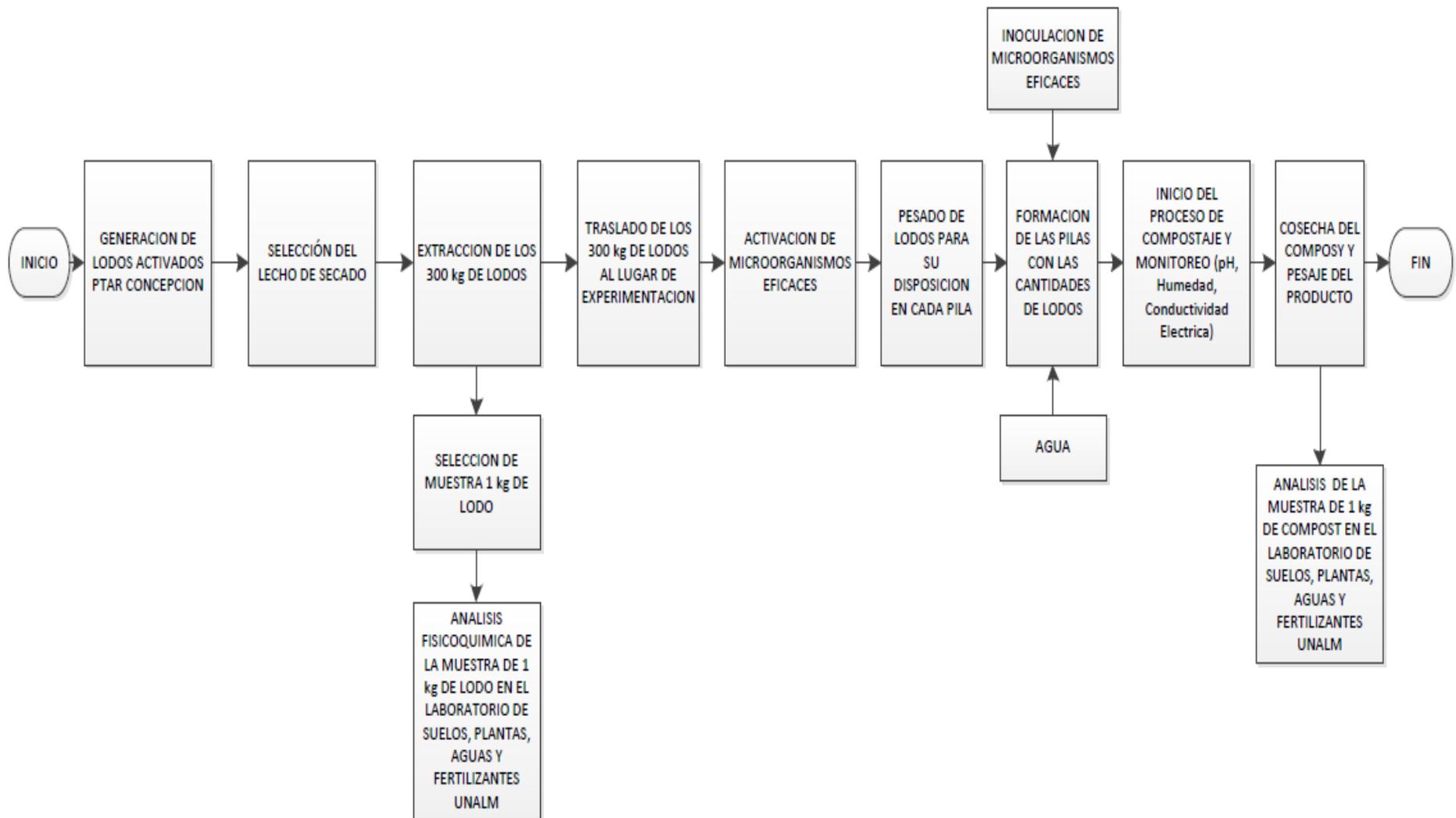
#### c. Tercer parámetro – medición de conductividad eléctrica.

La medición de la conductividad eléctrica se realizó una vez por semana por la disposición de préstamo del Laboratorio de Química y Biología de la Universidad Continental.

#### d. Cuarto parámetro – medición de humedad.

Con la ayuda de un termo-higrómetro digital que mide la humedad en %, se monitoreó y registró la humedad de las pilas de compostaje de manera interdiaria.

Figura N° 5. Diagrama de flujo del proceso experimental



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Población y muestra

#### 3.4.1 Población

La población está constituida por todo el compost procesado con lodos de depuradora e inoculación de EM-Compost.

#### 3.4.2 Muestra

La muestra es la masa de compost utilizada para el análisis de propiedades físico-químicas, en aproximadamente 1 kg.

### 3.5 Técnicas de recolección de datos

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

Tabla N° 7. Parámetros de análisis de compost.

Parámetro	Unidad de expresión
Salinidad	dS.m <sup>-1</sup> .
pH	Unidad pH
Materia orgánica	%
P disponible	%
K disponible	%
N total	%
METALES PESADOS	
Cadmio total	mg/kg
Cromo total	mg/kg

Fuente: Elaboración propia

### **3.5 Técnicas de análisis de datos**

Al finalizar el experimento se sistematizarán los resultados obtenidos y se analizarán los datos a través del análisis descriptivo de estadísticos y gráficos, así como la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk, ANOVA, la prueba de comparación múltiple de Duncan y la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Se harán los análisis de regresión y correlación entre las dosis de EM-Compost y los parámetros de calidad especificados.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

##### 4.1.1 Parámetros químicos del compost

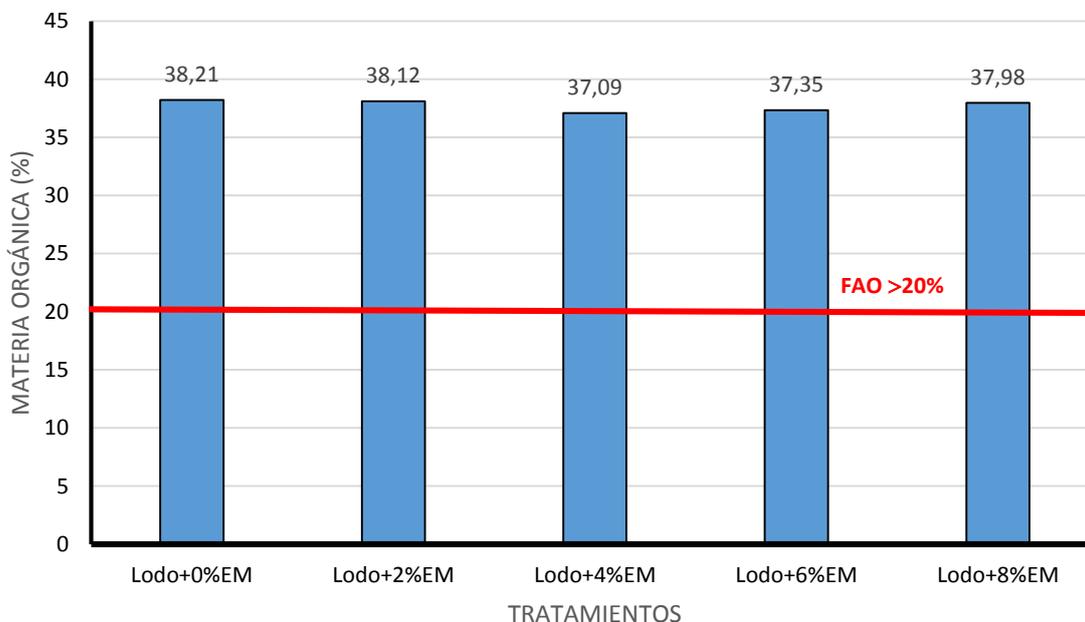
Para la evaluación de los parámetros químicos del compost preparado con lodo de aguas residuales de la planta de tratamiento de Concepción, se utilizó la referencia de FAO (2013).

Tabla N° 8. Parámetros químicos para compost maduro (FAO, 2013).

Parámetro	Rango ideal de compost maduro
C:N	10:1 – 15:1
Humedad (%)	30 – 40
pH	6.5 – 8.5
Materia orgánica (%)	> 20%
Nitrógeno (%)	0.3 – 1.5
Fósforo (%)	0.1 - 1.0
Potasio (%)	0.3 – 1.0

#### 4.1.1.1 Materia orgánica

Figura N° 6. Contenido de materia orgánica en el compost obtenido del lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost



El contenido de materia orgánica del compost preparado con lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, presenta valores entre 37.09% y 38.21%, que se encuentran dentro de los valores de calidad propuesto por la FAO (> 20% MO), indicando que los EM-Compost mejoran la calidad del compost (Figura N° 6).

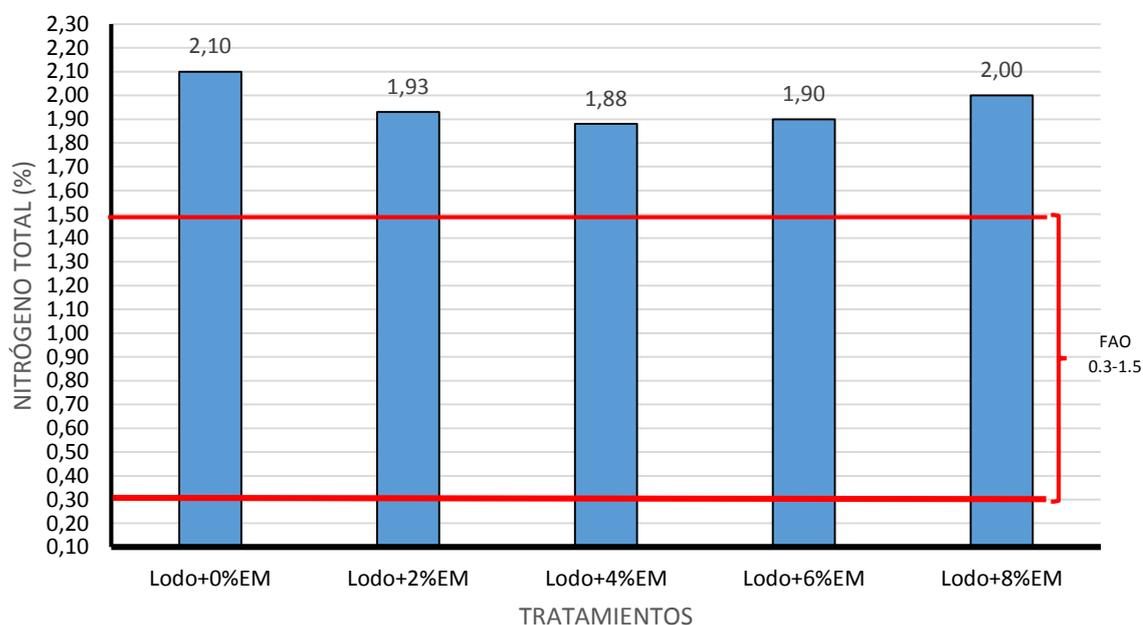
Las diferencias observadas en el contenido de materia orgánica para los cinco tratamientos de compost son relativamente bajas, pero la tendencia es hacia una ligera disminución conforme se incrementan las dosis de EM-Compost, lo cual se puede atribuir a una mayor descomposición de los lodos y consecuentemente menor materia orgánica.

Según Vicente y Vigil (2012), se puede hacer un listado amplio de parámetros a determinar en muestras de compost, así como puede indicarse cuales se consideran más importantes y por qué, pero no para todos se puede dar un intervalo de valores adecuados o unos contenidos máximos y mínimos. En cualquier caso, al escoger los parámetros que pueden interesar ha de hacerse teniendo en cuenta la viabilidad de la aplicación y no olvidando que cualquier interpretación de la composición de un compost precisa unos conocimientos del tratamiento a partir del que se ha obtenido el producto.

El compost obtenido por el tratamiento de lodo con EM-Compost, al cumplir los requisitos de calidad para materia orgánica, puede ser utilizado como abono orgánico, para incrementar el contenido orgánico, y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

#### 4.1.1.2 Nitrógeno total

Figura N° 7. Contenido de nitrógeno total en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost.



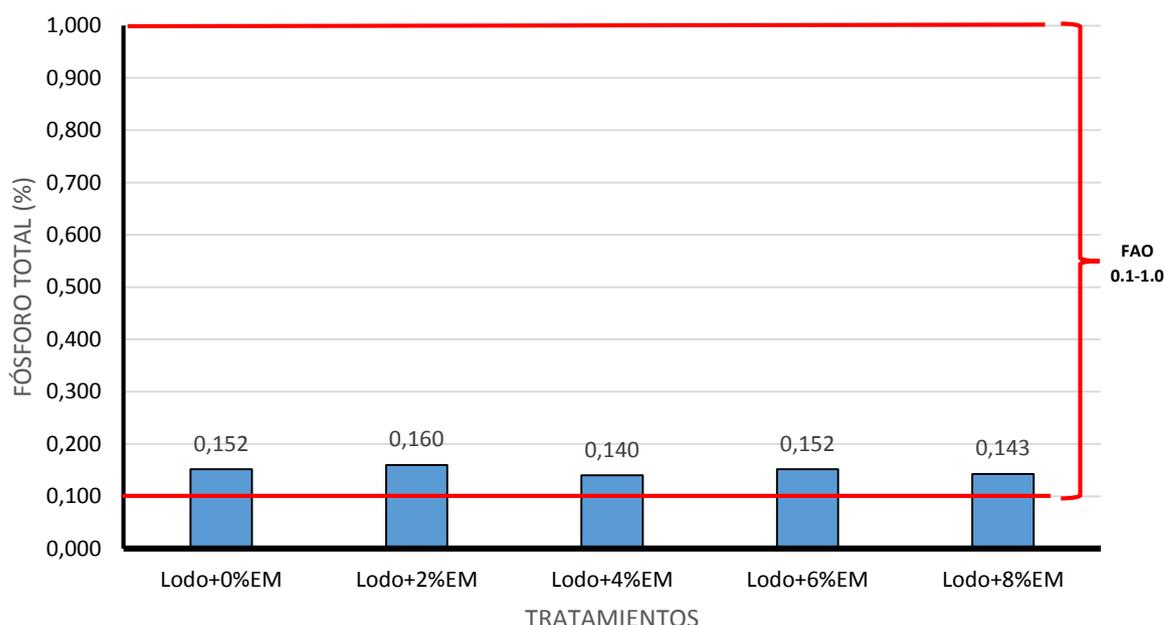
El contenido de nitrógeno total en el compost, resultado del tratamiento de lodos, con aplicación de EM-Compost en diferentes dosis, presenta valores entre 1.88% y 2.10%, superiores al rango de calidad propuesto por la FAO (0.3% a 1.5%) (Figura N° 7). Esto indica que el compost obtenido es alto en nitrógeno y si es incorporado al suelo, es una cantidad de nitrógeno a considerar en el balance de nutrientes para el normal crecimiento de las plantas.

Lo valores de nitrógeno total en los tratamientos con diferentes dosis de EM-Compost, en general tienen poca variación, pero se observa una disminución conforme se incrementa la dosis de EM-Compost de 2% a 6%, respecto al tratamiento con 0% de EM-Compost, 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 refiere Acosta y colab. (2012). En la dosis de 8% de EM-Compost también hay una

disminución del contenido de nitrógeno total, aunque de menor magnitud que los otros tratamientos, atribuible a una descomposición total de los materiales orgánicos y menor inmovilización del nitrógeno por los microorganismos del compost.

#### 4.1.1.3 Fósforo total

Figura N° 8. Contenido de fósforo total en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost.

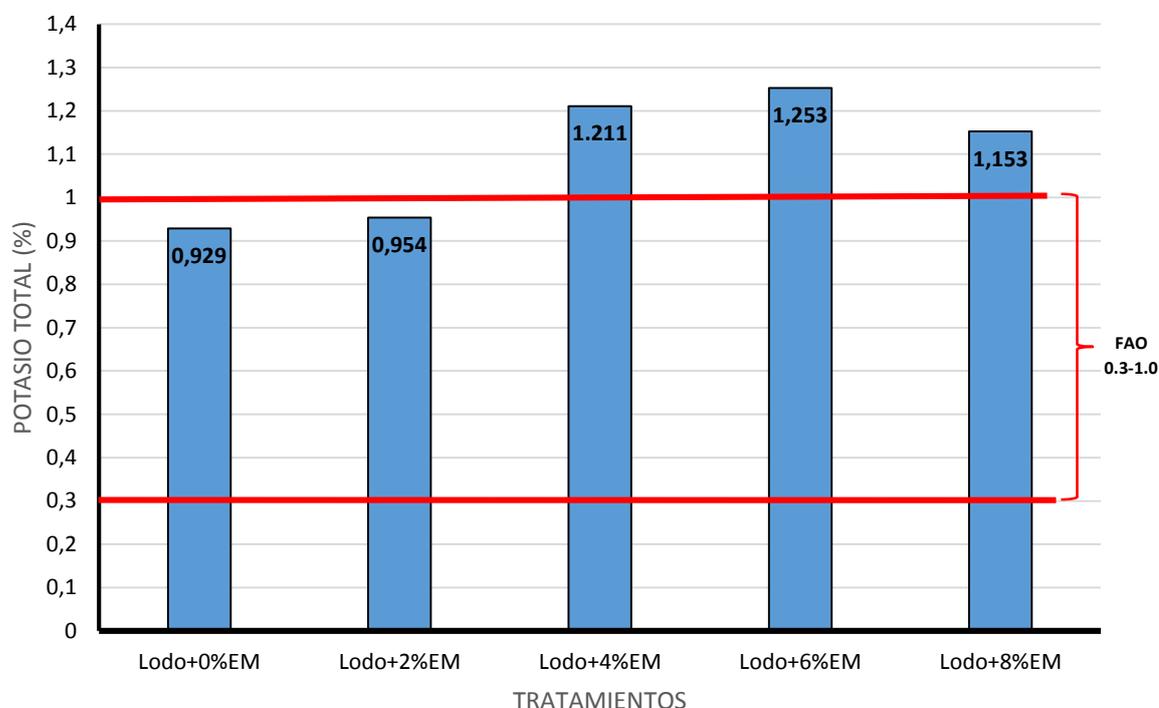


El contenido de fósforo total en el compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, presenta valores entre 0.140% a 0.152%, ubicados dentro del rango de calidad propuesto por FAO (0.1% - 1.0%), indicando que el compost obtenido con EM-Compost, es de buena calidad (Figura N° 8). Si es aplicado al suelo como abono orgánico, incrementará fósforo al suelo y mejorará las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo.

