



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

**Evaluación de la efectividad del Vermicompostaje para la reducción de
metales pesados y patógenos en los lodos residuales generados en la
planta de tratamiento de aguas residuales Santa Rosa, 2015.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Zoila Isabel Zamudio Vasquez

ASESOR:

Ing. Verónica Tello Mendivil

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de Residuos

LIMA – PERÚ

2015- II

Evaluación de la efectividad del vermicompostaje para la reducción de metales pesados y patógenos en los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales Santa Rosa, 2015.

Autor:

Zoila Isabel Zamudio Vasquez

JURADO

.....

Ing. Tello Mendivil, Verónica

PRESIDENTE

.....

Mg. Peralta Medina, Juan Alberto

SECRETARIO

.....

Mg. Suarez Alvites, Haydee

VOCAL

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico a Dios por darme salud para continuar día a día superándome y por ayudarme a ser perseverante en la culminación de mi tesis.

De igual forma dedico este trabajo a mi madre Ysabel Vasquez Flores por ser mi fortaleza y por su apoyo incondicional, gracias a ella he logrado mantener la energía necesaria para que este sueño se haga realidad.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por brindarme salud, perseverancia, coraje e inteligencia para culminar con éxito una etapa más de mi vida, y poder servir a la sociedad con conocimiento para el progreso del país, mi familia y el mío en particular.

A mi mamá Isabel por sus oraciones, cariño y por ser el motivo para no desistir ante las dificultades que se me presentaron en la elaboración de mi tesis, por alentarme con su bella sonrisa, por los valores que me ha inculcado y por ser mi ejemplo de vida a seguir.

A Boris, por su comprensión y apoyo en todos estos años de formación, por su paciencia y por estar siempre a mi lado ayudándome a crecer como persona y como profesional.

A mis amigos, por su apoyo incondicional en la toma de muestras, en la construcción del medio para llevar a cabo mi trabajo, en las salidas de campo para tomar mediciones. Gracias por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

Declaración de autenticidad

Yo, Zoila Isabel Zamudio Vasquez con DNI N° 70553739, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 02 Diciembre del 2015

Zoila Isabel Zamudio Vasquez

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “Evaluación de la efectividad del Vermicompostaje para la reducción de metales pesados y patógenos en los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales Santa Rosa, 2015.”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Zoila Isabel Zamudio Vasquez

ÍNDICE

JURADO	I
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Declaración de autenticidad	IV
PRESENTACIÓN	V
ÍNDICE	VI
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
I.INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad problemática	1
1.2 Trabajos previos	2
1.3.1 Vermicompostaje	6
1.3.2 Organismos implicados en el proceso de vermicompostaje	7
1.3.3 Control del proceso del vermicompostaje	11
1.3.4 Materia organica en el proceso de vermicompostaje	15
1.3.5 Lodos residuales	17
1.3.6 Tratamiento de lodos residuales	22
1.3.7 Contaminantes	24
1.3.8 Metales pesados	25
1.3.9 Patógenos	26
1.3.10 Normativa aplicada para el tratamiento de lodos residuales	27
1.4 Formulación del problema	29
1.4.1 Problema general	29

1.4.2 Problemas específicos	29
1.5 Justificación del estudio	30
1.5.1 Justificación por su pertinencia	30
1.5.2 Justificación por su relevancia social	30
1.5.3 Justificación por su implicancia práctica	31
1.5.4 Justificación por su valor teórico	31
1.5.5 Justificación metodológica	31
1.6 Hipótesis	32
1.6.1 Hipótesis general	32
1.6.2 Hipótesis específicos	32
1.7 Objetivos	32
1.7.1 Objetivo general	32
1.7.2 Objetivos específicos	32
II.MÉTODO	33
2.1 Tipo de estudio	33
2.2 Diseño de investigación	33
2.3 Variables, operacionalización	34
2.4 Población y muestra	36
2.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	38
2.6 Métodos de análisis de datos	40
2.7 Aspectos éticos	40
III.RESULTADOS	41
3.1 Estudio previo y toma de muestras	41
3.2 Reducción de metales pesados y patógenos	44
3.3 Recolección de muestras finales	50
3.4 Comparación de valores iniciales y finales de lodos residuales	54
3.5 Análisis de confiabilidad	54

