



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“APLICACIÓN DEL BOKASHI EN EL MEJORAMIENTO DE  
LODOS DESHIDRATADOS DEL PROCESO BIORREACTOR DE  
MEMBRANA (MBR) EN LA EMPRESA ESMERALDA CORP.  
LIMA”**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

Presentado por:

**Arleth Edyra Hualpa Pinto (0000-0001-7529-5921)**

Asesor:

**Luis Abraham Gomero Osorio (0000-0002-4739-2094)**

Lima – Perú

2022

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Lima, 10 de junio del 2022.

Los integrantes del jurado de tesis:

Presidente: Dr. Ing. Noé Ordóñez Machicao
Miembro: Dra. Ing. Llerme Navarro Vásquez
Miembro: Mg. Blga. Catherine Mariela Coronado Leon

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**"APLICACIÓN DEL BOKASHI EN EL MEJORAMIENTO DE LODOS DESHIDRATADOS DEL PROCESO BIORREACTOR DE MEMBRANA (MBR) EN LA EMPRESA ESMERALDA CORP. LIMA"**

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Arleth Edyra Hualpa Pinto**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Mg. Ing. Luis Abraham Gomero Osorio

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime ( ) por mayoría simple (X) calificar a:

Tesis: Arleth Edyra Hualpa Pinto		Nota (en letras): 14 (CATORCE)	
Aprobado (X)	Aprobado - Muy buena ( )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Dr. Ing. Noé Ordóñez Machicao**  
Presidente



**Dra. Ing. Llerme Navarro Vásquez**  
Miembro 1



**Mg. Blga. Catherine Mariela Coronado Leon**  
Miembro 2



**Mg. Ing. Luis Abraham Gomero Osorio**  
Asesor

T // (51) 610 6738  
informes@cientific.edu.pe  
cientifica.edu.pe

## DEDICATORIA

A mis padres que me apoyaron en toda mi formación profesional y fueron mi soporte en este largo camino, a mi hermano Pedro por haberme apoyado en todo momento, a Álvaro por sus consejos, apoyo y dedicación, a Kristel que desde pequeñas hablamos de este momento y sé que desde el cielo me dio la sabiduría que necesitaba y a Paquito que me acompañó durante todas las amanecidas.

**AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. Luis Gomero por haber estado dispuesto a la asesoría de esta tesis y compartir sus conocimientos en el tema.

A la Empresa Esmeralda Corp al área de PTAR y medio ambiente por el financiamiento y el apoyo en todo el proceso metodológico de la tesis, a María Luisa, Lidia, Carlos y Edison.

A mi familia y amigos cercanos quienes me dieron sus mayores deseos desde el día uno.

**Índice General**

I.	Planteamiento del problema.....	14
II.	Marco Teórico.....	15
2.1	Lodo deshidratado.....	15
2.2	Proceso de Biorreactor de Membrana (MBR).....	17
2.3	Metales pesados en lodos residuales.....	18
2.4	Métodos de para la obtención de abono orgánico.....	19
2.4.1	Compost convencional.....	19
2.4.2	Bokashi.....	20
2.5	Parámetros físicos importantes en el proceso de bokashi.....	22
2.5.1	Temperatura.....	22
2.5.1	Volteo.....	24
2.5.2	Espacio de aire libre.....	24
2.5.3	Humedad.....	25
2.6	Parametros químicos importantes en el proceso de bokashi.....	25
2.6.1	Análisis químico del compost con lodo residual.....	25
2.6.1	pH.....	26
2.6.2	Conductividad eléctrica.....	27
2.6.3	Aireación.....	28
2.6.4	Relación Carbono/Nitrógeno.....	28
2.6.5	Materia Orgánica.....	29
2.6.6	Nutrientes.....	29
2.6.7	Nitrógeno total.....	30
2.6.8	Fósforo total.....	30
2.6.9	Potasio total.....	30
2.7	Índices de calidad del bokashi.....	31
2.8	Antecedentes del uso de lodos para producción de abono.....	32
2.9	Marco legal.....	34
III.	Objetivos.....	36
3.1	Objetivo general.....	36
3.2	Objetivos específicos.....	36
IV.	Metodología.....	36
4.1	Área de estudio.....	36
4.2	Diseño experimental.....	36

4.2.1	Variables independientes y dependientes.....	36
4.2.2	Recolección de lodos deshidratados .....	37
4.2.3	Elaboración del bokashi.....	38
4.2.4	Análisis estadísticos .....	49
V.	Resultados y Discusiones .....	50
5.1	Resultados del análisis inicial de lodos deshidratados.....	50
5.2	Resultados de los análisis a lo largo del proceso de compostaje.....	51
5.2.1	Temperatura.....	51
5.2.2	pH.....	53
5.2.3	Análisis inicial vs final de materia orgánica en las pilas de bokashi .....	54
5.3	Evaluar el efecto de la aplicación del abono en el mejoramiento de la fertilidad del suelo. ....	59
5.3.1	Caracterización inicial vs resultado final del suelo agrícola con abono ..	59
5.3.2	Caracterización inicial de metales pesados .....	63
5.3.3	Caracterización final de metales pesados en suelo con abono.....	63
5.4	Efecto del abono en el crecimiento y desarrollo del maíz.....	64
5.4.1	Crecimiento semanal del maíz.....	64
5.4.2	Número de hojas semanal del maíz.....	66
5.4.3	Grosor de tallo por tratamiento .....	67
5.4.4	Interacción de la CE con el crecimiento del maíz.....	69
5.4.5	Análisis Foliar de Cadmio .....	70
VI.	Conclusión .....	71
VII.	RECOMENDACIONES .....	72
VIII.	Referencias bibliográficas .....	73
IX.	Abreviaturas.....	82
X.	Anexos.....	83
A.	RESULTADOS DE LABORATORIO.....	86
B.	RESULTADOS ESTADÍSTICOS .....	98

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Proceso de elaboración del bokashi.....	21
<b>Figura 2.</b> Ubicación de pilas de compostaje .....	39
<b>Figura 3.</b> Distribución al azar de los tratamientos.....	40
<b>Figura 4.</b> Colocación de la primera capa de paja .....	42
<b>Figura 5.</b> Capa de afrecho, lodo, estiércol y cal.....	42
<b>Figura 6.</b> Mezcla de melaza, chica, levadura y agua.....	42
<b>Figura 7.</b> Pila terminada y tapada con plástico.....	43
<b>Figura 8.</b> Distribución de los materiales en pilas .....	43
<b>Figura 9.</b> Volteo de pilas de bokashi .....	44
<b>Figura 10.</b> Termómetro especial para suelo y multiparámetro.....	44
<b>Figura 11.</b> Sacos de abono resultante de cada pila.....	45
<b>Figura 12.</b> Pupas de mosca debajo de las pilas .....	45
<b>Figura 13.</b> Fumigación debajo de las pilas y pesticida aqua kontrol .....	45
<b>Figura 14.</b> Tamizado de suelo agrícola del fundo HECOSAN .....	46
<b>Figura 15.</b> Mezcla de suelo agrícola y abono en saco.....	46
<b>Figura 16.</b> Siembra de 5 semillas y elección de tres plantas con mejor perfil .....	47
<b>Figura 17.</b> Segundo muestreo de bokashi.....	48
<b>Figura 18.</b> Macetas de bokashi con suelo agrícola.....	48
<b>Figura 19.</b> Vernier: Instrumento de medición de grosor de tallo .....	48
<b>Figura 20.</b> Variación de la temperatura durante el proceso de elaboración del bokashi utilizando el lodo deshidratado.....	52
<b>Figura 21.</b> Variación del pH durante el proceso de elaboración del bokashi utilizando el lodo deshidratado. ....	53
<b>Figura 22.</b> Análisis inicial vs resultado final del pH, conductividad eléctrica y materia orgánica en pilas de Bokashi .....	55
<b>Figura 23.</b> Análisis inicial vs resultado final del Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Sodio en pilas de Bokashi.....	58

<b>Figura 24.</b> Análisis inicial vs resultado final de pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y Capacidad de Intercambio Catiónico en suelo agrícola con abono.....	60
<b>Figura 25.</b> Análisis inicial vs resultado final Fósforo y Potasio en suelo agrícola con abono .....	62
<b>Figura 26.</b> Análisis de Cadmio inicial vs Cadmio final en suelo con abono.....	64
<b>Figura 27.</b> Promedio altura de planta en cm por tratamiento .....	65
<b>Figura 28.</b> Promedio número de hojas por tratamiento.....	67
<b>Figura 29.</b> Promedio de grosor de tallo en cm por tratamiento .....	67
<b>Figura 30.</b> Interacción C.E en pilas de bokashi vs C.E en el suelo vs altura de planta	70
<b>Figura 31.</b> Análisis foliar de Cadmio.....	70



## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de lodos generados en el tratamiento de aguas residuales.....	16
<b>Tabla 2.</b> Parámetros de temperatura óptimos para el compostaje .....	23
<b>Tabla 3.</b> Relación de las etapas del proceso de compostaje y la temperatura. ....	24
<b>Tabla 4.</b> Rangos y valores medios en la composición química del compost .....	25
<b>Tabla 5.</b> Parámetros de pH óptimos para el compostaje .....	26
<b>Tabla 6.</b> Suelos salinos según la conductividad electrica .....	
<b>Tabla 7.</b> Especificaciones referenciales de la calidad del bokashi .....	31
<b>Tabla 8.</b> Parámetros de toxicidad química, manejo y conservación de muestras de sólidos biológicos, según procedimientos de monitoreo .....	38
<b>Tabla 9.</b> Proporciones de los materiales utilizados en los 3 tratamientos y control de las composteras .....	39
<b>Tabla 10.</b> Composición básica del Bokashi para el control y tratamientos. ....	41
<b>Tabla 11.</b> Resultados iniciales de los Parámetros de toxicidad química e higienización de lodos deshidratados.....	50
<b>Tabla 12.</b> Caracterización de lodo residual de PTAR Esmeralda Corp .....	51
<b>Tabla 13.</b> Resultados iniciales de metales pesados en el suelo agricola con abono.....	66

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Carta de autorización de uso de información de empresa.....	84
<b>Anexo 2.</b> Matriz de consistencia de la investigación.....	85
<b>Anexo 3.</b> Tabla de operacionalización de variables.....	86

### A. RESULTADOS DE LABORATORIO

<b>Anexo 1-A.</b> Análisis inicial de lodo deshidratado .....	86
<b>Anexo 2-A.</b> Análisis inicial de materia orgánica, conductividad eléctrica, potasio, fosforo y magnesio .....	89
<b>Anexo 3-A.</b> Análisis final de materia orgánica, conductividad eléctrica, potasio, fosforo y magnesio .....	90
<b>Anexo 4-A.</b> Análisis inicial de suelo agrícola con abono.....	91
<b>Anexo 5-A.</b> Caracterización suelo agrícola del Fundo HECOSAN .....	92
<b>Anexo 6-A.</b> Análisis final de suelo agrícola con abono .....	93
<b>Anexo 7- A.</b> Análisis iniciales de Metales Pesados Plomo, Cadmio y Cromo .....	95
<b>Anexo 8-A.</b> Análisis inicial de Cadmio del suelo agrícola del fundo HECOSAN .....	96
<b>Anexo 9- A.</b> Análisis de Cadmio final en suelo con abono .....	97
<b>Anexo 10-A.</b> Análisis especial foliar Cadmio en maíz.....	98

### B. RESULTADOS ESTADISTICOS

Anexo. 1-B. Test de Tukey de pH en pilas de bokashi.....	98
Anexo. 2-B ANOVA del pH, conductividad eléctrica y materia orgánica de las pilas de bokashi .....	99
Anexo. 3-B. Test de Tukey para CE en pilas de bokashi .....	99
Anexo. 4-B. Test de Tukey para MO en pilas de bokashi.....	99
Anexo. 5-B. ANOVA del contenido de los macroelementos Nitrógeno, Fosforo y Potasio y de los mesoelementos Calcio, Magnesio y Sodio en pilas de bokashi .....	100
Anexo. 6-B. Test de Tukey para Nitrógeno en pilas de bokashi .....	101
Anexo. 7-B. Test de Tukey para Fosforo en pilas de bokashi .....	101

Anexo. 8-B. Test de Tukey para Potasio en pilas de bokashi.....	101
Anexo. 9-B. Test de Tukey para Calcio en pilas de bokashi.....	101
Anexo. 10-B. Test de Tukey para Magnesio en pilas de bokashi .....	102
Anexo. 11-B. Test de Tukey para Sodio en pilas de bokashi .....	102
Anexo. 12-B. Test de Tukey para Calcio en suelo agrícola con abono .....	102
Anexo. 13-B. ANOVA del pH, CE y materia orgánica en suelo con abono.....	103
Anexo. 14-B. Test de Tukey de conductividad eléctrica en suelo con abono .....	103
Anexo. 15-B. Test de Tukey de materia orgánica en suelo con abono.....	104
Anexo. 16-B. Test de Tukey para pH en suelo agrícola con abono.....	104
Anexo. 17-B. ANOVA de fosforo y potasio en el suelo con abono .....	104
Anexo. 18-B. Test de Tukey para Fosforo en suelo con abono.....	105
Anexo. 19-B. Test de Tukey para Potasio en suelo con abono.....	105
Anexo. 20-B. ANOVA del contenido del metal pesado cadmio en el suelo con abono .....	105
Anexo. 21-B. Correlación de Pearson Cadmio y altura de planta.....	106
Anexo. 22-B. ANOVA de altura del maíz en centímetros .....	106
Anexo. 23-B. Test de Tukey para altura de planta en centímetros.....	107
Anexo. 24-B. Test de Tukey para número de hojas de maíz.....	107
Anexo. 25-B. Test de tukey para grosor de tallo .....	107

## Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar si la aplicación de la técnica del Bokashi en el tratamiento del lodo generado por la empresa Esmeralda Corp mejora su calidad como abono, teniendo en cuenta que el aprovechamiento de lodos residuales es una práctica poco común en el país debido al mal manejo que se realiza y por el hecho que no se le da un valor económico.

El experimento consideró un control y tres tratamientos, con tres repeticiones respectivamente, adicionándose lodo al 27%, lodo al 37% y lodo al 47% en el momento de la preparación del bokashi, el cual duró 39 días y se evaluó: pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na). Posteriormente se evaluó el efecto de la aplicación del abono bokashi en el suelo con una relación de 2% abono para 6 kg de suelo, que se comparó a un control de suelo agrícola y bokashi con relación a los tres tratamientos y se evaluó: pH, CE, MO, capacidad de intercambio catiónico (CIC), P y K, dando como resultado diferencias significativas en los parámetros de conductividad eléctrica

El análisis de metales pesados inicial indicó que la presencia de cadmio (Cd) estaba por encima de lo permitido para suelo agrícola según el ECA suelo (1.4 ppm) en el T1 (1.76 ppm), T2 (1.90 ppm) y T3 (1.98 ppm), por lo que se monitoreó al final de la investigación dando como resultado una reducción en los tratamientos T1 (1.41 ppm), T2 (1.32 ppm) y T3 (1.43 ppm) valores que se encuentran en el límite permitido.

Se concluye que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de lodo al 23%, 37% y 47% en el crecimiento y desarrollo del maíz debido a la alta conductividad eléctrica del estiércol utilizado.

**Palabras claves:** biosólido, conductividad eléctrica, estiércol, cadmio, abono.

## Abstract

The objective of this study was to determine the effect of the Bokashi technique in the treatment of the sludge generated by the company Esmeralda Corp to improve its quality as fertilizer, considering that the reuse of residual sludge is an uncommon practice in the country due to the bad handling that is carried out and for the fact that it is not given an economic value.

The experiment considered a control and three treatments, with three repetitions respectively, adding sludge at 27%, sludge at 37% and sludge at 47% at the time of preparation of the bokashi, which lasted 39 days and was evaluated: pH, conductivity electricity (CE), organic matter (MO), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sodium (Na). Subsequently, the effect of the application of the bokashi fertilizer on the soil was evaluated with a ratio of 2% fertilizer for 6 kg of soil, which was compared to a control of agricultural soil and bokashi in relation to the three treatments and evaluated: pH, CE, MO, cation exchange capacity (CEC), P and K, resulting in significant differences in electrical conductivity parameters

The initial heavy metal analysis indicated that the presence of cadmium (Cd) was above what is allowed for agricultural soil according to the soil ECA (1.4 ppm) in T1 (1.76 ppm), T2 (1.90 ppm) and T3 ( 1.98 ppm), so it was monitored at the end of the investigation, resulting in a reduction in treatments T1 (1.41 ppm), T2 (1.32 ppm) and T3 (1.43 ppm), values that are within the permitted limit.

It is concluded that there are no significant differences between the sludge treatments at 23%, 37% and 47% in the growth and development of corn due to the high electrical conductivity of the manure used.

**Key words:** dewatered sludge, electrical conductivity, manure, Cadmium, fertilizer.

## I. Planteamiento del problema

El aprovechamiento de lodos residuales provenientes de PTAR de origen industrial es muy poco común en el país. En los últimos años ha sido un tema escaso de investigación, por lo que este trabajo propone obtener un producto con valor agregado a partir de la utilización de un residuo de la industria alimentaria que normalmente es desechado. Actualmente la PTAR de Esmeralda Corp trata efluentes agroindustriales, hidrobiológicos, domésticos y cárnicos que forman el 17.2%, 45.7%, 11.4% y 25.7% respectivamente.

Actualmente, los lodos activados son un problema que contribuye a la contaminación ambiental, ya que no son desechados adecuadamente, se convierten en parte de la contaminación ambiental, ya que la forma más común de tratamiento es la incineración o el almacenamiento en un vertedero adecuado. Una alternativa de reúso es a través del compostaje el cual suele tener un tiempo de degradación de seis meses; en cambio, en esta investigación se introduce a la técnica del bokashi que consiste en incorporar al suelo materia orgánica y nutrientes esenciales a través de sus componentes como melaza, afrecho, levadura, chicha y cal, este proceso suele durar 30 días.

Usar los lodos activados por medio de compostaje también tendría un impacto social, ya que no será necesaria la incineración para su desecho y se eliminarán los costos asociados a su disposición final mediante una empresa operadora de servicios -con un promedio de desechos de 300 kg/día, la empresa tiene que costear 360 soles diarios- (Petramas. 2016). En cambio, los materiales usados para generar compost usando la técnica de bokashi son fáciles de conseguir y el costo aproximado por cada kg de bokashi es de \$/ 0.125 dólares- costo realizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador (FAO; Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2011). En consecuencia, la alternativa más eficaz para aprovechar el residuo es mediante una fuente de abono que fácilmente podría ser utilizada en la agricultura.

El lodo procesado se puede utilizar de acuerdo con el DS N°015-2017-VIVIENDA como preparación de suelos en agricultura y/o mejoramiento de suelos. También puede aplicarse en viveros, como acondicionamiento de suelos para la agricultura, mejoramiento de suelos y áreas verdes. Para garantizar dicho uso, se tiene cumplir los parámetros de toxicidad e higienización.

La presente investigación trata de utilizar un residuo sólido que podría ser aprovechado obteniendo beneficios económicos para los generadores; por tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el mejoramiento de lodos deshidratados por la técnica bokashi para su uso como fertilizante de calidad mediante el aprovechamiento de este biosólido para uso agrícola.

## **II. Marco Teórico**

### **2.1 Lodo deshidratado**

Las aguas residuales tienen dos componentes: aguas residuales líquidas y sólidas. Hay dos formas de tratar las aguas residuales, la primera es usando un estanque, para que el agua se asiente y todos los sólidos se depositen en el fondo, que luego se trata con productos químicos. La segunda vía utiliza poblaciones bacterianas con el propósito de descomponer la materia orgánica, también se le conoce como tratamiento de lodos activados, con microorganismos provenientes de aguas residuales.

Dentro de los pasos básicos del tratamiento de las aguas residuales se encuentran: tratamiento previo mediante captura de grandes objetos, sedimentación o deposición primaria de las partículas sólidas y contaminantes; tratamiento secundario o biodegradación, realizado con lodos activados o filtros percoladores para promover el crecimiento microbiano (Reynolds, 2002).

Las propiedades de los lodos activado dependen del proceso inicial al que fueron sometidos y del tipo de tratamiento que hayan recibido (primario o secundario). También

la masa y el volumen dependen del proceso de su fabricación (Limón, 2013). En la tabla 1 se presentan los diferentes parámetros según la composición de los tres lodos generados por este tratamiento.

**Tabla 1.** Clasificación de lodos generados en el tratamiento de aguas residuales

Parámetros	Lodo primario (sin adición química)	Lodo secundario (licor de mezcla)	Lodo digerido (mezcla)
pH	5.5-6.5	6.5-7.5	6.8-7.6
Porcentaje de Agua	92-96	97.5-98.0	94-97
SSV (%SS)	70-80	80-90	55-65
Grasas (%SS)	12-14	3-5	4-12
Proteínas (%SS)	4-14	20-30	10-20
Carbohidratos (%SS)	8-10	6-8	5-8
Nitrógeno (%SS)	2-5	-6	3-7
Fósforo (%SS)	0.5-1.5	1.5-2.5	0.5-1.5
Bacterias patógenas (NMP/100 ml)	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	100-1000	10-100
Metales pesados (Zn, Cu, Pb) (%)	0.2-2.0	0.2-2.0	0.2-2.0

*Nota.* SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles, NMP: Numero Más Probable, SS: sólidos suspendidos. Fuente: Adaptado de “Depuración de aguas residuales”. Madrid, España: Colegio de Ingenieros Caminos, Canales y Puertos, /1990).

La deshidratación de lodos consta en minimizar la mayor cantidad de agua que se encuentre en el material el tratamiento busca estabilizar la materia orgánica disuelta; por lo tanto, es importante la deshidratación preliminar ya que puede reducir costos asociados al tratamiento (Donado, 2013).

Existen muchos métodos de deshidratación, que dependen de la disponibilidad de terreno, las características de los lodos y los costos; entre las opciones de filtración tenemos:

- Centrifugación: la gran parte de equipos son del tipo carcasa sólida que se alimenta del lodo activado y se acondiciona en el centro de la carcasa y es agitado rápidamente. Los sólidos se colocan dentro de la centrífuga y los sólidos



son proyectados a la orilla exterior donde posteriormente son transportados por un raspador (Donado, 2013).

- Filtración al vacío: consiste en un tanque de lodos donde se sumerge un tambor o cilindro cubierto con una tela de fieltro que gira a determinadas revoluciones por min y en cuyo interior se realiza el vacío de varias maneras. Los sólidos son del 20-25% y el filtro rinde 30 kg aproximadamente por m<sup>2</sup>/h (Moretón, 2008).