Los valores de fósforo total tienen ligera variación según el tratamiento aplicado, y comparando con el testigo (0.152%), el tratamiento con 2% de EM-Compost tiene un ligero incremento (0.160%), atribuible a la incompleta descomposición orgánica. Los demás tratamientos (de 4 a 8%) tienen menor contenido de fósforo total, respecto al testigo (0% EM), debido a la lixiviación y consecuente pérdida de fósforo, una vez que es transformado por acción de los microorganismos aplicados al compost.

### 3.1.1.4 Potasio total

Figura N° 9. Contenido de potasio total en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost.

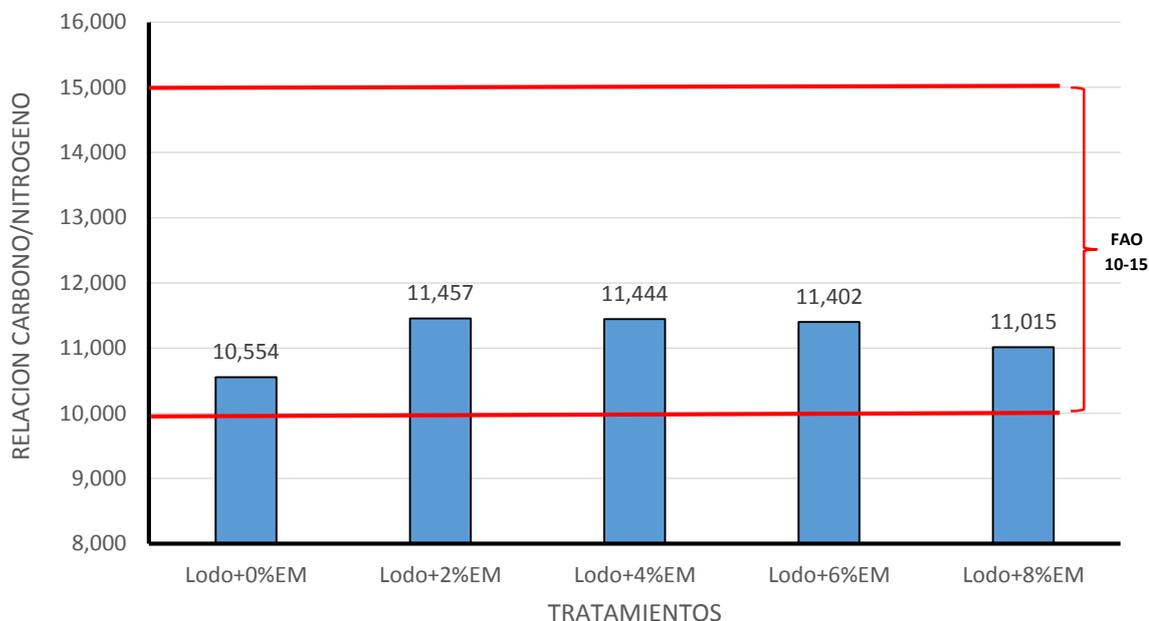


El contenido de potasio total en el compost de lodos de la planta de tratamiento de Concepción, con aplicación de EM-Compost, se encuentran dentro del rango (2% EM) y en valores superiores a los propuestos por FAO (0.3 – 1.0%), atribuible a la liberación de iones de potasio de los compuestos orgánicos que se van transformando en el proceso de compostaje, pues el potasio no tiene formas orgánicas. Esto garantiza la calidad del compost obtenido (Figura N° 9).

Si se compara el contenido de potasio del lodo sin procesar (0.321%, Anexos), se puede observar que se incrementó el potasio total mediante el proceso de compostaje. Si el compost se agregara al suelo, el contenido de potasio debe tenerse en cuenta en el balance de nutrientes para cubrir las necesidades de potasio para las plantas cultivadas.

### 3.1.1.5 Relación carbono/nitrógeno (C/N)

Figura N° 10. Relación C/N en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción con aplicación de EM-compost.



La relación carbono/nitrógeno (C/N) del compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción tiene valores entre 10.554 y 11.457, ubicadas dentro del rango establecido por la FAO (10 – 15). Esto indica que el compost es de buena calidad (Figura N° 10). No se observan mayores diferencias entre los tratamientos de EM-Compost y el testigo, indicando que los lodos utilizados pueden compostarse y obtenerse un abono orgánico de buena relación C/N, y a la vez permitir reducir el peso de los lodos convirtiéndolos en un abono orgánico que mejorará las propiedades del suelo

### 3.1.1.6 pH

#### Prueba de Shapiro – Wilk para la normalidad de datos.

Prueba de Hipótesis:

Nivel de significación:  $\alpha = 0,05$

Ho: la variable pH en la población tiene distribución normal.

Ha: la variable pH en la población no tiene distribución normal.

Tabla N° 9. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para pH.

Prueba de normalidad			
pH	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
	,922	15	,203

Decisión:

Se acepta la  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.05$ , por lo que hay distribución normal.

**Para pH:** como la significación es mayor que 0.05 se acepta la  $H_0$ , existiendo normalidad de datos, se procede con el ANOVA.

### ANOVA (Análisis de Varianza).

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación:  $\alpha = 0,05$

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 = \mu_4 \neq \mu_5$  (al menos una igualdad no se cumple).

Tabla N° 10. Análisis de variancia del pH del compost obtenido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost.

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Tratamientos	4	0.817	0.204	20.433	0.0001
Error	10	0.100	0.010		
Total	14	0.917			

S = 0.100

X = 8.113

CV = 1.233%

Decisión:

Dado que:

$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 = \mu_4 \neq \mu_5$ , se rechaza  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.05$

El análisis de variancia del pH final obtenido con el compost de lodos de la planta de tratamiento de Concepción, presenta diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $p$  valor < 0.0001). Esto se atribuye al efecto de las dosis de EM-Compost aplicadas a los lodos para su transformación. El pH promedio fue de 8.113, y el coeficiente de variabilidad fue bajo, indicando homogeneidad dentro de cada tratamiento (Tabla N° 10).

Tabla N° 11. Prueba de Duncan para tratamientos. pH del compost obtenido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost.

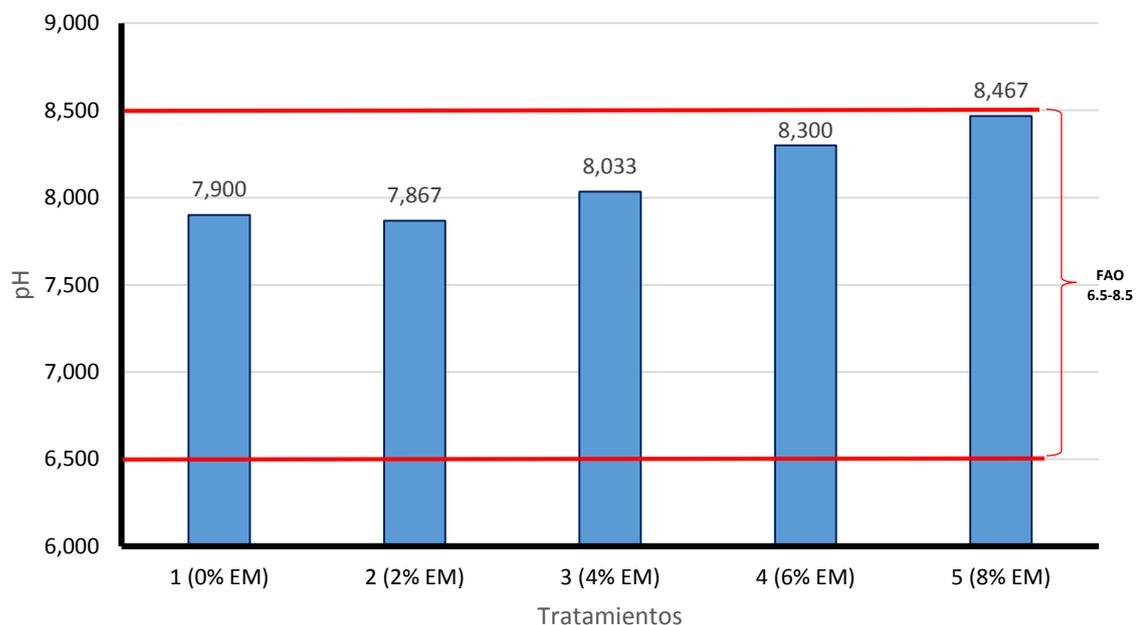
Orden de mérito	Tratamiento	Promedio	Significación
1	4 (8% EM)	8.467	a
2	3 (6% EM)	8.300	a
3	2 (4% EM)	8.033	b
4	5 (0% EM)	7.900	b
5	1 (2% EM)	7.867	b

ALS (D)<sub>0.05</sub> = 0.182, 0.191, 0.195, 0.198

La prueba de significación de Duncan presenta a los tratamientos 4 (8% de EM-Compost) y 3 (6% de EM-Compost) en primer lugar en orden de mérito, superando estadísticamente a los demás tratamientos. El mayor pH encontrado con el incremento de la dosis de EM-Compost, se atribuye a la liberación de calcio, magnesio, sodio y potasio, que unidos a los aniones carbonatos y bicarbonatos elevan el pH del compost (Tabla N° 11).

El valor de pH de los diferentes compost se encuentra dentro del rango de calidad propuesto por la FAO (6.5 – 8.5), asegurando un efecto benéfico del compost obtenido si es agregado al suelo (Figura N° 11).

Figura N° 11. pH en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost.



### 3.1.1.7 Conductividad eléctrica (CE)

#### Prueba de Shapiro – Wilk para la normalidad de datos.

Prueba de Hipótesis:

Nivel de significación:  $\alpha = 0,05$

Ho: la variable CE en la población tiene distribución normal.

Ha: la variable CE en la población no tiene distribución normal.

Tabla N° 12. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para CE.

Prueba de normalidad			
CE	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
	,755	15	,001

Decisión:

Se rechaza la Ho al nivel de significación  $\alpha = 0.05$ , por lo que no hay distribución normal.

**Para CE:** como la significación es menor que 0.05 se rechaza la  $H_0$ , se procede con prueba no paramétrica.

**Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.**

Prueba de Hipótesis:

Nivel de significación:  $\alpha = 0,05$

$H_0$ : las poblaciones de CE del compost con los 5 tratamientos tienen medianas iguales.

$H_a$ : las medianas de los 5 tratamientos no son todas iguales.

Tabla N° 13. Prueba de Kruskal Wallis rangos.

Rangos			
Tratamientos	N	Rango promedio	
CE	Tratamiento 1	3	7,67
	Tratamiento 2	3	7,33
	Tratamiento 3	3	9,00
	Tratamiento 4	3	14,00
	Tratamiento 5	3	2,00
	Total	15	

Tabla N° 14. Prueba estadística de Kruskal Wallis.

Estadístico de prueba <sup>a,b</sup>	
	CE
Chi-cuadrado	11,254
gl	4
Sig. asintótica	,024
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: tratamientos	

Decisión:

Se rechaza  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.05$

Conclusión: existe evidencia para rechazar la aseveración de que las poblaciones de CE del compost con los 5 tratamientos tienen medianas iguales. Al menos una de las medianas difiere de las demás respecto a los tratamientos.

Tabla N° 15. Prueba de Duncan para tratamientos. CE del compost obtenido con lodos de depuradora inoculado, con EM-Compost.

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (dS/m)	Significación
1	4 (8% EM)	1.94267	a
2	3 (6% EM)	1.84633	b
3	1 (2% EM)	1.84567	b
4	2 (4% EM)	1.84533	b
5	5 (0% EM)	1.64333	c

ALS (D)<sub>0.05</sub> = 0.00315, 0.0033, 0.0034, 0.0034

La prueba de comparación múltiple de Duncan, muestra al tratamiento 4 (8% de EM-Compost); en primer lugar, en orden de mérito con un valor promedio de 1.94267 dS/m, superior estadísticamente a los demás tratamientos. El valor más bajo se presentó con el compost sin EM-Compost (Tabla N° 15). Esto se debe a la descomposición de los materiales orgánicos, que generan iones, como: sodio, cloruro, magnesio, bicarbonatos, que al formar sales incrementan la conductividad eléctrica del compost.

Los valores de CE son inferiores al criterio de calidad establecido en el manual de compostaje para municipios (Roben, 2002), que establece como límites de 2 a 4 dS/m (Figura N° 12). Si el compost es aplicado al suelo como una fuente de abono orgánico no incrementará la concentración de sales solubles.

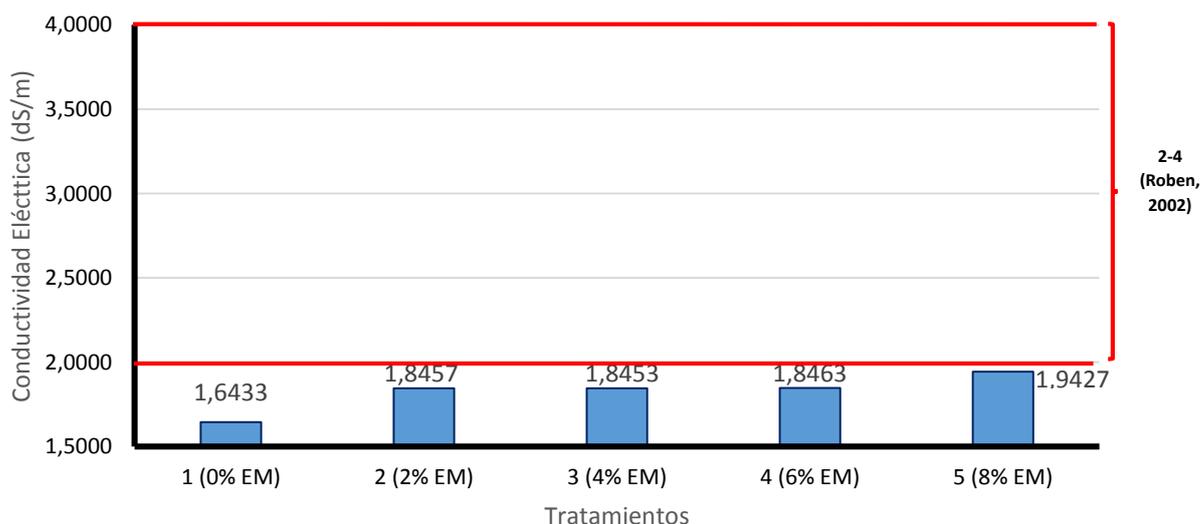
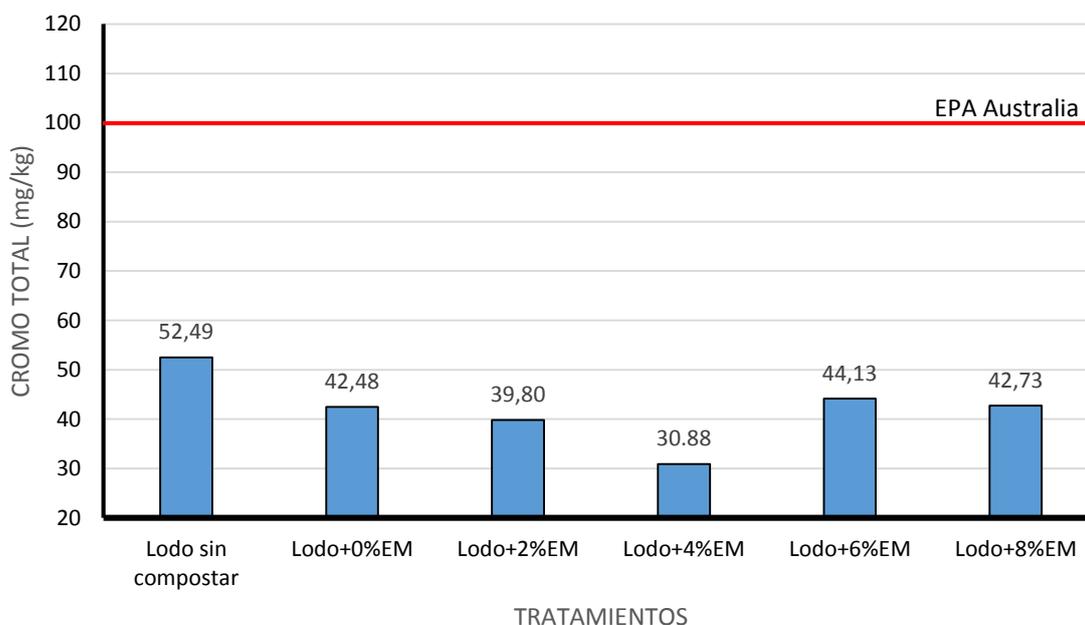


Figura N° 12. Conductividad eléctrica del compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción con aplicación de EM-Compost.

## 4.1.2 METALES PESADOS

### 4.1.2.1 CROMO

Figura N° 13. Contenido de cromo en el compost obtenido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost.



El contenido de cromo en el compost obtenido utilizando como insumo lodos de depuradora de aguas residuales de Concepción con aplicación de microorganismos eficaces para compost (EM-Compost), presenta una disminución en el contenido total, respecto al lodo sin compostar (Figura N° 13).

En los tratamientos con 2% y 4% de EM-Compost, se observa una disminución del contenido de cromo en el compost obtenido, que puede ser atribuido a la lenta descomposición de los lodos utilizados, debido a las bajas dosis de EM-Compost, quedando el cromo retenido en los componentes orgánicos utilizados. Con las dosis de 6 y 8% de EM-Compost, se observa un incremento de cromo en el compost, atribuible a la mayor descomposición de los lodos y liberación de cromo (Tabla N° 16).

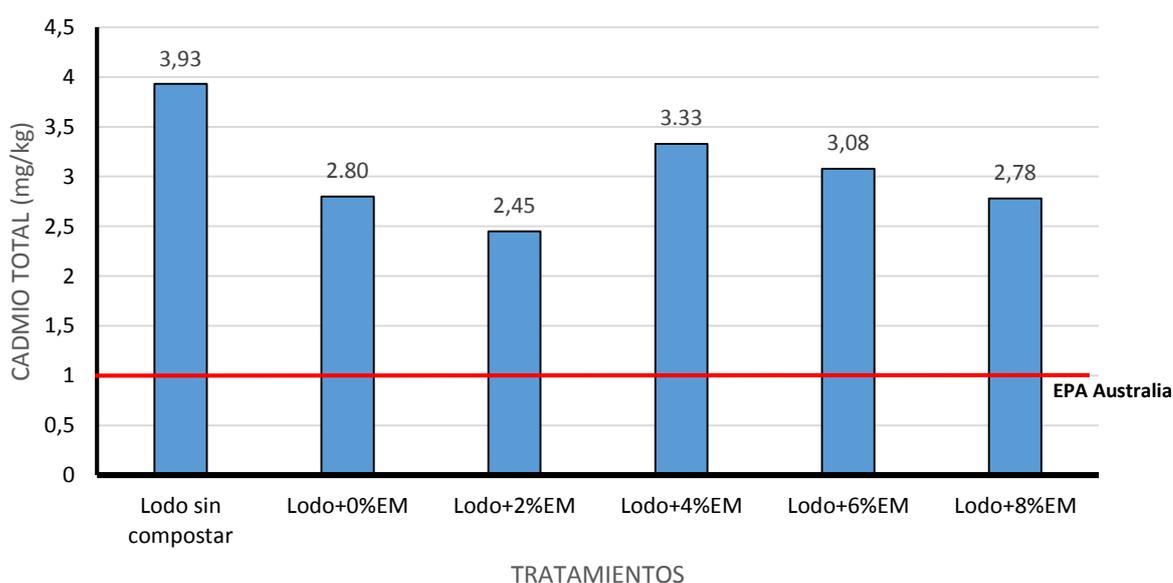
Tabla N° 16. Variación porcentual del cromo en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, con aplicación de EM-Compost.