3.6 Estadística descriptiva	54
3.7 Prueba de normalidad	57
3.8 Prueba de Levene para la homogeneidad de varianza	59
3.9 Prueba de hipótesis	68
IV.DISCUSIÓN	80
V.CONCLUSIONES	83
VI.RECOMENDACIONES	84
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Análisis químico de lodos residuales	20
Tabla 2: Análisis microbiológico de lodos residuales	21
Tabla 3: Límites Máximos de contaminantes para biosólidos aplicados en la agricultura	27
Tabla 4: Límites Máximos para patógenos y parásitos en lodos	27
Tabla 5: Límites Máximos permisibles para metales pesados en biosólidos	28
Tabla 6: Límites Máximos Permisibles para Patógenos y Parásitos en lodos y biosólidos	28
Tabla 7: Aprovechamiento de biosólidos	29
Tabla 8. Operacionalización de variable dependiente	34
Tabla 9.Operacionalización de variable dependiente	35
Tabla 10: Etapas del estudio	38
Tabla 11: Cuadro de concentración inicial de metales pesados y patógenos	44
Tabla 12: Repeticiones en el proceso de vermicompostaje	46
Tabla 13: Reducción de metales pesados y patógenos por tratamiento	50
Tabla 14: Lodos con concentración inicial	53
Tabla 15: Humus con concentración final	53
Tabla 16: Estadística de la concentración de cobre	54
Tabla 17: Estadística de la concentración de zinc	55
Tabla 18: Estadística de la concentración de coliformes fecales	55
Tabla 19: Estadísticos por tratamiento	56
Tabla 20: Test de normalidad de variables	57
Tabla 21: Estadísticos de cobre según el tratamiento	59
Tabla 22: Prueba de homogeneidad de variable (cobre)	60
Tabla 23: ANOVA de un factor (cobre)	60
Tabla 24: Prueba de comparación múltiple HSD de Tukey	61
Tabla 25: Estadísticos de zinc según tratamiento	62
Tabla 26: Prueba de homogeneidad de variable (zinc)	63
Tabla 27: ANOVA de un factor (zinc)	63
Tabla 28: Prueba de comparaciones múltiple HSD de tukey	64
Tabla 29: Estadísticos de coliformes fecales según tratamiento	65

Tabla 30: Prueba de homogeneidad de variables (coliformes fecales)	66
Tabla 31: ANOVA de un factor (coliformes fecales)	66
Tabla 32 Prueba de comparaciones múltiple HSD de tukey	67
Tabla 33: Estadísticos de concentración de cobre	68
Tabla 34: Prueba t-student de concentración de cobre total antes - despues	68
Tabla 35: Estadísticos de concentración de zinc	69
Tabla 36: Prueba t-student de concentración de zinc total antes - despues	69
Tabla 37: Estadísticos de concentraciones de coliformes fecales	69
Tabla 38: Prueba t-student de coliformes fecales total antes - despues	70
Tabla 39: Estadísticos de cobre (T1-T2)	70
Tabla 40: Prueba de Levene y t-student (T1-T2)	71
Tabla 41: Estadísticos de cobre (T1-T3)	72
Tabla 42: Prueba de Levene y t-student (T1-T3)	72
Tabla 43: Estadísticos de zinc (T1-T2)	73
Tabla 44: Prueba de Levene y t-student (T1-T2)	74
Tabla 45: Estadísticos de zinc (T1-T3)	75
Tabla 46: Prueba de Levene y t-student (T1-T3)	75
Tabla 47: Estadísticos de coliformes fecales (T1-T2)	76
Tabla 48: Prueba de Levene y t-student (T1-T2)	76
Tabla 49: Estadísticos de coliformes fecales (T1-T3)	78
Tabla 50: Prueba de Levene y t-student (T1-T3)	78
Tabla 51: Matriz de consistencia	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Anatomía de la Lombriz Roja Californiana	11
Figura 2: Área destinada al cultivo de lombrices	14
Figura 3: Diagrama de flujo de producción de lodos primarios y secundarios	19
Figura 4: Construcción de lechos	37
Figura 5: Contenedor con lodo seco	42
Figura 6: Lecho de secado	42
Figura 7: Recolección de muestras	43
Figura 8: Lecho para lombrices	45
Figura 9: Lavado de lodo y estiércol de vaca	45
Figura 10: Llenado de lechos con lodo y estiércol	46
Figura 11: Control de humedad	47
Figura 12: Control de pH	47
Figura 13: Control de temperatura	48
Figura 14: Prueba de caja	48
Figura 15: Colocación de lombriz Eisenia Foetida	49
Figura 16: Colocación de lombriz Eisenia Foetida	49
Figura 17: Recolección de lombrices	50
Figura 18: Cernido de humus de lombriz	51
Figura 19: Recolección de muestras	51
Figura 20: Descripción de muestras	52
Figura 21: Traslado de muestras al laboratorio	52
Figura 22: Histograma de frecuencia de la concentración de cobre	58
Figura 23: Histograma de frecuencia de la concentración de zinc	58
Figura 24: Histograma de frecuencia de la concentración de coliformes fecales	59
Figura 25: PTAR Santa Rosa	92
Figura 26: Validación del cuadro de concentración inicial de metales pesados y patógenos	93
Figura 27: Validación del cuadro de análisis de control del proceso de Vermicompostaje	94
Figura 28. Validación del cuadro de comparación de concentración inicial y final de metales pesados y patógenos	95

