



UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Ángel

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
EN UN REACTOR UASB UTILIZANDO VINAZA DE
MEZCAL DILUIDA CON ORINA HUMANA
HIDROLIZADA**

TESIS

Que para obtener el título profesional de Ingeniera Ambiental

Presenta

Mirian Cruz Mejía

Directora de tesis

M.C. Belem Espinosa Chávez

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 2022

RESUMEN

En las últimas décadas la producción y el consumo de bienes ha incrementado, trayendo consigo la generación de residuos. La industria de alcohol principalmente tequila y mezcal generan gran cantidad de vinazas que se caracterizan por tener alto contenido de materia orgánica y pH bajo. Para su tratamiento se ha empleado en su mayoría la digestión anaerobia en reactores de lecho de lodo de flujo ascendente (UASB). Algunos de los parámetros más relevantes son el potencial de hidrógeno (pH), la relación demanda química de oxígeno/nitrógeno (DQO/N), tiempo de retención hidráulica (TRH), entre otros. Para incrementar el pH y favorecer la relación carbono/nitrógeno (C/N) se utilizó orina humana hidrolizada. Se realizaron diferentes mezclas de vinaza/orina humana hidrolizada y posteriormente se eligieron tres relaciones para evaluar parámetros cinéticos en reactores por lotes y escalar el de mejor producción específica de metano a un reactor UASB. El reactor se operó durante 29 días con TRH de 1.2 d y temperatura ambiente, monitoreando principalmente porcentaje de remoción de DQO, carbohidratos y sólidos en diversas formas. También se evaluó el pH, $N-NH_4^+$, alcalinidad, producción y caracterización de biogás. La relación con mayor producción específica de metano en lote fue la de 60:40, siendo de 1028 mL CH_4/g SV y con potencial bioquímico de metano de 75 mL CH_4/g DQO. Durante la operación del reactor se obtuvo una máxima producción de biogás de 6.22 L/d, con un contenido de CH_4 entre 43-57 % y eficiencia de remoción de DQO mayores al 13 %. La orina hidrolizada favoreció la relación DQO/N, el incremento de pH y aportó alcalinidad a la vinaza de mezcal por lo que es una alternativa para el tratamiento de este tipo de efluente.

DEDICATORIA

A mis padres, por ser los principales autores de este gran logro; a mi madre por su apoyo incondicional, por darme los mejores consejos y ser un ejemplo para seguir, a pesar de las dificultades que se le presentaron nunca se dio por vencida y dio lo mejor de ella para sacarme adelante. Aunque ella ya no esté conmigo en estos momentos por cosas de la vida, le estoy eternamente agradecida, sé que ella debe de estar orgullosa de mí como yo lo estoy de ella y siempre le dedicaré mis éxitos.

A mi padre por ser un ejemplo para seguir, una persona exitosa y de buenos ideales, quien me ha dado los mejores consejos de vida, por inculcarme hacer lo que más me gusta y apoyarme en mis decisiones, a él también le estoy eternamente agradecida.

A mi hija Lia Nahomi por darle sentido a mi vida y ser mi principal motor para seguir superándome.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al maestro mezcalero Francisco González García, por su contribución a esta tesis por la donación de la vinaza de mezcal.

Agradezco a la M.C Belem Espinosa Chávez y a la Dra. Susana García Ortega por su apoyo para la realización de este proyecto, así como en la realización de mi servicio social y parte de mi formación académica.

Agradezco al Dr. Aitor Aizpuru, Q.B. Concepción Martínez Lievana y Dr. Carlos Estrada Vázquez por su revisión y comentarios que contribuyeron a mejorar este trabajo.

Al resto de mis profesores por haberme inculcado los conocimientos necesarios para mi formación.

También agradezco a mis hermanos Ángel, Fidel, Ime, Aby, Reyna por formar parte de mi vida y en su momento darme consejos y ánimos para seguir adelante. A mi hermanita Sahily Itahí por ser una niña tan carismática y alegrarme mis días.

A mis amigos Itzel, Sheyla, Ray, Diana, Jacke, Miguel, Diana Laura, Mariana, Laura y Edwin por haber estado conmigo en el trayecto de este gran logro y darme sus mejores consejos. A mis compañeros en general por formar parte de esta trayectoria.

