



UNIVERSIDAD DEL MAR
Campus Puerto Ángel

**USO DE LODO RESIDUAL PRODUCIDO EN UN
REACTOR AEROBIO COMO MEJORADOR DE LAS
PROPIEDADES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL
SUELO**

T E S I S

Que para obtener el Título Profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presenta:

Perla Isabel Santiago Sernas

Director:

Dr. Eustacio Ramírez Fuentes

Puerto Ángel, Oaxaca.

Noviembre 2018

Resumen

En México el 45.2% de la superficie del suelo presenta degradación inducida por el hombre, siendo la contaminación ambiental y el sector agropecuario las principales causas. El estado de Oaxaca posee grandes superficies dedicadas al cultivo, propiciando cambios, erosión y degradación de los suelos. No obstante los lodos residuales pueden ser utilizados como mejoradores de suelo, corrigiendo limitantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Para ello se deben cumplir las características de los lodos contempladas en las normas. En el presente trabajo se evaluaron los cambios producidos en un suelo de uso agrícola, por la adición de lodo residual, a nivel laboratorio, cuantificando la producción de CO_2 , N inorgánico (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) y la actividad enzimática, mediante la hidrólisis de diacetato de fluoresceína. El proyecto se dividió en tres etapas: la primera, fue el muestreo del lodo procedente de un reactor de lodos activados en lote secuencial y el suelo obtenido de la localidad de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca. En la segunda etapa se caracterizaron las muestras. En la tercera etapa se hizo el experimento, con una duración de 56 días. Se utilizó un diseño experimental de bloques aleatorios, un control (suelo) y dos tratamientos: SL2 y SL4 suelo con una concentración de 200 y 400 kg N ha⁻¹ de lodo. Se utilizaron 96 unidades experimentales, teniendo 3 réplicas por tratamiento. En los resultados obtenidos, el lodo residual se encontró en la clase tipo A de acuerdo a la NOM-04-SEMARNAT-2000. La producción de CO_2 mostró diferencia significativa para los tres tratamientos, siendo la actividad respiratoria mayor con el tratamiento SL4 que fue 92.5% mayor al control y 42.5% mayor al SL2. La concentración de NH_4^+ , aumentó de manera significativa con la aplicación de lodo residual en los tratamientos SL4 y SL2, las concentraciones de NO_2^- fueron elevadas en un inicio para disminuir con el tiempo y las concentraciones de NO_3^- fueron bajas al inicio para incrementar posteriormente, indicando que se llevó a cabo el proceso de mineralización de N orgánico. Se observaron diferencias significativas en la actividad enzimática, siendo el tratamiento SL4 36.4 % y 14.7% mayor al control y SL2 respectivamente, favoreciendo el incremento en la actividad microbiana. Se concluyó que al aplicar la concentración de 400 kg N ha⁻¹ de lodo tipo A al suelo, hubo una mejora en las condiciones químicas y biológicas del suelo, respecto a la concentración de 200 kg N ha⁻¹ de lodo.

Abstract

In Mexico, 45.2% of the soil surface presents degradation induced by man activities, both environmental pollution and the agricultural sector being the main culprits. In the state of Oaxaca there are large areas dedicated to cultivation, promoting changes, erosion, and degradation of the soil. However, the residual sludge can be used as soil improver, correcting limitations in the physical, chemical and biological properties of the soil. For this, the sludge characteristics should comply with the official standards. In this work the changes produced in an agricultural soil were evaluated after the addition of residual sludge, at laboratory level, quantifying the production of CO₂, inorganic N (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻) and the enzymatic activity by the hydrolysis of diacetate of fluorescein. The project was divided into three stages: the first was the sampling of the sludge from a sequential batch activated sludge reactor and the soil obtained from the town of Tlacolula de Matamoros, Oaxaca. In the second stage, both samples were characterized. The third stage was the experimental part, with a duration of 56 days. We used an experimental design of randomized blocks was set up; one control (soil) and two treatments: SL2 and SL4 soil with 200 and 400 kg N ha⁻¹ of sludge respectively. 96 experimental units were used, having 3 replications per treatment. The residual sludge was classified as class A according to NOM-04-SEMARNAT-2000. The CO₂ production showed significant difference between the three treatments, the respiratory activity was greater for the SL4 treatment, which was 92.5% higher than control and 42.5% higher than SL2. The concentration of NH₄⁺, increased strongly with the application of residual sludge in the SL4 and SL2 treatments, the concentrations of NO₂⁻ was high at the beginning to decrease within time and the concentration of NO₃⁻ was low at the beginning to increase later in the process, indicating that occurred organic N mineralization. Significant differences were observed in the enzymatic activity, being the SL4 treatment 36.4% and 14.7% higher than the control and SL2 respectively, favoring the increase in the microbial activity. It was concluded that when applying the concentration of 400 kg N ha⁻¹ of sludge type A to the soil there was a greater improvement in the physical, chemical and biological conditions of the soil, with respect to the concentration of 200 kg N ha⁻¹ of sludge.