Tratamiento	Cromo (mg/kg)	Variación (%)
1 (2% EM)	39.8	- 06.31
2 (4% EM)	30.88	- 27.31
3 (6% EM)	44.13	+ 3.88
4 (8% EM)	42.73	+ 0.59
5 (0% EM)	42.48	-

Los valores encontrados en los compost obtenidos, son bajos (30.8 mg/kg a 44.13 mg/kg), comparado con el EPA de compost, de Australia, cuyo límite máximo permisible es 100 mg/kg. Es decir, el contenido de cromo en el compost obtenido no afectaría a los suelos agrícolas, si ese fuese su uso final.

#### 4.1.2.2 CADMIO

Figura N° 14. Contenido de cadmio en el compost obtenido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost.



El contenido de cadmio en el compost con utilización de lodos del tratamiento de aguas residuales de Concepción, y aplicación de EM-Compost en diferentes dosis, presenta una disminución en el contenido total, respecto al lodo sin compostar (Figura N° 14). Esto demuestra que el compostaje reduce el contenido de cadmio en el lodo utilizado.

En el tratamiento con 2% de EM-Compost, se observa una disminución del contenido de cadmio respecto al tratamiento sin aplicación de EM-Compost, en un 12.5% (Tabla N° 17), que puede ser atribuido a la lenta descomposición de los lodos utilizados, debido a las bajas dosis de EM-Compost, quedando el cadmio retenido en los componentes orgánicos utilizados. En el compost con las dosis de 6% y 8% de EM-Compost se observa un incremento de cadmio en el compost, atribuible a la mayor descomposición de los lodos y liberación de cadmio. Los EM-Compost descomponen los lodos y liberan cadmio a formas solubles. En el tratamiento de compost con 8% de EM-Compost, se tiene tenores ligeramente bajos de cadmio respecto al tratamiento sin compostar, lo cual puede atribuirse a una probable complejación del cadmio liberado en forma soluble, en formas orgánicas con el cadmio.

Tabla N° 17. Variación porcentual del cadmio en el compost de lodos de la planta de tratamientos de aguas residuales, con aplicación de EM-Compost.

<b>Tratamiento</b>	<b>Cadmio (mg/kg)</b>	<b>Variación (%)</b>
1 (2% EM)	2.45	- 12.50
2 (4% EM)	3.33	+ 18.93
3 (6% EM)	3.08	+ 10.00
4 (8% EM)	2.78	- 0.71
5 (0% EM)	2.80	-

Los valores de cadmio encontrados en los diferentes tratamientos de compost, son altos (2.45 mg/kg a 3.33 mg/kg), comparados con el límite máximo permisible (LMP) del EPA de compost, de Australia, cuyo límite máximo permisible es 1.0 mg/kg. Es decir, el contenido de cadmio en el compost de lodos de planta de tratamiento de aguas residuales, afectaría a los suelos agrícolas, si ese fuese su destino final.

### 4.1.3 Parámetros físicos

#### 4.1.3.1 Humedad (%)

#### Prueba de Shapiro – Wilk para la normalidad de datos.

Prueba de Hipótesis:

Nivel de significación:  $\alpha = 0,05$

Ho: la variable humedad en la población tiene distribución normal.

Ha: la variable humedad en la población no tiene distribución normal.

Tabla N° 18. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para humedad.

Prueba de normalidad			
Humedad	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
	,817	15	,006

Decisión:

Se rechaza la Ho al nivel de significación  $\alpha = 0.05$ , por lo que no hay distribución normal

**Para humedad:** como la significación es menor que 0.05 se rechaza la Ho, se procede con prueba no paramétrica.

#### Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Prueba de Hipótesis:

Nivel de significación:  $\alpha = 0,05$

Ho: las poblaciones de humedad del compost con los 5 tratamientos tienen medianas iguales.

Ha: las medianas de los 5 tratamientos no son todas iguales.

Tabla N° 19. Prueba de Kruskal Wallis rangos.

Rangos			
Tratamientos		N	Rango promedio
Humedad	Tratamiento 1	3	9,00
	Tratamiento 2	3	9,00
	Tratamiento 3	3	7,00

	Tratamiento 4	3	2,00
	Tratamiento 5	3	13,00
	Total	15	

Tabla N° 20. Prueba estadística de Kruskall Wallis.

Estadístico de prueba <sup>a,b</sup>	
	Humedad
Chi-cuadrado	11,200
gl	4
Sig. asintótica	,024
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: tratamientos	

Decisión:

Se rechaza Ho al nivel de significación  $\alpha = 0.05$

Conclusión: Existe evidencia para rechazar la aseveración de que las poblaciones de humedad del compost con los 5 tratamientos tienen medianas iguales. Al menos una de las medianas difiere de las demás respecto a los tratamientos.

Tabla N° 21. Prueba de Duncan para tratamientos. Humedad del compost obtenido con lodos de depuradora inoculado, con EM-compost.

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (%)	Significación
1	5 (0% EM-compost)	36.000	a
2	2 (4% EM-compost)	35.333	a b
3	1 (2% EM-compost)	35.333	a b
4	3 (6% EM-compost)	35.000	b
5	4 (8% EM-compost)	34.000	c

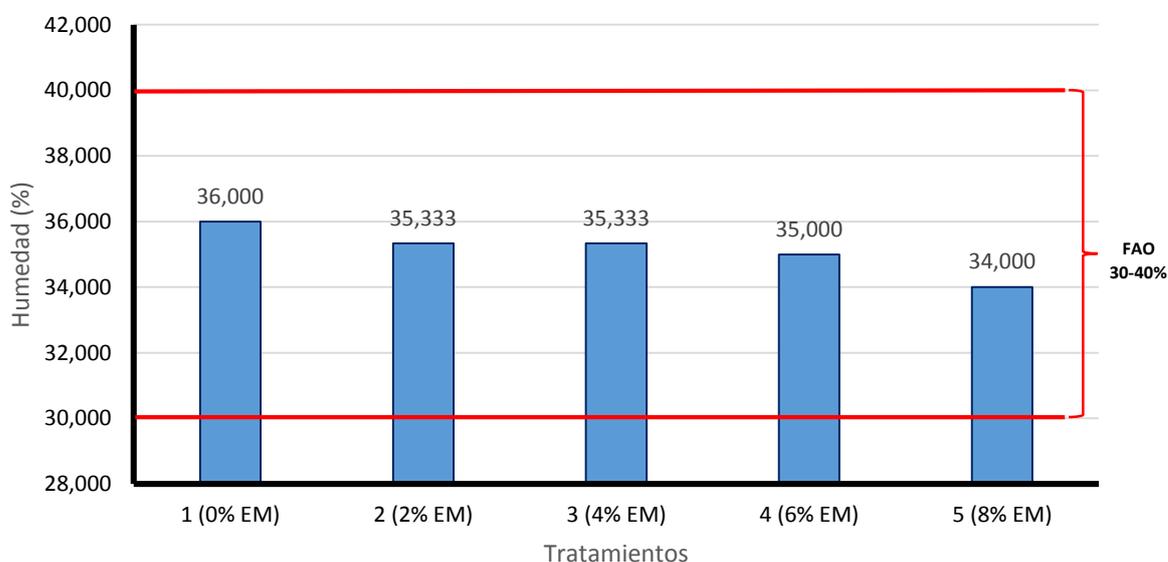
ALS (D)<sub>0.05</sub> = 0.663, 0.695, 0.710, 0.722

La prueba de comparación múltiple de Duncan, presenta a los tratamientos: 5 (0% EM-Compost), 2 (4% EM-Compost) y 1 (2% EM-Compost); en los tres primeros lugares en orden de mérito, sin diferencias estadísticas entre sí, con valores entre 36.000% y 35.333% (Tabla N° 21), dentro del rango de calidad propuesto por la FAO; esto se atribuye a que las dosis bajas de EM-Compost presentan altos valores de humedad, debido a la relativa

inmadurez del compost obtenido, que va disminuyendo conforme se alcanza la madurez del compost, como se presenta en los tratamientos de 6% de EM-Compost y 8% de EM-Compost.

El promedio de humedad obtenido en los diferentes tratamientos de compost fue 35.133%, que se encuentra dentro del rango de humedad propuesto por FAO (30 a 40%), asegurando la calidad del compost obtenido (Figura N° 15). El coeficiente de variabilidad es bajo para esta evaluación, indicando homogeneidad dentro de cada tratamiento.

Figura N° 15. Humedad en el compost obtenido de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost.



### 3.1.1.7 Rendimiento (%)

#### Prueba de Shapiro – Wilk para la normalidad de datos.

Prueba de Hipótesis:

Nivel de significación:  $\alpha = 0,05$

Ho: la variable rendimiento en la población tiene distribución normal.

Ha: la variable rendimiento en la población no tiene distribución normal.

Tabla N° 22. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para rendimiento.

Prueba de normalidad			
Rendimiento	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
	,588	15	,000

Decisión:

Se rechaza la  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.05$ , por lo que no hay distribución normal.

**Para rendimiento:** como la significación es menor que 0.05 se rechaza la  $H_0$ , se procede con prueba no paramétrica.

### Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Prueba de Hipótesis:

Nivel de significación:  $\alpha = 0,05$

$H_0$ : las poblaciones de humedad del compost con los 5 tratamientos tienen medianas iguales.

$H_a$ : las medianas de los 5 tratamientos no son todas iguales.

Tabla N° 23. Prueba de Kruskal Wallis rangos.

Rangos			
Tratamientos	N	Rango promedio	
Rendimiento	Tratamiento 1	3	8,00
	Tratamiento 2	3	11,00
	Tratamiento 3	3	2,67
	Tratamiento 4	3	4,33
	Tratamiento 5	3	14,00
	Total	15	

Tabla N° 24. Prueba estadística de Kruskal Wallis.

Estadístico de prueba <sup>a,b</sup>	
	Rendimiento
Chi-cuadrado	13,104
gl	4
Sig. asintótica	,011
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: tratamientos	

Decisión:

Se rechaza  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.05$

Conclusión: existe evidencia para rechazar la aseveración de que las poblaciones de rendimiento del compost con los 5 tratamientos tienen medianas iguales. Al menos una de las medianas difiere de las demás respecto a los tratamientos.

Tabla N° 25. Prueba de Duncan para tratamientos. Rendimiento del compost obtenido con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost.

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (%)	Significación
1	5 (0% EM)	76.310	a
2	2 (4% EM)	71.177	b
3	1 (2% EM)	71.158	b
4	4 (8% EM)	70.617	c
5	3 (6% EM)	70.605	c

ALS (D)<sub>0.05</sub> = 0.0199, 0.0209, 0.0213, 0.0217

La prueba de comparación múltiple de Duncan, presenta al tratamiento 5 (0% de EM-Compost); en primer lugar, en orden de mérito, con un promedio de 76.310% de rendimiento, superando estadísticamente a los demás tratamientos. Los tratamientos con 8% y 6% de EM-Compost, ocupan los dos últimos lugares en orden de mérito con promedios de 70.617% y 70.605% respectivamente (Tabla N° 25). El menor rendimiento de compost con los tratamientos de EM-Compost se atribuye a la mayor descomposición de los lodos por acción de los microorganismos, respecto al tratamiento sin aplicación de EM-Compost, donde solo estarían actuando microorganismos presentes en los insumos utilizados en el compost. Se debe agregar que los tratamientos con mayor dosis de EM logran estabilizar el compost maduro y este tiene menor peso, comparado con los tratamientos de baja dosis, inclusive el testigo, donde el proceso de estabilización no logra su punto final y el peso de compost es mayor.

#### 4.1.4 Correlación y regresión

##### 4.1.4.1 Correlación

Prueba de hipótesis de correlación:

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

Ho:  $\rho = 0$  (no hay correlación)

Ha:  $\rho \neq 0$  (hay correlación)

Tabla N° 26. Análisis de correlación de los parámetros de calidad del compost y las dosis de EM-Compost.

Variables	r calculado	r tablas		Significación
		0.05	0.01	
X = Dosis EM-Compost Y = pH	0.8959	0.514	0.641	**
X = Dosis EM-Compost Y = CE	0.8999	0.514	0.641	**
X = Dosis EM-Compost Y = Humedad	- 0.8535	0.514	0.641	**
X = Dosis EM-Compost Y = Rendimiento	- 0.7736	0.514	0.641	**
X = Dosis EM-Compost Y = Materia orgánica	-0.3895	0.873	0.959	ns
X = Dosis EM-Compost Y = C/N	-0.0549	0.873	0.959	ns
X = Dosis EM-Compost Y = N	-0.4061	0.873	0.959	ns
X = Dosis EM-Compost Y = P	-0.5147	0.873	0.959	ns
X = Dosis EM-Compost Y = K	-0.7914	0.873	0.959	ns
X = Dosis EM-Compost Y = Cd	0.2802	0.873	0.959	ns
X = Dosis EM-Compost Y = Cr	0.1431	0.873	0.959	ns

**Decisión:**

**Para dosis EM-Compost (x) y pH (y)**

Dado que:

$r$  calculado >  $r$  tablas, se rechaza  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.01$ . Existe correlación.

#### **Para dosis EM-Compost (x) y CE (y)**

Dado que:

$r$  calculado  $>$   $r$  tablas, se rechaza  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.01$ . Existe correlación.

#### **Para dosis EM-Compost (x) y Humedad (y)**

Dado que:

$r$  calculado  $>$   $r$  tablas, se rechaza  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.01$ . Existe correlación.

#### **Para dosis EM-Compost (x) y Rendimiento (y)**

Dado que:

$r$  calculado  $>$   $r$  tablas, se rechaza  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.01$ . Existe correlación.

#### **Para dosis EM-Compost (x) y MO (y)**

Dado que:

$r$  calculado  $<$   $r$  tablas, se acepta  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.05$ . No existe correlación.

#### **Para dosis EM-Compost (x) y C/N (y)**

Dado que:

$r$  calculado  $<$   $r$  tablas, se acepta  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.05$ . No existe correlación.

#### **Para dosis EM-Compost (x) y N (y)**

Dado que:

$r$  calculado  $<$   $r$  tablas, se acepta  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.05$ . No existe correlación.

#### **Para dosis EM-Compost (x) y P (y)**

Dado que:

$r$  calculado  $<$   $r$  tablas, se acepta  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.05$ . No existe correlación.

#### **Para dosis EM-Compost (x) y K (y)**

Dado que:

$r$  calculado  $<$   $r$  tablas, se acepta  $H_0$  al nivel de significación  $\alpha = 0.05$ . No existe correlación.

El análisis de correlación de las dosis de EM-Compost y los parámetros de calidad evaluados en el compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, muestra que existe correlación directa, estadísticamente significativa, entre

las dosis de EM-Compost – pH, y dosis de EM-Compost - CE; así como existe correlación inversa entre las dosis de EM-Compost - humedad y dosis de EM-Compost - rendimiento de compost, demostrando que conforme se incrementa la dosis de inóculo, el compost obtenido es mayor.

Estas correlaciones indican que cuando se incrementan las dosis de EM-Compost, se incrementa el pH y la conductividad eléctrica, debido a 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 CE.

La correlación entre las dosis de EM-Compost y humedad del compost es inversa, debido a que, a mayor descomposición de compost, mayor estabilidad del material orgánico transformado y menor contenido de humedad. En cambio, cuando hay menor descomposición del compost debido a la menor dosis de EM-Compost, la humedad del compost es mayor y el compost no se ha estabilizado.

El resultado del análisis de correlación entre la dosis de EM-Compost y el rendimiento, demuestra que cuando se incrementa la dosis de EM-Compost de 0 a 8%, la cantidad de compost obtenido es menor, debido a la mayor oxidación de los lodos por la acción de los microorganismos inoculados. En cambio, cuando la dosis de EM-Compost es menor, la cantidad de compost obtenido es mayor, debido a la lenta descomposición de los lodos.

#### 4.1.3.2 Regresión

##### Dosis de EM-compost y pH

Prueba de hipótesis de la regresión:

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

Ho:  $b = 0$  (no hay regresión)

Ha:  $b \neq 0$  (hay regresión)

Tabla N° 27. Análisis de variancia de la regresión entre la dosis de EM-Compost y el pH.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	Valor-p
Regresión	0.7363	1	0.7363	52.89	0.0000
Error	0.1810	13	0.0139		

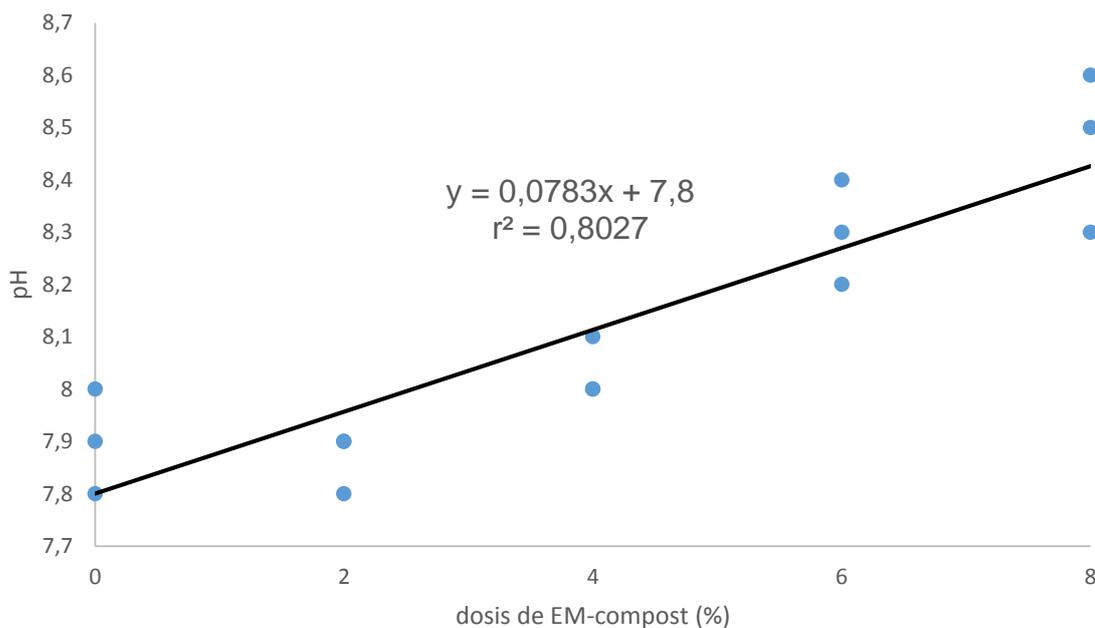
Total	0.9173	14			
-------	--------	----	--	--	--

Decisión:

Dado que:

valor-P < 0.05, se rechaza la Ho. Hay regresión.