En el estudio realizado por Limón (2013), se concluyó que la estabilización de lodos es un proceso ventajoso puesto que reducía el volumen mediante la deshidratación, minimizaba los malos olores, la presencia de patógenos y la atracción de vectores. La estabilización se consiguió mediante digestión aeróbica, anaeróbica, adición de cal y compostaje.

## **2.2 Proceso de Biorreactor de Membrana (MBR)**

El lodo utilizado en el estudio proviene de un Biorreactor de Membrana (MBR), que puede absorber diferencias y fluctuaciones en las cargas orgánica e hidráulica del sistema (Caro, 2012). Debido a la capacidad de retener bacterias y virus cuando se utiliza la ultrafiltración, se logra una salida de aguas residuales casi estéril y de alta calidad independientemente de la calidad de las aguas residuales (Galvis y Romero, 2017). Así, se elimina la necesidad de realizar otros procedimientos más costosos como la desinfección adicional; por lo tanto, también se elimina el riesgo asociado con los subproductos de la esterilización (Cicek, 1998).

Esa tecnología propone reutilizar el efluente de aguas residuales obtenidas por ultrafiltración (paso por poros de 0,005 a 0,100  $\mu\text{m}$ ) puesto que no contendrían bacterias, virus, coloides y sólidos. (Caro, 2012). Por lo tanto, el producto puede reutilizarse según un uso específico o puede colocarse en ósmosis o diálisis inversas electrolítica.

Para equipos de deshidratación de lodos, utilizar una centrífuga o decantador, con un rotor que gire a alta velocidad, acelerado por fuerza centrífuga al decantar o decantar las fases; es decir, fase sólida y fase líquida por densidad. Esta centrífuga tiene un tubo

estacionario dentro de un eje que está conectado a la hélice de un transportador helicoidal giratorio a través del cual se alimenta. Luego es acelerado por las ranuras de alimentación. Una vez dentro, las fuerzas centrífugas descritas fuerzan a los sólidos pesados, se sedimentan y la fase líquida llena el vacío y se vierte (DLC S.A, 2016).

### **2.3 Metales pesados en lodos residuales**

Dentro de metales pesados existentes, determinados corresponden a micronutrientes fundamentales para las plantas, como el Cobre (Cu) y el Zinc (Zn), mientras que otros como el Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Cobre (Cr) o Mercurio (Hg), no lo son y tienen la posibilidad de ser tóxicos desde una cierta concentración para cualquier elemento de la cadena trófica suelo-planta-animal-hombre (Galán 2008).

Si los lodos son utilizados para abono puede ocurrir un acopio de metales pesados en fruto, hojas y tallo (Cabezas, et al, 2004). Algunos de los metales más problemáticos son Cd, Ni, Cu, y Zn debido al resultado negativo sobre el metabolismo y la fisiología de la planta, como una reducción en la actividad nitrogenasa y fosfatasa, baja en la respiración mitocondrial (Naya, 2007). Dichos metales pueden ser incorporados al suelo por medio de los residuos orgánicos, en especial a través de los lodos residuales (Wallace, 1977).

Un estudio realizado por Chicón (2009) demuestra el contenido metálico de los lodos residuales de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) en Málaga (España), en el que se puede observar la presencia de Cd con 3.28 mg/kg, Cu 250 mg/kg, Ni 125 mg/kg, Pb 365.7 mg/kg y Zn 864.9 mg/kg. Asimismo, un estudio realizado por Hernández et al. (2017) en una PTAR en Tenerife (España) nos indica los niveles de metales detectados fueron 26.44 mg/kg para Pb, 544.01 mg/kg para Zn, 24.1 mg/kg para Cr, 37.05 mg/kg para Cu y 8.04 mg/kg para Ni.

## 2.4 Métodos de para la obtención de abono orgánico

Los lodos deshidratados se pueden utilizar para el compostaje tradicional, que se practica desde mediados de la década de 1970, además, son una alternativa económica y ecológica, útiles en la estabilización y evaluación final. Durante el compostaje, la materia orgánica se descompone, alcanzando temperaturas entre 50 y 70 °C, matando a los patógenos intestinales (Metcalf y Eddy, 1995).

### 2.4.1 Compost convencional

Esta forma de compostaje utiliza diversos tipos de residuos y considera diversos procesos como la estabilización, reducción del volumen e inactivación térmica de patógenos. La estabilización permite crear un ingrediente inocuo, no fermentable, inodoro, repelente de plagas, que sea fuente de nutrientes útiles para agricultura, materia orgánica para la enmienda del suelo y un elemento disuasorio de plagas de plantas (Sundberg, 2005). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), el compostaje ofrece el potencial de cambiar las propiedades de los desechos orgánicos en los insumos agrícolas a través de la descomposición aeróbica, lo que mejora la estructura del suelo y proporciona nutrientes.

Entre las ventajas del compost se encuentran facilitar la aglomeración en el suelo, permitiendo una adecuada aireación y humedad, pudiendo actuar como fungicida o bactericida en muchos casos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural) Medio Ambiente y Medio Rural y Marineros, 201

). Este proceso implica una serie de pasos que deben cumplirse para que el producto, es decir, el fertilizante, se considere de calidad y se deben tener en cuenta ciertos riesgos: toxicidad para las plantas relacionada con el contenido de nitrógeno, en forma de amonio y generalmente tóxico, teniendo en cuenta que la relación carbono/nitrógeno sea adecuada, el contenido de oxígeno en las raíces y el exceso de nitrato y amonio en la planta (Román et al., 2013).

Lozada et al. (2005) compostaron con lodo residual, cachaza y desechos orgánicos en dos proporciones de 20:80 y 0:60 en comparación con lodo durante cuatro meses,

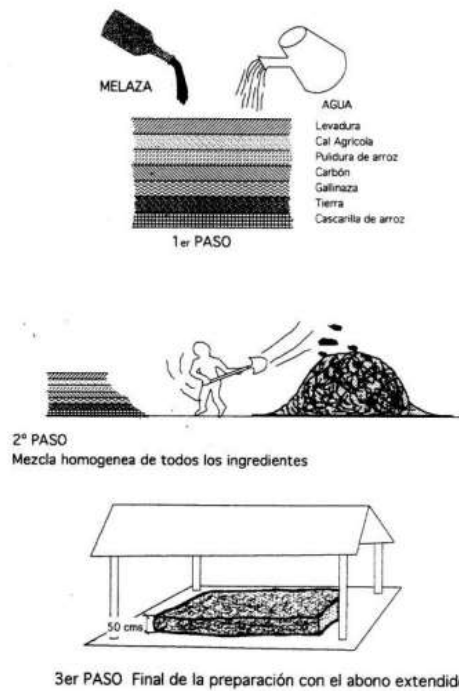
demostrando la capacidad de usar lodo para hacer compost y reduciendo el peso inicial del lodo en un 70 %. Por otro lado, Acosta et al. (2012) estudiaron el compostaje con lodos residuales constituidos por estiércol de cabra y residuos de aloe vera, indicando que los lodos residuales urbanos son un ingrediente que se puede adicionar al suelo para enriquecer sus propiedades fisicoquímicas y con ello aumentar la fertilidad y el rendimiento.

#### **2.4.2 Bokashi**

Es un fertilizante orgánico producido por la fermentación de materiales orgánicos. Su nombre, de origen japonés, significa "materia orgánica fermentada. Con abundantes nutrientes, es usado para fertilizar rápidamente con efecto comparable con fertilizantes comerciales como un fertilizante de acción rápida que se puede comparar con los fertilizantes artificiales como NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) (Ramos, Terry, Soto y Cabrera, 2014). Este elemento ha sido usado tradicionalmente por agricultores japoneses (FAO, 2011).

El proceso se lleva a cabo mediante la fermentación de materiales orgánicos al aire libre o en un estado cerrado. La investigación de Restrepo (1996) expresa la preparación del abono tipo bokashi el cual se ve fundamentado mediante la degradación aeróbica de residuos orgánicos y temperaturas controladas, mediante poblaciones de microorganismos presentes en el resultado, el cual es un material parcialmente descompuesto (Figura 1).

Figura 1. Proceso de elaboración del bokashi



Nota: Adaptado de Brechelt, A. (2004, agosto). *Preparación del bokashi* [Ilustración].

Los materiales para utilizar en la técnica del bokashi pueden ser locales, por lo que varía según la materia prima disponible en la región (De Luna y Vázquez, 2009, como se citó en Ramos, 2014). Para fermentar los ingredientes orgánicos del bokashi, se requieren ingredientes especialmente seleccionados (salvado de arroz, salvado de trigo, harina de pescado, otros), así como desechos orgánicos (FAO, 2011).

Esta técnica fue desarrollada en Japón por el profesor Teruo Higa, académico japonés, ha perfeccionado esta técnica tradicional y ha estudiado la tecnología de los microorganismos benéficos con el objetivo de optimizar las propiedades del suelo y con ello eliminar la putrefacción microbiana, aumentando la eficiencia en el aprovechamiento de la materia orgánica de los cultivos. Entonces, bokashi es fertilizante orgánico fermentado con EM (EMPROTEC, 2012). Brechelt (2004) señala que el bokashi es un abono orgánico fermentado que, si es comparado con el compostaje convencional, esta técnica pasa por una descomposición acelerada; por lo que, se obtiene más rápido un resultado final.

El estudio realizado por Ancco (2014) utiliza la técnica del bokashi con lodo residual de una laguna de oxidación y el abono resultante lo utilizó en la producción del gladiolo, dando como resultado que el tratamiento 16: Gladiolo variedad Duran + 60 ml de Microorganismos Eficaces activados (EMa) por 1 L de agua + 25% lodo residual tratado presentó una mayor cantidad de flores.

## **2.5 Parámetros físicos importantes en el proceso de bokashi**

### **2.5.1 Temperatura**

Hay que tener en cuenta que el material se amontonará; por lo tanto, bajo las condiciones adecuadas, la actividad microbiana comenzará sin problemas. Inicialmente, todos los ingredientes involucrados están a la misma temperatura, pero para que los microorganismos crezcan, se debe aumentar la temperatura. Este es el factor que es específico para la actividad microbiana, pues su control es fundamental para tener un compostaje adecuado (Liang y McClendon 2003; Miyatake e Iwabuchi, 2006).

Pasada 14 horas, si se tiene con una mezcla, la temperatura podría estar en 50 °C, esta temperatura podría incrementarse hasta 70 °C para enfriar se realizan volteos periódicos; porque muchos microorganismos benéficos no crecen a esta temperatura (Picado y Añasco, 2005). Cuando se habla de temperaturas ideales, se debe tener en cuenta que la actividad es generalmente mayor y más eficiente para los microorganismos termófilos de 15 a 0 °C y para los termófilos de 0 a 70 °C (Suler y Finstein, 1977). La variación de temperatura es muy importante en este proceso, ya que, si hay un cambio en este factor, las actividades más afectadas serán la actividad microbiana relacionada con la diferencia en términos de pH, relación C/N y humedad, (Bueno, Díaz y Cabrera, 2015) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Parámetros de temperatura óptimos para el compostaje

Temperatura (°C)	Causas asociadas	Soluciones
Temperaturas bajas: T° ambiente < 35 °C	Poca humedad	Los microorganismos bajan su actividad metabólica por la falta de humedad; en consecuencia, las temperaturas decaen. Se debe humedecer el material o agregar material fresco como frutas o verduras.
	Insuficiente material	El material no es suficiente o la forma de la pila no es la adecuada. Agregar más material.
Temperaturas altas: T° ambiente > 70°C	Mala relación C:N	Este factor está relacionado al material, entonces los microorganismos carecen de N para producir enzimas. Finalmente, el aumento de temperatura se ve retardado hasta por una semana. Ocurre cuando la temperatura se incrementa y frena el procedimiento de descomposición. Agregar estiércol u otro material alto en nitrógeno.
	Humedad y ventilación poco suficiente	Aún puede ocurrir la labor microbiana, pero no es la imprescindible para activar microorganismos mesófilos y terminar el proceso. Controlar el volteo y verificar la humedad que debe oscilar entre un 55 a 60%; además, adicionar material con mayor contenido de carbono y de lenta descomposición.

*Nota: de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2013).*

En la Tabla 3 se observa la relación de las etapas del proceso de compostaje con las temperaturas que se logran alcanzar.

**Tabla 3.** Relación de las etapas del proceso de compostaje y la temperatura.

Fase	Etapas	Temperatura (°C)
Descomposición	Etapa mesofílica	20-45
	Primera etapa termofílica	45-65
	Segunda etapa termofílica	65-75
	Etapa de enfriamiento	45-75
Maduración	Etapa de maduración	25-46

*Nota: adaptado de Silva V., J. P., López M., P., y Valencia A., P. (s.f.). "Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje". Universidad del Valle - Facultad de Ingeniería. Cali - Colombia.*

### 2.5.1 Volteo

Este proceso solo es necesario para la técnica del bokashi, por lo que es importante que cuando se cree el compost, se voltee o se mezcle manualmente. La frecuencia está relacionada con el contenido de humedad, el tipo de material y la facilidad de proceso deseada (Emison, 2009). El propósito de esta curva es nivelar la mezcla y la temperatura ayuda a eliminar el exceso de calor, monitorear la humedad y controlar el aumento de la porosidad de la pila para contribuir a una mejor ventilación. Al final, con cada revolución, la temperatura alcanza un rango de 5 o 10°C, luego aumenta a lo largo del proceso.

### 2.5.2 Espacio de aire libre

El compost contiene humedad en el agua y esta concentración no debe ser mayor que el volumen total de los poros del bloque porque si esto sucede, se impedirá la circulación de oxígeno, creando condiciones anaeróbicas (Bueno et al., 2015)



### 2.5.3 Humedad

Este parámetro está muy relacionado con los microorganismos, puesto que por este medio se garantiza el pasaje, a través de la membrana celular, de elementos energéticos y nutrientes. Cuando la humedad es menor a este porcentaje, la actividad microbiana disminuye; por lo contrario, si sobrepasa el 60%, se saturarán los poros y la oxidación se afectará (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2013). Si la humedad es abundante, se puede minimizar aumentando la aireación (Haug, 1993).

Por lo tanto, es importante controlar la humedad y una ventilación adecuada, ya que debe ser un proceso de equilibrio entre los poros de partículas de diferentes tamaños, que pueden estar llenos de aire o agua. El contenido de humedad óptimo para la paja de arroz varía entre 75 y 85 %, para astillas de madera es de 75 a 90 % y finalmente para residuos sólidos urbanos es de 50 a 55 % (Haug, 1993).

## 2.6 Parametros químicos importantes en el proceso de bokashi

### 2.6.1 Análisis químico del compost con lodo residual

La composición química del compost varía dependiendo del material orgánico que se emplee. Asimismo, por ser un producto natural, esta composición no es constante, Acosta (2012) reporta valores para diversos parámetros para el compostaje con lodos residuales (Tabla 4)

**Tabla 4.** Rangos y valores medios en la composición química del compost con lodos residuales

Parámetros Físicoquímico	Valores
Nitrógeno total (%)	1.0-3.0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (%)	7.81-8.85
Relación C/N	16-19
pH	7.9
Carbono (%)	29-38
Cd (mg/kg)	3.88-4.32
Pb (mg/kg)	71.71-80.49
Zn (mg/kg)	1072.53-1267.47

Co (mg/kg)	59.82-68.18
Fe (mg/kg)	1254.9
Cu (mg/kg)	165.6-186.4

*Nota: adaptado de "Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales" por Acosta, Y., Zarraga, A., Rodríguez, L. y Zauahre, M., 2012*

### 2.6.1 pH

Actúa directamente en este proceso, esto se debe al efecto sobre el proceso microbiano y su dinámica. Esta variable es muy utilizada para estudiar la evolución del proceso de compostaje, que baja el pH (Pinto y Mayorga, 2015). (Tabla 5).

**Tabla 5.** Parámetros de pH óptimos para el compostaje

pH		Causas asociadas	Soluciones
< 4.5	Ácidos orgánicos en abundancia	El resultado del uso de frutas, restos de cocina y/o vegetales es la acidificación del medio.	Se debe incrementar el material alto en nitrógeno para obtener una óptima relación C:N.
4.5-8.5	Rango ideal		
> 8.5	Abundancia de nitrógeno	El material de origen consta de un exceso de nitrógeno, el cual, en relación con la humedad y temperaturas altas, causa alcalinización del medio debido a la producción de amonio.	Se adiciona material seco con gran contenido de carbono: hojas secas, aserrín, rastrojo.

*Nota: Adaptado de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura , 2013*

El pH dependerá del material de origen, puede variar de ,5 a 8,5 en cada etapa del proceso. Este factor es crucial para la supervivencia de microorganismos y grupos con

pH óptimo para su reproducción y crecimiento. Cabe señalar que a un pH de 6,0-7,5 hay un aumento de la actividad bacteriana, en el rango de 5,5-8,0 se realiza la mayor actividad fúngica; por lo que el rango ideal es de 5,8 a 7,2. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013). El pH en lodos residuales varía de acuerdo el material de origen y el tipo de tratamiento que tenga: según Mancipe y Triviño (2018), el pH oscila entre 6.9-7.2, mientras que Velazquez et al. (2019) afirman que el pH del lodo residual de una PTAR es de 6.94.

### 2.6.2 Conductividad eléctrica

El parámetro posibilita valorar la suma de sales existentes en el extracto de saturación de suelo a través de un instrumento llamado conductómetro para obtener una estimación que está directamente relacionada con la humedad del área a estudiar (Ramirez, 2016). La Tabla 6 muestra los valores de los suelos salinos según la conductividad eléctrica.

**Tabla 6.** Suelos salinos según la conductividad eléctrica

<b>Clasificación</b>	<b>CE (dS/m a 25 °C)</b>
No salino	0-2
Ligeramente salino	2-4
Moderadamente salino	4-8
Fuertemente salino	8-16
Extremadamente salino	> 16

Nota de: Adaptado de “Suelos salinos y sódico”, por Flores, 1991.

La conductividad tiende a aumentar la mineralización orgánica en función de la mineralización orgánica, lo que aumenta la aglomeración de nutrientes. En algunos casos se produce una disminución de la CE durante este proceso, debido a la lixiviación en la masa, producida por el sobremojado de la misma. (Bueno et al., 2015) (Tabla 6).

Los lodos residuales tienen una conductividad eléctrica que oscila entre 1.32 a 4.32 mS/cm (Arévalo, 2016). Un estudio realizado por la Universidad Nacional de Cuyo (2018) demuestra que la conductividad eléctrica del lodo residual de una PTAR es de 2.08 dS/m, mientras que Bermúdez (1997) indica que el rango promedio de CE para una PTAR es de 0.8 a 11 dS/m y Felipo (1994) afirma que la media de CE para lodos residuales es de 3.87 dS/m.

### **2.6.3 Aireación**

A medida que avanza el proceso de compostaje, es importante confirmar la existencia de oxígeno porque los microorganismos que lo componen son bacterias aeróbicas. Las pilas de compost tienen un porcentaje variable de oxígeno en su espacio libre: según su tamaño, la parte más externa tiene 18-20 ° casi oxígeno del aire, mientras que el interior de la pila contiene oxígeno reducido, por otro lado, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Aumenta hasta alcanzar una profundidad superior a 60 cm, con un porcentaje de oxígeno entre 0,5 y 2,0% (Ekinci et al., 2004).

### **2.6.4 Relación Carbono/Nitrógeno**

Esta relación varía según el material de partida utilizado y ocurre numéricamente cuando el contenido total de carbono se divide por el contenido total de nitrógeno de la materia prima utilizada en el proceso (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Naciones Unidas, 2013).

Este factor afecta directamente la reducción de amonio y la velocidad del proceso; entonces, si esta relación es mayor a 40, muestra que la bioactividad está disminuyendo y cuando hay un exceso de carbono, los microorganismos se oxidarán, haciendo que el proceso se ralentice, ya que hay muy poco N para hacer. Síntesis de proteínas en microorganismos. Cuando mueren, se reutiliza el nitrógeno que almacenan en la biomasa. Además, cuando la relación es muy baja, el compostaje se realizará

rápidamente, pero el exceso de N quedará en forma de amoníaco y provocará una autocorrección de la relación C/N (Bueno, Díaz y Cabrera). , 2015 ).

### **2.6.5 Materia Orgánica**

Está representado por cualquier tipo de materia orgánica vegetal y animal utilizable. Es importante mezclar materiales viejos y resistentes, difíciles de descomponer, como los residuos de cultivos, con materiales jóvenes fácilmente degradables, como frutas, cortezas y hojas tiernas (Inckel, 2002).

Es fundamental comprender el nivel de materia orgánica presente en el compost, ya que es el factor más importante para determinar su calidad agronómica (Kiehl, 1985). Este proceso implica una gran pérdida de carbono en forma de CO<sub>2</sub>, debido a la mineralización, que supone el 20% del peso de la masa recocida (Zucconi, 1987).

Los microorganismos utilizan otros compuestos de la materia orgánica para fabricar tejidos, y el resto se metaboliza metabolizando CO<sub>2</sub> y agua. Estos materiales tienen características que los diferencian de los materiales originales (Haug, 1993). Por lo tanto, la tasa de transformación microbiana es esencial desde el punto de vista físico y químico. (Michel et al., 2004).

### **2.6.6 Nutrientes**

La composición del sustrato está dada por grupos de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P), que también se denominan macronutrientes básicos. El carbono es necesario para la síntesis celular, producción de energía y CO<sub>2</sub> en el metabolismo por oxidación. Proporcionalmente, constituye la mitad del total de las células de los microorganismos y el CO<sub>2</sub>, la cuarta parte. Por otro lado, el nitrógeno es necesario para los procesos de reproducción celular (el nitrógeno no tiene naturaleza protéica); al respecto, Bueno indica que el contenido de N está relacionado con la calidad del compost. Finalmente,

el fósforo (F) es importante para producir compuestos celulares ricos en energía, importantes para la transformación bacteriana (Bueno et al., 2015).

### **2.6.7 Nitrógeno total**

La materia orgánica prima varía el contenido total de nitrógeno, así mismo, los requisitos del proceso como maduración y almacenaje también cambian (FAO, 2011). Durante el lapso del proceso de compostaje, la concentración del nitrógeno (N) reduce con la volatilización del amoníaco, sin embargo, cuando logra captarse este se transforma e incorpora en microorganismos, por lo que muestran pérdidas relevantes de este componente gracias a la velocidad y magnitud de procesos bioquímicos en los primeros días de descomposición (Montalvo, 2018). Cuando se produce la fermentación aerobia correcta no se pierde más del 20% de la proporción de nitrógeno (N) de inicial (Sztern y Pravia 2010). La abundancia de un nutriente puede resultar en el incremento bacteriano y apresurar la descomposición de materia orgánica, en cambio, si existiera una carencia de nitrógeno (N) durante el proceso produciría un imperfecto incremento del cultivo microbiano (Dios, 2008).