Agradecimientos

Agradezco a mi director de tesis Dr. Eustacio Ramírez quien con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó en la investigación. A mis revisores la M. C. Ma. Nieves Trujillo, el Dr. Estrada Vázquez, la Dra. Susana García y el M. C. Cervando Sánchez, por sus constructivas observaciones para enriquecer esta investigación. A la Técnico Coral por ayudarme en la utilización del equipo de laboratorio y resolver mis dudas. A todo el equipo de Laboratorio de Biotecnología por sus consejos, apoyo y amistad.

Quisiera agradecer a todos mis profesores que estuvieron en toda mi formación profesional por sus enseñanzas. A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron presente, a Quero por ser como mi hermano, a Silvia por todas las aventuras, a Miguel por esa forma rara de percibir las cosas, a David, Samuel, Noe, Dani e Ismael por ser como una familia durante la carrera, a Martín por sacarme de dudas, a Uriel por los ratos de risas, a Evaristo por acogerme en un lugar nuevo, a Lía que a pesar de la distancia siempre estás al pendiente de mí, a Jonathan por captar errores, a mis demás compañeros de carrera Abril, Karla y Dehni por los buenos momentos, en fin a cada persona que conocí y formó parte de mi vida durante la carrera.

Finalmente agradezco a mi familia, en especial a mi madre que es mi pilar, quien me enseñó que a pesar de las adversidades siempre hay una luz y por su gran fortaleza que junto con mis hermanos Ana y Jesús me han apoyado con esta inversión que es la universidad. Y a mi padre que dejó buenos cimientos y grandes recuerdos. Los quiero y admiro.

Índice General

Resumen.....	ii
Abstract.....	iii
Agradecimientos	iv
Índice de cuadros	vii
Índice de figuras.....	viii
Nomenclatura.....	ix
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MARCO TEÓRICO 	4
2.1 ¿Qué es el suelo?.....	4
2.2 Calidad del suelo y sus características.	4
2.3 Nitrógeno inorgánico.....	6
2.4 Actividad microbiana	10
2.5 Actividad enzimática.....	12
2.6 Degradación del suelo	14
2.7 Mejoradores del suelo	15
2.8 Tratamiento de aguas residuales en México	16
2.9 Lodos residuales.....	18
2.10 Manejo de lodos residuales.	19
2.11 Legislación sobre la disposición y manejo de lodos y biosólidos.....	21
3 ANTECEDENTES	23
3.1 Uso de lodo residual.....	23
3.2 Panorama del aprovechamiento de lodo residual en el mundo	23
3.3 Aprovechamiento de lodo residual en México.....	27
4 JUSTIFICACIÓN.....	31
5 HIPÓTESIS	32
6 OBJETIVOS	32
6.1 Objetivo general	32
6.2 Objetivos particulares.....	32
7 MÉTODOS	33

7.1	Etapa 1 Muestreo.....	34
7.2	Etapa 2 Caracterización.....	36
7.3	Etapa 3 Experimento	38
8	RESULTADOS y DISCUSIÓN	41
8.1	Caracterización del Suelo.....	41
8.2	Caracterización del lodo residual	42
8.3	Producción de CO ₂	44
8.4	N inorgánico.....	49
8.5	Observaciones durante el experimento	57
9	CONCLUSIONES.....	59
10	RECOMENDACIONES	60
11	REFERENCIAS	61
12	ANEXOS	74
12.1	Anexo 1. Métodos para la caracterización del suelo y lodo residual	74
12.2	Anexo 2. Parámetros cuantificados	81