Figura N° 16. Correlación y regresión entre las dosis de EM-compost y el pH.



El análisis de variancia de la regresión entre la dosis de EM-Compost y el pH, presentó alta significación estadística (valor p = 0.0000) en la fuente de regresión, indicando que la dosis de EM-Compost aplicada a los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, incrementó el pH del compost obtenido (Tabla N° 27).

El incremento de pH se debe a la liberación de iones: Ca, Mg, Na, K, bicarbonatos, carbonatos (respiración microbial), durante la descomposición de los lodos por el incremento de la dosis de EM-Compost, generando OH que incrementan el pH final del compost.

La ecuación de regresión estimada indica que por cada unidad porcentual de incremento de EM-Compost, el pH final del compost se incrementa en 0.078 unidades. Los valores de pH hallados en este experimento están dentro de los rangos que propone FAO para compost de calidad. El coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.8027$ ), indica que el 80.27% de la variación del pH final del compost se debe a la dosis creciente de EM-Compost aplicada a los lodos (Figura N° 16).

## Dosis de EM-Compost y CE

Prueba de hipótesis de la regresión:

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

Ho:  $b = 0$  (no hay regresión)

Ha:  $b \neq 0$  (hay regresión)

Tabla N° 28. Análisis de variancia de la regresión entre la dosis de EM-compost y la CE.

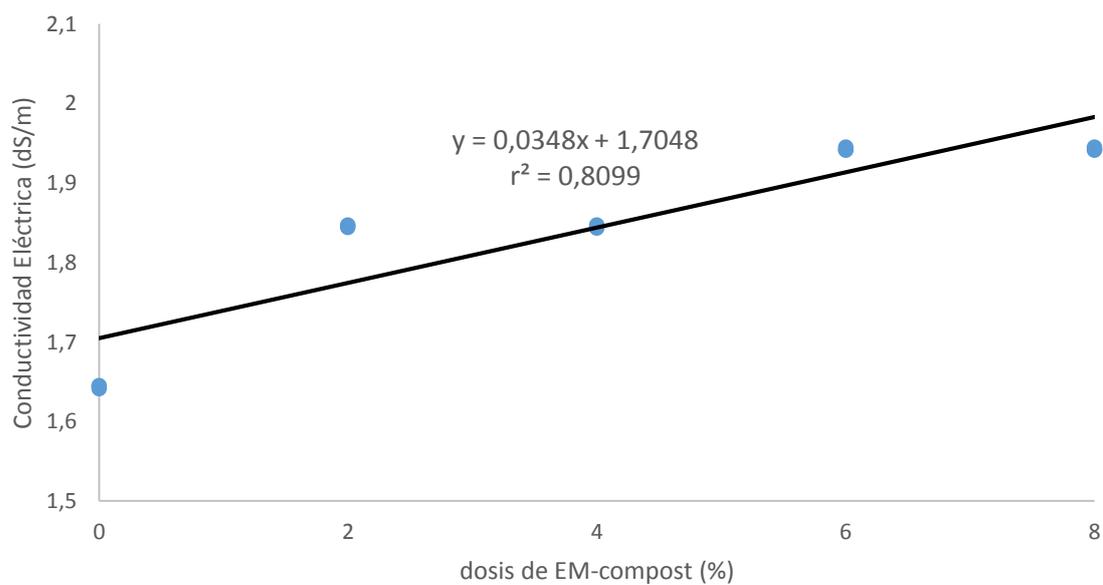
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	Valor-p
Regresión	0.1452	1	0.1452	55.38	0.0000
Error	0.0340	13	0.0026		
Total	0.1793	14			

Decisión:

Dado que:

valor-  $P < 0.05$ , se rechaza la Ho. Hay regresión.

Figura N° 17. Regresión y correlación entre las dosis de EM-Compost y la conductividad eléctrica.



El análisis de variancia de la regresión entre las dosis de EM-Compost y la conductividad eléctrica (CE) del compost obtenido por el procesamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, presenta muy alta significación estadística (valor  $p = 0.0000$ ) en la fuente de regresión, indicando que la dosis de EM-Compost influye en el incremento de la conductividad eléctrica (CE) del compost obtenido (Tabla N° 28), debido a que durante la descomposición de los lodos se liberan iones, como: potasio, sodio, cloruro, carbonatos y bicarbonatos, que al formar sales, incrementan la CE del compost, esto es más acentuando cuando la tasa de descomposición se eleva con la mayor dosis de EM-Compost.

La ecuación de regresión estimada indica que por cada incremento de una unidad porcentual de EM-Compost a los lodos, la CE del compost final aumenta en 0.0348 dS/m. Los valores hallados en este experimento no sobrepasan los límites de calidad ( $< 4$  dS/m). El coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.8099$ ), indica que el 80.99% de la variabilidad de la CE del compost final es atribuida a las dosis de EM-Compost (Figura N° 17).

La aplicación de compost obtenido con lodos, no afectaría negativamente al suelo, debido al contenido de sales.

### Dosis de EM-Compost y humedad

Prueba de hipótesis de la regresión:

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

Ho:  $b = 0$  (no hay regresión)

Ha:  $b \neq 0$  (hay regresión)

Tabla N° 29. Análisis de variancia de la regresión entre la dosis de EM-Compost y el contenido de humedad.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	Valor-p
Regresión	5.6333	1	5.6333	34.87	0.0001
Error	2.1000	13	0.1615		
Total	7.7333	14			

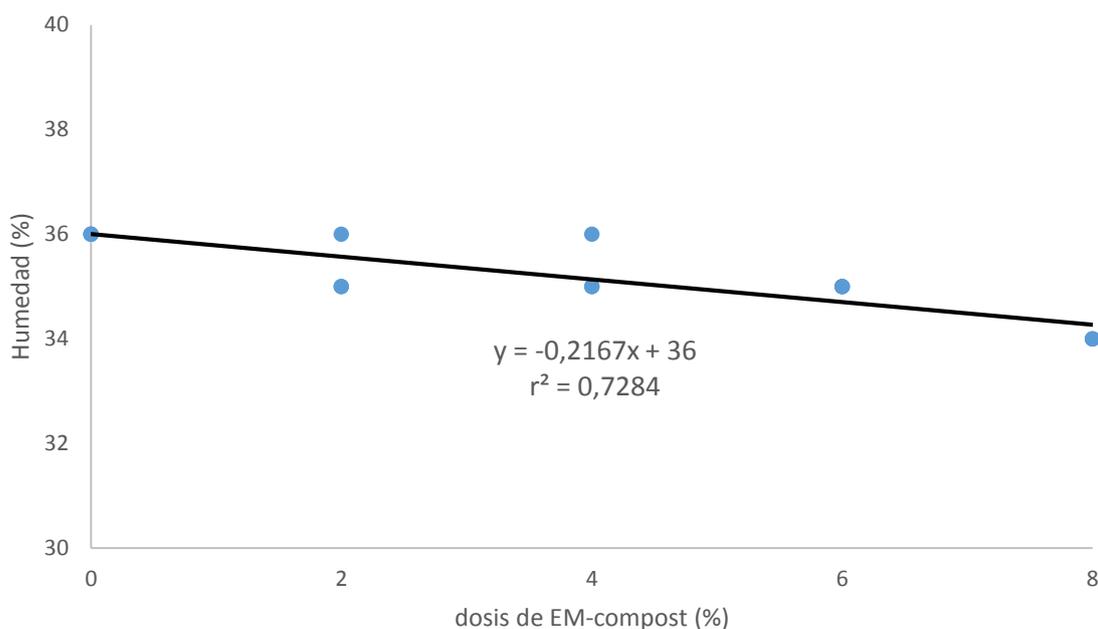
Dado que:

valor-P  $< 0.05$ , se rechaza la Ho. Hay regresión.

El análisis de variancia de la regresión entre la dosis de EM-Compost y el contenido final de humedad del compost, presenta diferencias estadísticas altamente significativas en la fuente de regresión (valor-p = 0.0001), indicando que las dosis de EM-Compost influyen en el contenido de humedad final del compost, debido a la eficiencia en la descomposición de los lodos por las dosis crecientes de los microorganismos contenidos en el EM-Compost (Tabla N° 29).

La ecuación de regresión estimada, indica que por cada incremento en una unidad porcentual de EM-Compost, la humedad final del compost disminuye en 0.2167%, debido posiblemente a la mayor estabilidad que se logra con las dosis altas de EM-Compost, ocasionado por la mayor eficiencia en la descomposición de los lodos (Figura N° 18).

Figura N° 18. Regresión y correlación entre las dosis de EM-Compost y el contenido de humedad.



## Dosis de EM-Compost y rendimiento

Prueba de hipótesis de la regresión:

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

Ho:  $b = 0$  (no hay regresión)

Ha:  $b \neq 0$  (hay regresión)

Tabla N° 30. Análisis de variancia de la regresión entre la dosis de EM-Compost y el rendimiento.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	Valor-p
Regresión	42.7691	1	42.7691	19.38	0.0007
Error	28.6875	13	2.2067		
Total	71.4566	14			

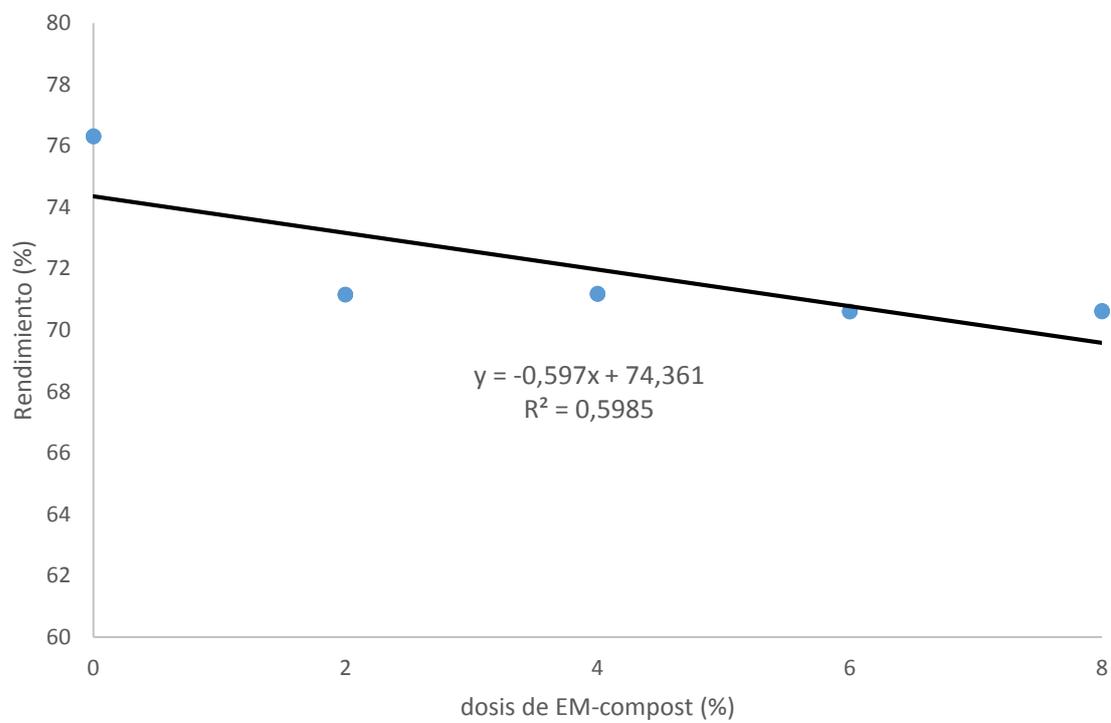
Decisión:

valor-P < 0.05, se rechaza la Ho. Hay regresión

El análisis de variancia de la regresión entre las dosis de EM-Compost y el rendimiento final de compost (% del peso inicial), presenta diferencias estadísticas altamente significativas en la fuente de regresión (valor-p = 0.0007), indicando que las dosis de EM-Compost influyen en el peso final de compost utilizando lodos como insumo del compostaje, esto se debe a la descomposición de los lodos por las diferentes dosis de EM-Compost (Tabla N° 30).

La ecuación de regresión estimada, indica que por cada incremento de 1% en la dosis de EM-Compost, el rendimiento de compost (porcentaje del peso inicial), disminuye en 0.597%. Esto se puede atribuir a la acción de las dosis altas de EM-Compost, que al hacer más eficiente el compostaje, oxidan los lodos, y hacen disminuir el peso final de compost obtenido (Figura N° 19).

Figura N° 19. Regresión y correlación entre las dosis de EM-Compost y el rendimiento de compost.



## CONCLUSIONES

1. La aplicación de dosis crecientes de EM-Compost permite obtener un compost de calidad, utilizando lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, influyendo en los parámetros químicos propuestos por la FAO de la siguiente manera:
  - 1.1 El contenido de materia orgánica varía 37.09% y 38.12%, ubicados dentro de los rangos propuestos por la FAO (> 20% materia orgánica), disminuyendo ligeramente respecto al tratamiento sin EM-Compost (MO = 38.21%).
  - 1.2 El nitrógeno total varía entre 1.88% y 2.00%, superior a los valores propuestos por FAO (N total = 0.3% – 1.5%), disminuyendo respecto al tratamiento sin EM-Compost (N total = 2.10%).
  - 1.3 El contenido de fósforo total en los tratamientos con EM-Compost fluctuó entre 0.140% a 0.160%, rango ubicado dentro el parámetro de calidad propuesto por FAO (P total = 0.1%-1.0%).
  - 1.4 El potasio total en los tratamientos con EM-Compost varió entre 0.954% y 1.253%, superando el rango de calidad propuesto por FAO (K total = 0.3% - 1.0%).
  - 1.5 La relación C/N varió entre 10.554 y 11.457 con la aplicación de EM-Compost, valores que se encuentran dentro del parámetro propuesto por FAO (C/N = 10-15).
  - 1.6 El pH se incrementó de 7.9 a 8.467 con los tratamientos de EM-compost, ubicándose dentro de los rangos propuestos por FAO (pH = 6.5 – 8.5). Los

tratamientos con 6% y 8% de EM-compost superan estadísticamente a los demás tratamientos.

- 1.7 La conductividad eléctrica (CE) de los tratamientos con dosis crecientes de EM-Compost, producen un compost con valores entre 1.8453 dS/m y 1.9427 dS/m, inferior al parámetro de calidad propuesto por Roben (CE = 2 dS/m – 4 dS/m), garantizando la calidad del compost.
2. Los metales pesados evaluados en el compost procesado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, con aplicación de EM-Compost, dieron los siguientes resultados:
  - 2.1 El contenido de cadmio total disminuyó con las dosis de 2% y 8% de EM-Compost, pero se incrementó con las dosis de 4% y 6% de EM-Compost, respecto al tratamiento sin EM-Compost. El contenido total de cadmio en el lodo solo, disminuyó con el compostaje aplicando EM-Compost. Los valores encontrados superan el EPA de Australia.
  - 2.2 El contenido de cromo total en el compost con 2% y 4% de EM-Compost, disminuye entre 6.31% y 27.31% respecto al tratamiento sin EM-Compost, pero se incrementa ligeramente con las dosis de 6% y 8% de EM-Compost. Los valores encontrados no superan el EPA de Australia.
3. Los parámetros físicos del compost, humedad y rendimiento de peso final, tuvieron la siguiente variación:
  - 3.1 La humedad del compost final varió entre 34% (8% de EM-Compost) y 36% (0% de EM-Compost), valores dentro del rango del parámetro de calidad propuesto por FAO ( $H^{\circ} = 30\%-40\%$ ).
  - 3.2 El tratamiento sin EM-Compost superó estadísticamente en rendimiento del peso final a los tratamientos con EM-Compost.
4. Se encontró regresión y correlación positiva, estadísticamente significativa, entre la dosis de EM-Compost – pH y EM-Compost – CE; asimismo se halló correlación y regresión negativa, estadísticamente significativa, entre EM-Compost – humedad y EM-Compost – rendimiento de peso final. No se encontró regresión y correlación entre EM-Compost y los otros parámetros de calidad del compost.
5. La mejora de la calidad del compost fue por el cumplimiento y control de condiciones del proceso de compostaje con los resultados del evento siendo:

- 5.1 El contenido de materia orgánica con EM–Compost varía 37.09% y 38.12% por la actividad microbial que acelera la descomposición y actúa como agente catalizador en condiciones aeróbicas y anaeróbicas descomponiendo el (C), el (N), y toda la materia orgánica inicial.
- 5.2 El nitrógeno total con EM–Compost varía entre 1.88% y 2.00% con una alta cantidad, 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.
- 5.3 El contenido de fósforo total con EM-Compost fluctuó entre 0.140% a 0.160%, atribuible a la incompleta descomposición orgánica transformado por acción de los microorganismos aplicados.
- 5.4 El potasio total con EM-Compost varió entre 0.954% y 1.253%, atribuible a la liberación de iones potasio de los compuestos orgánicos que se van transformando en el proceso de compostaje, pues el potasio no tiene formas orgánicas
- 5.5 La relación C/N varió entre 10.554 y 11.457 con EM-Compost, la cual se dio por los procesos metabólicos complejos realizados por el EM-Compost aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa, con menos C y N, pero más estable.
- 5.6 El pH se incrementó de 7.9 a 8.467 con EM-Compost, en la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro o básicos.
- 5.7 La (CE) con EM-Compost producen un compost con valores entre 1.8453 dS/m y 1.9427 dS/m, esto se debe la (CE) tiende generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento de la concentración de nutrientes.
- 5.8 El contenido de cromo y cadmio en el compost obtenido con aplicación de EM-Compost, presenta una disminución en el contenido total, el cromo de 52.49 mg/kg a 30.88 mg/kg y cadmio de 3.93 mg/kg a 2.45 mg/kg, esto por los microorganismos al descomponer la materia orgánica en humus, este compuesto orgánico realiza el proceso de adsorción del cromo y cadmio, reteniéndolos y no libera la disponibilidad de estos metales pesados por lo que en análisis de laboratorio se presenta en bajas concentraciones.
6. El tiempo de compostaje se dio: el T1 (2%), T2 (4%), en 35 días; T3 (6%), T4 (8%), en 39 días y T5 (0%) en 51 días.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar el compost procesado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, como abono orgánico para el suelo, por tener parámetros dentro de los estándares de calidad propuestos por la FAO.
2. Ensayar la obtención de compost utilizando lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, en diferentes proporciones con otros materiales orgánicos disponibles en la zona, para verificar los parámetros de calidad.
3. Probar tratamientos de compostaje de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción para reducir los tenores de cadmio.
4. Utilizar el EM-Compost por reducir concentraciones de los metales pesados, cromo y cadmio, por proceso de compostaje en una masa de 20 kg de lodo de la planta de tratamiento de agua residuales de Concepción, el cromo de 52.49 mg/kg a 30.88 mg/kg, disminuyendo 12.69 mg/kg y el cadmio de 3.93 mg/kg a 2.45 mg/kg, disminuyendo 1.48 mg/kg.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Acosta, Y., Zárraga, A., Rodríguez, L. y El Zauahre, M. (2012).** Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales: Revista Multiciencias, pág. 18, Artículo Científico. ISSN 1317-2255. Vol. 12.
2. **Avendaño, D. (2003).** El proceso de compostaje.
3. **Arias, A. (2010).** Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente, pág. 43.
4. **Bontoux, L.; Vega, M. y Papameletiou, D. (2000).** Tratamiento de las aguas residuales en Europa: el problema de los lodos, Madrid, ITPS.
5. **Barrios, J.; y Jiménez, B. (2002).** Manejo de lodos en países en desarrollo: experiencia en México, México, Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), pág. 1-5.
6. **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 (EM). Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de la Salle, Bogotá D.C, Colombia: s.n. pág. 96. Tesis.
7. **Cariello, M.; Castañeda, L.; Riobo, I. y González, J. (2007).** Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos, pág. 26.
8. **Correa, M. (2005).** La Tecnología de Microorganismos Eficaces. Publicado en material del curso resistencia: lecciones de civilidad. Bogotá, Colombia.
9. **Cazurra, T. (1994).** Programa de Saneamiento de las Aguas Residuales Urbanas de Cataluña: Línea de Fangos, Jornadas Técnicas: Biosólidos y Aguas Depuradas Como Recursos. R. Mujeriego y L. Sala (Eds.). pág. 31-43. Sant Feliu de Guísols, Gerona.
10. **Cerrato, M. (2000).** Folleto de proceso químicos orgánicos e inorgánicos.

