



Universidad del Mar
Campus Puerto Ángel

**DEGRADACIÓN ANAEROBIA
DE RESIDUOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS USANDO
ORINA HIDROLIZADA COMO AMORTIGUADOR DE pH**

TESIS

Que para obtener el título profesional de Ingeniera Ambiental

Presenta

Jaqueline Duarte Reyes

Directora de tesis

M. C. Belem Espinosa Chávez

Puerto Ángel, Oaxaca, Mayo 2021

RESUMEN

El tratamiento de los residuos sólidos urbanos ha despertado gran interés debido a que su producción es proporcional al número de habitantes. Para el tratamiento de residuos orgánicos (RO) se han hecho diversas propuestas entre las que destaca la digestión anaerobia (DA). Sin embargo, este proceso es sensible a los cambios de potencial de hidrógeno (pH), los cuales ocurren debido a las reacciones que se producen en las diferentes etapas de la DA. En este trabajo se realizó un estudio para evaluar si la adición de orina hidrolizada (OH) es capaz de amortiguar los cambios de pH durante la DA de residuos orgánicos. Se evaluó la producción de biogás con tres relaciones de RO/OH (70/30; 65/35; 60/40). La relación 40/60 presentó la mayor producción de biogás (310 mL) y una producción específica de 48 mL de CH₄/ g SV de sustrato adicionado. Posteriormente la DA de la relación RO/OH (60/40) se evaluó en un digester operado en lote alimentado con volumen constante (1.29 L), el experimento se realizó por duplicado. Tres veces por semana se retiraba 10% del volumen de trabajo y se reponía con el mismo volumen de mezcla fresca de RO/OH. El afluente y efluente del digester se caracterizaron: pH, amonio, carbohidratos, DQO y sólidos volátiles, también se cuantificó y caracterizó el biogás. Cada 24 h se recirculó el lixiviado neutralizando el pH con OH. Durante la operación del digester se observó que la adición de orina hidrolizada tuvo un efecto positivo en el amortiguamiento de pH, lo que permitió la producción de biogás durante la DA de los RO, siendo el hidrógeno el componente principal en ambos duplicados (duplicado 1: 57 mL H₂/g SV y duplicado 2: 108 mL H₂/g SV).

Esta tesis fue elaborada en los laboratorios de la Universidad del Mar, campus Puerto Ángel, bajo la dirección de la M.C. Belem Espinosa Chávez y la asesoría de la Dra. Susana García Ortega.

Porque la grandeza de un hombre no se mide de los pies a la cabeza, sino de la cabeza a sus acciones, palabras de mis queridos padres, Rosaura Teresa Reyes Merino y Trinidad Duarte Canseco, a quienes con amor y agradecimiento dedico el presente trabajo.

A mis hermanos Miriam, Rosaura, Obed y Martha, que siempre me han impulsado a actuar con responsabilidad y dedicación, porque a pesar de la distancia siempre me han brindado su apoyo, su preocupación y sus consejos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la M.C Belem Espinosa Chávez y a la Dra. Susana García Ortega quienes me transmitieron con paciencia y entusiasmo sus conocimientos, técnicas y disciplina en el trabajo en laboratorio, me inspiraron como mujer científica a seguir creciendo profesionalmente, pero sobre todo me brindaron su amistad y apoyo fuera del ámbito académico. Gracias de corazón profesoras por permitirme trabajar con ustedes y por ofrecerme su amistad y cariño.

Agradezco al Dr. Aitor Aizpuru por brindarme su amistad y confianza, por ayudarme a mejorar este trabajo, así como al M. en C. Luis Antonio López y Q.B. Concepción Martínez Lievana.

A Miry, mujer extraordinaria e inteligente que me apoyo durante el desarrollo de esta tesis.

A Karlita y Dani Palma, mis grandes confidentes, gracias por apoyarme personal y académicamente, fueron un gran apoyo y pilar durante mi estancia en la universidad, gracias por contagiarme de su energía y calidez.