Figura 29. Instrumentos con valores iniciales	96
Figura 30. Instrumentos con valores del proceso de vermicompostaje	97
Figura 31. Instrumentos con valores iniciales y finales	98
Figura 32. Resultados del análisis químico del lodo inicial	99
Figura 33: Resultados del análisis microbiológico del lodo inicial	100
Figura 34: Resultados de análisis químico-muestra 1 (T1)	101
Figura 35: Resultados de análisis químico-muestra 2 (T1)	102
Figura 36: Resultados de análisis químico-muestra 3 (T1)	103
Figura 37: Resultados de análisis químico-muestra 1 (T2)	104
Figura 38: Resultados de análisis químico-muestra 2 (T2)	105
Figura 39: Resultados de análisis químico-muestra 3 (T2)	106
Figura 40: Resultados de análisis químico-muestra 1 (T3)	107
Figura 41: Resultados de análisis químico-muestra 2 (T3)	108
Figura 42: Resultados de análisis químico-muestra 3 (T3)	109
Figura 43: Resultados de análisis microbiológico-muestra 1 (T1)	110
Figura 44: Resultados de análisis microbiológico-muestra 2 (T1)	111
Figura 45: Resultados de análisis microbiológico-muestra 3 (T1)	112
Figura 46: Resultados de análisis microbiológico-muestra 1 (T2)	113
Figura 47: Resultados de análisis microbiológico-muestra 2 (T2)	114
Figura 48: Resultados de análisis microbiológico-muestra 3 (T2)	115
Figura 49: Resultados de análisis microbiológico-muestra 1 (T3)	116
Figura 50: Resultados de análisis microbiológico-muestra 2 (T3)	117
Figura 51: Resultados de análisis microbiológico-muestra 2 (T3)	118

RESUMEN

Las 10 Toneladas de lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales Santa Rosa son tratados como un residuo no peligroso, a pesar de tener altas concentraciones de metales pesados y patógenos, tal como se ha demostrado en los análisis realizados anteriormente por NSF Envirolab en el 2014. Estos lodos concluyen su ciclo en el relleno sanitario "Huaycoloro" después de pasar por un periodo de secado en la misma planta. Ante este problema se evaluó la efectividad del vermicompostaje en la reducción de cobre, zinc y coliformes fecales, siendo los parámetros que representaban a estos contaminantes. Los resultados fueron positivos en la reducción, gracias al control de las variables intervinientes en el proceso como el pH, temperatura y humedad para que no afecte el desarrollo de la lombriz *Eisenia foetida*. Respecto a los resultados hubo una mayor reducción en el tratamiento 3 (50% lodo + 50% estiércol) dando como resultado final para cobre 3.27 ppm, para zinc 15.56 ppm y para coliformes fecales 9 NMP/g.

Finalmente, se pudo comprobar que los lodos residuales pueden ser estabilizados mediante una técnica muy sencilla como el vermicompostaje, dándole un valor agregado al ser usados con fines agrícolas. Asimismo, se debe tener en cuenta que el pH no puede exceder el rango de 7 a 8, una temperatura no mayor a 25 °C y una humedad entre 70% – 80% para que el sustrato sea óptimo para el consumo de la lombriz y puedan tener mayor facilidad en el movimiento y consumo del lodo.

Palabras claves:

Lodos Residuales, vermicompostaje, Lombriz *Eisenia Foetida*, humus de Lombriz.

ABSTRACT

The 10 tons of sludge generated by the treatment plant wastewater Santa Rosa are treated as non-hazardous waste, despite having high concentrations of heavy metals and pathogens, as has been shown in previous analyzes by NSF Envirolab in 2014. The sludge conclude their cycle in the landfill "Huaycoloro" after going through a period of drying on the same floor. Given this problem vermicomposting effectiveness in reducing copper, zinc and fecal coliforms was evaluated, with the parameters representing these contaminants. The results were positive in the reduction, by controlling the variables involved in the process as pH, temperature and humidity to avoid affecting the development of the earthworm *Eisenia foetida*. Regarding the results there was a greater reduction in treatment 3 (50% + 50% slurry manure) ultimately resulting to 3.27 ppm copper to zinc and 15.56 ppm for fecal coliform 9 MPN / g.

Finally, it was found that the sludge can be stabilized by a simple technique such as vermicomposting, giving added value to be used for agricultural purposes. It should also be borne in mind that the pH must not exceed the range of 7-8, a temperature not exceeding 25 ° C and humidity between 70% - 80% for the substrate is optimal for consumption by the worm and may have greater ease in moving and drinking mud.

Keywords:

Sewage sludge, vermicomposting, Earthworm *Eisenia foetida*, earthworm humus.