11. **Coyne, M. (2000).** Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Trad MRasskin. Madrid, España: Paraninfo, pág. 416.
12. **Davis, R. (1994).** Planning the Best Strategy for Sludge Treatment and Disposal Operations, *Water Science and Technology*, 30(8), 149-158.
13. **EPA. (2013).** Compost guideline. Environment Protection Authority. South Australia.
14. **Elzakker, B. (1995).** Principios y prácticas de la agricultura en el trópico. Fundación Guillombé. San José, Costa Rica.
15. **Fioravanti, M.; Vega, N. (2003).** Eficiencia de los Microorganismos Eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su reuso agrícola. Universidad Earth, Costa Rica, pág.44. Tesis.
16. **FAO. (2013).** Manual del compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
17. **Gil, M.; Rueda, P.; Salgado, A.; Varela, A. (2006).** Guía de uso de la tecnología EM en manejo de residuos sólidos orgánicos. FUNDASES. Colombia.
18. **Gómez, E. y Molina, S. (2006).** Desarrollo de un abono orgánico (EM-Compost) como parte del manejo de desechos de cáscaras de banano provenientes del procesamiento de su pulpa. Universidad Earth. Costa Rica. Guácimo, pág. 35. Tesis.
19. **Higa, T.; Parra, J. (1994).** Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment. Japón.
20. **Hall, J. (1994).** La normativa europea y experiencia práctica en los biosólidos reutilización y eliminación. Jornadas Técnicas: Biosólidos y aguas depuradas.
21. **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP]. (2002).** Ficha Tecnológica TE-2345-02 por sistema producto. Fitosanidad en cultivos fertilizados con biosólidos estabilizados”, México: Inifap/Sagarpa.
22. **Johern, B. y Yahner, J. (1994).** Land Application of Municipal and Industrial Biosolid, West Lafayette Indiana, Purdue University.

23. **Moreno, M. (2008).** Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje.
24. **Medalie, L., Bowden, W. y Smith, C. (1999).** "Nutrient Leaching Following Land Application of Aerobically Digested Municipal Swage in Northern Forest", Annual Report. Basic and Applied Research on the Beneficial Use of Biosolids on the Sierra Blanca Ranch, Texas, Texas Tech University.
25. **NOM-004-Semarnat-2002.** "Protección ambiental, lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final", México, Semarnat/Semades.
26. **Nieves, L. (2005).** Cuantificación de la composición microbiológica de cuatro abonos orgánicos usando EM (microorganismos eficaces) como índice comparativo. Costa Rica. Guácimo. Diciembre, pág. 26.
27. **Porta, J.; López-Acevedo, M.; Roquero, C. (1994).** Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, pág. 807.
28. **Paulsrud, B. (1990).** *Sludge Handling and Disposal at Small Wastewater Treatment Plants in Norway, Water Science and Technology.* pág. 233-238
29. **Rodríguez, I., García, C. y Hernández, T. (2007).** El Compost de lodo de Estaciones de Depuradora de Aguas Residuales. C.E.B.A.S.-C.S.I.C. Murcia, España, pág. 600.
30. **Rivera, J. (2011).** Evaluación de Microorganismos Eficaces en procesos de compostaje de residuos de maleza. Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Perú: (s.n.), pág. 76. Tesis.
31. **Roben, E. (2002).** Manual de compostaje para municipios. Loja, Ecuador.
32. **Rich, L. (1982).** *A Cost-Effective System for the Aerobic Stabilization and Disposal of Waste Activated Sludge Solids, Water Research,* 16, 535-542.
33. **Soliva M. y López, M. (2004).** Calidad del compost: influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. UPC.

34. **Stehouwer, R. y Wolf, A. (1999).** "Quality of Land Applied Biosolids in Pennsylvania", BioCycle, vol. 40, marzo, pág. 2-8.
35. **Sastre, H. (1995).** "Biosólidos: Problemática, Tratamientos, Alternativas de Uso y Tendencias Futuras". Conferencia, II Jornadas Sobre Medio Ambiente en Asturias, Jorma95, Oviedo.
36. **Sangakkara, U. (1999).** Kyusei Naturaleza Agricultura y microorganismos eficaces para mejorar la producción sostenible en sistemas orgánicos, Isofar, Alemania.
37. **Shintani, M. y Tabora, P. (1999).** Bokashi: abono orgánico fermentado, tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos. Universidad Earth. Guácimo, CR. pág. 25.
38. **Torres, P.; Silva, J. y Escobar, C. (2007).** Aplicación agrícola de lodos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Universidad del Valle. AA 25360. Facultad de Ingeniería-Escuela Eidenar, Cali, Colombia, pág. 24.
39. **Tituaña, B. (2009).** Elaboración de compost mediante la inoculación de tres fuentes de microorganismos a tres dosis. Tabacundo, Pichincha. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador, Ecuador: s.n., pág. 91. Tesis.
40. **Vicente, M. y Vigil, J. (2012).** Evaluación físico-química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. El Salvador: s.n., pág. 98. Tesis.
41. **Valderrama, M. (2013).** Factibilidad de Aprovechamiento de Lodos Residuales de la PTAR del Municipio de Chivanita, Boyacá. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Colombia: s.n., pág. 71. Tesis.
42. **Valle, R. (2004).** Evaluación de dos sistemas de producción de EM-Compost elaborado con desechos de banano. Universidad EARTH, Costa Rica: s.n., pág. 67.
43. **Weisz, R. (1988).** "The Role of the Geographic Information System in the Plan Implementation Process" en B. M. Kent y L. S. Davis (ed.), The 1988 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources, USDA Forest Service, California, Asilomar Conference Center, Pacific Grove (General Technical Report RM-161).

# **ANEXOS**

**ANEXO Nro. 1**  
**Matriz de consistencia**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b><u>Problema General:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es la influencia de los microorganismos eficaces (EM - Compost), en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016?</li> </ul> <p><b><u>Problemas Específicos:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es el efecto de la aplicación de diferentes dosis de microorganismos eficaces (EM-Compost), en los parámetros de calidad del compost (químicos y físicos), preparado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción?</li> <li>¿Qué tipo de relación presentan las dosis de EM-compost y los parámetros de calidad del compost?</li> </ul>	<p><b><u>Objetivo General:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la influencia de los microorganismos eficaces (EM - Compost), en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016.</li> </ul> <p><b><u>Objetivos Específicos:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la influencia de la dosis de aplicación de microorganismos eficientes (EM - Compost), en los parámetros de calidad del compost (químicos y físicos), preparado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción.</li> <li>Determinar la relación entre las dosis de EM-compost y los parámetros de calidad del compost.</li> </ul>	<p><b><u>Hipótesis General</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los EM-compost logran mayor eficiencia en la producción de compost, utilizando lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción.</li> </ul> <p><b><u>Hipótesis Específicas</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La aplicación de diferentes dosis de EM-compost, mejoran los parámetros de calidad del compost (químicos y físicos), preparado con lodos de aguas residuales de Concepción.</li> <li>Las dosis de EM-compost se relacionan estrechamente con algunos parámetros de calidad del compost.</li> </ul>	<p><b><u>Variable 1</u></b> Microorganismos Eficaces (EM - COMPOST).</p> <p><b>Tipo:</b> Independiente.</p> <p><b>Dimensiones:</b> L/kg.</p> <p><b><u>Variable 2</u></b> Compost.</p> <p><b>Tipo:</b> Dependiente.</p> <p><b>Dimensiones:</b> Niveles altos, bajos o medios.</p>	<p><b><u>Tipo de Investigación:</u></b> Aplicada.</p> <p><b><u>Nivel de Investigación:</u></b> Explicativo.</p> <p><b><u>Método General:</u></b> Experimental.</p> <p><b><u>Diseño de Investigación:</u></b> Diseño Completamente al Azar (DCA).</p> <p><b><u>Población:</u></b> La población está constituida por todo el compost procesado con lodos de depuradora e inoculación de EM-compost.</p> <p><b><u>Muestra:</u></b> La muestra es la masa de compost utilizado para el análisis de propiedades física químicas, en aproximadamente 1 kg.</p> <p><b><u>Técnicas de recolección:</u></b> Durante el proceso de compostaje se evaluaron los datos de temperatura, pH, Humedad y conductividad eléctrica.</p> <p><b><u>Técnicas de procesamiento:</u></b></p> <p>Al finalizar el experimento se sistematizarán los resultados obtenidos y se analizarán los datos a través del análisis descriptivo de estadísticos y gráficos, así como la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk, ANOVA, la prueba de comparación múltiple de Duncan y la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.</p> <p>Se harán los análisis de regresión y correlación entre las dosis de EM-Compost y los parámetros de calidad especificados.</p>

## Anexo Nro. 2

### Control de temperatura de los tratamientos

CONTROL DE TEMPERATURA - APLICACIÓN DE EM-COMPOST 2%				
TRATAMIENTO 1				
REPETICIONES		I	II	III
FECHA	DÍA	Temperatura °C		
08/08/2016	LUNES	15.7	15.1	15.6
09/08/2016	MARTES	17.2	16.9	17.3
10/08/2016	MIÉRCOLES	18.2	18.3	18.6
11/08/2016	JUEVES	21.7	21.0	21.6
12/08/2016	VIERNES	23.8	23.7	23.7
13/08/2016	SÁBADO	27.3	27.6	27.4
14/08/2016	DOMINGO	31.5	31.5	31.3
15/08/2016	LUNES	35.2	35.2	35.2
16/08/2016	MARTES	39.3	38.9	39.2
17/08/2016	MIÉRCOLES	40.4	40.0	40.1
18/08/2016	JUEVES	47.1	47.2	47.1
19/08/2016	VIERNES	54.6	54.2	54.2
20/08/2016	SÁBADO	53.2	53.2	53.2
21/08/2016	DOMINGO	51.8	51.8	51.6
22/08/2016	LUNES	51.6	51.6	51.6
23/08/2016	MARTES	50.1	50.0	50.0
24/08/2016	MIÉRCOLES	49.5	49.6	49.4
25/08/2016	JUEVES	49	49.0	49.0
26/08/2016	VIERNES	48.4	48.0	48.1
27/08/2016	SÁBADO	47.9	47.2	47.8
28/08/2016	DOMINGO	46	46.1	46.1
29/08/2016	LUNES	45.6	45.6	45.5
30/08/2016	MARTES	43.4	43.2	43.2
31/08/2016	MIÉRCOLES	40.7	41.3	40.8
01/09/2016	JUEVES	39.4	39.6	39.5
02/09/2016	VIERNES	37.1	37.1	37.2
03/09/2016	SÁBADO	36.1	36.2	36.2
04/09/2016	DOMINGO	34.8	34.6	38.7
05/09/2016	LUNES	31.6	31.2	31.5
06/09/2016	MARTES	30.5	30.5	30.5
07/09/2016	MIÉRCOLES	29.6	29.6	29.5
08/09/2016	JUEVES	28.9	28.7	28.4
09/09/2016	VIERNES	27.7	27.4	27.4
10/09/2016	SÁBADO	25.9	26.1	25.9
11/09/2016	DOMINGO	24.1	24.1	24.1
12/09/2016	LUNES	23.8	23.8	23.7
13/09/2016	MARTES	22.4	22.2	22.2
14/09/2016	MIÉRCOLES	21.7	21.4	21.7
15/09/2016	JUEVES	18.6	18.3	18.4
16/09/2016	VIERNES	18.3	18.3	18.3
17/09/2016	SÁBADO	17.4	17.5	17.4
18/09/2016	DOMINGO	17.5	17.5	17.5
19/09/2016	LUNES	17.6	17.6	17.4
20/09/2016	MARTES	17.6	17.6	17.4
21/09/2016	MIÉRCOLES	17.4	17.4	17.4
27/09/2016	MARTES	16.8	16.8	16.6

CONTROL DE TEMPERATURA - APLICACIÓN DE EM-COMPOST 4%				
TRATAMIENTO 2				
REPETICIONES		I	II	III
FECHA	DÍA	Temperatura °C		
08/08/2016	LUNES	15.3	15.6	15.6
09/08/2016	MARTES	16.8	16.1	16.2
10/08/2016	MIÉRCOLES	19.1	19.2	19.1
11/08/2016	JUEVES	22.6	22.6	22.5
12/08/2016	VIERNES	24.3	24.1	24.5
13/08/2016	SÁBADO	28.4	28.4	28.3
14/08/2016	DOMINGO	34.6	34.6	34.8
15/08/2016	LUNES	37.2	37.2	37.2
16/08/2016	MARTES	38.8	38.5	38.5
17/08/2016	MIÉRCOLES	40.1	40.3	40.1
18/08/2016	JUEVES	47.2	46.9	47.1
19/08/2016	VIERNES	54.9	54.8	54.9
20/08/2016	SÁBADO	54.0	54.1	54.0
21/08/2016	DOMINGO	53.3	53.0	53.6
22/08/2016	LUNES	51.1	51.4	51.3
23/08/2016	MARTES	51.3	51.2	51.2
24/08/2016	MIÉRCOLES	50.1	50.0	50.0
25/08/2016	JUEVES	48.4	48.3	48.3
26/08/2016	VIERNES	47.0	47.3	47.1
27/08/2016	SÁBADO	46.8	46.8	46.4
28/08/2016	DOMINGO	45.1	45.2	45.2
29/08/2016	LUNES	40.6	40.6	40.5
30/08/2016	MARTES	38.7	38.3	38.6
31/08/2016	MIÉRCOLES	35.2	35.2	35.3
01/09/2016	JUEVES	32.0	32.2	32.2
02/09/2016	VIERNES	30.5	30.5	30.7
03/09/2016	SÁBADO	29.3	29.4	29.2
04/09/2016	DOMINGO	27.6	27.6	27.4
05/09/2016	LUNES	26.3	26.5	26.4
06/09/2016	MARTES	24.1	24.3	24.3
07/09/2016	MIÉRCOLES	23.8	23.0	23.3
08/09/2016	JUEVES	22.7	22.5	22.5
09/09/2016	VIERNES	22.0	22.0	22.1
10/09/2016	SÁBADO	21.5	21.4	21.3
11/09/2016	DOMINGO	21.2	21.5	21.5
12/09/2016	LUNES	21.0	21.0	21.2
13/09/2016	MARTES	20.7	20.0	20.3
14/09/2016	MIÉRCOLES	19.4	19.5	19.6
15/09/2016	JUEVES	19.4	19.5	19.6
16/09/2016	VIERNES	19.4	19.5	19.6
17/09/2016	SÁBADO	17.3	17.3	17.3
18/09/2016	DOMINGO	17.3	17.3	17.3
19/09/2016	LUNES	17.4	17.3	17.5
20/09/2016	MARTES	17.3	17.3	17.3
21/09/2016	MIÉRCOLES	17.4	17.4	16.7
22/09/2016	MARTES	17.4	17.4	16.7