A David por su paciencia, su inmenso cariño y ser un gran apoyo en todo momento, Michelle, Alejandro, Luis, Jorge, Dianita, Laurita, Nere, Quero, Noé y Diego en quienes encontré una familia y apoyo durante mi caminar en esta universidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	Introducción	1
2.	Marco teórico	3
2.1	Residuos Sólidos Urbanos.....	3
2.2	Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos	4
2.3	Proceso de digestión anaerobia	5
2.3.1	Potencial de hidrógeno (pH)	8
2.3.2	Temperatura	9
2.3.3	Amonio	9
2.4	Sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV)	10
2.5	Características de sustrato	10
2.6	Relación carbono-nitrógeno (C/N).....	12
2.7	Tiempo de retención de sólidos (TRS).....	13
2.8	Velocidad de carga orgánica (VCO)	13
2.9	Orina hidrolizada.....	14
2.10	Digestores en la digestión anaerobia.....	15
3.	Antecedentes	18
4.	Justificación	21
5.	Hipótesis	22
6.	Objetivos	22
7.	Materiales y métodos	23
7.1	Materiales	23
7.1.1	Residuos orgánicos	23
7.1.2	Orina hidrolizada	23

7.1.3	Inóculo	23
7.2	Métodos analíticos.....	24
7.2.1	pH.....	24
7.2.2	Determinación de amonio / amoniaco	24
7.2.3	Alcalinidad.....	25
7.2.4	Demanda química de oxígeno (DQO)	26
7.2.5	Fosfatos (PO_4^{3-}).....	26
7.2.6	Sulfatos (SO_4^{2-}).....	26
7.2.7.	Proteínas.....	27
7.2.8	Carbohidratos	27
7.2.9	Sólidos volátiles, fijos y totales.	27
7.2.10	Caracterización de biogás.	28
7.3	Métodos experimentales.....	28
7.3.1	Actividad metanogénica específica (AME).....	28
7.3.2	Producción de biogás en lote con diferentes relaciones RO/OH	29
7.3.3	Producción de biogás de la mezcla RO/OH (60/40) en un digestor operado por lote alimentado	30
7.3.4	Determinación de parámetros cinéticos	32
7.3.5	Evaluación del potencial bioquímico de metano (PBM)	32
8.	Resultados y discusiones.....	33
8.1	Caracterización de residuos.....	33
8.2	Actividad metanogénica específica del inóculo	35
8.3	Evaluación de la biodegradabilidad de las diferentes relaciones de RO/OH en digestores por lote	36
8.3.1	Determinación de parámetros cinéticos	41