### **2.6.8 Fósforo total**

La maduración de flores, semillas y frutos en las plantas depende primordialmente de el fósforo (P), es por esa razón que este factor es primordial en el compostaje, debido a las ventajas que logre dar a la planta al instante de administrarlo. La relación de fosforo en el compost varía entre 0.3-3.5% bajo la forma de óxido fosfórico ( $P_2O_5$ ) y es dependiente del tipo de materiales que fueron usados en el proceso (Mendoza, 2012).

### **2.6.9 Potasio total**

El crecimiento de las plantas también es dependiente del potasio (K), ya que interviene en el crecimiento de raíces y tallos, semillas, frutos y hojas de plantas muy grandes, agregando fuerza contra las plagas que buscan atacar, por lo que contribuye al

transporte de otros nutrientes cerca de la planta, por lo que este elemento es requerido en el compost. (Chunga, 2014).

### 2.7 Índices de calidad del bokashi

El bokashi, como resultado final, tiene la obligación de cumplir estándares de calidad total que garanticen la protección del medio ambiente y la salud pública. Estos se miden con parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

La Tabla 7 se muestra el rango permisible de los parámetros químicos y físicos más típicos del bokashi.

**Tabla 7.** Especificaciones referenciales de la calidad del bokashi

Parámetro	Rango permisible
Humedad (%)	33.56
Magnesio (%)	0.62
Materia orgánica (%)	21.33
Carbono orgánico (%)	12.4
Nitrógeno total (%)	1.23
Fósforo (%)	2.98
Potasio (%)	1.05
Sodio (%)	0.062
Azufre (%)	591.3
Calcio (%)	9.45
Relación C:N	10,1
pH	6.5-8

Fuente: Ortega, P (2012). Elaboración del bokashi sólido y líquido.

## 2.8 Antecedentes del uso de lodos para producción de abono

Francisco et al. (2011) utilizaron los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Puente Piedra (Lima) con fines agrícolas. La prueba 1 contenía lodos secos mezclados con arena lavada a diferentes concentraciones y la prueba 2 consistió en lodos incubados durante ocho meses a diferentes concentraciones utilizando fertilizantes inorgánicos en ambos casos. Aplicaron el diseño estadístico completamente al azar, el método estadístico de la varianza – ANOVA y la prueba de Tukey (sig 0,05) para analizar de las variables agronómicas: plántula (s), altura (H), grosor del tallo (D) y materia seca (F) del maíz. Para analizar las variables se colocó en macetas de 4 kg y se monitoreo por 60 días logrando mejores resultados tanto en crecimiento como en desarrollo de la planta con el ensayo N° 2. Se concluye que es factible utilizar lodos secos y lodos compostados a baja tasa para la producción de biofertilizantes, lo cual es una solución a largo plazo que puede solucionar el tratamiento final de estos residuos.

Huamán & Campos (2019) emplearon el lodo residual de la PTAR del municipio de Cajabamba para elaborar compost con diversos porcentajes de lodo, maíz y estiércol de cuy, teniendo tres tratamientos con la siguiente distribución: lodo al 60%, lodo al 50% y lodo al 40%. Las composteras se acondicionaron cajas de madera y el área fue techada con palos de madera. Finalizado los 36 días de compostaje se concluyó que la mejor la mejor distribución es: 60% de lodo como material base, acompañado del 30% de hojarasca de maíz y 10% de abono orgánico, debido a que los parámetros de humedad, pH, temperatura, materia orgánica, carbono/nitrógeno muestran una mejora en la calidad del abono y eso se ve reflejado en el crecimiento del maíz en comparación con los demás tratamientos.

Pomalaza y Ramos (2016) Emplearon una muestra de 100 kg de lodo activado de origen de la planta de tratamiento de aguas residuales “Doris Mendoza” con lombrices *Eisenia foetida* por un periodo de cuatro meses. Realizaron tres tratamientos con distintas concentraciones durante un tiempo de 120 a 133 días. Cuando obtuvieron compost de calidad a partir de 3 (25% fangos activados y 75% residuos orgánicos) con las mejores



propiedades, correspondiente a calidad grado B a los 120 días, este tratamiento consiguió una relación C/N muy buena (26,78), pH (7,2) y concentración de materia orgánica (20,36%). El medio resultante se complementa con tierra y arena para aplicar para la siembra de *Pinus radiata* (pino).

Buitrago y Garzón (2019) realizaron un proceso de compostaje aeróbico utilizando reactores flip horizontales para remover los lodos residuales generados en una PTAR del Parque Agroindustrial de Occidente en Colombia. Se utilizó césped y residuos orgánicos como como agentes de carga y se controló pH, temperatura, humedad y sólidos volátiles como parámetros de estudio. La caracterización inicial del lodo indicaba humedad 75.9%, relación C/N 5.434 y pH 6.34, particularidades que no califican con criterios establecidos para el progreso de un buen compostaje según la normativa colombiana, por lo que el resultado no fue tan bueno como se esperaba.

Lugo et al. (2016) elaboraron abono orgánico a partir de una mezcla de lodo residual y estiércol equino en diferentes concentraciones mediante el vermicomposteo por 45 días cuando alcanzó una buena relación C:N, dando como mejor resultado la relación 70% estiércol y 30% lodo residual. También se obtuvo un pH neutro y una concentración admisible de metales según la normativa mexicana.

Reyes et al. (2020) evaluaron el efecto de la vermicompost de estiércol equino y lodo residual en la actividad y productividad de plantas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), se usó una proporción de 30:70 de lodos de depuradora y estiércol de caballo. Con diferentes dosis de 0, 20, 40 y 60 ton/ha de vermicomposta, la tasa de crecimiento aumentó significativamente sin afectar la actividad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos en la albahaca.

## 2.9 Marco legal

La Ley N° 2731, Ley General de Residuos Sólidos, define el almacenamiento y manejo de los residuos sólidos de diferente origen tales como: servicios de limpieza industrial, agricultura, industria, actividades de construcción, regulados, controlados, evaluados y sancionados por las autoridades competentes. En cuanto a la gestión de lodos e instalaciones para su tratamiento final, el Decreto Supremo 128-2017-VIVIENDA define los sólidos biológicos como un subproducto que se introduce como consecuencia de la consolidación de la parte orgánica de los lodos que se generan en la refinería. Es importante saber que las propiedades microbiológicas, químicas y físicas contribuyen a la reutilización del suelo como acondicionador. Por otro lado, los lodos generados en una planta de tratamiento son la concentración de sólidos decantados de aguas residuales en forma de agua o purín, de un biorreactor o de un proceso terciario. En cuanto al almacenamiento, se debe tener en cuenta que sólo se permite el lodo que se haya estabilizado y deshidratado en cantidades iguales a la producida, sin exceder los siete días naturales. También está prohibido dejar lodos en los espacios públicos, ya sea en parques, caminos, sitios protegidos o arqueológicos, playas, cuerpos de agua u otros bienes de uso público. Según lo indicado en el DS-128 “Los biosólidos generados a partir de la estabilización y/o tratamiento de lodos de una planta de tratamiento podrán comercializarse para su reutilización con fines agrícolas, forestales y otros. La clasificación, parámetros, tipos de aplicación, condiciones técnicas, prohibiciones y demás normas para la reutilización de sólidos biológicos se establecen en los reglamentos aprobados por el Ministerio de Vivienda y Construcción y Saneamiento”.

De acuerdo con el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, para que el lodo residual sea acondicionado en el suelo, debe ser declarado biosólido clase A (aplica al suelo sin

restricciones sanitarias), únicamente destinado a ser utilizado como enmienda y/o acondicionador del suelo en la agricultura.

Por otro lado, el procedimiento de monitoreo de biosólidos del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, bajo la Orden Ministerial N° 093-2018-VIVIENDA, aplica a los biosólidos producidos a partir de lodos o sustratos de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales. Para efectos de este estudio se indicó que en dos semanas se tomarían cinco muestras específicas para monitorear el control de calidad de los lodos activados y se analizarían por un laboratorio aprobado por el Instituto Nacional de Control de Calidad (INACAL) acreditado. Este procedimiento describe los pasos y metodología a seguir para determinar la calidad de los lodos provenientes de PTAR o similares, incluyendo cómo debe hacerse su disposición final o su reutilización.

### III. Objetivos

#### 3.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de la aplicación del bokashi sobre el lodo deshidratado para su aprovechamiento como abono de calidad en la empresa Esmeralda Corp.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la aplicación del lodo deshidratado y mejorado para su uso como abono.
- Analizar el efecto de la aplicación del abono en el mejoramiento de la fertilidad del suelo.
- Estudiar el efecto del abono en el crecimiento y desarrollo del maíz (*Zea mays* L.).

### IV. Metodología

#### 4.1 Área de estudio

La empresa Esmeralda Corp. Está ubicada en el distrito de San Juan de Miraflores, provincia de Lima, departamento y región de Lima, en el Anexo 1 se encontrará una carta de autorización para utilizar la información de la empresa; Dentro de la empresa también se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) donde se llevó a cabo la investigación. Las coordenadas son 18 L, 284971.27 E, 8649168.12 S. El lodo utilizado en la investigación se obtuvo de la deshidratación del lodo activado en el sistema DECANter, ubicado en la planta de tratamiento.

#### 4.2 Diseño experimental

##### 4.2.1 Variables independientes y dependientes

El método de investigación es experimental, en el que se elabora la composta con lodos deshidratados de la PTAR Esmeralda Corp y el proceso de compostaje, la etapa de

recolección de la composta, así como los parámetros de calidad: nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, plantas, tasa de crecimiento: altura de la planta, número de hojas, grosor del tallo. Esto se puede ver en la matriz de consistencia y la tabla de actividad variable en los anexos 2 y 3, respectivamente.

#### 4.2.2 Recolección de lodos deshidratados

Los lodos deshidratados se recolectaron el 21 de noviembre del 2020 siguiendo el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (VIVIENDA). Se tomaron tres muestras con una diferencia de 30 min cada una: para las muestras de *Escherichia coli* se recolectó una botella por muestra; mientras que para la determinación de huevos de helmintos se recolectaron tres botellas por muestra. Para la describir la cantidad de metales pesados, se recolectó una muestra de 500 g mediante el método del cuarteo y se colocó en una bolsa ziploc. Las muestras de lodo fueron llevadas al Laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Los parámetros de toxicidad química e higienización se encuentran en la Tabla 8

Para medir la toxicidad química, se utilizó el método EPA 3050-B (1996) Digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos // SW-846 Método EPA 6010D, Rev. 5, 2018. Plasma acoplado inductivamente - Espectrometría de emisión óptica.

Para el caso de los parámetros de higienización el análisis de *Escherichia coli* se utilizó el método de la EPA 1680 Coliformes fecales en lodos de aguas residuales (biosólidos) por fermentación de múltiples tubos usando caldo de lauril triptosa (LTB) y medio EC (2006).

En el caso de detección de huevos de helmintos, se usó el Métodos estándar para la recuperación y enumeración de Moodley et al: Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Orine-Diversion Waste in South Africa (Moodley, Archer, Hawksworth y Leibach, 2008).

**Tabla 8.** Parámetros de toxicidad química, manejo y conservación de muestras de sólidos biológicos, según procedimientos de monitoreo

Parámetros de toxicidad química		Parámetros de higienización	
	Mg/kg	- <i>Escherichia coli</i> < 1000	
Clase A	ST	NMP/1 g	ST o
y B	Materia Seca	<i>Salmonella</i> sp.	< 1
		NMP/10 g	ST
-	40	- Huevos viables de helmintos < 1 / 4g ST o	
Arsénico	40	Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	
-Cadmio	40		
-Cobre	1500		
-Cromo	1200		
-Plomo	400		
-Níquel	400		
-Zinc	2400		
Material de envase para conservación		Plástico, vidrio	

Nota: de Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017.

#### 4.2.3 Elaboración del bokashi

En la parte experimental de la investigación se realizaron tres tratamientos, el primero con lodo deshidratado al 23%, luego lodo deshidratado al 37% y por último lodo deshidratado al 47%, cada tratamiento se repitió tres veces y el control consta de los elementos básicos de bokashi (descritos en la tabla 10), por lo que se obtuvo un total de 12 pilas de compostaje.

Para obtener datos más confiables, se usaron tres tratamientos y, al repetir cada tratamiento tres veces, se aseguró que no hubiera una diferencia significativa en el resultado.

En la tabla 9, se observa la conformación de las proporciones de materiales

**Tabla 9.** Proporciones de los materiales utilizados en los tres tratamientos y control de las composteras

<b>Pila de compostaje</b>	<b>Cantidad (kg)</b>
Composición básica bokashi - control	225
Tratamiento 1 - lodo al 23%	330
Tratamiento 2 - lodo al 37%	405
Tratamiento 3 - lodo al 47%	480

**a. Ubicación de las pilas**

Uno de los pasos para hacer el procedimiento fue determinar el lugar de compostaje, en donde se llevó a cabo el trabajo de investigación. Se determinó un área total de 76.8 m<sup>2</sup>, la cual se encuentra ubicada dentro de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa Esmeralda Corp. (Figura 2).

**Figura 2.** Ubicación de pilas de compostaje

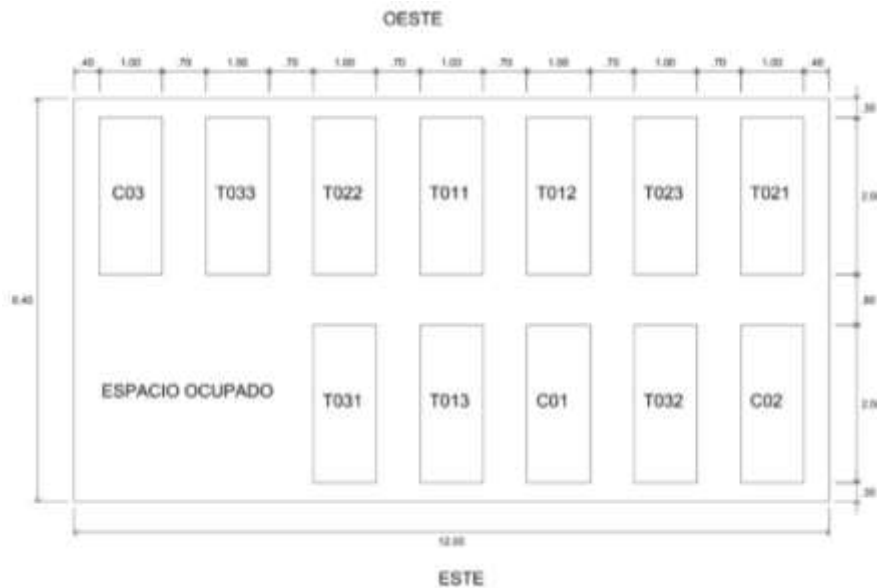


Fuente: Modificado de Google Earth (2021).

**b. Distribución y dimensionamiento de las pilas**

Se identificó un área de 12 m de largo y 6,4 m de ancho para el trabajo de investigación y se seleccionó un aparato con 12 pilotes de 2,5 m de largo, 1,0 m de ancho y 0,8 m cada uno, asignados al azar. (Figura 3).

**Figura 3.** Distribución al azar de los tratamientos



**b. Recolección de los materiales**

Luego de determinar el tamaño y distribución de las pilas, el material utilizado en el proceso de compostaje es recolectado y procesado con la ayuda del personal de la planta de tratamiento. Se recolectaron 41 kg de cal y 1350 kg de estiércol provenientes del establo dentro de la empresa.

Los materiales como la paja, melaza, levadura y afrecho fueron obtenidos de la agropecuaria El Comedero S.R.L., ubicada en el valle de Lurín.

**c. Composición y distribución de los materiales en las pilas**

Se determinó que cada pila de control contenía 225 kg de material para incubar como estiércol, paja, melaza, levadura, chicha, cal y afrecho.



Se consideró a tres tratamientos, de acuerdo al porcentaje de lodo activado: 27%, 37% y 47%. El porcentaje fue determinado por el investigador para facilitar la construcción de las pilas. En el tratamiento uno se utilizó una carretilla de lodo proveniente del MBR, que es aproximadamente 74 kg, en el segundo tratamiento se utilizaron dos carretillas de lodo y en el tercer tratamiento se utilizaron tres carretillas. Se mantuvo el patrón básico del Bokashi descrito por la FAO (FAO; Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2011), por lo que no se alteró el patrón base acondicionando la cantidad de lodo en cada tratamiento (Tabla 10).

**Tabla 10.** Composición básica del bokashi para el control y tratamientos.

<b>Materiales</b>	<b>Control</b>	<b>Lodos al 23%</b>	<b>Lodos al 37%</b>	<b>Lodos al 47%</b>
Lodo deshidratado (kg)	-	75	150	225
Estiércol (kg)	160	160	160	160
Paja (kg)	60	60	60	60
Melaza (kg)	3.5	3.5	3.5	3.5
Levadura (kg)	0.2	0.2	0.2	0.2
Chicha (ml)	0.3	0.3	0.3	0.3
Cal (kg)	1.4	1.4	1.4	1.4
Afrecho de baja calidad (kg)	30	30	30	30
Masa total de la unidad experimental (kg)	255.4	330.4	405.4	480.4

Los materiales se prepararon según la metodología de Inckler (2002):

- En el primer nivel se extendió la paja (Figura 4).
- En el segundo nivel se colocó afrecho y lodo.
- En el tercer nivel, el estiércol.
- En el cuarto nivel, la cal (Figura 5)
- En el quinto nivel, se hizo una mezcla de 3.300 L de melaza, 200 g de levadura y 300 ml de chicha en 20 L de agua (Figura 6).

- Se repitió el procedimiento cuatro veces hasta lograr unos 50 cm de altura los materiales restantes para alcanzar temperaturas suficientemente altas en cada pila y cubrió con plástico para impedir el contacto con el aire (Figura 7).

**Figura 4.** Colocación de la primera capa de paja



**Figura 5.** Capa de afrecho, lodo, estiércol y cal



**Figura 6.** Mezcla de melaza, chica, levadura y agua

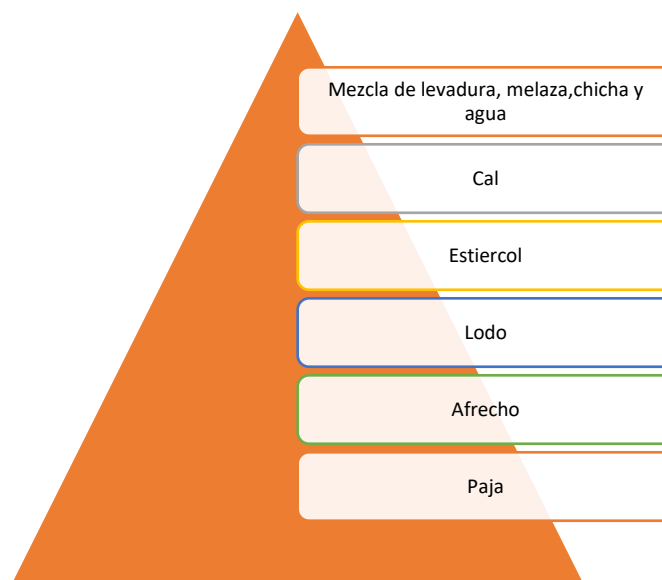


**Figura 7.** Pila terminada y tapada con plástico



Siguiendo la metodología para elaboración de bokashi, los materiales fueron colocados en capas, siguiendo la siguiente distribución, se realizaron cuatro repeticiones en cada pila (Figura 8).

**Figura 8.** Distribución de los materiales en pilas



**d. Monitoreo y control del proceso de compostaje**

Cumpliendo con el procedimiento se realizó la rotación de la mezcla de materiales, utilizando un trinche y una pala, con el apoyo del personal de la PTAR cada tres días durante los 40 días del proceso (Figura 9).

**Figura 9.** Volteo de pilas de bokashi



Las pilas se mantuvieron húmedas en cada proceso de volteo, controlando al mismo tiempo la medición del pH y temperatura con el termómetro especial para compost y un multiparámetro para medir el pH (Figura 10), su forma puntiaguda permite medir la temperatura de las pilas a diferentes alturas de esta.

**Figura 10.** Termómetro especial para suelo y multiparámetro



El abono resultante de las pilas construidas fue recolectado en sacos individuales de 30 kg y fueron dejados en la PTAR (Figura 11).

**Figura 11.** Sacos de abono resultante de cada pila



**e. Fumigación por presencia de larva de mosca**

El día 20 de diciembre del 2020 se observó la presencia de pupas de mosca debajo del plástico de las pilas de compost (Figura 12).

**Figura 12.** Pupas de mosca debajo de las pilas



Se coordinó con el área de saneamiento de la empresa hacer una fumigación por debajo de las pilas y en los costados para evitar que se cumpla el ciclo de vida de la mosca (Figura 13).

**Figura 13.** Fumigación debajo de las pilas y pesticida aqua kontrol



Se fumigó con el pesticida Aqua-Kontrol 30-30, que está diseñado para ser aplicado como un rociado ultrabajo (ULV) para controlar mosquitos adultos y moscas molestas, eliminando vectores, brindando un control efectivo de mosquitos adultos, moscas negras, mosquitos y moscas que no pican (EPA, 2014)

Una semana después de esta fumigación, las pupas de mosca desaparecieron y se pudo controlar los vectores.

#### **f. Aplicación del bokashi en suelo agrícola**

- Al bokashi preparado a partir de los lodos activados, se le administraron 6 kg de suelo agrícola del valle de Chillón en cada una de las macetas (Figura 14).
- Se colocó el abono en 12 macetas de 7 kg cada una, siendo la relación abono/tierra de 2% (Figura 15).
- Se utilizaron 5 semillas de maíz (*Zea mays*) por maceta, una vez germinado se hizo una preselección dejando tres plantas germinadas con mejor perfil (Figura 16).
- El riego fue cada dos días con 200 ml de agua.

**Figura 14.** Tamizado de suelo agrícola del fundo HECOSAN



**Figura 15.** Mezcla de suelo agrícola y abono en saco



**Figura 16.** Siembra de 5 semillas y elección de tres plantas con mejor perfil



#### **g. Siembra de las semillas de maíz**

- Se muestreó nuevamente una cantidad de 300 g de bokashi y se le administraron 6 kg de suelo agrícola del valle Chillón en cada una de las macetas (Figura 17).
- Se colocó el abono en 20 macetas de 6 kg cada una, siendo la relación abono/tierra de 2%.
- Se utilizó 5 semillas de maíz (*Zea mays*) por maceta y, una vez germinado, se hizo una preselección dejando tres plantas germinadas con mejor perfil.
- El riego fue cada dos días con 200 ml de agua.
- Las macetas fueron colocadas en la casa de la investigadora para tener un mejor control de la frecuencia de riego y germinación (Figura 18).