CONTROL DE TEMPERATURA - APLICACIÓN DE EM - COMPOST 6%				
TRATAMIENTO 3				
REPETICIONES		I	II	III
FECHA	DÍA	Temperatura °C		
08/08/2016	LUNES	15.5	15.0	15.6
09/08/2016	MARTES	17.3	17.2	17.3
10/08/2016	MIÉRCOLES	20.2	20.2	19.8
11/08/2016	JUEVES	25.1	25.1	25.1
12/08/2016	VIERNES	30.6	30.3	30.5
13/08/2016	SÁBADO	33.8	33.6	33.7
14/08/2016	DOMINGO	35.2	35.1	35.0
15/08/2016	LUNES	40.0	40.1	39.8
16/08/2016	MARTES	47.4	48.1	48.2
17/08/2016	MIÉRCOLES	55.1	55.4	51.2
18/08/2016	JUEVES	54.8	54.8	54.7
19/08/2016	VIERNES	54.5	54.5	54.5
20/08/2016	SÁBADO	54.5	53.9	53.7
21/08/2016	DOMINGO	51.6	51.9	52.2
22/08/2016	LUNES	51.3	51.3	51.0
23/08/2016	MARTES	50.0	50.0	50.4
24/08/2016	MIÉRCOLES	48.4	48.1	48.3
25/08/2016	JUEVES	47.3	47.3	47.1
26/08/2016	VIERNES	44.7	44.6	44.6
27/08/2016	SÁBADO	42.1	43.1	42.0
28/08/2016	DOMINGO	36.1	37.2	37.4
29/08/2016	LUNES	33.7	33.3	32.5
30/08/2016	MARTES	32.0	32.0	32.1
31/08/2016	MIÉRCOLES	32.0	32.1	32.1
01/09/2016	JUEVES	30.3	30.5	30.3
02/09/2016	VIERNES	28.9	29.3	28.4
03/09/2016	SÁBADO	27.4	27.1	27.3
04/09/2016	DOMINGO	26.0	26.2	26.2
05/09/2016	LUNES	24.1	24.1	24.4
06/09/2016	MARTES	23.1	23.4	23.5
07/09/2016	MIÉRCOLES	22.4	22.7	22.8
08/09/2016	JUEVES	22.0	22.1	22.0
09/09/2016	VIERNES	21.3	21.0	21.4
10/09/2016	SÁBADO	21.3	21.3	21.3
11/09/2016	DOMINGO	20.7	20.0	20.1
12/09/2016	LUNES	20.7	20.3	20.4
13/09/2016	MARTES	20.1	20.1	20.1
14/09/2016	MIÉRCOLES	20.0	20.0	20.0
15/09/2016	JUEVES	19.6	19.6	19.6
16/09/2016	VIERNES	17.8	17.8	17.8
17/09/2016	SÁBADO	17.4	17.4	17.4
18/09/2016	DOMINGO	17.4	17.5	17.6
19/09/2016	LUNES	17.4	17.4	17.4
20/09/2016	MARTES	17.4	17.4	17.4
21/09/2016	MIÉRCOLES	17.5	17.5	17.5
27/09/2016	MARTES	17.5	17.5	17.5

CONTROL DE TEMPERATURA - APLICACIÓN DE EM - COMPOST 8%				
TRATAMIENTO 4				
REPETICIONES		I	II	III
FECHA	DÍA	Temperatura °C		
08/08/2016	LUNES	15.7	15.1	15.6
09/08/2016	MARTES	18.4	18.0	17.8
10/08/2016	MIÉRCOLES	20.0	20.6	20.7
11/08/2016	JUEVES	28.3	29.1	28.5
12/08/2016	VIERNES	39.1	39.1	39.4
13/08/2016	SÁBADO	48.1	47.9	48.2
14/08/2016	DOMINGO	56.8	56.7	56.7
15/08/2016	LUNES	56.8	56.8	56.6
16/08/2016	MARTES	56.0	55.2	55.7
17/08/2016	MIÉRCOLES	54.6	54.1	54.7
18/08/2016	JUEVES	54.2	54.0	54.2
19/08/2016	VIERNES	53.1	53.1	53.1
20/08/2016	SÁBADO	50.4	50.1	50.2
21/08/2016	DOMINGO	50.4	50.3	50.4
22/08/2016	LUNES	50.0	49.7	50.2
23/08/2016	MARTES	48.3	48.1	48.3
24/08/2016	MIÉRCOLES	47.6	47.5	47.6
25/08/2016	JUEVES	45.0	46.3	45.2
26/08/2016	VIERNES	42.7	42.6	42.6
27/08/2016	SÁBADO	34.4	34.2	34.4
28/08/2016	DOMINGO	32.0	32.5	32.4
29/08/2016	LUNES	32.5	32.2	32.2
30/08/2016	MARTES	32.0	32.3	32.0
31/08/2016	MIÉRCOLES	30.0	31.4	30.5
01/09/2016	JUEVES	28.8	28.3	28.4
02/09/2016	VIERNES	27.1	27.5	27.6
03/09/2016	SÁBADO	27.0	27.1	27.2
04/09/2016	DOMINGO	23.6	24.3	23.9
05/09/2016	LUNES	22.2	23.1	22.4
06/09/2016	MARTES	21.9	21.5	21.6
07/09/2016	MIÉRCOLES	21.8	21.8	21.5
08/09/2016	JUEVES	21.4	21.5	21.4
09/09/2016	VIERNES	21.1	21.0	21.0
10/09/2016	SÁBADO	21.0	21.1	21.0
11/09/2016	DOMINGO	19.6	19.6	19.7
12/09/2016	LUNES	17.6	17.6	17.6
13/09/2016	MARTES	17.5	17.5	17.5
14/09/2016	MIÉRCOLES	17.5	17.5	17.5
15/09/2016	JUEVES	17.6	17.6	17.6
16/09/2016	VIERNES	17.5	17.5	17.5
17/09/2016	SÁBADO	17.5	17.5	17.5
18/09/2016	DOMINGO	17.5	17.5	17.5
19/09/2016	LUNES	17.5	17.5	17.5
20/09/2016	MARTES	17.5	17.5	17.5
21/09/2016	MIÉRCOLES	17.5	16.7	17.5
27/09/2016	MARTES	16.4	16.6	16.4

CONTROL DE TEMPERATURA - SIN EM - COMPOST 0%				
TRATAMIENTO 5				
REPETICIONES		T1R1	T1R2	T1R3
FECHA	DÍA	Temperatura °C	Temperatura °C	Temperatura °C
08/08/2016	LUNES	15.6	15.1	15.6
09/08/2016	MARTES	15.7	15.5	15.6
10/08/2016	MIÉRCOLES	16.8	16.8	16.6
11/08/2016	JUEVES	16.9	16.8	16.8
12/08/2016	VIERNES	17.3	17.2	17.3
13/08/2016	SÁBADO	17.7	17.9	17.7
14/08/2016	DOMINGO	17.8	17.8	17.8
15/08/2016	LUNES	17.8	17.8	17.8
16/08/2016	MARTES	17.8	17.7	17.8
17/08/2016	MIÉRCOLES	18.4	18.7	18.5
18/08/2016	JUEVES	18.4	18.4	18.4
19/08/2016	VIERNES	19.3	19.2	19.3
20/08/2016	SÁBADO	19.7	19.7	19.6
21/08/2016	DOMINGO	20.3	20.4	20.3
22/08/2016	LUNES	20.6	20.5	20.7
23/08/2016	MARTES	20.3	20.3	20.5
24/08/2016	MIÉRCOLES	21.4	21.4	21.4
25/08/2016	JUEVES	21.6	21.6	21.4
26/08/2016	VIERNES	22.3	22.4	22.4
27/08/2016	SÁBADO	23.7	23.8	23.8
28/08/2016	DOMINGO	24.1	24.1	24.1
29/08/2016	LUNES	24.7	24.7	24.7
30/08/2016	MARTES	25.5	25.5	25.5
31/08/2016	MIÉRCOLES	27.4	27.4	27.4
01/09/2016	JUEVES	28.3	28.2	28.3
02/09/2016	VIERNES	29.8	29.6	29.6
03/09/2016	SÁBADO	36.8	36.2	36.2
04/09/2016	DOMINGO	38.8	38.5	38.7
05/09/2016	LUNES	39.4	39.4	39.3
06/09/2016	MARTES	39.7	39.8	39.6
07/09/2016	MIÉRCOLES	38.7	38.7	38.7
08/09/2016	JUEVES	37.2	37.1	37.1
09/09/2016	VIERNES	37.2	37.2	37.3
10/09/2016	SÁBADO	37.0	37.1	37.2
11/09/2016	DOMINGO	36.2	36.4	36.4
12/09/2016	LUNES	35.2	35.2	35.2
13/09/2016	MARTES	34.1	34.1	34.1
14/09/2016	MIÉRCOLES	33.1	33.2	33.1
15/09/2016	JUEVES	32.1	33.5	32.6
16/09/2016	VIERNES	30.5	30.2	30.3
17/09/2016	SÁBADO	29.2	29.4	29.2
18/09/2016	DOMINGO	28.5	28.6	28.6
19/09/2016	LUNES	26.4	26.4	26.4
20/09/2016	MARTES	25.4	25.3	25.3
21/09/2016	MIÉRCOLES	24.4	24.4	24.4
27/09/2016	MARTES	20.5	20.6	20.6

### Anexo Nro. 3

#### Control de pH y Conductividad eléctrica de los tratamientos

CONTROL DE PH y CE - APLICACIÓN DE EM-COMPOST 2%							
TRATAMIENTO 1							
REPETICIONES		I		II		III	
FECHA	DÍAS	PH	CE (mS.cm-1.)	PH	CE (mS.cm-1.)	PH	CE (mS.cm-1.)
11/08/2016	JUEVES	6.4	0.760	6.5	0.430	6.5	0.410
18/08/2016	JUEVES	7.9	0.962	7.9	0.850	7.7	0.866
25/08/2016	JUEVES	8.5	1.130	8.5	1.132	8.5	1.131
01/09/2016	JUEVES	8.5	1.445	8.5	1.448	8.2	1.445
09/09/2016	VIERNES	8.3	1.658	8.2	1.648	8.3	1.643
27/09/2016	MARTES	7.9	1.847	7.8	1.844	7.9	1.846

CONTROL DE PH y CE - APLICACIÓN DE EM-COMPOST 4%							
TRATAMIENTO 2							
REPETICIONES		I		II		III	
FECHA	DÍAS	PH	CE (mS.cm-1.)	PH	CE (mS.cm-1.)	PH	CE (mS.cm-1.)
11/08/2016	JUEVES	6.4	0.460	6.4	0.490	6.4	0.630
18/08/2016	JUEVES	8.3	0.862	8.2	0.850	8.3	0.855
25/08/2016	JUEVES	8.4	1.141	8.4	1.140	8.4	1.144
01/09/2016	JUEVES	8.5	1.442	8.6	1.445	8.4	1.445
09/09/2016	VIERNES	8.3	1.634	8.3	1.636	8.2	1.634
27/09/2016	MARTES	8.0	1.846	8.1	1.843	8.0	1.847

CONTROL DE PH y CE - APLICACIÓN DE EM - COMPOST 6%							
TRATAMIENTO 3							
REPETICIONES		I		II		III	
FECHA	DÍAS	PH	CE (mS.cm-1.)	PH	CE (mS.cm-1.)	PH	CE (mS.cm-1.)
11/08/2016	JUEVES	6.5	0.710	6.4	0.720	6.4	0.640
18/08/2016	JUEVES	9.1	0.960	9.1	0.962	8.9	0.916
25/08/2016	JUEVES	8.5	1.130	8.6	1.130	8.4	1.121
01/09/2016	JUEVES	8.4	1.456	8.4	1.445	8.4	1.424
09/09/2016	VIERNES	8.4	1.628	8.3	1.627	8.4	1.652
27/09/2016	MARTES	8.2	1.847	8.3	1.845	8.4	1.847

CONTROL DE PH y CE - APLICACIÓN DE EM - COMPOST 8%							
TRATAMIENTO 4							
REPETICIONES		I		II		III	
FECHA	DÍAS	PH	CE (mS.cm-1.)	PH	CE (mS.cm-1.)	PH	CE (mS.cm-1.)
11/08/2016	JUEVES	6.3	0.720	6.4	0.720	6.3	0.740
18/08/2016	JUEVES	9.5	0.962	9.5	0.962	9.4	0.962
25/08/2016	JUEVES	8.8	1.137	8.8	1.131	8.8	1.130
01/09/2016	JUEVES	8.7	1.448	8.7	1.445	8.8	1.445
09/09/2016	VIERNES	8.4	1.653	8.4	1.653	8.4	1.652
27/09/2016	MARTES	8.6	1.942	8.3	1.941	8.5	1.945

CONTROL DE PH y CE - SIN EM - COMPOST 0%							
TRATAMIENTO 5							
REPETICIONES		I		II		III	
FECHA	DÍAS	PH	CE (mS.cm-1.)	PH	CE (mS.cm-1.)	PH	CE (mS.cm-1.)
11/08/2016	JUEVES	6.3	0.730	6.4	0.740	6.4	0.740
18/08/2016	JUEVES	7.5	0.103	7.3	0.102	7.5	0.103
25/08/2016	JUEVES	7.8	0.138	7.6	0.133	7.6	0.138
01/09/2016	JUEVES	7.8	1.360	7.7	1.364	7.8	1.361
09/09/2016	VIERNES	7.8	1.573	7.8	1.571	7.8	1.573
27/09/2016	MARTES	8.0	1.641	7.8	1.645	7.9	1.644

#### Anexo Nro. 4

### Resultados de la medición final de pH y Conductividad Eléctrica (CE)

Resultados de la medición final de pH. Compost de lodos de la planta de aguas residuales de Concepción con aplicación de EM-Compost.

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (2% EM)	7.9	7.8	7.9
2 (4% EM)	8.0	8.1	8.0
3 (6% EM)	8.2	8.3	8.4
4 (8% EM)	8.6	8.3	8.5
5 (0% EM)	8.0	7.8	7.9

Resultados de la medición final de conductividad eléctrica (CE). Compost de lodos de la planta de aguas residuales de Concepción con aplicación de EM-Compost.

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (2% EM)	1.847	1.844	1.846
2 (4% EM)	1.846	1.843	1.847
3 (6% EM)	1.847	1.845	1.847
4 (8% EM)	1.942	1.941	1.945
5 (0% EM)	1.641	1.645	1.644

**Anexo Nro. 5**  
**Control de humedad de los tratamientos**

CONTROL DE HUMEDAD - APLICACIÓN DE EM-COMPOST 2%				
TRATAMIENTO 1				
REPETICIONES		I	II	III
FECHA	DÍA	Humedad %		
08/08/2016	LUNES	55	55	57
10/08/2016	MIÉRCOLES	55	55	55
12/08/2016	VIERNES	55	54	55
14/08/2016	DOMINGO	53	54	52
15/08/2016	LUNES	50	51	51
17/08/2016	MIÉRCOLES	47	48	48
19/08/2016	VIERNES	58	57	57
21/08/2016	DOMINGO	57	57	57
22/08/2016	LUNES	57	57	55
24/08/2016	MIÉRCOLES	57	56	55
26/08/2016	VIERNES	56	55	55
28/08/2016	DOMINGO	56	55	55
29/08/2016	LUNES	55	55	55
31/08/2016	MIÉRCOLES	54	54	52
02/09/2016	VIERNES	54	53	52
04/09/2016	DOMINGO	53	53	52
05/09/2016	LUNES	51	50	50
07/09/2016	MIÉRCOLES	40	41	40
09/09/2016	VIERNES	40	40	40
11/09/2016	DOMINGO	39	39	38
12/09/2016	LUNES	38	38	38
14/09/2016	MIÉRCOLES	38	37	37
16/09/2016	VIERNES	37	37	37
18/09/2016	DOMINGO	37	37	37
19/09/2016	LUNES	37	37	37
21/09/2016	MIÉRCOLES	36	37	37
23/09/2016	VIERNES	36	36	36
26/09/2016	LUNES	36	35	36
27/09/2016	MARTES	35	35	36

CONTROL DE HUMEDAD - APLICACIÓN DE EM - COMPOST 4%				
TRATAMIENTO 2				
REPETICIONES		I	II	III
FECHA	DÍA	Humedad %		
08/08/2016	LUNES	55	55	55
10/08/2016	MIÉRCOLES	55	55	55
12/08/2016	VIERNES	55	54	55
14/08/2016	DOMINGO	53	54	52
15/08/2016	LUNES	50	51	51
17/08/2016	MIÉRCOLES	47	48	48
19/08/2016	VIERNES	58	58	57
21/08/2016	DOMINGO	58	57	57
22/08/2016	LUNES	57	57	55
24/08/2016	MIÉRCOLES	57	56	55
26/08/2016	VIERNES	56	55	55
28/08/2016	DOMINGO	56	55	55
29/08/2016	LUNES	55	55	55
31/08/2016	MIÉRCOLES	54	54	52
02/09/2016	VIERNES	54	53	52
04/09/2016	DOMINGO	53	53	52
05/09/2016	LUNES	51	50	50
07/09/2016	MIÉRCOLES	40	41	40
09/09/2016	VIERNES	40	40	40
11/09/2016	DOMINGO	39	39	38
12/09/2016	LUNES	38	38	38
14/09/2016	MIÉRCOLES	38	37	37
16/09/2016	VIERNES	37	37	37
18/09/2016	DOMINGO	37	37	37
19/09/2016	LUNES	37	37	37
21/09/2016	MIÉRCOLES	36	37	37
23/09/2016	VIERNES	36	36	36
26/09/2016	LUNES	36	35	36
27/09/2016	MARTES	35	35	36

CONTROL DE HUMEDAD - APLICACIÓN DE EM - COMPOST 6%				
TRATAMIENTO 3				
REPETICIONES		I	II	III
FECHA	DÍA	Humedad %		
08/08/2016	LUNES	55	55	55
10/08/2016	MIÉRCOLES	55	55	55
12/08/2016	VIERNES	55	54	55
14/08/2016	DOMINGO	53	54	52
15/08/2016	LUNES	50	51	51
17/08/2016	MIÉRCOLES	58	57	57
19/08/2016	VIERNES	57	57	57
21/08/2016	DOMINGO	57	55	57
22/08/2016	LUNES	56	55	57
24/08/2016	MIÉRCOLES	55	55	56
26/08/2016	VIERNES	55	55	56
28/08/2016	DOMINGO	55	55	55
29/08/2016	LUNES	54	52	54
31/08/2016	MIÉRCOLES	53	52	54
02/09/2016	VIERNES	53	52	53
04/09/2016	DOMINGO	50	50	51
05/09/2016	LUNES	41	40	40
07/09/2016	MIÉRCOLES	40	40	40
09/09/2016	VIERNES	39	38	39
11/09/2016	DOMINGO	38	38	38
12/09/2016	LUNES	37	37	38
14/09/2016	MIÉRCOLES	37	37	37
16/09/2016	VIERNES	37	37	37
18/09/2016	DOMINGO	37	37	37
19/09/2016	LUNES	37	37	36
21/09/2016	MIÉRCOLES	36	36	36
23/09/2016	VIERNES	35	36	36
26/09/2016	LUNES	35	36	35
27/09/2016	MARTES	35	35	35