8.4	Desempeño de los digestores durante la digestión de la mezcla RO/OH (60/40)	42
8.4.1	Producción de biogás y evaluación de la capacidad de amortiguamiento de pH de la OH en la digestión anaerobia de RO en digestores operados por lote	43
8.4.2	Caracterización de biogás producido a partir de la digestión anaerobia de la RO/OH (60/40) en los digestores operados por lote	47
8.4.3	Eficiencias de transformación de los componentes de la mezcla RO/OH en los digestores operados por lote alimentado	48
9.	Conclusiones	52
10.	Recomendaciones	53
11.	Referencias.....	54
12.	Anexos	64
12.1	Curvas de calibración	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferencia entre economía lineal y economía circular. Modificada de Blanco, (2018).....	1
Figura 2. Métodos de tratamiento de los residuos orgánicos.....	2
Figura 3. Etapas metabólicas de la digestión anaerobia. Modificada de Kumar, (2008).7	
Figura 4. Proyecto Aquanova. Basado en la separación de varios componentes de agua residuales domésticos. Tomado de Lavagnolo et al., (2017).....	15
Figura 5. Digestores continuos con A) mezcla mecánica, B) recirculación de biogás y C) con agitación mecánica y recirculación de biogás. Modificada de Cuesta et al., (2009).....	16
Figura 6. Configuración de cuantificación de biogás por el método volumétrico.....	29
Figura 7. Esquema general del digestor anaerobio.....	31
Figura 8. Lotes de residuos orgánicos recolectados.	33
Figura 9. Perfil de producción de biogás acumulado del lodo granular anaerobio utilizando glucosa como sustrato.....	36
Figura 10. Digestores utilizados durante la cinética de biodegradabilidad de las diferentes relaciones RO/OH a 35°C.....	37
Figura 11. Perfil de producción de biogás de diferentes relaciones de RO y OH.....	38
Figura 12. Caracterización de la composición de biogás producido en 5 días de evaluación.....	40
Figura 13. Arranque de digestor D1 (A) y D2 (C) y primera reposición de digestor D1 (B) y D2 (D).....	43
Figura 14. Variabilidad de pH durante la operación de los digestores alimentados por lote. Digestor D1 y D2 alimentados con mezcla de RO/OH (60/ 40 %)	44
Figura 15. Producción de biogás por recambio de mezcla durante la digestión anaerobia de la mezcla RO/OH (60/40) operación de los digestores anaerobio alimentado por lotes.....	45
Figura 16. Tasa de producción de biogás de mezcla de RO/OH (60/40) en los digestores anaerobio alimentado por lotes.....	46

Figura 17. Caracterización de la composición de biogás durante la DA de RO/OH (60/40) en digestores operados por lote alimentado. D1 y D2.	48
Figura 18. Concentración de amonio durante la operación de digestor D2.....	51
Figura 19. Curva de calibración para el análisis de Amonio	64
Figura 20. Curva de calibración para el análisis de DQO	65
Figura 21. Curva de calibración para el análisis de sulfatos.....	66
Figura 22. Curva de calibración para el análisis de proteínas	67
Figura 23. Curva de calibración para el análisis de carbohidratos	68
Figura 24. Curva de calibración para la determinación de metano	69
Figura 25. Curva de calibración para la determinación de hidrógeno	70
Figura 26. Curva de calibración para la determinación de dióxido de carbono	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Grupos de microorganismos que participan en la digestión anaerobia	6
Cuadro 2. Valores de pH reportados como adecuados en diferentes estudios de digestión anaerobia de residuos orgánicos.....	8
Cuadro 3. Características de residuos orgánicos reportado en la literatura.	11
Cuadro 4. Relaciones en porcentaje de residuos orgánicos (RO) y orina hidrolizada (OH)	30
Cuadro 5. Caracterización de residuos orgánicos, $n^*=4$	34
Cuadro 6. Parámetros cinéticos de lodo granular anaerobio	35
Cuadro 7. Remoción de componentes de las diferentes relaciones (RO/OH).....	41
Cuadro 8. Valores promedio de las constantes cinéticas de las diferentes relaciones RO/OH durante la producción de biogás	42
Cuadro 9. Valores de eficiencia máxima de biogás e hidrógeno, remoción de DQO y carbohidratos para los digestores D1 y D2, RO/OH (60/40)	50

NOMENCLATURA Y ABREVIACIONES

AME:	Actividad metanogénica específica
CO₂:	Dióxido de carbono
CH₄:	Metano
d:	Días
DA:	Digestión anaerobia
D1:	Digestor 1 (operado de Oct-Dic)
D2:	Digestor 2 (operado de Ene-Mar)
DQO:	Demanda química del oxígeno (mg/L)
H₂:	Hidrógeno
Hmax:	Producción máxima acumulada de biogás (mL)
OH:	Orina hidrolizada
PBM:	Potencial bioquímico de metano
Rmax:	Tasa máxima de producción de biogás (mL/h)
RO:	Residuos orgánicos
RO/OH:	Relación de residuos orgánicos y orina hidrolizada
rpm:	Revoluciones por minuto
SV:	Sólidos volátiles (g/L)
λ:	Fase Lag (h)