- La evaluación del maíz se realizó en ocho semanas, midiendo una vez por semana el ritmo de crecimiento de la planta según su altura (Figura 27), número de hojas (Figura 28) y grosor del tallo con vernier (Figura 19).

**Figura 17.** Segundo muestreo de bokashi



**Figura 18.** Macetas de bokashi con suelo agrícola



**Figura 19.** Vernier: Instrumento de medición de grosor de tallo





#### 4.2.4 Análisis estadísticos

La investigación fue de carácter experimental y se utilizó un diseño estadístico de bloque completo al azar, procesado mediante el programa SPSS versión 24. Para la comparación entre grupos (tratamientos y control) y asociación entre variables (entre parámetros y la concentración de abono) se utilizó el análisis de varianza con un nivel de confianza del 95%, esta prueba se utiliza para comparar las varianzas entre las medias de diferentes grupos y determinar el nivel de significancia, posteriormente se realizó el test HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey la cual se realiza posterior al ANOVA cuando  $\alpha$  es significativo, esta prueba consiste en comparar medias entre dos grupos que no pasaron la prueba de normalidad con la finalidad de demostrar cual tratamiento es mejor. Asimismo, se realizó la correlación de Pearson prueba que nos ayuda a determinar la relación de algunos parámetros, en este caso para conocer si algún parámetro afectó el crecimiento del maíz.

## V. Resultados y Discusiones

### 5.1 Resultados del análisis inicial de lodos deshidratados

Una vez realizado el proceso de obtención de lodos deshidratados se obtuvieron los resultados del Anexo 1- A, los cuales se pueden observar a manera de resumen la tabla 11. Podemos comparar lo descrito en el DS-015-2017-VIVIENDA, los parámetros de toxicidad química están por debajo de lo establecido, es decir, los niveles de Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Plomo, Níquel y Zinc del lodo deshidratado son los adecuados para realizar el procedimiento de compostaje dentro de los límites establecidos.

Según lectura inicial la presencia de *Escherichia coli* fue de  $2.1 \times 10^6$  NMP/1g ST se clasifica como lodo de Clase B (coliformes < 2,000,000 NMP/g de lodo), de acuerdo con la Regla 503 de la EPA, Norma para la aplicación y el tratamiento de lodos de aguas residuales.

**Tabla 11.** Resultados iniciales de los parámetros de toxicidad química e higienización de lodos deshidratados

Parámetros de higienización	Unidad	Muestra lodo 1	Muestra lodo 2	Muestra lodo 3
<i>Escherichia coli</i>	NMP/1g	$2.2 \times 10^6$	$2.1 \times 10^6$	$2.0 \times 10^6$
ST				
Huevos de helmintos	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
Metales	Unidad	Muestra lodo 1	Muestra lodo 2	Muestra lodo 3
Arsénico (As)	mg/kg	10.4	12.1	9.5
Cadmio (Cd)	mg/kg	4.37	4.50	3.82
Cromo (Cr)	mg/kg	12.97	14.48	11.32
Cobre (Cu)	mg/kg	88.7	90.6	77.4
Níquel (Ni)	mg/kg	5.59	6.08	4.86
Plomo (Pb)	mg/kg	6.20	7.59	5.13
Zinc (Zn)	mg/kg	303.8	306.7	263.5

Se tomó como referencia los antecedentes de la última caracterización del lodo residual que realizo en el año 2018 en la PTAR de Esmeralda Corp (Tabla 12).

**Tabla 12.** Caracterización de lodo residual de PTAR Esmeralda Corp.

Parámetros	Lodos residuales de la PTAR
Conductividad eléctrica	6.28 dS/m
Materia orgánica	8.27 %
pH	6.6
Nitrógeno total	0.53%
Fósforo	0.88%
Potasio	0.20 %
Magnesio	1.10 %
Humedad	4.59%
Sodio	0.21%
Plomo	27.80 ppm
Cadmio	3.05 ppm
Cromo	15.35 ppm

## 5.2 Resultados de los análisis a lo largo del proceso de compostaje

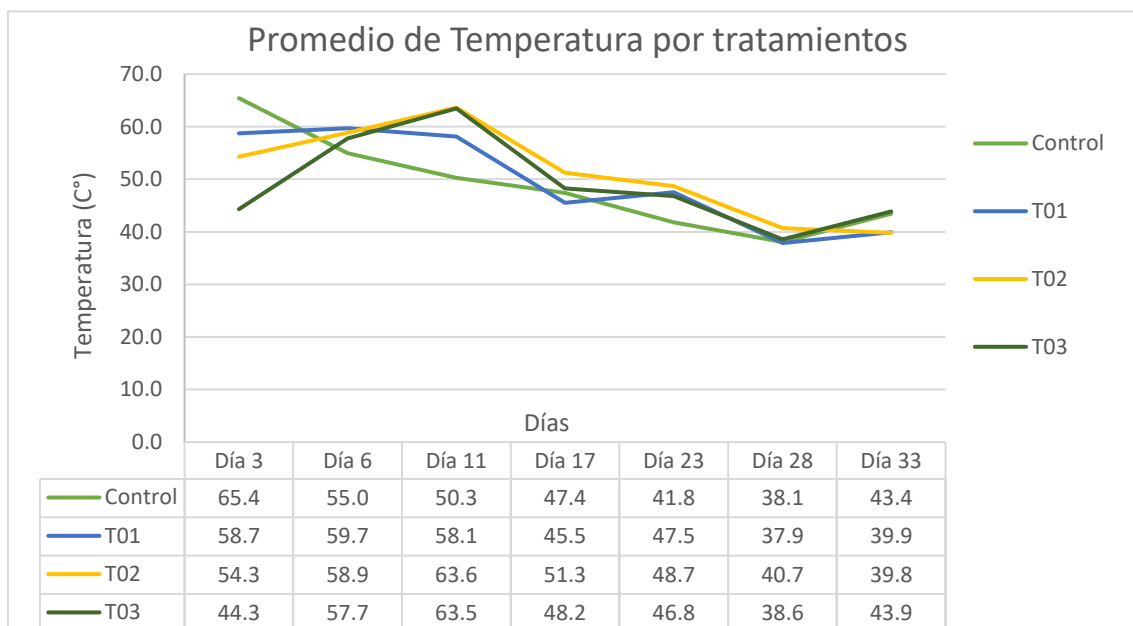
Los resultados de los parámetros que se evalúan durante el proceso de compostaje responden al objetivo específico que determina el efecto de la aplicación del lodo deshidratado y mejorado para uso como abono para las 12 pilas.

### 5.2.1 Temperatura

La temperatura tuvo un comportamiento normal a lo largo de este proceso de compostaje en los cuatro tratamientos descritos en la Tabla 3 y se presentan de la siguiente manera (Figura 20):

- Desde la formación de la pila hasta el 3er día, la temperatura se mantuvo entre y 65°C, lo que indica que el proceso de compostaje ha pasado de la fase termófila al inicio de la fase termófila.
- Del día 6 al día 11 la temperatura sube y se mantiene entre 55 y 63°C, lo que indica que se está iniciando una segunda fase termófila.
- Del 17 al 23, la temperatura comienza a descender hasta los 1°C, entrando en la fase de enfriamiento.
- Desde el día 23 hasta el final del proceso el día 39, la temperatura continúa bajando de 1°C a 37°C, por lo que el proceso se encuentra en su etapa final de maduración.

**Figura 20.** Variación de la temperatura durante el proceso de elaboración del bokashi utilizando el lodo deshidratado



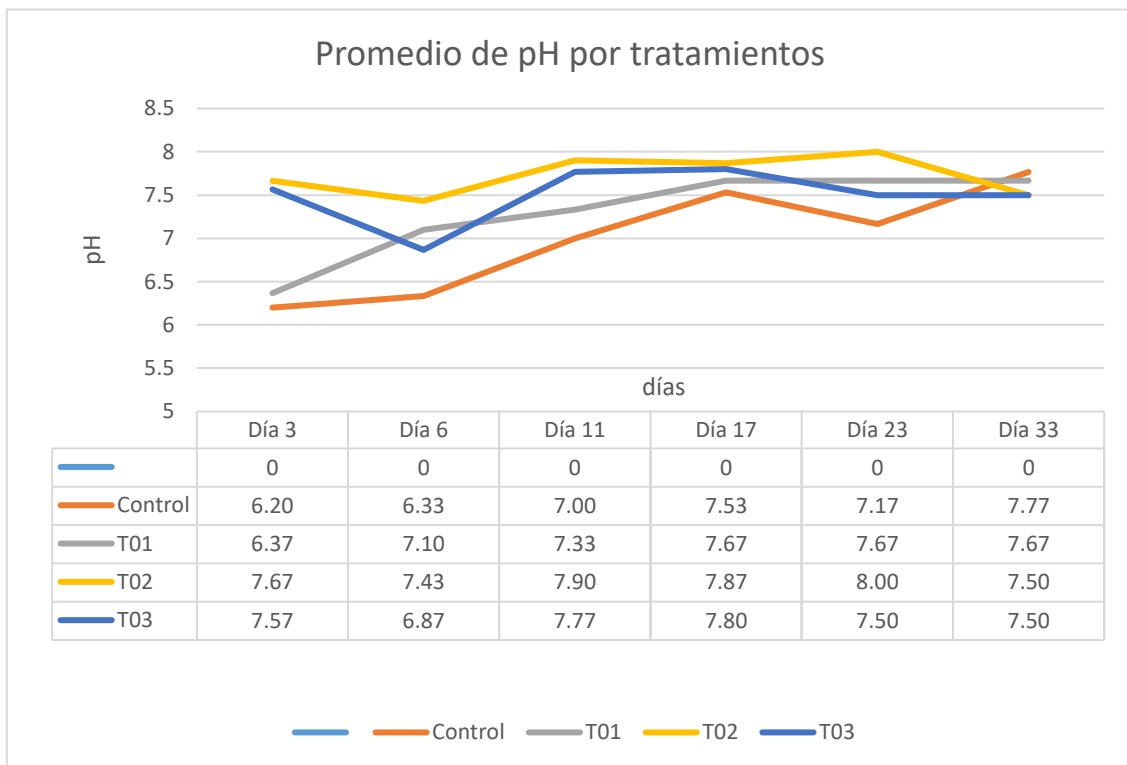
La temperatura a lo largo del proceso de compostaje, Silva et al. (s.f.) indican que esta pasó por todas las etapas propias del proceso de compostaje pasando por la etapa

mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración en 39 días debido a que el bokashi tiene una fermentación mucho más rápida que una técnica de compostaje tradicional.

### 5.2.2 pH

La figura 21 nos indica que el pH tomado *in situ* del día 3 al 6 se acidifica y se mantiene en un rango de 6.20 a 7.67 debido a la formación de ácidos orgánicos, posteriormente se alcaliniza del día 11 al 23 manteniéndose en un rango de 7 a 8 y finaliza con valores cercanos al neutro como se ve en el día 33 con valores del 7.50 a 7.77.

**Figura 21.** Variación del pH durante el proceso de elaboración del bokashi utilizando el lodo deshidratado.



El pH define la supervivencia de los microorganismos y la mayor parte de la actividad bacteriana ocurre en un rango de 6.0 a 7.5; en el caso de las pilas de bokashi, este proceso ocurrió en el día 3 al 6 debido a la formación de ácidos orgánicos, posteriormente durante el día 11 al 23 se llevó a cabo la mayor actividad fúngica y

finalizó el proceso en el rango ideal con valores cercanos al neutro del 7.50 a 7.77 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

### **5.2.3 Análisis inicial vs final de materia orgánica en las pilas de bokashi**

#### **a. Análisis del pH, conductividad eléctrica y materia orgánica en pilas de bokashi**

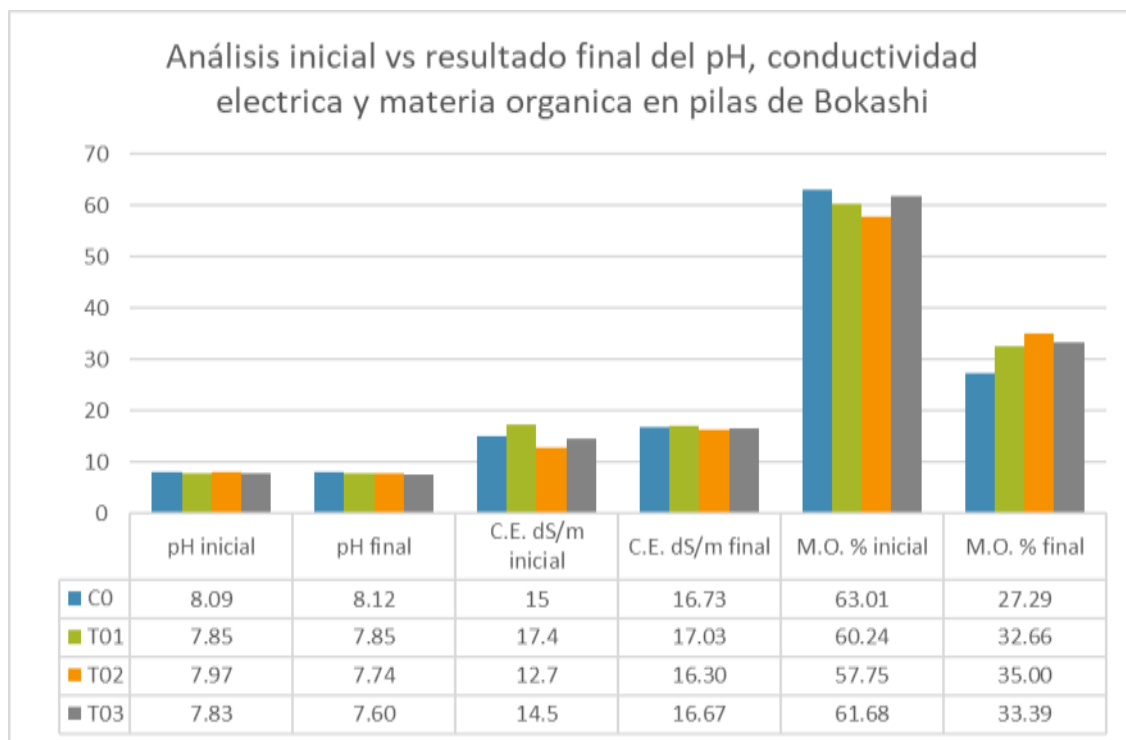
Los resultados iniciales se encuentran en el anexo 2-A y los finales en el anexo 3-A; así mismo el producto conseguido en el test de Tukey en el anexo 1-B para el control indican que su media es diferente a los tratamientos, por lo que este pH moderadamente alcalino, lo que se debe a que las rumas se formaron solo con los materiales básicos para bokashi, indicando que hubo una estabilización correcta del compost (Najar, 2014). En cuanto a los demás tratamientos T01 (promedio pH: 7.85), T02 (promedio pH: 7.74) y T03 (promedio pH: 7.60), se tiene un pH cercano a la neutralidad a diferencia del control debido a la adición del lodo deshidratado, que tiene como pH un valor de 6.6, haciendo disminuir el rango de pH, como se observa en la Figura 22. Según diferentes autores, el pH obtenido en la pila de bokashi varía de 7 a 8 (Santoya et al. 2018, González et al. 2018, Kováčik et al. 2018, Martínez et al. 2018), por lo que el bokashi se elabora a partir de aguas residuales. el lodo es óptimo porque promueve la disponibilidad de nutrientes y limita la disponibilidad de metales pesados.

La conductividad eléctrica inicia con 17.40 dS/m en el tratamiento 2, el control y los demás tratamientos están en un rango de 12.70 a 17.40 dS/m, el tratamiento 2 finaliza con 17.03 dS/m y los demás tratamientos están en un rango de 16.30 a 17.03 dS/m. Esto podría deberse a la aplicación de estiércol la cual puede incrementar la conductividad eléctrica (Smith et al., 2001); asimismo, cuando se utiliza estiércol vacuno y composta residual, la CE se incrementa debido a la reducción de la MO residual

(Eghball, 2004). En las propiedades físicas y químicas del bokashi, comúnmente se encuentran valores altos de CE, Berrio y Panzza (2006) indican que la CE va hasta 22.8 dS/m en los diversos tipos de bokashi evaluados.

El porcentaje de materia orgánica inicial en todas las pilas están en el rango de 57.75-63.01%, bastante similar a lo encontrado por Mendoza (2012), quien encontró valores que fluctuaron de 56.92-66.57%; por otro lado, los resultados finales se encuentran en el rango de 27.29-35.00% señala que la materia orgánica fue descompuesta correctamente durante el procedimiento de compostaje.

**Figura 22.** Análisis inicial vs resultado final del pH, conductividad eléctrica y materia orgánica en pilas de Bokashi



Nota: C0: Control, T01: lodo al 23%, T02: lodo al 37%, T03: lodo al 47%.

En el **anexo 2-B** se observa el análisis de varianza (ANOVA) solo hay diferencia significativa en el pH; esta diferencia se puede ver con mayor detalle en los **anexos 3 -**

**B y 4-B.** En cambio, en los parámetros de conductividad eléctrica y materia orgánica no presentan diferencias significativas. El coeficiente de variabilidad (CV) para pH es de 0.03%, CE de 0.05% y M.O de 0.18%, lo cual nos indica que los datos obtenidos en campo son confiables.

Mediante el test HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey que se observa en el **anexo 1-B** podemos decir que el pH del control es diferente a todos los tratamientos, el pH en el lodo al 47% (tratamiento 3) y en el lodo al 37% (tratamiento 2) son iguales; asimismo, el pH en el lodo al 47% y 37% es diferente con el lodo al 23% (tratamiento 1), no existen subgrupos en los parámetros de conductividad eléctrica y materia orgánica anexo 1B y 2-B.

#### **b. Análisis del Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Sodio en pilas de bokashi**

Como se observa en la figura 23 y se puede ver con mayor detalle en el anexo 3-A, el muestreo inicial los valores de nitrógeno para el control fue de 1.61% y los demás tratamientos un valor promedio de 1.92%, pero en la etapa final del compostaje, el contenido de nitrógeno total aumentó bruscamente de 2,01 a 26% sin diferencia significativa. Chunga (2014) demostró que cuando esta sustancia ya no se consume, por ende, la población microbiana deja de crecer ya que el proceso se está en las últimas etapas de maduración.

En cuanto al porcentaje de fósforo total, el control inicia con 0.09% y los tratamientos con un promedio de 0.65% y termina en un rango de 1.47% a 1.86% sin diferencias significativas. Este incremento del fósforo en los tratamientos y el control se debe a la disminución de la materia orgánica por el proceso de fermentación aeróbica (Ruiz, 2003).



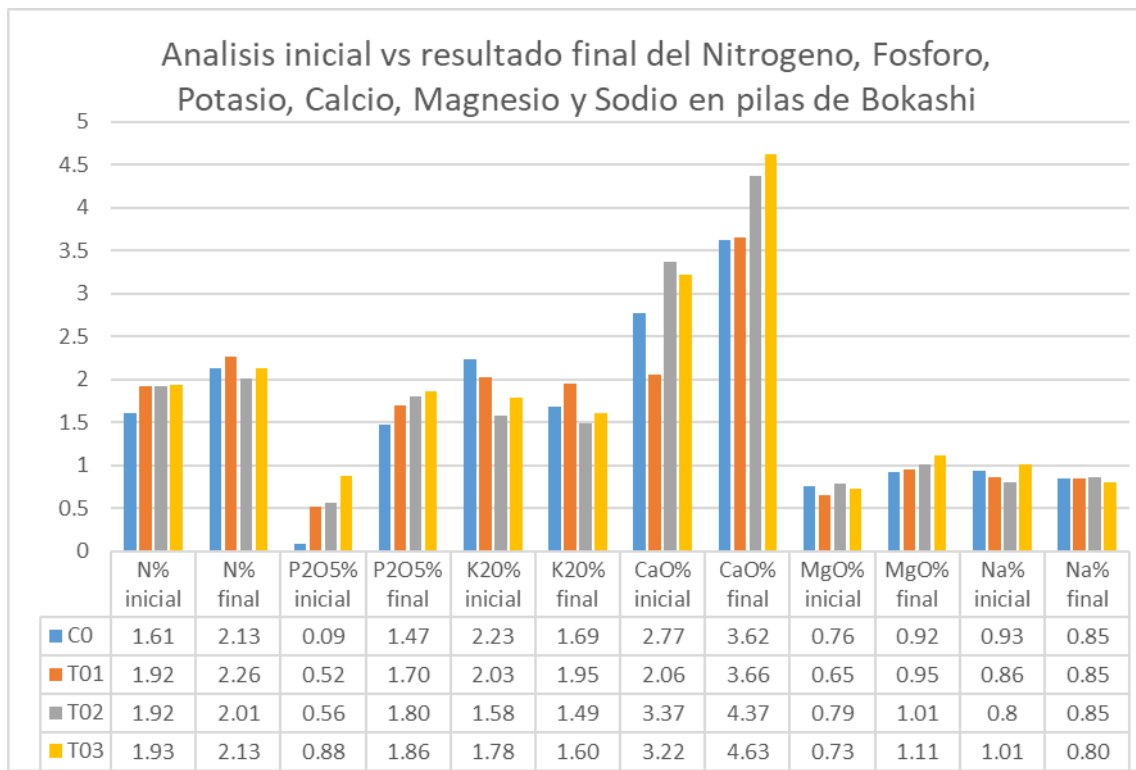
El porcentaje de potasio total, inicialmente en el control y tratamientos tiene un rango elevado, encontrándose entre 1.58 a 2.23% ppm debido al uso de estiércol y terminó en un rango de 1.49% a 1.95% sin diferencias significativas. Según Pérez et al. (2008), el contenido de potasio en diferentes tipos de bokashi puede variar de 1.50-2.49%.

Por otro lado, el porcentaje de calcio más bajo empezó en 2.06% para el tratamiento 1 y terminó en 3.62% a 4.63% sin diferencias significativas, el incremento es común debido al exceso de nutrientes del lodo deshidratado, sin embargo, está dentro de los valores promedios esperados descritos por Cantanhede (1993).

El porcentaje de magnesio inicial fue de 0.65% a 0.75% y terminó en 0.92% a 1.11% sin diferencias significativas. Según Pérez et al. (2008), los niveles de magnesio en diferentes tipos de bokashi pueden variar de 0.28-1.21%, por lo que también estaría dentro del rango promedio de 1.0-2.5% descrito por Najjar (2014).