CONTROL DE HUMEDAD - APLICACIÓN DE EM - COMPOST 8%				
TRATAMIENTO 4				
REPETICIONES		I	II	III
FECHA	DÍA	Humedad %		
08/08/2016	LUNES	55	55	55
10/08/2016	MIÉRCOLES	55	54	54
12/08/2016	VIERNES	47	48	48
14/08/2016	DOMINGO	58	57	58
15/08/2016	LUNES	57	57	57
17/08/2016	MIÉRCOLES	55	57	57
19/08/2016	VIERNES	55	57	56
21/08/2016	DOMINGO	55	56	55
22/08/2016	LUNES	55	56	55
24/08/2016	MIÉRCOLES S	55	55	55
26/08/2016	VIERNES	52	54	54
28/08/2016	DOMINGO	52	54	53
29/08/2016	LUNES	52	53	53
31/08/2016	MIÉRCOLES	50	51	50
02/09/2016	VIERNES	40	40	41
04/09/2016	DOMINGO	40	40	40
05/09/2016	LUNES	38	39	39
07/09/2016	MIÉRCOLES	38	38	38
09/09/2016	VIERNES	37	38	37
11/09/2016	DOMINGO	37	37	37
12/09/2016	LUNES	37	37	37
14/09/2016	MIÉRCOLES	37	37	37
16/09/2016	VIERNES	37	36	37
18/09/2016	DOMINGO	36	36	36
19/09/2016	LUNES	36	36	35
21/09/2016	MIÉRCOLES	36	35	35
23/09/2016	VIERNES	35	35	35
26/09/2016	LUNES	34	34	34
27/09/2016	MARTES	34	34	34

CONTROL DE HUMEDAD - CONVENCIONAL SIN EM – COMPOST 0%				
TRATAMIENTO 5				
REPETICIONES		I	II	III
FECHA	DÍA	Humedad %		
08/08/2016	LUNES	55	56	56
10/08/2016	MIÉRCOLES	55	55	55
12/08/2016	VIERNES	54	54	55
14/08/2016	DOMINGO	54	54	54
15/08/2016	LUNES	54	53	54
17/08/2016	MIÉRCOLES	54	53	54
19/08/2016	VIERNES	54	53	54
21/08/2016	DOMINGO	51	52	52
22/08/2016	LUNES	50	50	50
24/08/2016	MIÉRCOLES	48	48	48
26/08/2016	VIERNES	47	47	46
28/08/2016	DOMINGO	44	44	44
29/08/2016	LUNES	44	43	44
31/08/2016	MIÉRCOLES	42	42	42
02/09/2016	VIERNES	42	42	42
04/09/2016	DOMINGO	41	42	41
05/09/2016	LUNES	40	41	40
07/09/2016	MIÉRCOLES	40	41	40
09/09/2016	VIERNES	40	40	40
11/09/2016	DOMINGO	39	40	30
12/09/2016	LUNES	39	39	39
14/09/2016	MIÉRCOLES	39	39	39
16/09/2016	VIERNES	38	39	39
18/09/2016	DOMINGO	38	38	38
19/09/2016	LUNES	38	38	38
21/09/2016	MIÉRCOLES	38	38	37
23/09/2016	VIERNES	37	37	37
26/09/2016	LUNES	36	36	36
27/09/2016	MARTES	36	36	36

**Anexo Nro. 6**  
**Resultados de la medición final de humedad**

Resultados originales de humedad (%). Compost de lodos de la planta de aguas residuales de Concepción con aplicación de EM-Compost.

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (2% EM)	35	35	36
2 (4% EM)	35	35	36
3 (6% EM)	35	35	35
4 (8% EM)	34	34	34
5 (0% EM)	36	36	36

**Anexo Nro. 7**  
**Resultados de Peso final de Compost de los tratamientos**

CONTROL DE PESO - APLICACIÓN DE EM - COMPOST 2%		
REPETICIONES	TRATAMIENTO 1	
I	PESO INICIAL	20 kg
	PESO FINAL	14.231 kg
II	PESO INICIAL	20 kg
	PESO FINAL	14.231 kg
III	PESO INICIAL	20 kg
	PESO FINAL	14.233 kg

CONTROL DE PESO - APLICACIÓN DE EM - COMPOST 4%		
REPETICIONES	TRATAMIENTO 2	
I	PESO INICIAL	20 kg
	PESO FINAL	14.234 kg
II	PESO INICIAL	20 kg
	PESO FINAL	14.234 kg
III	PESO INICIAL	20 kg
	PESO FINAL	14.238 kg

CONTROL DE PESO - APLICACIÓN DE EM - COMPOST 6%		
REPETICIONES	TRATAMIENTO 3	
I	PESO INICAL	20 kg
	PESO FINAL	14.123kg
II	PESO INICAL	20 kg
	PESO FINAL	14.120 kg
III	PESO INICAL	20 kg
	PESO FINAL	14.120 kg

CONTROL DE PESO - APLICACIÓN DE EM - COMPOST 8%		
REPETICIONES	TRATAMIENTO 4	
I	PESO INICAL	20 kg
	PESO FINAL	14.127 kg
II	PESO INICAL	20 kg
	PESO FINAL	14.121 kg
III	PESO INICAL	20 kg
	PESO FINAL	14.122 kg

CONTROL DE PESO - SIM EM - COMPOST 0%		
REPETICIONES	TRATAMIENTO 5	
I	PESO INICAL	20 kg
	PESO FINAL	15.264 kg
II	PESO INICAL	20 kg
	PESO FINAL	15.260 kg
III	PESO INICAL	20 kg
	PESO FINAL	15.261 kg

## Anexo Nro. 8

### Resultados del rendimiento del peso final de compost

Resultados originales de rendimiento del peso final (%). Compost de lodos de la planta de aguas residuales de Concepción con aplicación de EM-Compost.

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (2% EM)	71.155	71.155	71.165
2 (4% EM)	71.17	71.17	71.19
3 (6% EM)	70.615	70.600	70.600
4 (8% EM)	70.635	70.605	70.610
5 (0% EM)	76.32	76.30	76.31

## Anexo Nro. 09

### Cálculo de Dosis de EM – Compost por tratamiento

Teniendo en cuenta la masa de las composteras de 20 kg de lodo, se determinaron las dosis necesarias para la investigación de la siguiente manera:

- Armado de la pila (dilución 1), Volteo (disolución 2)

$$x \text{ l EMcompost} = \frac{5 \text{ l EMcompost}}{1 \text{ Ton}} \times 0.020 \text{ Ton} = 0.1 \text{ l EMcompost} = 100 \text{ ml EMcompost}$$

TRATAMIENTOS				
T1: Compost + EM – compost (2%)	T2: Compost + EM - compost (4%)	T3: Compost + EM – compost (6%)	T4: Compost + EM – compost (8%)	T5: Compost (solo con lodos de depuradora)
$x = \frac{2\% \times 100 \text{ ml}}{8\%}$ $x = 25 \text{ ml EM} - \text{Compost}$	$x = \frac{4\% \times 100 \text{ ml}}{8\%}$ $x = 50 \text{ ml EM} - \text{Compost}$	$x = \frac{6\% \times 100 \text{ ml}}{8\%}$ $x = 75 \text{ ml EM} - \text{Compost}$	<p>100 ml EM – Compost = 8%</p>	Sin EM - compost

### Anexo Nro. 10

#### Cálculo de dosis de agua por tratamiento

La dosificación del EM, 2 litros de los 5 litros de EM iniciales son los que se utilizan para el armado de la pila, y que estos se diluyen en 18 litros de agua. Por tanto, para hallar el volumen de agua necesario para realizar la dilución de los 100 ml de EM para el armado de las composteras piloto, se planteó las siguientes ecuaciones para cada tratamiento:

**TRATAMIENTO 1** (2% = 25 ml  $\wedge$  0.225 l de EM - Compost)

$$x \text{ ml Agua} = \frac{18 \text{ l Agua}}{2 \text{ l EMcompost}} \times 0.025 \text{ l EMcompost} = 0.225 \text{ l Agua} = 225 \text{ ml de Agua}$$

**TRATAMIENTO 2** (4% = 50 ml ^ 0.05 l de EM - Compost)

$$x \text{ ml Agua} = \frac{18 \text{ l agua}}{2 \text{ l EMcompost}} \times 0.05 \text{ l EMcompost} = 0.45 \text{ l agua} = 450 \text{ ml de agua}$$

**TRATAMIENTO 3** (6% = 75 ml ^ 0.075 l de EM - Compost)

$$x \text{ ml Agua} = \frac{18 \text{ l agua}}{2 \text{ l EMcompost}} \times 0.075 \text{ l EMcompost} = 0.675 \text{ l agua} = 675 \text{ ml de agua}$$

**TRATAMIENTO 4** (8% = 100 ml ^ 0.1 l de EM - Compost)

$$x \text{ ml Agua} = \frac{18 \text{ l agua}}{2 \text{ l EMcompost}} \times 0.1 \text{ l EMcompost} = 0.9 \text{ l agua} = 900 \text{ ml de agua}$$

### Anexo Nro. 11

#### Dosis de melaza de caña por tratamiento

Por proporción 1:1 con la dosis de EM-Compost

N°	TRATAMIENTOS	DOSIS DE MELAZA DE CAÑA	EM - COMPOST
1	Compost + EM – compost (2%)	25 ml	25 ml
2	Compost + EM - compost (4%)	50 ml	50 ml
3	Compost + EM – compost (6%)	75 ml	75 ml
4	Compost + EM – compost (8%)	100 ml	100 ml
5	Compost (solo con lodos de depuradora)	Sin Melaza de Caña	SIN EM - Compost

### Anexo Nro. 12

#### Disoluciones para armado de pilas de compostaje

DISOLUCIÓN PARA ARMADO DE LAS PILAS DE COMPOSTAJE					
N°	TRATAMIENTOS	EM - Compost	Melaza de Caña	Agua	Disolución Total / Tratamiento
1	Compost + EM – compost (2%)	25 ml	25 ml	225 ml	275 ml EMA
2	Compost + EM - compost (4%)	50 ml	50 ml	450 ml	550 ml EMA
3	Compost + EM – compost (6%)	75 ml	75 ml	675 ml	825 ml EMA
4	Compost + EM – compost (8%)	100 ml	100 ml	900 ml	1100 ml EMA
5	Compost (solo con lodos de depuradora)	SIN EM - COMPOST			

### Anexo Nro. 13

#### Disoluciones para volteo de pilas de compostaje

DISOLUCIÓN PARA VOLTEOS DE LAS PILAS DE COMPOSTAJE					
N°	TRATAMIENTOS	EM - Compost	Melaza de Caña	Agua	Disolución Total / Tratamiento
1	Compost + EM – compost (2%)	25 ml	25 ml	225 ml	275 ml EMA
2	Compost + EM - compost (4%)	50 ml	50 ml	450 ml	550 ml EMA
3	Compost + EM – compost (6%)	75 ml	75 ml	675 ml	825 ml EMA
4	Compost + EM – compost (8%)	100 ml	100 ml	900 ml	1100 ml EMA
5	Compost (solo con lodos de depuradora)	SIN EM - COMPOST			

## Anexo Nro. 14

### Calculo de relación Carbono/Nitrógeno

Teniendo los datos de materia orgánica (%) y nitrógeno total (%), se determinaron la relación C/N de cada tratamiento de la siguiente manera:

#### Tratamiento 1. Lodo + 2% EM

Materia orgánica: Walkley y Black

$$\% \text{ Materia orgánica} = \% \text{ Carbono orgánico} \times 1.724$$

$$\% \text{ Materia orgánica (Lodo + 2\% EM)} = 38.12$$

$$\% \text{ Nitrógeno total} = 1.93$$

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{\% \text{ Materia orgánica}}{1.724}$$

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{38.12}{1.724}$$

$$\% \text{ Carbono orgánico} = 22.111$$

$$C/N = \frac{22.111}{1.93}$$

$$C/N = 11.457$$

#### Tratamiento 2. Lodo + 4% EM

Materia orgánica: Walkley y Black

$$\% \text{ Materia orgánica} = \% \text{ Carbono orgánico} \times 1.724$$

$$\% \text{ Materia orgánica (Lodo + 4\% EM)} = 37.09$$

$$\% \text{ Nitrógeno total} = 1.88$$

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{\% \text{ Materia orgánica}}{1.724}$$

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{37.09}{1.724}$$

$$\% \text{ Carbono orgánico} = 21.514$$

$$C/N = \frac{21.514}{1.88}$$

$$C/N = 11.444$$

### Tratamiento 3. Lodo + 6% EM

Materia orgánica: Walkley y Black

% Materia orgánica = % Carbono orgánico x 1.724

% Materia orgánica (Lodo + 6% EM) = 37.35

% Nitrógeno total = 1.90

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{\% \text{ Materia orgánica}}{1.724}$$

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{37.35}{1.724}$$

% Carbono orgánico = 21.665

$$C/N = \frac{21.665}{1.90}$$

$$C/N = 11.402$$

### Tratamiento 4. Lodo + 8% EM

Materia orgánica: Walkley y Black

% Materia orgánica = % Carbono orgánico x 1.724

% Materia orgánica (Lodo + 8% EM) = 37.98

% Nitrógeno total = 2.00

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{\% \text{ Materia orgánica}}{1.724}$$

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{37.98}{1.724}$$

% Carbono orgánico = 22.030

$$C/N = \frac{22.030}{2.00}$$

$$C/N = 11.015$$

### Tratamiento 5. Lodo + 0% EM

Materia orgánica: Walkley y Black

% Materia orgánica = % Carbono orgánico x 1.724

% Materia orgánica (Lodo + 0% EM) = 38.21

% Nitrógeno total = 2.10

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{\% \text{ Materia orgánica}}{1.724}$$

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{38.21}{1.724}$$

$$\% \text{ Carbono orgánico} = 22.164$$

$$C/N = \frac{22.164}{2.10}$$

$$C/N = 10.554$$

## Anexo Nro. 15

### Resultados de caracterización físico-química de lodo – PTAR Concepción



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



#### INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : Kael Omar Huayllani Hilario  
PROCEDENCIA : JUNÍN/ CONCEPCIÓN/ CONCEPCIÓN  
MUESTRA DE : LODO  
REFERENCIA : H.R. 54610  
BOLETA : 13233  
FECHA : 27/06/16

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N g/kg	P Total g/kg	K Total g/kg
525	Código: CIFQ01	6.21	1.39	33.62	20.40	8.38	3.21

Nº LAB	CLAVES	Cd mg/kg	Cr mg/kg	C Orgánico g/kg	CIC Cmol/kg
525	Código: CIFQ01	3.93	52.49	193.70	36.00

Dr. Sady García Bendezu  
Jefe de Laboratorio

## Anexo Nro. 16

### Resultados de análisis de laboratorio en la calidad de compost



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



#### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : KAEL OMAR HUAYLLANI HILARIO  
PROCEDENCIA : JUNÍN/ HUANCAYO/ HUANCAYO  
MUESTRA DE : COMPOST  
REFERENCIA : H.R. 56075  
BOLETA : 13590  
FECHA : 17/10/16

N° LAB	CLAVES	M.O. %	N g/Kg	P Total g/Kg	K Total g/Kg	Cd mg/Kg	Cr mg/Kg
855	T1, R1R2R3	38.12	19.30	1.60	9.54	2.45	39.80
856	T2, R1R2R3	37.09	18.80	1.40	12.11	3.33	30.88
857	T3, R1R2R3	37.35	19.00	1.52	12.53	3.08	44.13
858	T4, R1R2R3	37.98	20.00	1.43	11.53	2.78	42.73
859	T5, R1R2R3	38.21	20.10	1.52	9.29	2.80	42.48



Sady García Bendezú  
Jefe de Laboratorio

## Anexo Nro. 17

### Carta de autorización de ingreso a la PTAR de Concepción

"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

Huancayo, 23 de Mayo del 2016

CARTA N° 001 – 2016 / DRJE

Señor : ING. DONALD BERRIOS MARTINEZ  
Gerente de la E.P.S. Mantaro

ASUNTO : SOLICITO AUTORIZACION DE INGRESOS A LA PTAR CONCEPCION

REF : REALIZAR INVESTIGACION DE TESIS DE PRE – GRADO



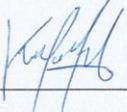
Yo, Kael Omar Huayllani Hilario, Identificado con DNI N° 72954582 Bachiller en Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental, con el debido respeto me dirijo y expongo:

Que, siendo requisito necesario para lograr la Titulación y posterior Colegiatura debo realizar un trabajo de Investigación sobre la aplicación de microorganismos eficientes (EM - Compost) en un proceso de compostaje de lodos producto del tratamiento de aguas residuales, enfocado a obtener un abono orgánico para jardinería, áreas verdes o zonas de reforestación, el mismo que será materia de mi TESIS, por lo que SOLICITO: Autorización para el ingreso a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Concepción, para llevar a cabo la referida investigación.

Para una mejor comunicación mi correo electrónico es, [kael\\_omar@hotmail.com](mailto:kael_omar@hotmail.com) y mi número de celular **951047929**.

Sin otro particular, aprovecho agradecerle y expresar a usted mis más distinguidas consideraciones.

Atentamente,

  
\_\_\_\_\_  
HUAYLLANI HILARIO, Kael Omar

DNI: 72954582

## Anexo Nro. 18

### Carta de autorización de visita a la PTAR de Concepción

"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

EPS "MUNICIPAL MANTARO" S.A.	
GERENCIA ZONAL CONCEPCION	
<b>RECIBIDO</b>	
Fecha:	10 JUN 2016
N° de Reg.	545 Hora 09:50
N° de Folios:	01 Firma: 

Huancayo, 10 de Junio del 2016

CARTA N° 002 – 2016

Señor : ING. DONALD BERRIOS MARTINEZ  
Gerente de la E.P.S. Mantaro

ASUNTO : SOLICITO AUTORIZACION DE VISITA A LA PTAR

REF : REALIZAR INVESTIGACION DE TESIS DE PRE – GRADO - PLAN DE TRABAJO

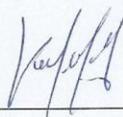
Yo, Kael Omar Huayllani Hilario, Identificado con DNI N° 72954582 Bachiller en Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental, con el debido respeto me dirijo y expongo:

Que, siendo requisito necesario para lograr la Titulación tengo que realizar un trabajo de Investigación sobre la aplicación de microorganismos eficientes (EM - Compost) en proceso de compostaje de lodos producto del tratamiento de aguas residuales, enfocado a obtener un abono orgánico de calidad, por lo que SOLICITO: Autorización para el ingreso a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Concepción, para realizar un diagnóstico actual de los lodos previo a la experimentación. Dejo en presentación mi plan de trabajo de la investigación.

Dejo mi correo electrónico [kael\\_omar@hotmail.com](mailto:kael_omar@hotmail.com) y mi número de celular 951047929 para cualquier anuncio.

Sin otro particular, aprovecho agradecerle y expresar a usted mis más distinguidas consideraciones.