Índice de cuadros

Cuadro 1. Principales procesos de tratamiento de aguas residuales municipales.	17
Cuadro 2. Aprovechamiento de lodos y biosólidos según su clase	21
Cuadro 3. Límites máximos permisibles para patógenos en lodos y biosólidos	22
Cuadro 4. Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos y biosólidos . .	22
Cuadro 5. Caracterización fisicoquímica del lodo.....	37
Cuadro 6. Caracterización fisicoquímica del Suelo.....	37
Cuadro 7. Determinación de las unidades experimentales.....	38
Cuadro 8. Análisis fisicoquímico del suelo.....	42
Cuadro 9. Análisis fisicoquímica del lodo residual.....	43
Cuadro 10. Concentración de metales pesados en el lodo residual en comparación	44

Índice de figuras

Figura 1. Ciclo de Nitrógeno en el suelo	7
Figura 2. Curva de crecimiento de la población microbiana.	11
Figura 3. Conversión enzimática del diacetato de fluoresceína (FDA) a fluoresceína....	14
Figura 4. Tren de tratamiento biológico para aguas residuales	18
Figura 5. Metodología estructurada del proyecto: Uso de lodo residual producido en un reactor aerobio como mejorador de las propiedades químicas y biológicas del suelo. 33	
Figura 6. Ubicación de la zona de muestreo, Tlacolula de Matamoros.....	35
Figura 7. Localización de la zona de muestroRancho Bissiagüel, Tlacolula de Matamoros, Oaxaca.....	36
Figura 8. Unidad experimental	39
Figura 9. Producción de CO ₂ en los tres tratamientos.	45
Figura 10. Producción acumulada de CO ₂ en los tres tratamientos de los 56 días.	46
Figura 11. Medición de la actividad enzimática en los tres tratamientos	47
Figura 12. Actividad enzimática acumulada en los tres tratamientos.....	48
Figura 13. Producción de NH ₄ ⁺ en los tres tratamientos	50
Figura 14. Producción acumulada de NH ₄ ⁺ en los tres tratamientos.	51
Figura 15. Producción de NO ₂ ⁻ en los tres tratamientos	53
Figura 16. Producción acumulada de NO ₂ ⁻ en los tres tratamientos.....	54
Figura 17. Producción de NO ₃ ⁻ en los tres tratamientos	55
Figura 18. Producción promedio de NO ₃ ⁻ en los tres tratamientos.....	56
Figura 19. Observaciones de la aparición de hongos (Cladosporium), en los tres tratamientos.	58
Figura 20. Triángulo de texturas.....	77
Figura 21. Curva de calibración de a) Cd, b) Pb y c) Ni.	80
Figura 22. Curva de calibración de d) Zn y e) Cu.	81
Figura 23. Curva de calibración de NH ₄ ⁺	82
Figura 24. Curva de calibración de NO ₃ ⁻	83
Figura 25. Curva de calibración de NO ₂ ⁻	83
Figura 26. Curva de calibración deDiacetato de Fluoresceina.	84

Nomenclatura

Abs	Absorbancia
Al	Aluminio
ANOVA	Análisis de varianza
APHA	Asociación Americana de la salud pública del inglés American Public Health association
C	Carbono
Ca	Calcio
Cd	Cadmio
CE	Conductividad eléctrica
CF	Coliformes fecales
CT	Carbono total
Cu	Cobre
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
Fe	Hierro
g	Gramos
ha	Hectárea
HH	Huevo de helminto
hm ³	Hectómetro cúbico
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
MO	Materia orgánica
MS	Materia seca
N	Nitrógeno
Ni	Níquel
nm	Nanómetros
NOM	Norma Oficial Mexicana
NT	Nitrógeno total
O	Oxígeno
Pb	Plomo
pH	Potencial de hidrógeno
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
Rpm	Revoluciones por minuto
S	Azufre
SBR	Reactor de lodos activados en lote secuencial
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
ST	Sólidos Totales
TRH	Tiempo de retención hidráulico
t	Tonelada
UFC	Unidad formadora de colonias
U. S. EPA	Departamento de protección ambiental de Estados Unidos
UNAM	Universidad Autónoma de México
Zn	Zinc