Por último, el sodio terminó con un rango de 0.80% a 0.85% sin diferencias significativas, lo que indica que los niveles están por encima del rango promedio, el cual es 0.02% según Najjar (2014), pero estos valores promedios son un aproximado y varían según el tipo de materiales utilizados durante el procedimiento. De acuerdo con Silva (2014), el porcentaje de sodio para bokashi como amortiguador de suelo es de 1.8%. Las pruebas de Tukey para cada parámetro se pueden ver en los anexos 7- B al 12- B.

**Figura 23.** Análisis inicial vs resultado final del Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Sodio en pilas de Bokashi



En el **apéndice 5-B**, análisis de varianza, encontramos que no hubo una diferencia significativa entre los grupos y dentro de los grupos, lo que significa que no hubo una diferencia real en el porcentaje de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio. en tratamientos de investigación. El coeficiente de variación tiende a cero, lo que indica que los datos obtenidos en campo son confiables.

### **5.3 Evaluar el efecto de la aplicación del abono en el mejoramiento de la fertilidad del suelo.**

#### **5.3.1 Caracterización inicial vs resultado final del suelo agrícola con abono**

##### **a. Análisis del pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y**

##### **Capacidad de Intercambio Catiónico en suelo agrícola con abono**

El pH del lodo según antecedentes de la PTAR Esmeralda Corp es de 6.48, en cuanto a los resultados de pH del presente estudio se encuentran en un rango de 7.00 a 7.23. Según Francisco et al. (2011), estos valores se encuentran en el rango normal y no afectan las condiciones de vida del suelo. Por otro lado, el trabajo realizado por Silva et al. (2014) también muestra al pH en un rango de 6.18.

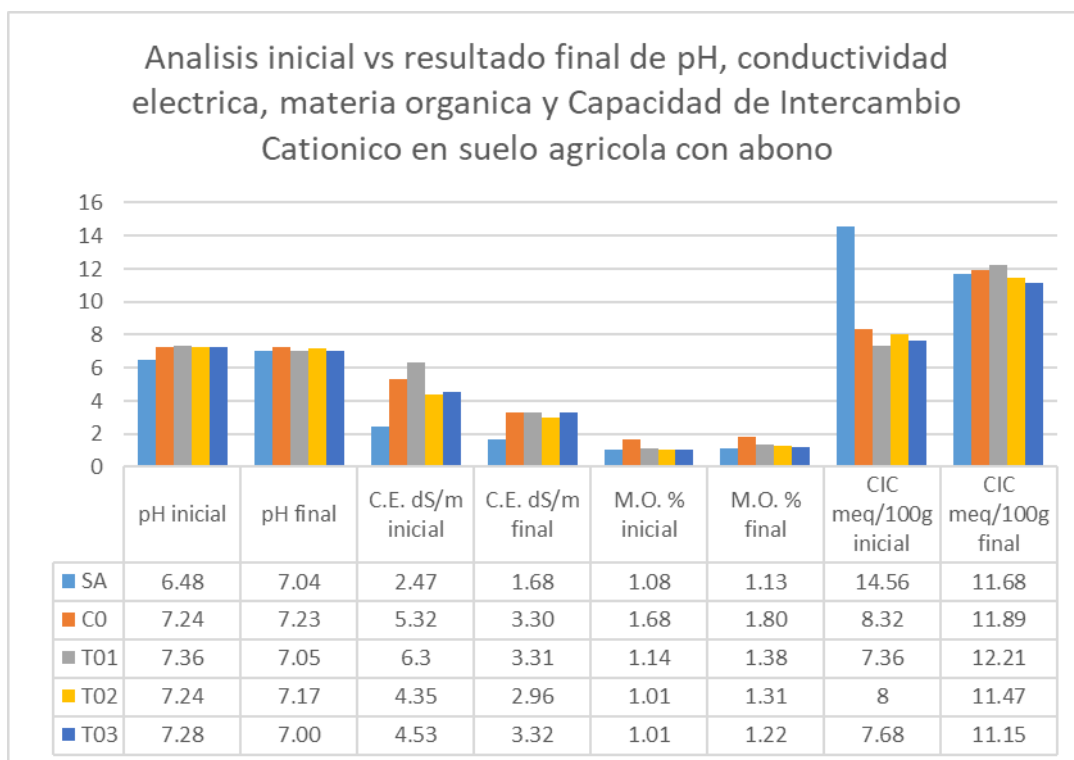
La conductividad eléctrica final del suelo agrícola (SA) es 1.68 dS/m (no salino) y del control y tratamientos están dentro del rango de 2-4 dS/m (levemente salinos). Francisco et al. (2011) mencionan que la CE del lodo compostado es 3.65 dS/m y fue aplicado en el suelo. Asimismo, Roben (2002) indica que la conductividad mínima debe ser de 2,0 dS/m, la máxima de 4,0 dS/m y la media de 2,5 dS/m. Por otro lado, Labarca et al. (2018) revelan que la conductividad eléctrica del suelo con el abono del bokashi se encuentra en un rango de 2.10 a 4.13 dS/m, por lo que los datos obtenidos en la investigación nos demuestran que la CE del estiércol genera un suelo levemente salino.

El porcentaje de materia orgánica empieza en un rango de 1.01-1.68% y termina en 1.13-1.80%, teniendo un ligero aumento.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en el suelo agrícola empezó en 14.56 meq/100g y terminó en 11.68 meq/100g, habiendo una disminución de este. En cambio, el control y los tratamientos tienen un comportamiento diferente en el tiempo: empiezan

en un rango de 7.36 a 8.32 meq/100g y terminan en una concentración superior en un rango de 11.15 a 12.21 meq/100g. La reducción de la CIC para el control y tratamientos se dio conforme avanzó el proceso de compostaje según Benediti et al. (1994), debido al contenido de sustancias húmicas se tiene alta capacidad de CIC; asimismo, este incremento se debe al cambio en el contenido de grupos carboxílicos. En cambio, ocurre lo opuesto en el suelo agrícola, donde esta capacidad disminuye debido a la polimerización de compuestos carbonados y producen la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Roman, 2013) (Anexo 4-A, 5-A y 6-A).

**Figura 24.** Análisis inicial vs resultado final de pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y Capacidad de Intercambio Catiónico en suelo agrícola con abono



En el **Apéndice 13-B**, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre los grupos y dentro de los grupos, lo que significa que no hubo una diferencia real en el pH. El coeficiente de variación es de 0,01%, lo que indica que los datos obtenidos en campo son confiables. Lo mismo ocurre con CIC, donde no existe una diferencia

significativa entre grupos y dentro de los grupos, además el coeficiente de variación es de 0,82%, lo que indica que los datos son confiables.

Para el caso de la conductividad eléctrica y la materia orgánica, sí existen diferencias significativas entre grupos y dentro de grupos y se pueden ver con mayor detalle en los **anexos 14-B y 15-B**. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es de 0.27% y 0.18% respectivamente, lo que señala que los datos conseguidos en campo son confiables.

Mediante el test HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey, que se observa en el **anexo 15-B**, el porcentaje de materia orgánica en el control es diferente a todos los tratamientos.

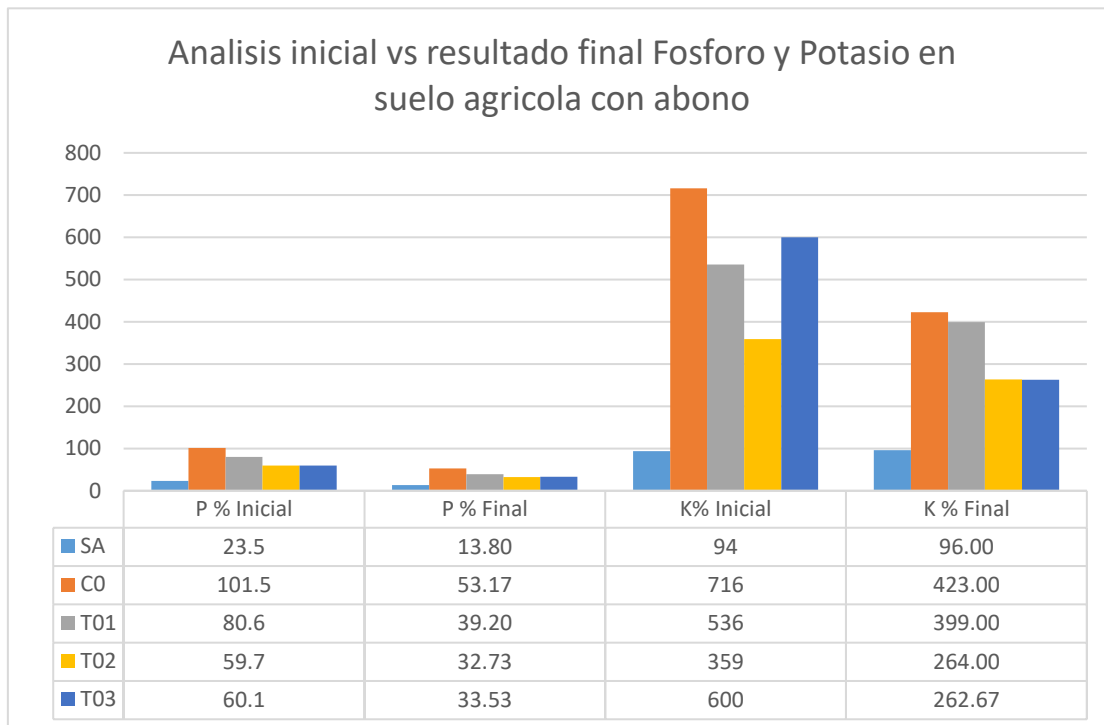
Mediante el test HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey, que se observa en el **anexo 16-B**, la conductividad eléctrica en el suelo agrícola es diferente al control y a los tratamientos. Por otro lado, la conductividad eléctrica en el lodo al 37% es diferente al control y por último la CE en el lodo 23% y 47% son iguales. No existen subgrupos en el parámetro de pH (anexo 19).

#### **b. Análisis del Fósforo y Potasio en suelo agrícola con abono**

El fósforo y el potasio en el suelo agrícola difieren con los porcentajes del control y tratamientos. Labarcat et al. (2018) encontraron que el rango de porcentaje de potasio alcanza un máximo de 600 ppm por lo que lo hallado en el trabajo está dentro del rango normal. Por otro lado, según Miyashiro (2014), la diferencia de contenido de potasio en los tratamientos puede deberse a pérdidas derivadas de la lixiviación producto de los riegos.

En cuanto al fósforo, la variación que existe en la etapa final podría deberse a su utilización para formar ácidos nucleicos en los microorganismos vivos y en el fósforo disuelto producto del humedecimiento y lixiviación al suelo (Brady et al., 2008).

**Figura 25.** Análisis inicial vs resultado final Fósforo y Potasio en suelo agrícola con abono



El análisis de varianza para fósforo y potasio revela que sí existen diferencias significativas entre grupos y dentro de grupos y estas diferencias se pueden ver con mayor detalle en el anexo 17-B. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es de 0.4% y 0.5%, respectivamente, lo que señala que los datos conseguidos en campo son confiables.

Mediante el test HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey, que se observa en el **anexo 17-B**, el porcentaje de fósforo en el suelo agrícola es diferente a todos los tratamientos y control. Por otro lado, el porcentaje de fósforo del lodo al 37% es diferente al lodo al 47%. En cambio, el porcentaje de fósforo del lodo al 37% es igual al lodo al 23% y, por último, el control es diferente a todos los tratamientos y suelo agrícola.

Mediante el test HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey, que se observa en el **anexo 19-B**, el porcentaje de potasio en el suelo agrícola es diferente al control y

tratamientos. Por otro lado, el porcentaje de lodo 47% y 37% son iguales, el porcentaje de potasio en el lodo al 23% y control son iguales.

### 5.3.2 Caracterización inicial de metales pesados

Se realizó en análisis inicial de metales pesados dando como resultado que los niveles de plomo y cromo no sobrepasaron lo dispuesto en el DS 011-2017-MINAM, que corresponde al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo agrícola, que indica que los valores deben ser los siguientes: Pb < 70 ppm, Cd < 1.4 ppm y Cr < 64 ppm; sin embargo, como se observa en la Tabla 13, el Cadmio sí sobrepasó estos estándares, por lo que solo se analizó este metal en el muestreo final (Anexo 7-A y 8-A).

**Tabla 13.** Resultados iniciales de metales pesados en el suelo agrícola con abono

Claves	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
C01	10.41	1.54	8.91
T012	11.73	1.76	15.94
T021	12.63	1.90	19.27
T033	11.83	1.98	18.53

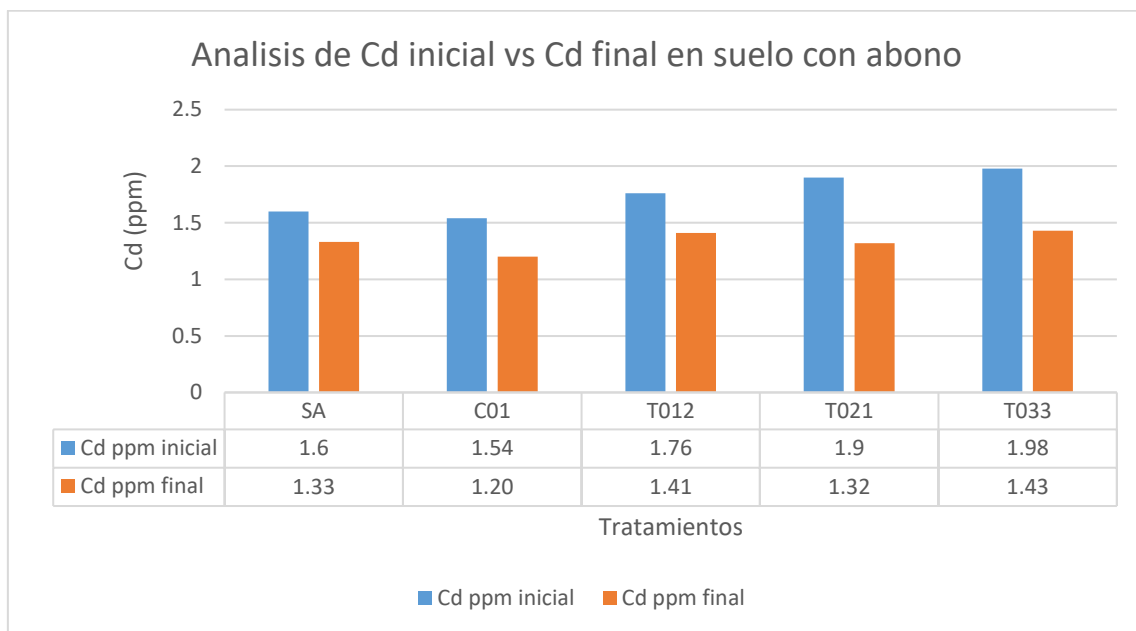
### 5.3.3 Caracterización final de metales pesados en suelo con abono

Se realizó el análisis de cadmio total en el suelo con abono inicial (Anexo 9-A), teniendo un rango de 1.54 a 1.98 ppm, sobrepasando los límites indicados en el punto 5.3.2; asimismo, se realizó el análisis final de cadmio dando como resultado un rango de 1.20 a 1.43 ppm, estos datos sí cumplen con la normativa vigente para este metal DS N° 011-2017-MINAM ECA suelo como se observa en la Figura 26.

Se tiene como referencia el dato del Cadmio en el lodo residual proveniente del MBR, siendo de 3.05 ppm, por lo que se puede afirmar que el cadmio en el compost con lodos residuales en distintas dosis presenta una reducción en el contenido total, teniendo una mayor reducción en el tratamiento 2 con una diferencia de 0.59 ppm, en comparación con el tratamiento 1 (0.35 ppm) y tratamiento 3 (0.55 ppm). Según Huayllani (2017) nos

indica que el compostaje baja contenido de cadmio de los lodos utilizados, puesto que en su trabajo realizando compostaje con lodos residuales tiene la misma tendencia a disminuir el porcentaje de cadmio final, en el tratamiento 1 (2% Microorganismos Eficaces) obtuvo una disminución de 12.5%, lo mismo con el tratamiento 4 (8% ME) una disminución de 0.71%.

**Figura 26.** Análisis de Cadmio inicial vs Cadmio final en suelo con abono



En el **anexo 20-B**, el análisis de varianza para cadmio muestra que no hay diferencia significativa entre grupos y dentro de los grupos; Por otro lado, el coeficiente de variación es de 0,12%, lo que indica que los datos obtenidos en campo son confiables.

#### 5.4 Efecto del abono en el crecimiento y desarrollo del maíz

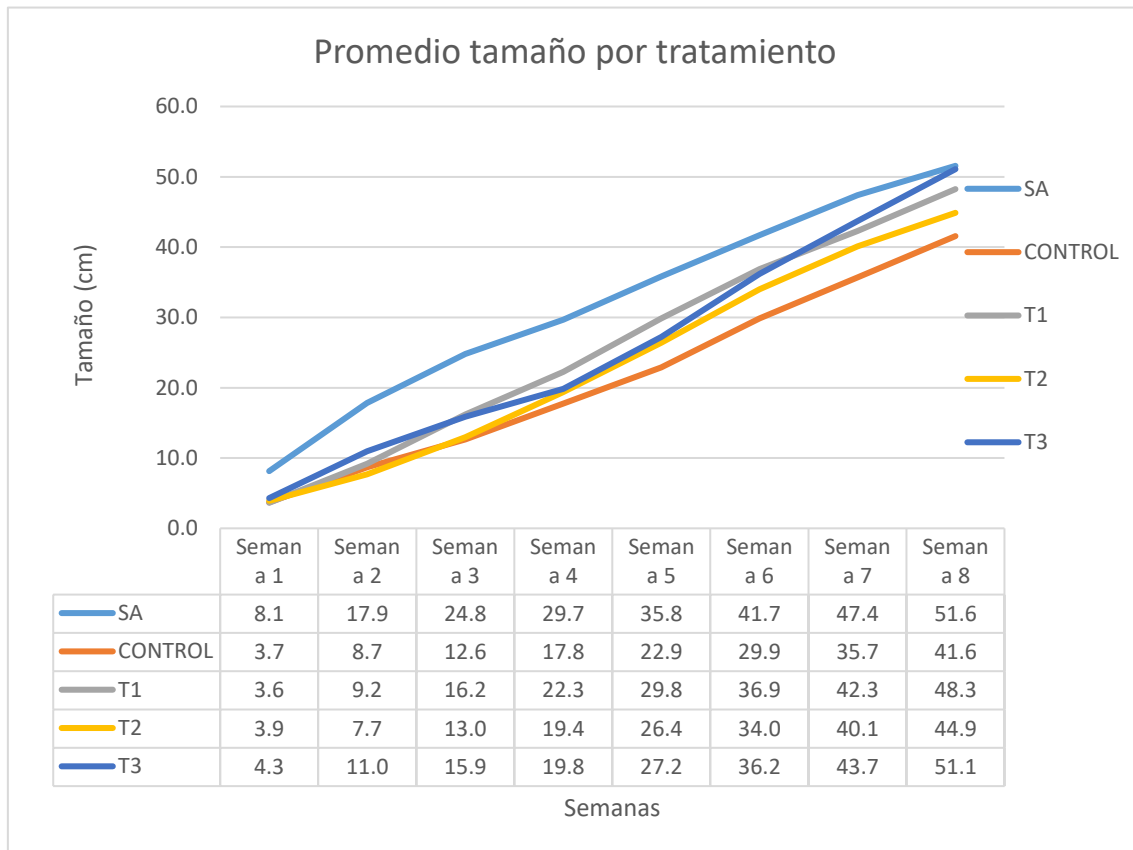
##### 5.4.1 Crecimiento semanal del maíz

Se midió el crecimiento del maíz una vez por semana durando dos meses, como se observa en la Figura 27, la última semana del experimento el maíz en suelo agrícola y el tratamiento 3 (lodo al 47%) tienen aproximadamente el mismo tamaño con 51.6 cm y



51.1 cm, respectivamente, seguido del tratamiento 1 (lodo al 23%) con 48.3 cm, el tratamiento 2 (lodo al 37%) con 44.9 cm y por último el control con 41.6 cm.

**Figura 27.** Promedio altura de planta en cm por tratamiento



En el **anexo 22-B** en análisis, mediante ANOVA, no se encontró diferencias significativas, en cuanto a altura de la planta, entre tratamientos y control. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es de 0.16%, lo que nos señala que los datos conseguidos en campo son confiables. Existe correlación entre el Cadmio y la altura de la planta. La correlación es directa: a mayor cadmio, mayor es el crecimiento (**anexo 21-B**).

En la figura 27 se presenta el crecimiento semanal del maíz la comparación de los promedios en el anexo 22-B demuestran que independientemente de las dosis evaluadas no hay diferencias significativas. Por otro lado, el crecimiento del cultivo no coincide con lo reportado por Porcel et al (1995) y Reyes et al (1996) quienes si

encontraron una diferencia significativa entre las parcelas fertilizadas con 11t-ha<sup>-1</sup> y las parcelas obtenidas por fertilización mineral de 800kg ha<sup>-1</sup> de la fórmula 15-15-15 más 350kg ha<sup>-1</sup> de urea. Por un lado, estas diferencias pueden deberse a desigualdades en el origen, composición y tipo de lodo utilizado (crudo o descompuesto, transformado, etc.) (textura, contenido de materia orgánica, pH), así como la vida útil.