Atentamente,

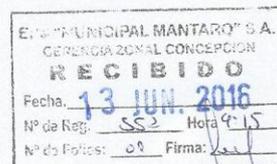


Kael Omar Huayllani Hilario

DNI: 72954582

## Anexo Nro. 19

### Carta de presentación de la EAP. Ingeniería Ambiental UC hacia la EPS Mantaro S.A. Concepción



"Año de la consolidación del Mar de Grau"

Huancayo, 10 de junio de 2016

#### CARTA N° 017-2016-EAPIA/UC

SEÑOR  
**ING. DONALD E. BERRIOS MARTÍNEZ**  
Gerente General  
**EPS MANTARO S.A.**  
Concepción.-

Asunto : **Solicito autorización para trabajo de investigación en la PTAR - Concepción**

Por medio de la presente me dirijo a usted saludándolo cordialmente a nombre de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental y al mismo tiempo para presentar al Bach. en Ingeniería Ambiental **Kael Omar Huayllani Hilario**, identificado con DNI 72954582, quien tiene especial interés en desarrollar un trabajo de investigación relacionado a la "Influencia de microorganismos eficientes en el proceso de compostaje de lodos residuales de la PTAR". En ese sentido, mucho agradeceré se sirva autorizar se brinde las facilidades que el caso requiera a fin de que pueda lograr con éxito su cometido.

Con la seguridad de que el aporte de vuestra representada contribuirá a culminar con éxito la formación profesional del mencionado egresado quedo anticipadamente muy agradecida por su amable atención.

Atentamente,

  
  
**Ing. Cecilia Coto Núñez**  
Directora de la E. A. P. de  
Ingeniería Ambiental  
UNIVERSIDAD CONTINENTAL

**Anexo Nro. 20**  
**Autorización de ingreso a la PTAR de Concepción**  
**EPS Mantaro S.A.**

**AUTORIZACION DE INGRESO – DO/EPSSMMSA**

**DE** : Ing. JORGINHO FERNANDO GILBONIO ARTICA  
(e) JEFE DE LA DIVISION OPERACIONAL

**ASUNTO** : AUTORIZACION DE INGRESO A LA PTAR “DORIS MENDOZA PAREDES” – ZONAL CONCEPCION

**FECHA** : Concepción 14 de Junio de 2016

---

**TITULO DE LA INVESTIGACION**

- INFLUENCIA DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM – COMPOST) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CONCEPCION, 2016.

**Descripción de actividades**

**1. Instalación del experimento**

- Se realizara un diagnostico en la PTAR de concepción para ubicar y seleccionar la ubicación del sitio experimental teniendo en cuenta factores para el compostaje.

**2. Análisis fisicoquímico de lodos**

- Para el análisis de lodos se seleccionara los 300 Kg que serán expuestos a la experimentación.
- Se sacara 1 Kg de muestra para el análisis fisicoquímico, que será enviado al laboratorio de análisis de suelos, aguas y plantas de la UNALM, Lima.
- **\* Se entregara el reporte de resultados a la EPS – EL MANTARO, en copia legalizada.**

**3. Adquisición de equipos para control de experimento**

- Se solicitara el préstamo de equipos de monitoreo de la Universidad Continental, específico:
  - Termómetro Digital.
  - ph – metro.
  - Conductimetro.

**4. Evaluaciones del experimento**

- Se evaluara las composteras de acuerdo a las aplicaciones de las dosis de EM – Compost.

**5. Monitoreo de parámetros de control durante el experimento**

- Se realizara el monitoreo diario de temperatura, pH y conductividad eléctrica, específico:
  - Las dos primeras semanas de experimentación se realizara el monitoreo diario y luego una vez por semana.**\* solicito el ingreso a la PTAR de Concepción desde las 10.00 am hasta las 11.00 am.**

EPS. MANTARO S.A.  
DIVISION OPERACIONAL  
Ing. Jorginho Fernando Gilbonio Artica  
JEFE DIVISION OPERACIONAL

6. Análisis de calidad de compost

- Una vez terminado la experimentación se enviara muestras para el análisis de calidad del compost como producto.

*\*Se entregara el reporte de resultados a la EPS – EL MANTARO, en copia legalizada.*

7. Desinstalación del sitio de experimentación

- Se retirara todos los materiales empleados de la PTAR de Concepción.

E.P.S. MANTARO S.A.  
ZONA CONCEPCION  
  
Ing. Fernando J. Gilbardo Artica  
JEFE DIVISION OPERACIONAL

## Anexo Nro. 21

### Copia legalizada de resultados de caracterización físico-química de lodo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

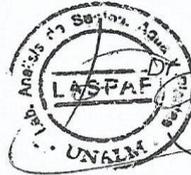


#### INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : KAEL OMAR HUAYLLANI HILARIO  
PROCEDENCIA : JUNÍN/ CONCEPCIÓN/ CONCEPCIÓN  
MUESTRA DE : LODO  
REFERENCIA : H.R. 54610  
BOLETA : 13233  
FECHA : 27/06/16

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N g/kg	P Total g/kg	K Total g/kg
525	Código: CIFQ01	6.21	1.39	33.62	20.40	8.38	3.21

Nº LAB	CLAVES	Cd mg/kg	Cr mg/kg	C Orgánico g/kg	CIC Cmol/kg
525	Código: CIFQ01	3.93	52.49	193.70	36.00



*[Signature]*  
Dr. Sady García Bendezú  
Jefe de Laboratorio



CERTIFICÓ: QUE ESTA COPIA FOTOSTÁTICA ES EXACTAMENTE IGUAL A SU ORIGINAL, EL CUAL HE TENIDO A LA VISTA Y AL QUE ME REMITO EN CASO NECESARIO.  
HUANCAYO;.....0.6.III.2016.....



*[Signature]*  
Lubixa Torrez Pineda  
ABOGADA  
NOTARIA DE HUANCAYO



Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

## Anexo Nro. 22

### Constancia de uso de equipos del Laboratorio de Química y Biología Universidad Continental



El que suscribe, Jefe del laboratorio de química y biología de la Universidad Continental, otorga la presente

# CONSTANCIA

A: **Kael Omar Huayllani Hilario**

Estudiante de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, *quien ha utilizado los equipos: Termómetro Digital, Potenciómetro y Conductímetro; de los Talleres y Laboratorios de la Universidad Continental, para el proceso de experimentación y obtención de parámetros relacionados a su Tesis.*

Se otorga la presente constancia para los fines solo internos de la Universidad, que el interesado considere conveniente.

Huancayo, 14 de noviembre del 2016

  
.....  
 Ing. José Alejandro Navarro Velásquez  
Jefe de Laboratorios  
UNIVERSIDAD CONTINENTAL S.A.C.

Anexo Nro. 23

**Certificado de Seminario Internacional de Biotecnología “Uso de Microorganismos Eficaces”**









## Anexo Nro. 27

### Instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Concepción



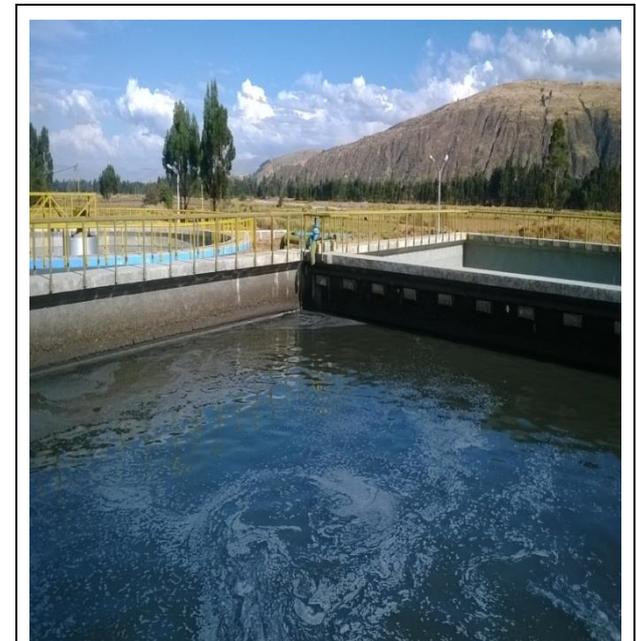
Fotografía N° 1. Área de captación de Aguas Residuales.



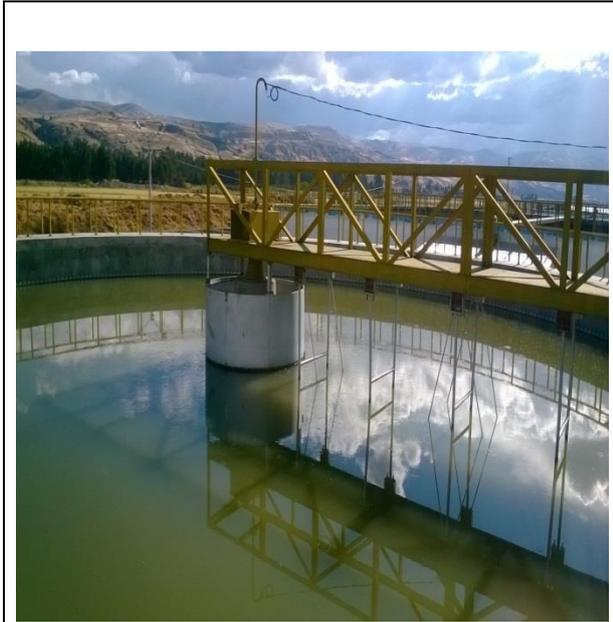
Fotografía N° 2. Planta de tratamiento de Aguas Residuales.



Fotografía N° 3. Decantador primario.



Fotografía N° 4. Proceso de tratamiento aguas residuales.



Fotografía N° 5. Tanque biorreactor.



Fotografía N° 6. Lechos de secado.

### Anexo Nro. 28

### Selección de lecho de secado y extracción de lodos.



Fotografía N° 7. Selección de lecho de secado.



Fotografía N° 8. Extracción del lodo, día 1.



Fotografía N° 9. Extracción del lodo, día 1.



Fotografía N° 10. Extracción del lodo, día 2.



Fotografía N° 11. Extracción del lodo, día 2.



Fotografía N° 12. Muestra de lodo para análisis fisicoquímico.

Anexo Nro. 29

Insumos para la activación de microorganismos eficaces (EM - Compost)



Fotografía N° 13. Microorganismos Eficaces (EM - Compost).



Fotografía N° 14. Activador microbiológico, melaza de caña.



Fotografía N° 15. Melaza de Caña.



Fotografía N° 16. Agua de Puquial.

## Anexo Nro. 30

### Preparación de disoluciones para el armado y volteo de pilas



Fotografía N° 17. Adición de melaza de caña por dosis.



Fotografía N° 18. Dosis de melaza de caña por tratamiento.



Fotografía N° 19. Verificación de EM – Compost.



Fotografía N° 20. Dosis de EM – Compost.



Fotografía N° 21. Adición de dosis de EM – Compost.



Fotografía N° 22. Adición de agua por dosis.



Fotografía N° 23. Sellado de la disolución preparada.



Fotografía N° 24. Disolución preparada.

**Anexo Nro. 31**  
**Disoluciones preparadas por tratamiento**



**Fotografía N° 25. Disoluciones de tratamiento N° 1 al 2%.**



**Fotografía N° 26. Disoluciones de tratamiento N° 2 al 4%.**



**Fotografía N° 27. Disoluciones de tratamiento N° 3 al 6%.**



**Fotografía N° 28. Disoluciones de tratamiento N° 4 al 8%.**

**Anexo Nro. 32**  
**Identificación de la activación del EM - Compost**



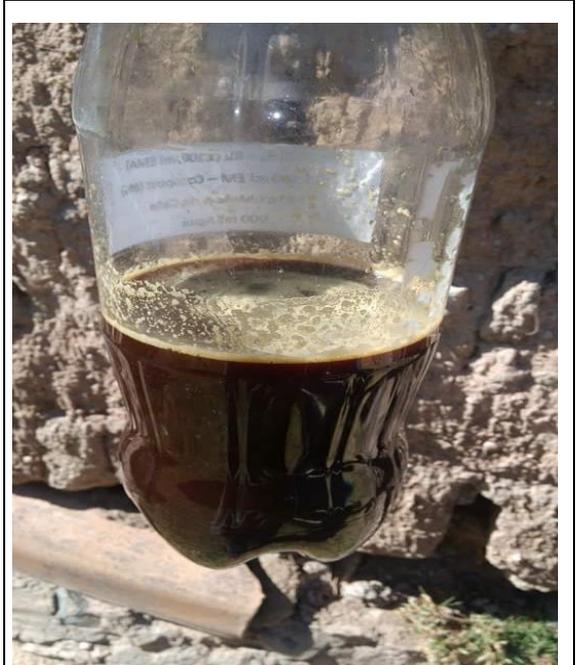
**Fotografía N° 29. Activación de microorganismos eficaces después de 15 días.**



**Fotografía N° 30. Formación de colonias de microorganismos eficaces.**



**Fotografía N° 31. Formación de microorganismos eficaces EM - Compost.**



**Fotografía N° 32. Microorganismos eficaces listos para su aplicación.**

**Anexo Nro. 33**  
**Instalación del área de experimentación**



**Fotografía N° 33. Plástico de 5 x 5 m para base de las pilas.**



**Fotografía N° 34. Armado de la base de las pilas de compostaje.**



**Fotografía N° 35. Reforzando los lados de la instalación.**



**Fotografía N° 36. Instalación del área de experimentación terminada.**

**Anexo Nro. 34**  
**Armado de las pilas de compostaje**



**Fotografía N° 37. Preparación de material a compostar.**



**Fotografía N° 38. Cuadrángulo con capa de 30 cm de material preparado.**



**Fotografía N° 39. Medición de distancia de cuadrángulos.**



**Fotografía N° 40. Armado de pila forma de montículo.**



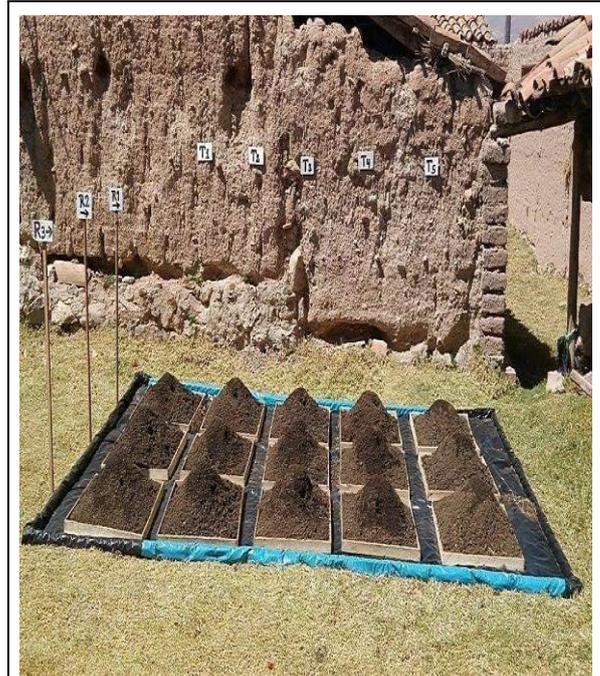
Fotografía N° 41. Armado de la primera capa 30 cm de material preparado.



Fotografía N° 42. Disolución EMA para el tratamiento 4.

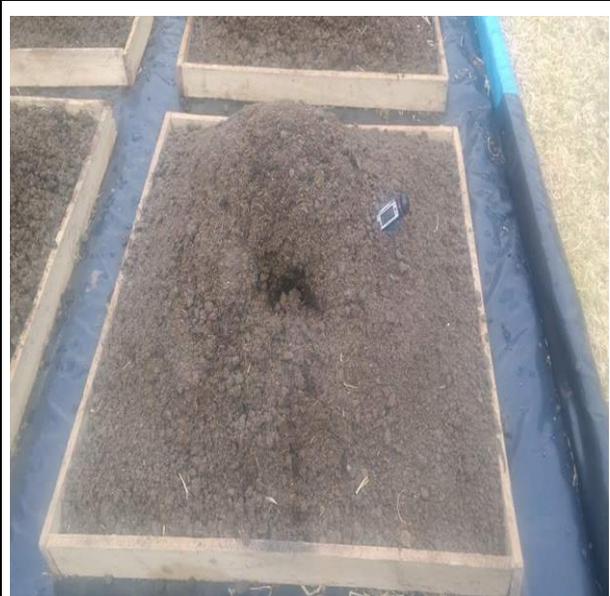


Fotografía N° 43. Inoculación de la disolución EMA para el tratamiento 4.



Fotografía N° 44. Armado de pilas por tratamiento terminadas.

**Anexo Nro. 35**  
**Monitoreo y control de temperatura y humedad**



**Fotografía N° 45. Control de temperatura con el termómetro digital.**



**Fotografía N° 46. Anotación de temperatura después de 5 minutos.**

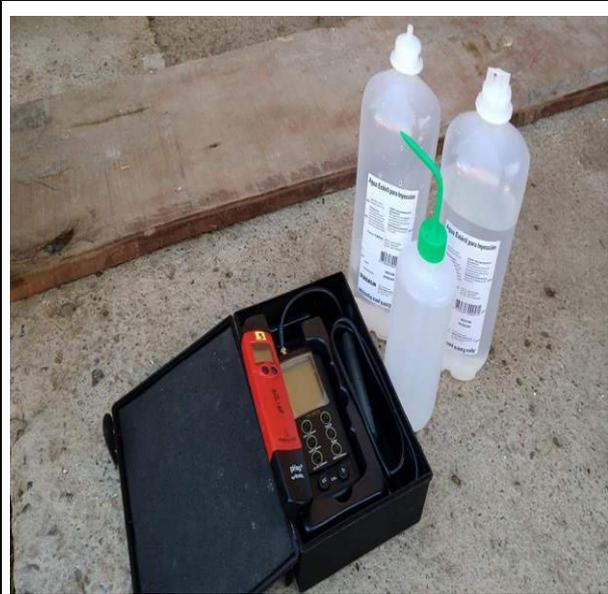


**Fotografía N° 47. Control de la humedad con el higrómetro digital.**



**Fotografía N° 48. Anotación de la humedad después de 5 minutos.**

**Anexo Nro. 36**  
**Monitoreo y control de pH y Conductividad eléctrica**



**Fotografía N° 49. Equipos utilizados para las mediciones.**



**Fotografía N° 50. Homogenización de muestra para su medición.**



**Fotografía N° 51. Medición de pH in situ.**



**Fotografía N° 52. Medición de conductividad eléctrica in situ.**

**Anexo Nro. 37**  
**Cosecha de Compost**



**Fotografía N° 53. Pilas con proceso de compostaje terminado.**



**Fotografía N° 54. Selección de muestras de compost.**



**Fotografía N° 55. Muestras de compost por tratamiento.**

## Anexo Nro. 38

### Muestras de compost para los análisis en el Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes UNALM



Fotografía N° 56. Muestras de compost de 1 kg por tratamiento.



Fotografía N° 57. Etiqueta con parámetros para ser evaluados.