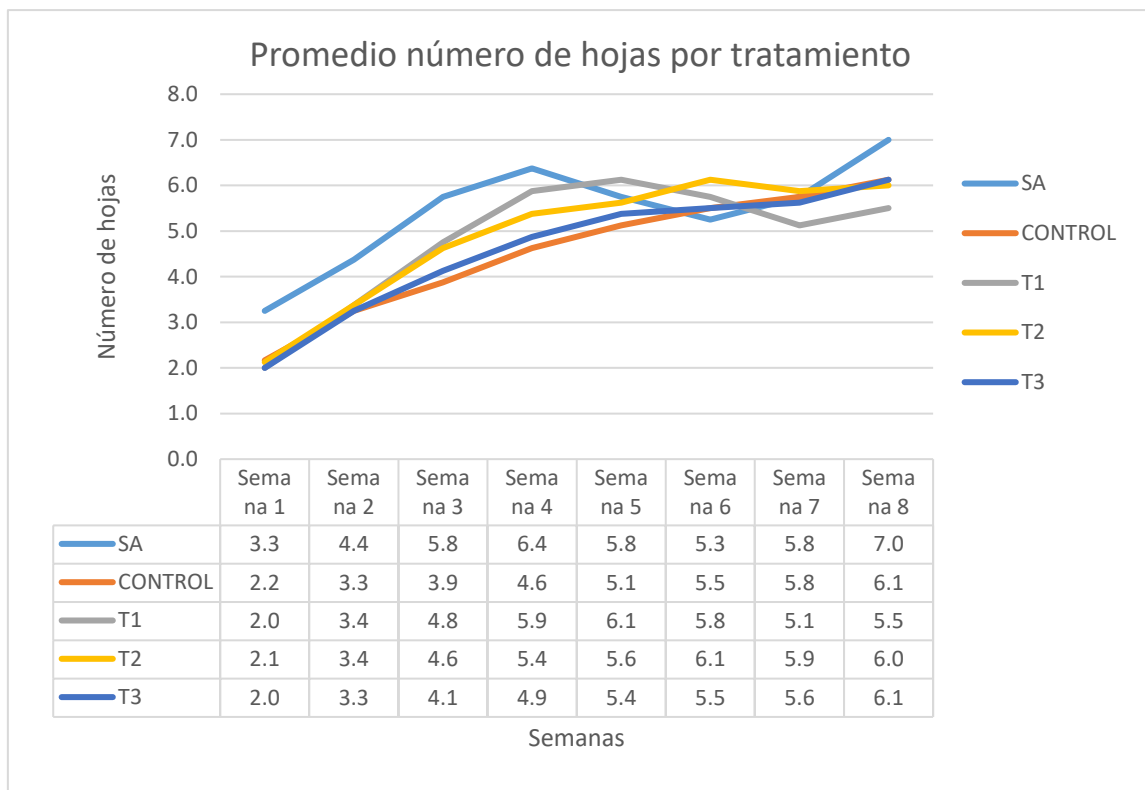
Los resultados de crecimiento pueden compararse con los encontrados por Salcedo et al., (2007) cuando evaluaron el crecimiento y rendimiento de maíz a diferentes concentraciones de lodo T1: fertilización mineral con 150 kg ha<sup>-1</sup> de fórmula 18-6-00 y 200 kg ha<sup>-1</sup> de urea, T2: 10t ha<sup>-1</sup> de lodos deshidratados, T3: 20t ha<sup>-1</sup> de lodos deshidratados, T: 10t ha<sup>-1</sup> de composta y T5: 20t ha<sup>-1</sup> de composta. Los tratamientos se repartieron según bloques al azar con cuatro repeticiones. Cada parcela experimental consta de hileras de 8 m de largo, la distancia entre hileras es de 0,80 m y la distancia entre plantas es de 0,30 m.

En este caso el crecimiento los tratamientos con lodos no tuvieron diferencias significativas con respecto a la fertilización química, existen evidencias de que el incremento de tamaño cuando se integran lodos no son únicamente la consecuencia de un incremento para aportar nutrientes a las plantas, pero también son el resultado de una mejora en las propiedades físicas y químicas del suelo que recibe estas materias orgánicas (Cunningham et al., 1975; Aguilar et al., 1999, Mbila et al., 2003).

#### **5.4.2 Número de hojas semanal del maíz**

El número de hojas de cada tratamiento se contabilizó una vez por semana, como se observa en la figura 28, teniendo como resultado en la última semana del experimento la mayor cantidad de hojas en el suelo agrícola con 7 hojas por maceta, seguido del control y tratamiento 3 (lodo al 47%) con 6.1 hojas por maceta, luego el tratamiento 2 (lodo con 37%) con 6 hojas por maceta, y por último el tratamiento 1 (lodo al 23%) con 5.5 hojas por maceta.

**Figura 28.** Promedio número de hojas por tratamiento

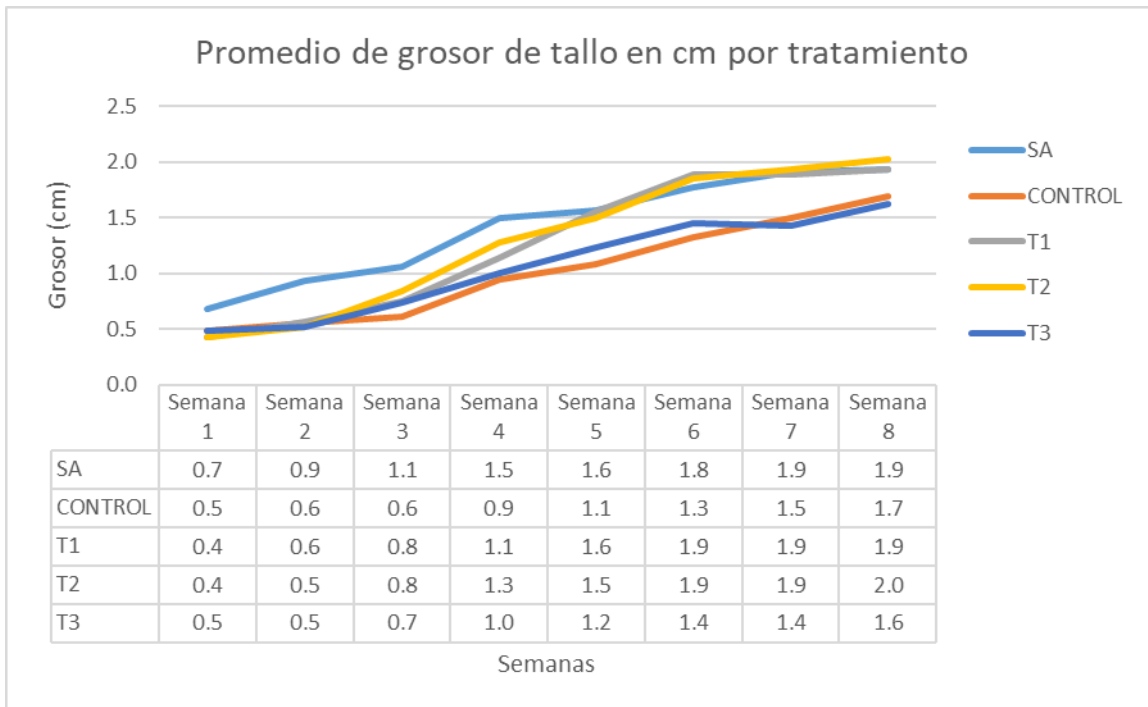


En el **Apéndice 22-B**, el análisis de varianza del número de hojas no mostró diferencias significativas entre grupos y dentro de los grupos. Por otro lado, el coeficiente de variación es de 0,22%, lo que indica que los datos obtenidos en campo son confiables.

### 5.4.3 Grosor de tallo por tratamiento

En cuanto al grosor del tallo se midió con el vernier una vez por semana, como se observa en la figura 29, teniendo como resultado en la última semana del experimento el tratamiento 2 (lodo al 37%) terminó con un promedio de 2 cm de grosor de tallo por maceta, seguido del tratamiento 1 (lodo al 23%) y suelo agrícola con 1.9 cm de grosor de tallo por maceta, luego el control con 1.7 cm de grosor de tallo por maceta, y por último el tratamiento 3 (lodo al 47%) con 1.6 cm de grosor de tallo por maceta.

**Figura 29.** Promedio de grosor de tallo en cm por tratamiento



En el **anexo 22-B**, el análisis de varianza para grosor de tallo revela que no hay diferencia significativa entre grupos y dentro de grupos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es de 0.18%, lo que nos señala que los datos conseguidos en campo son confiables.

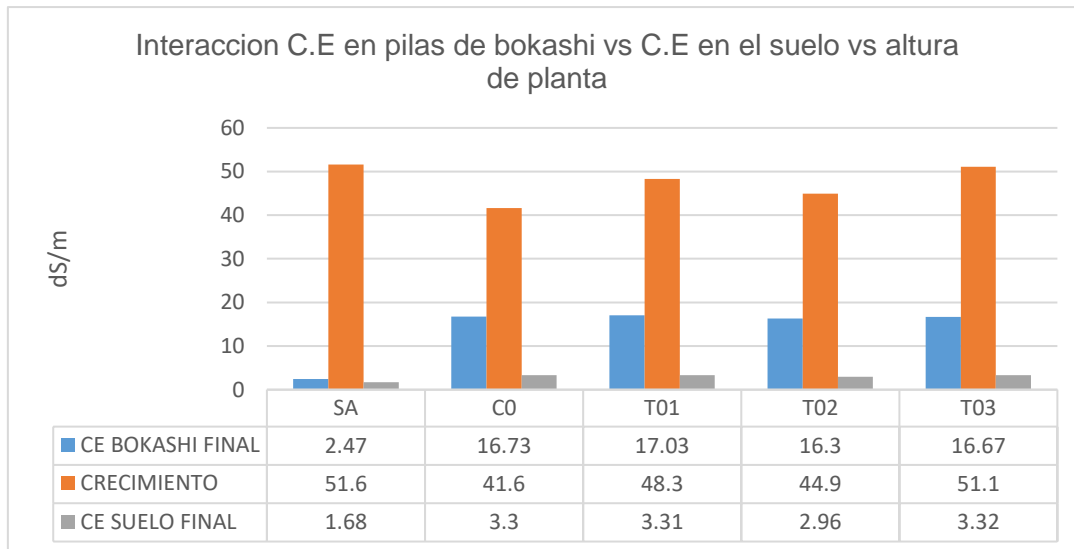
#### 5.4.4 Interacción de la CE con el crecimiento del maíz

Observamos en la figura 30 que la CE en suelo agrícola fue menor tanto inicial como final en comparación con el control y tratamientos. Asimismo, se observa que la CE final tanto en el control como en tratamientos está en un rango de 2.96 a 3.32 dS/m, lo que podría deberse a la presencia del estiércol en las mezclas.

El crecimiento del maíz, número de hojas y diámetro del tallo hasta la semana 8 no mostró diferencias significativas en ningún tratamiento ni control. El hecho de que esto ocurra puede deberse al nivel de conductividad eléctrica que, al estar en un rango de 2-4 dS/m, hace que el suelo sea levemente salino y el maíz no pueda tener el crecimiento adecuado. La CE en el suelo agrícola es baja a pesar de no tener sustratos adicionales, pero observamos que el maíz tiene el mismo crecimiento que el tratamiento 3. El suelo se ve afectado por la adición de estiércol y lodo; asimismo, la actividad de los microorganismos baja cuando la CE incrementa, así sea un suelo moderadamente salino, impide el crecimiento adecuado del cultivo (USDA, s.f.).

Por otro lado, la concentración de cadmio aumentó según la cantidad de lodo utilizado en cada tratamiento: a mayor cantidad de lodo, mayor presencia de cadmio. Munive et al. (2018) observaron que existe un menor crecimiento del maíz cuando hay una mayor concentración de cadmio. También Flores (2017) notó que el crecimiento del maíz es más lento en la primera etapa del estado de crecimiento vegetal del maíz, teniendo como resultado a los dos meses de empezado la siembra un promedio de 43 a 50 cm de altura y en el quinto mes, cuando el cadmio está en un rango de 1.10 ppm, el crecimiento pasa de un aproximado de 7 cm a 8 cm mensuales.

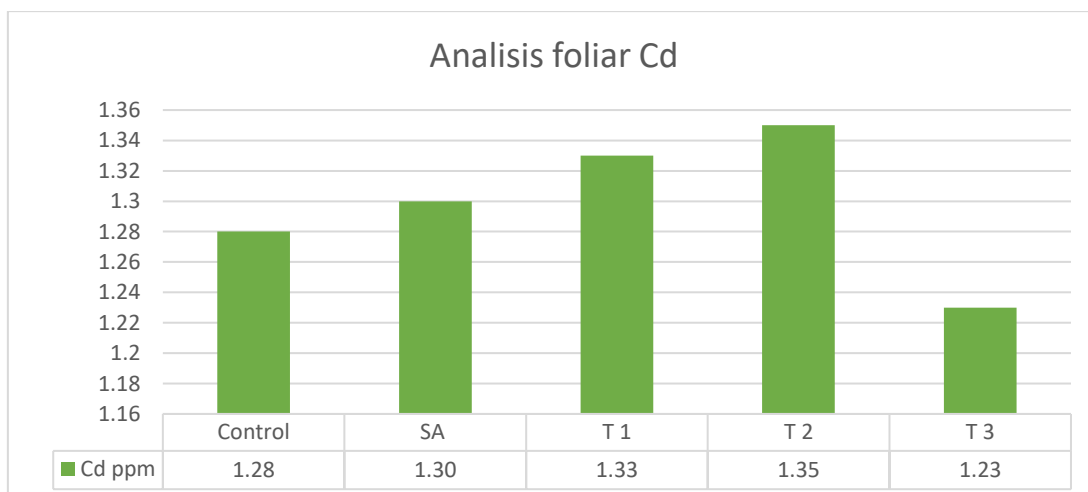
**Figura 30.** Interacción C.E en pilas de bokashi vs C.E en el suelo vs altura de planta



#### 5.4.5 Análisis Foliar de Cadmio

Como análisis final, se realizó el análisis foliar de Cadmio a las hojas de maíz (Anexo 10-A) de cada tratamiento y sus respectivas repeticiones, dando como resultado lo observado en la figura 31. La mayor cantidad de Cadmio foliar se encontró en el tratamiento 2 (lodo al 37%) con 1.35 ppm, seguido del tratamiento 1 (lodo al 23%) con 1.33 ppm, luego el suelo agrícola con 1.30 ppm, después el control con 1.28 ppm y finalmente el tratamiento 3 (lodo al 47%) con 1.23 ppm de Cadmio.

**Figura 31.** Análisis foliar de Cadmio



## VI. Conclusión

El lodo deshidratado proveniente de la PTAR Esmeralda Corp podría ser usado como biosólido debido a que cumple lo indicado en el DS N°015- 2017-VIVIENDA, pero se debe tener en cuenta el monitoreo constante metales pesados, en especial el cadmio como se observó en los tratamientos 1 con lodo al 23%, tratamiento 2 con lodo al 37% y tratamiento 3 con lodo al 47% donde se encontró que la concentración de cadmio incrementa según la cantidad de lodo que se utilice y también se debe de monitorear la CE al momento de ser utilizado.

El uso de lodo deshidratado como componente del bokashi afecta el pH y CE del abono resultante, sin embargo, los demás parámetros como N, P, K, Ca, Mg, Na y materia orgánica permanecen dentro de los rangos óptimos para un abono de buena calidad.

Según la CE del suelo agrícola este es un suelo no salino, en cambio el control y tratamientos se vieron afectados por la aplicación de abono con lodo deshidratado en especial por el uso de estiércol de centro de engorde incrementando su CE, esto impide al abono actuar de manera eficiente generando un crecimiento poco acelerado al cultivo.

Para finalizar, el crecimiento y desarrollo del maíz vemos que no existen diferencias significativas en el tamaño, grosor de tallo y número de hojas entre los tratamientos y el control, en cambio se ve una diferencia frente al Suelo Agrícola debido a la alta conductividad eléctrica (CE) del estiércol que afectó el crecimiento del maíz.

## VII. RECOMENDACIONES

- Analizar los parámetros iniciales y finales de todos los materiales a utilizar en la preparación del bokashi.
- Utilizar diferentes concentraciones de lodo deshidratado para determinar una fórmula que beneficie al cultivo y a la calidad del suelo.
- Colocar las macetas a nivel de invernadero y en condiciones favorables según el tipo de cultivo a utilizar.
- Utilizar otros cultivos indicadores de tallo bajo como el tomate, espinaca u otros para determinar la efectividad del abono



## VIII. Referencias bibliográficas

- Acosta, Y., Zarraga, A., Rodríguez, L. y Zauahre, M. (2012) Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. *Multiciencias* 12(1), 18-24.
- Aguilar, M. I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., y Ortuño, J (2012). *Tratamiento por coagulación-floculación de un efluente de matadero. Aumento de la velocidad de sedimentación mediante la adición de coadyudantes inorgánicos*. Murcia: EDITUM.
- Ancco, Y (2014). *Producción de gladiolo (Gladiolus gandavensis) con lodo residual tratado en la ciudad de Puno* (tesis de maestría). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Arevalo, P. (2016). *Tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de huevos de helmintos*. (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Berrio, J. & Panzza, R. 2006. Caracterización y evaluación físico-química de tres tipos de abonos orgánicos tipo Bokashi utilizando diferentes clases de sustratos en la comunidad de San Rafael municipio de Ovejas departamento de Sucre. Trabajo para optar al título de Ingeniero Agroindustrial. Sincelejo, Colombia, Universidad de Sucre. 141 pp
- Bermudez, F (1997). *Aplicación agronomica de lodos residuales a suelos en ambientes semiaridos y su efecto sobre propiedades fisico-quimicas* (tesis de doctorado). Universidad de Lleida, España.
- Brechelt, A. (2004). Manejo ecológico del suelo. Fundación Agricultura y Medio Ambiente-FAMA. Red de Acción de Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina. RAP-AL. Santiago de Chile.
- Bueno, P., Diaz, M., y Cabrera, F. (2015). Factores que afectan al proceso de Compostaje. Digital.CSIC. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- Buitrago y Garzon (2019) *Propuesta para la producción de abono orgánico a partir de los lodos residuales generados en la PTAR del parque agroindustrial de occidente operada por Sitaga S.A.S* (tesis de pregrado). Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia.
- Cabezas, J., Alonso, J., Pastor, J., Sastre-Conde, I y Lobo, M (2004). Absorción y acumulación de metales pesados en tres especies vegetales en suelos

- enmendados con lodos de depuradora. *Environmental Biotechnology and Engineering*, 6-8.
- Caro, R (2012). Estudio de la aplicación de Biorreactores de Membrana (MBR) en la depuración de las aguas residuales (tesis de posgrado). Universidad de Cádiz, Andalucía, España.
- Castaldi P., Alberti G., Merella R., Melis P (2005). Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Manag*, 209-213.
- Castro, U (2003). Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 45-63.
- Chunga, E. (2014). *Propuesta de compostaje de los lodos removidos de las lagunas de*
- Cicek, N., Winnen, H., Suidad, M., Wrenn, B., Urbain, V y Manem, J (1998). Effectiveness of the membrane bioreactor in the biodegradation of high molecular weight compounds, *Wat Res*, 189-196.
- Chicón, L. (2009). *Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos* (Tesis de doctorado) Universidad de Málaga, España.
- Condorchem envitech (8 de mayo de 2017). Recuperado el 10 de noviembre de 2018, de Tratamiento de las aguas residuales en la industria cárnica: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-carnica/>
- DECRETO SUPREMO Nº 015-2017-VIVIENDA, Diario El Peruano, Lima, Perú, 22 de junio de 2017.
- Dios, M (2008) *Estudio y desarrollo de técnicas respirométricas para el control de la estabilidad del compost* (tesis de doctorado). Universidad de Córdoba, Argentina.
- DLC S.A. (2016). *Deshidratación de lodos centrífugas/decanter*. Sanriago: DLC.
- Donado, R (2013). *Plan de gestión para lodos generados en las PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los Llanos en el departamento del Meta* (tesis de posgrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, Colombia.
- Eghball, B., D. Ginting, and J. E. Gilley. (2004). Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96: 442-447
- Ekinci, K., Keener, H., Elwell, D (2004). Effects of aerations strategies on the composting process: Part I. Experimental studies. *ASAE*, 97-108.
- EM Producción y Tecnología S,A (EMPROTEC) (2012). *Guía de la Tecnología de EM*. San Juan de Tibás, Costa Rica: EMPROTEC.
- Emison (2009). Compostaje Industrial. Recuperado el 14 de noviembre de 2018, de Pilas de Compostaje: <http://www.emison.com/5141.htm>

- EPA (1996) Method 3050B: Acid Digestion of sediments, sludges, and soils.
- EPA (2006) Method 1680: Fecal Coliforms in Sewage Sludge (Biosolids) by MultipleTube Fermentation using Lauryl Tryptose Broth (LTB) and EC Medium
- EPA (2014) Aqua Kontrol 30-30. Recuperado el 22 de febrero del 2021. Disponible en: <https://silo.tips/download/masterline-aqua-kontrol-30-30>
- FAO y Ministerio de Agricultura y Ganadería (2011). elaboración y uso del bocashi. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/at788s/at788s.pdf>
- Felipo, M (1994). Agricultura sostenible: Manejo y conservación de suelos en sistemas agrícolas sostenibles. Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos Mediterráneos, Zaragoza, España.
- Flores, A. 1991. Suelos salinos y sódicos. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Riego. La Habana, CU. 32 p
- Flores, R (2018). Efectos adversos de materiales pesados en la agricultura de la cuenca baja del río Huaura- provincia Huaura 2017. Revista Ciencia y Tecnología. 14(4), 119-131.
- Francisco, J., Ramos, J., y Aguirre, G. (2011). Aprovechamiento agrícola del lodo generado en la PTAR de Puente Piedra - Lima. Revista de la Sociedad Química del Perú, 77(1), 66-74. Recuperado en 15 de abril de 2020, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.pHp?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2011000100008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.pHp?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000100008&lng=es&tlng=es)
- Galan, E. y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por Metales Pesados. Revista de la sociedad española de mineralogía. 10(1), 48-60.
- Galvis, M y Romero, J (2017). Estado del arte de los biorreactores de membrana. Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería. 108(1), 7-13.
- González-Salas U., Gallegos-Robles M.Á., Vázquez-Vázquez C., García-Hernández J.L., Fortis-Hernández M. y Mendoza-Retana S.S. (2018). Productividad de genotipos de maíz forrajero bajo fertilización orgánica y propiedades físico-químicas del suelo. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 20, 4331-4341.
- Groppelli, E (2017). *Tratamiento de Efluentes Líquidos*. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral.
- Haug, R (1993). The practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
- Hernández, A (1990). Depuración de aguas residuales. Madrid, España: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

- Hernandez, C, Gutierrez, A., Manuel, J., Gonzales, D., Rubio, C. Revert, C., Burgos, A y Hardisson, A. (2017). Heavy Metal Content in Sewage Sludge: A Management Strategy for an Ocean Island. *Rev. salud ambient.* 2017; 17(1):3-9
- Huamán, J y Campos, H. (2019). *Análisis y tratamiento de lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba para la obtención de compost y ladrillos combustibles* (tesis de pregrado). Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca, Perú.
- Huayllani, K. (2017). *Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepcion, 2016* (Tesis de pregrado). Universidad Continental, Lima, Perú
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2016). *Generación de agua residual en lima metropolitana*. Lima.
- Kiehl, F (1985). Fertilizantes orgânicos. Editora Agronomica Ceres, Sao Paulo.
- Kováčik P., Šalamun P., Smoleň S. y Renčo M. (2018). Impact of vermicompost as component of growing medium on pHytomass formation of radish (*RapHanus sativus* L.). *Agriculture* 64 (3), 106-115. DOI: 10.2478/agri-2018-0011
- Labarca, R, González, L., González, O. y Jiménez, M. (2018). Caracaterizacion del abono Bocachi y su aplicación en el cultivo del pimenton (*Capsicum annum*, L.) en el estado Falcon. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de la Educación, Turismo, Ciencias Sociales y Económica, Ciencias del Agro y Mar y Ciencias Exactas y aplicadas.* 3(6), 109-127. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7062682.pdf>
- Liang, C y McClendon, R (2003) The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Biores. Technol*, 131-137.
- Limón, J (2013) Lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Academia de ingeniería México, Guadalajara, México.
- Lugo, Del Aguila, Vaca, Casas y Yañez (2016) Abono organico elaborado con lodo residual y estiercol equino a través de vermicomposteo: una propuesta como mejorador de suelos. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* 33(3), 475-484.
- Torres, L., Escobar, J., Pérez A., Imery V., Nates, P., Sánchez, G., y Sánchez, M. (2012). Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales - PTAR. *Ingeniería e Investigación* 25(2)m 54-61

- Macias, G. L. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?* Guadalajara, Mexico.
- Madeleine Inckel, P. d. (2002). The preparation and use of compost. *Agrodok*, 47-53.
- Mancipe, L y Triviño, M (2018). Valoración de lodos de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como materia prima para la extracción de lípidos en la obtención de biodiésel. *Reviasta ION* 31(1), 71-79.
- Martínez L.E., Vallone R.C., Piccoli P.N. y Ratto S.E. (2018). Evaluación de propiedades edáficas químicas, biológicas, rendimiento y composición vegetal en un viñedo de Mendoza (Argentina) con diferentes tipos y modos de aplicación de abono orgánico. *Universidad Nacional de Cuyo. Revista de la Facultad de Ciencias Agrícolas* 50 (1), 17-32.
- Mendoza, M. (2012). *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura* (tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Metcalf y Eddy (1995). *Ingeniería de agua residuales tratamiento, vertimiento y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.
- Michel, F.C., Pecchia, J.A., Rigot, J (2004). Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. *Compost Sci*, 323-334.
- Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino (2014). *Manual de compostaje*. Madrid: V. A. Impresiones, S.A.
- Miyatake, F e Iwabuchi, K (2006). Effect of compost temperatura on oxygen uotake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorgannisms in diary cattle manure. *Biores. Technol*, 961- 965.
- Miyashiro, I (2014). *Calidad de seis formulaciones de compost enriquecido con guano de islas* (tesis de pregrado). Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Moodley, P., Archer, A., Hawksworth, D. (2008). Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa. Report to the Water Research Commission (WRC), WRC Report No. TT322/08, South Africa
- Moreno, J y Mormeneo, S (2008). Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje (figura). *Compostaje* (p.115). España: Mundi-Prensa libros, 2008
- Moretón, E (2008). Módulo: Aguas Residuales. Filtración de lodos industriales. (En línea) 13 de noviembre de 2019. <https://www.eoi.es>
- Montalvo, P., Ortiz, L., Calle, J. Tellez, L. y Cesare, M (2018) Transformación del nitrogeno durante el compostaje de bosta de caballo. *Tevista Producción*. 13(2), 77-88.

- Munive, R., Loli, O. Azabache, A. y Gamarra, S. (2018) Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*.9(4), 551-560.
- Najar, T.(2014). *Evaluación de la eficiencia en la producción de compost convencional con la aplicación de la tecnología EM (microorganismos eficaces) a partir de los residuos orgánicos municipales, Carhuaz 2012* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Huaraz.
- Naya, D. (2007). Respuesta Fisiológica, Bioquímica y Molecular de las Leguminosas a Estrés Abióticos (tesis doctoral). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Zaragoza.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: FAO.
- Ortega, P (2012). Elaboración del bokashi sólido y líquido. Disponible en <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3347/1/TESIS.pdf>. Consultado el 15 de abril del 2021.
- Picado, J., y Añasco, A. (2005). *Preparación y uso de abonos orgánicos y líquidos*. San José: Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense.
- Pilar Román, M. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile: FAO.
- Pinto, F y Mayorga, D. (2015). *Comparación entre la técnica Bokashi y el equipo earth green sac 100 para la obtención de compost a partir de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados en la Universidad de la Salle Sede Sandelaria* (tesis de pregrado). UNIVERSIDAD DE LA SALLE, Bogotá, Colombia.
- Pomalaza, J y Ramos, J. (2016). *Vermiestabilización de lodos activados para la obtención de compost y su efecto en el índice de calidad de plántulas de Pinus radiata D.DON. – San Pedro de Saño* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Ramirez, P. (2016). *Condiciones de salinidad y recuperación de los suelos de la cancha pública de golf - San Bartolo, Lima* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Ramos Agüero, David, & Terry Alfonso, Elein. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bokashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59. Recuperado en 24 de septiembre de 2021, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362014000400007&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007&lng=es&tlng=es)
- Ramos, A., Terry, E., Soto, F. y Cabrera, J. (2014). Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá.

- Cultivos Tropicales, 35(2), 90-97. Recuperado en 05 de febrero de 2022, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362014000200012&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000200012&lng=es&tlng=es).
- RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 093-2018-VIVIENDA, Diario el Peruano, Lima, Perú, 13 de marzo de 2018.
- RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 128-2017- VIVIENDA, Diario el Peruano, Lima, Perú, 5 de abril de 2017.
- Restrejo, J. (1996). Abonos orgánicos fermentados. OIT. Boletín Informativo. CEDEPE. Cali Colombia.
- Reyes, D et al. ESTABILIZACIÓN POR VERMICOMPOSTEO DE LODOS RESIDUALES APLICADOS EN LA PRODUCTIVIDAD DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.). Revista Internacional de Contaminación Ambiental, [S.l.], v. 36, n. 2, p. 371-381, apr. 2020. ISSN 01884999. Disponible en: <<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.pHp/rica/article/view/RICA.53537/47007>>. Fecha de acceso: 22 aug. 2020 doi:<http://dx.doi.org/10.20937/RICA.53537>.
- Reynolds, K. (2012). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: Identificación del Problema. *De la llave*.
- Román, P., Martínez, M., y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile: FAO.
- Ruiz, A. (2003). *Compostación de los residuos sólidos orgánicos generados en la Universidad de Piura*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Santoya J.J.E., Gómez-Álvarez R., Jarquín-Sánchez A. y Villanueva-López G. (2018). Caracterización de vermicompostas y su efecto en la germinación y crecimiento de *Capsicum chinense* Jacquin. *Ecosist. Recur. Agropec.* 5 (14), 181-190. Disponible en
- Shulze, K (1962). Continuous Thermophilic Composting. *Microbiol*, 108-122
- Silva V., J. P., López M., P., & Valencia A., P. (s.f.). "Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje". Universidad del Valle - Facultad de Ingeniería. Cali - Colombia. Disponible en <https://docplayer.es/22059660-Recuperacion-de-nutrientes-en-fase-solida-a-traves-del-compostaje.html>. Consultado el 22 de setiembre de 2021.
- Silva, J., Rodríguez, W., & Rosas, G. (2014). Caracterización física y química de bokashi y lombricompost y su evaluación agronómica en plantas de Maíz. *Ingenierías & Amazonia*, 7(1), 5–16. [http://www.udla.edu.co/revistas/index.pHp/ingenierias-y-amazonia/article/view/336/pdf\\_26](http://www.udla.edu.co/revistas/index.pHp/ingenierias-y-amazonia/article/view/336/pdf_26)

- SINIA. (s.f.). Otros procesos relacionados con los sistemas de tratamiento de aguas residuales. En SINIA, *Tratamiento y Reuso de AGUAS RESIDUALES* (pág. 22). Lima.
- Smith, D. C., V. Beharee, and J. C. Hughes (2001). The effects of composts produced by a simple composting procedure on the yields of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *flavescens*) and common bean (*Phaseolus vulgaris* var. *nanus*). *Sci. Hortic.* 91: 393-406.
- Suler, D y Finstein, S (1977). Effect of Temperature, Aeration and Moisture on CO<sub>2</sub> Formation in Bench-Scale, continuously Thermophilic Composting of Solid Waste. *Microbiol.* 33 (2): 345-350.
- Sundberg, C (2005). *Improving Compost Process Efficiency by Controlling Aeration, Temperature and pH* (tesis de posgrado). The Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suecia.
- Sundberg, C., Smars, S., Jonsson, H (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Technol*, 145 - 150.
- Sztern, D. y Pravia, M. (2010). manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Recuperado de: <http://ops-uruguay.bvsalud.org/pdf/compost.pdf>
- Tomati, U., Madejon, E., Galli, E. (2000). Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability. *Compost Sci*, 108-115.
- Torres, P., Escobar, J., Pérez, A., Imery, R., Nates, P., Sánchez, G., Sánchez, M. y Bermúdez, A (2005) *Revista Ingeniería e Investigación*, 53-61.
- Ugarte, H. O. (2008). *Tratamiento de aguas residuales domesticas, por el proceso de lodos activados ¿ una alternativa para centroamérica?* . Panamá: Revista PANALDIS.
- United States Department of Agriculture - USDA (s.f). Soil Electrical Conductivity. Recuperado el 12 de octubre de 2021 de [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_053280.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053280.pdf)
- Velázquez Machuca, Martha Alicia, Equihua Soriano, Juan Rosario, Venegas González, José, Montañez Soto, José Luis, Pimentel Equihua, José Luis, & Muñoz Navia, Milton. (2019). Caracterización física y química de biochar de lodos residuales. *Terra Latinoamericana*, 37(3), 243-251. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.409>
- WALLACE, A.; ROMNEY, E.; ALEXANDER, G.; KINNEAR, J. (1977). Phytotoxicity and some interactions of the essential trace metals iron, manganese, molybdenum, zinc, copper, and boron. *Soil Sci. Plant Anal.* 8(9): 741-750.



Zucconi, F., De Bertoldi, M. (1987). Specifications for solid waste compost. Biocycle, 56-61.

## IX. Abreviaturas

<b>ABREVIATURA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
MBR	Membrana de Ultrafiltración
pH	Potencial de hidrogeno
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
ANOVA	Análisis de varianza
HSD Tukey <sup>a</sup>	Honestly-significant-difference test de Tukey
°C	Grados centígrados
CE	Conductividad eléctrica
dS/m	Decisiemens por metro
%	porcentaje
cm	centímetro
CO	Control
SA	Suelo agrícola
T01	Tratamiento 1
T02	Tratamiento 2
T03	Tratamiento 3

## X. Anexos



www.esmeraldacorp.pe  
 Mz. G Lote 1  
 (All. Km 10,5 Panamericana Sur)  
 San Juan de Miraflores - Lima - Perú  
 T. 617 8900  
 esmeralda@esmeraldacorp.pe

### Anexo 1. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA

Yo, Maria Luisa Flores Chumbipuma, identificado con DNI N°0786793, en mi calidad de (nombre del cargo) del área de Gerente de Sostenibilidad de Medio Ambiente de la empresa **ESMERALDA CORP S.A.C** con R.U.C N° 20100076072 ubicada en el distrito de San Juan de Miraflores en Lima, Perú.

#### AUTORIZO,

A la señorita Arleth Edyra Hualpa Pinto identificado con DNI N° 72627889 bachiller de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad científica del Sur que utilice la siguiente información de la empresa:

- Nombre de la empresa
- Facilidades de la instalación
- Insumos de trabajo de investigación

con la finalidad de que pueda desarrollar su Trabajo de Investigación "APLICACIÓN DEL BOKASHI EN EL MEJORAMIENTO DE LODOS DESHIDRATADOS DEL PROCESO BIORREACTOR DE MEMBRANA (MBR) EN LA EMPRESA ESMERALDA CORP. LIMA" para optar su Título Profesional.

ESMERALDA CORP S.A.C.

MARÍA LUISA FLORES  
 GERENTE DE SOSTENIBILIDAD

Firma y sello del Gerente de Sostenibilidad

DNI: 07863793

## Anexo 2. Matriz de consistencia de la investigación

<b>Problemática</b>	Los lodos activados son un residuo industrial que usualmente es incinerado o colocado en un relleno sanitario, pero en los últimos años se está usando como materia prima para la obtención de abono. Para esto se utiliza la técnica del compost la cual requiere muchos aditivos y 60 días para ver resultados, en cambio la técnica del bokashi necesita 20 días, menos aditivos y da como resultado abono de calidad.
<b>Objetivo</b>	<p><b>General:</b> Determinar el efecto de la técnica del Bokashi sobre el lodo deshidratado para su aprovechamiento como abono de calidad en la empresa Esmeralda Corp</p> <p><b>Específico:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Determinar el efecto de la aplicación del lodo activado y mejorado para su uso como abono.</li> <li>● Analizar el efecto de la aplicación del abono en el mejoramiento de la fertilidad del suelo.</li> <li>● Estudiar el efecto del abono en el crecimiento y desarrollo del maíz (<i>Z mays</i>).</li> </ul>
<b>Variables</b>	<p><b>Dependiente:</b> Lodo deshidratado</p> <p><b>independiente:</b> Técnica del bokashi</p>
<b>Metodología</b>	Análisis de laboratorio Diseño experimental puro cuantitativo
<b>Indicadores</b>	Parámetros por medir del lodo deshidratado: contenido de nitrógeno, fosforo, potasio y materia orgánica. Ritmo de crecimiento de la planta: altura de la planta, numero de hojas, grosor del tallo.

Fuente: elaboración propia

### Anexo 3. Tabla de Operacionalización de variables

Objetivos específicos	Variable	Dimensión	Indicadores
Determinar el efecto de la aplicación del lodo deshidratado y mejorado para su uso como abono.	Lodo deshidratado abono	Caracterización de materias orgánicas solidas	Parámetros por medir del lodo: pH, conductividad eléctrica, contenido de nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio, sodio y materia orgánica
Analizar el efecto de la aplicación del abono en el mejoramiento de la fertilidad del suelo	Fertilidad del suelo	Caracterización de suelo	Parámetros por medir del suelo: pH, conductividad eléctrica, contenido de nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio, sodio y materia orgánica
Estudiar el efecto del abono en el crecimiento y desarrollo del maíz (Zea mays L.).	Crecimiento del maíz	Desarrollo del maíz	Ritmo de crecimiento de la planta: altura de la planta, numero de hojas, grosor del tallo.

Fuente: elaboración propia

**A. RESULTADOS DE LABORATORIO**

**Anexo 1-A. Análisis inicial de lodo deshidratado**



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC. - IAS  
CON REGISTRO TL - 829 y TL - 951**



**INFORME DE ENSAYO N° 145211 - 2020  
CON VALOR OFICIAL**

<b>RAZÓN SOCIAL</b>	: ESMERALDA CORP S.A.C.
<b>DOMICILIO LEGAL</b>	: AV. AUTOP PANAMERICANA SUR KM. 18.5 MZA. G LOTE 01 Z.I. LA CONCORDIA ALT. PARADERO LECHON - SAN JUAN DE MIRAFLORES - LIMA - LIMA
<b>SOLICITADO POR</b>	: LIDIA ZEVALLOS AGUIE TAHIRY RUBINA
<b>REFERENCIA</b>	: TESIS DE LODOS
<b>PROCEDENCIA</b>	: SAN JUAN DE MIRAFLORES
<b>FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA</b>	: 2020-11-21
<b>FECHA(S) DE ANÁLISIS</b>	: 2020-11-21 al 2020-11-30
<b>FECHA(S) DE MUESTREO</b>	: 2020-11-21
<b>MUESTREADO POR</b>	: SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.(1)

**I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:**

Ensayo	Método	L.C	Unidades
<b>Eggs of viable helminthes</b> (Huevos de helmintos viables)	Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Moodley et al: Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa (Moodley, Archer, Hawksworth, & Leibach, 2008).	1	Huevos /4g ST
Escherichia coli	EPA Method 1680 Fecal Coliforms in Sewage Sludge (Biosolids) by Multiple-Tube Fermentation using Lauryl Tryptose Broth (LTB) and EC Medium, 2014// SM Part 9221 G. (Item 2), 23rd Ed. 2017, Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures (PROPOSED), 2017.	0.1803 <sup>(a)</sup>	NMP/1g ST
<b>Metales:</b> Aluminum (Al), Antimony (Sb), Arsenic (As), Barium (Ba), Boron (B), Beryllium (Be), Cadmium (Cd), Calcium (Ca), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Copper (Cu), Iron (Fe), Lead (Pb), Lithium (Li), Magnesium (Mg), Manganese (Mn), Mercury (Hg), Molybdenum (Mo), Nickel (Ni), Phosphorus (P), Potassium (K), Selenium (Se), Silica (SiO <sub>2</sub> ), Silver (Ag), Sodium (Na), Strontium (Sr), Thallium (Tl), Estaño, Titanium (Ti), Vanadium (V), Zinc (Zn), Thorium (Th), Uranium (U), Tungsten (W)	EPA 3050-B (1996) Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils // SW-846 Method EPA 6010D, Rev. 5, 2018. Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES).	---	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.  
 (a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.  
 (1) Torno de muestra de acuerdo a plan de muestreo N° 145211 y procedimiento PL-009.

Ac  
Ve

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Lodo	Lodo	Lodo	
Matriz analizada	Lodo	Lodo	Lodo	
Fecha de muestreo	2020-11-21	2020-11-21	2020-11-21	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	10:30	11:00	
Coordenas UTM WGS 84 18L	284679.1E 8649376.6N	284679.1E 8649376.6N	284679.1E 8649376.6N	
Altitud (msnm)	10	10	10	
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	
Descripción del punto de muestreo	Primera toma de lodo.	Segunda toma de lodo	Tercera toma de lodo	
Código del Cliente	L-01	L-02	L-03	
Código del Laboratorio	20112893	20112894	20112895	
Ensayo	Unidad	Resultados		
Escherichia coli	-NMP/1g ST	2.2 x 10 <sup>6</sup>	2.1 x 10 <sup>6</sup>	2.0 x 10 <sup>6</sup>
<b>Eggs of viable helminths (Huevos de helmintos viables)</b>				
<b>Nemátodos</b>				
<b>Familia/Género/Especie:</b>				
<i>Ascaris sp.</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Ancylostomidae</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Enterobius vermicularis</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Trichouris sp.</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Toxocara sp.</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Capillaria sp.</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Trichostrongylus sp.</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<b>Céstodos</b>				
<b>Género/Especie:</b>				
<i>Dyphylidium sp.</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Taenia sp.</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Hymenolepis diminuta</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Hymenolepis nana</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Hymenolepis sp.</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<b>Tremátodos</b>				
<b>Género/Especie:</b>				
<i>Fasciola hepatica</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Paragonimus sp.</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<i>Schistosoma sp.</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<b>Acantocéfalo</b>				
<b>Género:</b>				
<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1
<b>Total<sup>1</sup></b>	Huevos /4g ST	<1	<1	<1

1: Indica el número de Huevos/L. total por kg de muestra incluyendo todas las especies encontradas.

Nota: <1 es equivalente a 0, lo que indica la no detección de huevos de helmintos.

Producto declarado	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo		
Matriz analizada	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo		
Fecha de muestreo	2020-11-21	2020-11-21	2020-11-21	2020-11-21		
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	10:30	11:00	11:00		
Coordenas UTM WGS 84 18L	294679.1E	284679.1E	284679.1E	284679.1E		
Altitud (msnm)	8649376.6N	8649376.6N	8649376.6N	8649376.6N		
Condiciones de la muestra	10	10	10	10		
Descripción del punto de muestreo	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	Primera toma de lodo	Segunda toma de lodo	Tercera toma de lodo	Tercera toma de lodo (Duplicado)		
Código del Laboratorio	L-01	L-02	L-03	L-03		
Ensayo	20112893	20112894	20112895	20112896		
L.D.M.	unidades	Resultados				
<b>Metales</b>						
Plata (Ag)	0.08	mg/kg	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
Aluminio (Al)	1.2	mg/kg	519.8	531.1	454.3	565.6
Arsénico (As)	0.1	mg/kg	10.4	12.1	9.5	13.1
Boro (B)	0.2	mg/kg	38.3	39.2	34.5	45.2
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	30.4	31.0	26.6	34.3
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Calcio (Ca)	3.1	mg/kg	20866.2	21063.7	18447.1	24063.3
Cadmio (Cd)	0.05	mg/kg	4.37	4.50	3.82	5.06
Cerio (Ce)	0.2	mg/kg	2.7	3.1	2.3	4.8
Cobalto (Co)	0.04	mg/kg	0.99	0.96	0.86	1.06
Cromo (Cr)	0.05	mg/kg	12.97	14.48	11.32	14.54
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	88.7	90.6	77.4	104.1
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	13198.8	13036.5	11561.5	14593.7
Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Potasio (K)	3.8	mg/kg	6292.7	6248.1	5662.1	6936.3
Litio (Li)	0.3	mg/kg	1.7	1.9	1.5	2.1
Magnesio (Mg)	4.1	mg/kg	3463.1	3360.0	2968.3	3804.5
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	60.35	62.10	54.27	69.07
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	3.3	3.2	3.0	3.9
Sodio (Na)	2.2	mg/kg	9559.9	9693.8	8589.2	10738.8
Níquel (Ni)	0.07	mg/kg	5.59	6.08	4.86	6.16
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	>6000	>6000	>6000	>6000
Plomo (Pb)	0.05	mg/kg	6.20	7.59	5.13	7.03
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Selenio (Se)	0.3	mg/kg	7.8	7.4	6.0	9.7
Estaño (Sn)	0.1	mg/kg	1.3	0.8	0.9	1.2
Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	230.8	240.2	207.3	275.9
Torio (Th)	0.2	mg/kg	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	13.34	14.15	12.14	15.77
Talio (Tl)	0.3	mg/kg	1.3	0.8	0.5	1.5
Uranio (U)	0.3	mg/kg	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	0.06	mg/kg	4.96	5.14	4.37	5.75
Wolframio (W)/Tungsteno	0.2	mg/kg	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Zinc (Zn)	0.3	mg/kg	303.8	306.7	263.5	351.1

L.D.N.: límite de detección del método.



**Anexo 2-A.** Análisis inicial de materia orgánica, conductividad eléctrica, potasio, fósforo y magnesio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMÍA  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**INFORME DE ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA**

SOLICITANTE : ESMERALDA CORP. S.A.C.  
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ SAN JUAN DE MIRAFLORES  
 MUESTRA DE : BOCASHI  
 REFERENCIA : H.R. 73468  
 FACTURA : 7304  
 FECHA : 11/01/2021

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
537	C01	8.09	15.00	63.01	1.61	0.09	2.23
538	T011	7.85	17.40	60.24	1.92	0.52	2.03
539	T022	7.97	12.70	57.75	1.92	0.56	1.58
540	T033	7.83	14.50	61.68	1.93	0.68	1.78

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
537	C01	2.77	0.76	57.85	0.93
538	T011	2.06	0.85	63.23	0.86
539	T022	3.37	0.79	67.57	0.80
540	T033	3.22	0.73	68.22	1.01



*B. La Torre*  
**Ing. Braulio La Torre Martínez**  
 Jefe de Laboratorio

### Anexo 3-A. Análisis final de materia orgánica, conductividad eléctrica, potasio, fósforo y magnesio



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



#### INFORME DE ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : ESMERALDA CORP S.A.C.  
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ SAN JUAN DE MIRAFLORES  
 MUESTRA DE : BOCASHI  
 REFERENCIA : H.R. 73682  
 FACTURA : 7388  
 FECHA : 03/02/2021

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
027	C01	8.15	16.80	29.23	2.22	1.52	2.08	4.54	1.01	52.02	0.93
028	C02	8.09	16.70	19.88	1.92	1.35	1.40	3.12	0.94	56.69	0.77
029	C03	8.11	16.70	32.75	2.24	1.54	1.58	3.20	0.80	53.30	0.84
030	T011	7.72	16.80	24.64	2.25	1.68	2.04	2.95	0.82	58.02	0.81
031	T012	7.81	17.40	35.19	2.27	1.60	2.09	3.43	0.93	60.47	0.89
032	T013	8.02	16.90	38.14	2.26	1.83	1.73	4.59	1.10	67.02	0.85
033	T021	7.67	15.30	29.54	1.77	1.49	1.30	4.03	0.88	62.44	0.73
034	T022	7.85	16.20	36.03	2.07	1.94	1.46	4.71	1.06	67.29	0.83
035	T023	7.69	16.30	39.44	2.20	1.97	1.70	4.36	1.08	66.98	1.00
036	T031	7.38	16.90	34.71	2.36	2.21	1.75	4.56	1.08	62.38	0.92
037	T032	7.63	18.10	28.22	1.75	1.44	1.40	4.80	1.03	55.21	0.73
038	T033	7.80	15.00	37.24	2.28	1.92	1.66	4.52	1.22	65.95	0.75



*Braulio La Torre Martínez*  
**Ing. Braulio La Torre Martínez**  
 Jefe del Laboratorio

**Anexo 4-A. Análisis inicial de suelo agrícola con abono**



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



## ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : ESMERALDA CORP. S.A.C.

Departamento : LIMA  
Distrito : SAN JUAN DE MIRAFLORES  
Referencia : H.R. 73680-006C-21

Fact.: 7388

Provincia : LIMA  
Predio :  
Fecha : 29/01/2021

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
223	C01	7.24	5.32	2.96	1.68	101.5	716	72	14	14	Fr.A.	8.32	3.59	2.57	1.57	0.59	0.00	8.32	8.32	100
224	T012	7.36	6.30	2.86	1.14	80.6	536	72	12	16	Fr.A.	7.36	3.02	2.25	1.44	0.65	0.00	7.36	7.36	100
225	T021	7.24	4.35	2.96	1.01	59.7	359	72	12	16	Fr.A.	8.00	4.45	2.17	0.84	0.55	0.00	8.00	8.00	100
226	T033	7.28	4.53	2.77	1.01	60.1	600	72	14	14	Fr.A.	7.68	3.33	2.43	1.28	0.64	0.00	7.68	7.68	100
227	SA	7.40	4.37	2.77	0.54	32.5	194	72	14	14	Fr.A.	7.04	4.44	1.70	0.25	0.65	0.00	7.04	7.04	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



*B. La Torre Martínez*  
**Ing. Braulio La Torre Martínez**  
Jefe del Laboratorio

### Anexo 5-A. Caracterización suelo agrícola del Fundo HECOSAN



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



### ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : ARLETH EDYRA HUALPA PINTO

Departamento : LIMA  
 Distrito : SANTA ROSA DE QUIVES  
 Referencia : H.R. 74072-027C-21

Bolt.: 4515

Provincia : CANTA  
 Predio :  
 Fecha : 16/04/2021

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>			
2520	SA1	6.48	2.47	0.10	1.08	23.5	94	56	28	16	Fr.A.	14.56	11.55	2.50	0.33	0.17	0.00	14.56	14.56	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;  
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



*Braulio La Torre Martínez*  
**Ing. Braulio La Torre Martínez**  
 Jefe del Laboratorio

5

**Anexo 6-A. Análisis final de suelo agrícola con abono**



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



**ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION**

Solicitante : ARLETH HUALPA PINTO

Departamento : LIMA  
Distrito : SAN MARTIN DE PORRES  
Referencia : H.R. 74566-062C-21

Bolt: 4614

Provincia : LIMA  
Predio :  
Fecha : 08/07/2021

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcillas %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
5011	SAC1	6.97	1.39	0.10	1.13	13.7	104	58	27	15	Fr.A.	11.36	8.24	2.73	0.22	0.17	0.00	11.36	11.36	100
5012	SAC2	7.05	1.84	0.10	1.13	11.5	87	58	25	17	Fr.A.	11.68	8.85	2.47	0.18	0.18	0.00	11.68	11.68	100
5013	SAC3	7.09	1.82	0.10	1.13	16.2	97	58	25	17	Fr.A.	12.00	8.89	2.70	0.24	0.17	0.00	12.00	12.00	100
5014	CC1	7.13	3.75	0.10	2.00	62.4	545	58	25	17	Fr.A.	13.12	8.93	3.15	0.77	0.27	0.00	13.12	13.12	100
5015	CC2	7.34	2.78	0.10	1.60	42.5	210	58	25	17	Fr.A.	11.68	7.80	3.08	0.50	0.30	0.00	11.68	11.68	100
5016	CC3	7.22	3.36	0.10	1.80	54.6	514	58	25	17	Fr.A.	10.88	6.69	3.08	0.81	0.30	0.00	10.88	10.88	100
5017	TC11	6.89	4.24	0.10	1.40	48.4	520	58	25	17	Fr.A.	11.20	7.04	3.07	0.81	0.28	0.00	11.20	11.20	100
5018	TC12	7.13	2.62	0.10	1.47	35.1	298	56	27	17	Fr.A.	12.48	8.39	3.22	0.57	0.30	0.00	12.48	12.48	100
5019	TC13	7.13	3.08	0.19	1.27	34.1	379	58	23	19	Fr.A.	12.96	9.27	2.85	0.56	0.28	0.00	12.96	12.96	100
5020	TC21	7.22	2.31	0.10	1.27	44.5	392	58	25	17	Fr.A.	12.32	8.39	3.05	0.64	0.24	0.00	12.32	12.32	100
5021	TC22	7.25	2.76	0.10	1.33	30.8	229	60	23	17	Fr.A.	10.88	7.17	3.00	0.48	0.23	0.00	10.88	10.88	100
5022	TC23	7.05	3.81	0.10	1.40	33.0	281	60	23	17	Fr.A.	11.20	7.18	3.20	0.58	0.23	0.00	11.20	11.20	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe del Laboratorio



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



## ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : ARLETH HUALPA PINTO

Departamento : LIMA  
 Distrito : SAN MARTÍN DE PORRES  
 Referencia : H.R. 74566-062C-21

Bolt.: 4614

Provincia : LIMA  
 Predio :  
 Fecha : 08/07/2021

Número de Muestra	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
5023	TC31	6.89	3.35	2.00	1.20	34.4	282	60	23	17	Fr.A.	11.52	7.94	2.83	0.53	0.22	0.00	11.52	11.52	100
5024	TC32	7.01	3.24	0.10	1.13	32.5	273	62	21	17	Fr.A.	10.72	6.51	3.42	0.53	0.27	0.00	10.72	10.72	100
5025	TC33	7.09	3.36	0.10	1.27	31.8	255	62	23	15	Fr.A.	11.20	7.41	3.05	0.48	0.26	0.00	11.20	11.20	100
5026	RTC12	7.05	3.90	0.10	1.27	36.3	260	58	25	17	Fr.A.	11.84	8.00	3.02	0.55	0.27	0.00	11.84	11.84	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
**Jefe del Laboratorio**

## Anexo 7- A. Análisis iniciales de Metales Pesados Plomo, Cadmio y Cromo



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




### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO


SOLICITANTE : ESMERALDA CORP S.A.  
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ SAN JUAN DE MIRAFLORES  
 REFERENCIA : H.R. 73681  
 FACTURA : 7388  
 FECHA : 02/02/2021

Lab	Número Muestra	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
	Claves			
179	C01	10.41	1.54	8.91
180	T012	11.73	1.76	15.94
181	T021	12.63	1.90	19.27
182	T033	11.83	1.98	18.53




  
 Ing. Braulio La Torre Martínez  
 Jefe del Laboratorio

### Anexo 8-A. Análisis inicial de Cadmio del suelo agrícola del fundo HECOSAN



**ecolab**  
Calidad Ambiental



INACAL  
DA - Perú  
Instituto Peruano de Acreditación  
Registro LE 12 - 917

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017**

INFORME DE ENSAYO: **SE-0439-21**

---

**Cliente** : ARLETH HUALPA PINTO.  
**Dirección** : Av. Canadá 3036 – San Borja.  
**Tipo de muestra** : Producto declarado por el cliente: Suelo.  
**Cantidad de muestras** : Es 01 muestra en frasco de plástico  
**Muestreo** : Muestra y fecha proporcionada por el cliente, con cadena de custodia N°  
**Condición de la muestra** : 9281.  
 El resultado de análisis se aplica a la muestra (s) tal como se recibió.

**Fecha de muestreo** : 2021-06-19, 15:00 hora  
**Lugar de recepción de las muestras** : Calle Beta N° 135, Callao.  
**Fecha de recepción de las muestras** : 2021-09-03.  
**Fecha de ejecución del ensayo** : 2021-09-03 al 2021-09-09.


**Resultados:**

Descripción de la muestra	Determinación
	Cadmio mg/Kg
SAM 1	1,60


**Método de ensayo:**

- Cadmio, EPA 3050B Rev. 02, 1996/EPA 7000 B Rev 02, 2007. Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils/ Flame Atomic Absorption Spectrophotometry.

**Estado y condiciones de la muestra:** La muestra llegó en buen estado de conservación y preservación.



Qco. Kelly N. Ayala León  
Jefe de Laboratorio





**Anexo 9- A. Análisis de Cadmio final en suelo con abono**



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



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ARLETH HUALPA PINTO  
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ SAN MARTÍN  
 REFERENCIA : H.R. 74567  
 BOLETA : 4614  
 FECHA : 6/08/2021

Lab	Número Muestra		Cd ppm
	Claves		
1746	SAM 1		1.3
1747	SAM 2		1.6
1748	SAM 3		1.1
1749	CM 1		1.25
1750	CM 2		1.24
1751	CM 3		1.1
1752	TM 11		1.26
1753	TM 12		1.48
1754	TM 13		1.48
1755	TM 21		1.29
1756	TM 22		1.23
1757	TM 23		1.45
1758	TM 31		1.35
1759	TM 32		1.32
1760	TM 33		1.63



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
 Jefe de Laboratorio

### Anexo 10-A. Análisis especial foliar Cadmio en maíz



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



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : ARLETH HUALPA PINTO  
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ SAN MARTÍN DE PORRES  
 MUESTRA : TEJIDOS VEGETALES  
 REFERENCIA : H.R. 74568  
 BOLETA : 4614  
 FECHA : 14/07/2021

N. Lab	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
1596	CF 1	1.28
1597	SAF 1	1.30
1598	TF 11	1.33
1599	TF 21	1.35
1600	TF 31	1.23



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
 Jefe de Laboratorio

### B. RESULTADOS ESTADISTICOS

Anexo. 1-B. Test de Tukey de pH en pilas de bokashi

Tratamientos	N	HSD Tukey <sup>a</sup>	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Lodo al 47%	3	7,6033	
Lodo al 37%	3	7,7367	
Lodo a 23%	3	7,8500	7,8500
Control	3		8,1167
Sig.		,217	,171

Nota: Lodo al 23%: tratamiento 1, lodo al 37%: tratamiento 2 y lodo al 47%: tratamiento 3.

Anexo. 2-B ANOVA del pH, conductividad eléctrica y materia orgánica de las pilas de bokashi

ANOVA		Suma de	gl	Media	F	Sig.
		cuadrados		cuadrática		
Reacciones químicas						
pH	Entre grupos	,43	3	,14	7,22	,012
	Dentro de grupos	,16	8	,02		
	Total	,59	11			
CV	0.03%					
C.E. dS/m	Entre grupos	1,96	3	,65	,92	,475
	Dentro de grupos	5,71	8	,71		
	Total	7,67	11			
CV	0.05%					
M.O. %	Entre grupos	100,71	3	33,57	,95	,462
	Dentro de grupos	283,11	8	35,39		
	Total	383,83	11			
CV	0.18%					

Anexo. 3-B. Test de Tukey para CE en pilas de bokashi

HSD Tukey <sup>a</sup>		
Subconjunto para alfa = 0.05		
Tratamientos	N	1
Lodo al 40%	3	15,9333
Lodo al 60%	3	16,6667
Control	3	16,7333
Lodo a 20%	3	17,0333
Sig.		,432

Anexo. 4-B. Test de Tukey para MO en pilas de bokashi

HSD Tukey <sup>a</sup>		
Subconjunto para alfa = 0.05		
Tratamientos	N	1
Control	3	27,2867
Lodo a 20%	3	32,6567
Lodo al 60%	3	33,3900
Lodo al 40%	3	35,0033
Sig.		,435

Anexo. 5-B. ANOVA del contenido de los macroelementos Nitrógeno, Fosforo y Potasio y de los mesoelementos Calcio, Magnesio y Sodio en pilas de bokashi

ANOVA		Suma de	gl	Media	F	Sig.
Reacciones químicas		cuadrados		cuadrática		
N %	Entre grupos	,09	3	,03	,64	,611
	Dentro de grupos	,38	8	,05		
	Total	,47	11			
CV	0.09					
P2O5 %	Entre grupos	,26	3	,09	1,41	,310
	Dentro de grupos	,50	8	,06		
	Total	,76	11			
CV	0.15					
K2O %	Entre grupos	,35	3	,12	2,00	,192
	Dentro de grupos	,47	8	,06		
	Total	,83	11			
CV	0.16					
CaO %	Entre grupos	2,31	3	,77	2,08	,182
	Dentro de grupos	2,97	8	,37		
	Total	5,29	11			
CV	0.16					
MgO %	Entre grupos	,06	3	,02	1,62	,260
	Dentro de grupos	,11	8	,01		
	Total	,17	11			
CV	0.16					
Na %	Entre grupos	,01	3	,00	,20	,892
	Dentro de grupos	,08	8	,01		
	Total	,08	11			
CV	0.1					

Anexo. 6-B. Test de Tukey para Nitrógeno en pilas de bokashi

		HSD Tukey <sup>a</sup>	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamientos	N	1	
Lodo al 40%	3	2,0133	
Control	3	2,1267	
Lodo al 60%	3	2,1300	
Lodo a 20%	3	2,2600	
Sig.		,542	

Anexo. 7-B. Test de Tukey para Fosforo en pilas de bokashi

		HSD Tukey <sup>a</sup>	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamientos	N	1	
Control	3	1,4700	
Lodo a 20%	3	1,7033	
Lodo al 40%	3	1,8000	
Lodo al 60%	3	1,8567	
Sig.		,299	

Anexo. 8-B. Test de Tukey para Potasio en pilas de bokashi

		HSD Tukey <sup>a</sup>	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamientos	N	1	
Lodo al 40%	3	1,4867	
Lodo al 60%	3	1,6033	
Control	3	1,6867	
Lodo a 20%	3	1,9533	
Sig.		,164	

Anexo. 9-B. Test de Tukey para Calcio en pilas de bokashi

		HSD Tukey <sup>a</sup>	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamientos	N	1	
Control	3	3,6200	
Lodo a 20%	3	3,6567	
Lodo al 40%	3	4,3667	
Lodo al 60%	3	4,6267	
Sig.		,256	

Anexo. 10-B. Test de Tukey para Magnesio en pilas de bokashi

		HSD Tukey <sup>a</sup>	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamientos	N	1	
Control	3	,9167	
Lodo a 20%	3	,9500	
Lodo al 40%	3	1,0067	
Lodo al 60%	3	1,1100	
Sig.		,246	

Anexo. 11-B. Test de Tukey para Sodio en pilas de bokashi

		HSD Tukey <sup>a</sup>	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamientos	N	1	
Lodo al 60%	3	,8000	
Control	3	,8467	
Lodo a 20%	3	,8500	
Lodo al 40%	3	,8533	
Sig.		,904	

Anexo. 12-B. Test de Tukey para Calcio en suelo agrícola con abono

		HSD Tukey <sup>a</sup>	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamientos	N	1	
Suelo Agrícola	3	,1000	
Control	3	,1000	
Lodo al 40%	3	,1000	
Lodo a 20%	3	,1300	
Lodo al 60%	3	,7333	
Sig.		,540	

Anexo. 13-B. ANOVA del pH, CE y materia orgánica en suelo con abono

Reacciones químicas		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	,12	4	,03	2,65	,096
	Dentro de grupos	,11	10	,01		
	Total	,23	14			
CV	0.01%					
C.E. dS/m	Entre grupos	5,95	4	1,49	4,66	,022
	Dentro de grupos	3,19	10	,32		
	Total	9,15	14			
CV	0.27%					
M.O. %	Entre grupos	,82	4	,20	17,21	,000
	Dentro de grupos	,12	10	,01		
	Total	,94	14			
CV	0.18%					
CIC meq/100g	Entre grupos	1,98	4	,49	,84	,53
	Dentro de grupos	5,91	10	,59		
	Total	7,88	14			
CV	0.82%					

Anexo. 14-B. Test de Tukey de conductividad eléctrica en suelo con abono

Reacciones químicas=C.E. dS/m

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Suelo Agrícola	3	1,6833	
Lodo al 37%	3	2,9600	2,9600
Control	3		3,2967
Lodo a 23%	3		3,3133
Lodo al 47%	3		3,3167
Sig.		,112	,933

Nota: Lodo al 23%: tratamiento 1, lodo al 37%: tratamiento 2 y lodo al 47%: tratamiento 3.

Anexo. 15-B. Test de Tukey de materia orgánica en suelo con abono

HSD Tukey <sup>a</sup>		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamientos	N	1	2
Suelo Agrícola	3	1,1300	
Lodo al 47%	3	1,2000	
Lodo al 37%	3	1,3333	
Lodo a 23%	3	1,3800	
Control	3		1,8000
Sig.		,105	1,000

Nota: Lodo al 23%: tratamiento 1, lodo al 37%: tratamiento 2 y lodo al 47%: tratamiento 3.

Anexo. 16-B. Test de Tukey para pH en suelo agrícola con abono

HSD Tukey <sup>a</sup>		
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
Lodo al 60%	3	6,9967
Suelo Agrícola	3	7,0367
Lodo a 20%	3	7,0500
Lodo al 40%	3	7,1733
Control	3	7,2300
Sig.		,123

Anexo. 17-B. ANOVA de fosforo y potasio en el suelo con abono

Reacciones químicas		Suma de	gl	Media	F	Sig.
		cuadrados		cuadrática		
P ppm	Entre grupos	2408,17	4	602,04	13,33	,001
	Dentro de grupos	451,49	10	45,15		
	Total	2859,65	14			
CV	0.4%					
K ppm	Entre grupos	202262,27	4	50565,57	4,67	,022
	Dentro de grupos	108164,67	10	10816,47		
	Total	310426,93	14			
CV	0.5%					



Anexo. 18-B. Test de Tukey para Fosforo en suelo con abono

HSD Tukey <sup>a</sup>		Subconjunto para alfa = 0.05		
Tratamientos	N	1	2	3
Suelo Agrícola	3	13,8000		
Lodo al 47%	3		32,9000	
Lodo al 37%	3		36,1000	36,1000
Lodo a 23%	3		39,2000	39,2000
Control	3			53,1667
Sig.		1,000	,779	,066

Nota: Lodo al 23%: tratamiento 1, lodo al 37%: tratamiento 2 y lodo al 47%: tratamiento 3.

Anexo. 19-B. Test de Tukey para Potasio en suelo con abono

HSD Tukey <sup>a</sup>		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamientos	N	1	2
Suelo Agrícola	3	96,0000	
Lodo al 47%	3	270,0000	270,0000
Lodo al 37%	3	300,6667	300,6667
Lodo a 23%	3		399,0000
Control	3		423,0000
Sig.		,190	,423

Nota: Lodo al 23%: tratamiento 1, lodo al 37%: tratamiento 2 y lodo al 47%: tratamiento 3.

Anexo. 20-B. ANOVA del contenido del metal pesado cadmio en el suelo con abono

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,102	4	,026	,991	,456
Intra-grupos	,257	10	,026		
Total	,359	14			
CV	0.12				

Anexo. 21-B. Correlación de Pearson Cadmio y altura de planta

Correlaciones			
Altura de planta (cm)			
	N	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)
Cadmio	15	,516	,049

Anexo. 22-B. ANOVA de altura del maíz en centímetros

ANOVA

Características de la planta		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Altura de planta (cm)	Entre grupos	288,30	4	72,08	1,20	,350
	Dentro de grupos	898,22	15	59,88		
	Total	1186,53	19			
CV		0.16%				
Número de hojas	Entre grupos	4,68	4	1,17	,57	,690
	Dentro de grupos	30,88	15	2,06		
	Total	35,55	19			
CV		0.22 %				
Grosor de tallo (cm)	Entre grupos	,45	4	,11	1,09	,397
	Dentro de grupos	1,56	15	,10		
	Total	2,01	19			
CV		0.18%				

Anexo. 23-B. Test de Tukey para altura de planta en centímetros

Tratamiento	N	HSD Tukey <sup>a</sup>	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	
Control	4		41,5625
Lodo al 40%	4		44,8750
Lodo al 20%	4		48,2500
Lodo al 60%	4		51,0875
Suelo Agrícola	4		51,5625
Sig.			,395

Anexo. 24-B. Test de Tukey para número de hojas de maíz

Tratamiento	N	HSD Tukey <sup>a</sup>	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	
Lodo al 20%	4		5,5000
Lodo al 40%	4		6,0000
Control	4		6,1250
Lodo al 60%	4		6,1250
Suelo Agrícola	4		7,0000
Sig.			,590

Anexo. 25-B. Test de tukey para grosor de tallo

Tratamiento	N	HSD Tukey <sup>a</sup>	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	
Lodo al 60%	4		1,6174
Control	4		1,6913
Suelo Agrícola	4		1,8454
Lodo al 20%	4		1,9350
Lodo al 40%	4		2,0246
Sig.			,417