Finalmente agradezco a mi pareja Fidel Villanueva por formar parte de mi vida y apoyarme para culminar este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Vinazas	4
2.2 Digestión anaerobia	5
2.3 Reactor de lecho de lodo de flujo ascendente (UASB -Upflow Anaerobic Sludge Blanket)	8
2.4 Orina humana	11
3. ANTECEDENTES	13
4. JUSTIFICACIÓN	20
5. HIPÓTESIS	21
6. OBJETIVOS	21
7. MATERIALES Y MÉTODOS	22
7.1 Materiales	22
7.1.1 Vinaza de Mezcal	22
7.1.2 Inóculo	22
7.1.3 Orina humana hidrolizada	22
7.2 Métodos experimentales	22
7.2.1 Actividad Metanogénica Específica (AME)	22
7.2.2 Caracterización fisicoquímica de la vinaza de mezcal	23
7.2.3 Relación Vinaza/ Orina hidrolizada	24
7.2.4 Cinética de producción de metano en las diferentes relaciones Vinaza/Orina hidrolizada	24

7.2.5 Operación del reactor de lecho de lodo anaerobio de flujo ascendente (UASB).....	24
7.3 Métodos analíticos.....	25
7.3.1 Determinación de sólidos totales y volátiles en muestra sólidas y líquidas	25
7.3.2 Determinación de proteína	26
7.3.3 Potencial de Hidrógeno (pH)	27
7.3.4 Determinación de amonio/amoniaco.....	27
7.3.5 Determinación de fosfato (PO ₄ ³⁻).....	28
7.3.6 Conductividad.....	29
7.3.7 Demanda química de oxígeno (DQO), por el micro método de reflujo cerrado.....	29
7.3.8 Determinación de sulfatos.....	30
7.3.9 Cuantificación de biogás producido en el reactor UASB por desplazamiento.....	30
7.3.10 Caracterización del biogás producido en el reactor UASB por cromatografía de gases	30
7.3.11 Determinación de carbohidratos.....	31
7.3.12 Determinación de parámetros cinéticos en reactores por lote	32
8. RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
8.1 Evaluar el efecto de la dilución vinaza/orina hidrolizada.....	33
8.1.1 Caracterización de la vinaza de mezcal.....	33
8.1.2 Caracterización de la orina hidrolizada	34
8.1.3 Análisis de las diluciones vinaza/orina hidrolizada.....	35
8.1.4. Actividad Metanogénica Específica (AME) del lodo granular anaerobio utilizado como inóculo.....	36
8.1.5 Parámetros cinéticos del inóculo con diferentes relaciones Vinaza/Orina hidrolizada.....	37
8.1.6 Determinación del potencial bioquímico de metano y biodegradabilidad de vinaza	39

8.2. Arranque y desempeño del reactor UASB alimentado con la mezcla	
Vinaza/Orina hidrolizada (60/40)	42
8.2.1 Inoculación y acondicionamiento del reactor UASB	42
8.2.2 Desempeño del reactor UASB operado en continuo	43
8.2.2.1. Índices de alcalinidad y pH	43
8.2.2.2 Reducción de la carga contaminante en la relación Vinaza/Orina hidrolizada	47
8.3. Producción y caracterización de biogás generado en el tratamiento de V/OH	50
9. CONCLUSIONES	53
10. RECOMENDACIONES	54
11. REFERENCIAS	55
12. ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamiento para vinazas, modificado de (Robles-González et al., 2012).	5
Tabla2. Clasificación de reactores anaerobios Modificado de Khanal, 2008.	8
Tabla 3. Valores promedio de compuestos presentes en la orina humana hidrolizada (Del valle, 2017).	12
Tabla 4. Caracterización vinazas de mezcal y tequila.	34
Tabla 5. Valores de pH y N-NH ₄ ⁺ de las relaciones Vinaza/ Orina Hidrolizada.....	36
Tabla 6. Parámetros cinéticos del modelo de Gompertz para la producción de metano con diferentes relaciones V/OH del inóculo	38
Tabla 7. Rendimiento de metano en función de la DQO presente en la vinaza en las diferentes relaciones V/OH.....	40
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos evaluados durante el tratamiento anaerobio de la relación vinaza de mezcal/orina hidrolizada (60/40) en el reactor UASB.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de obtención del mezcal.....	3
Figura 2. Etapas de la digestión anaerobia, modificado de Khanal, 2008.	6
Figura 3. Configuración esquemática del reactor UASB.	9
Figura 4. Medición de metano por desplazamiento.	23
Figura 5. Perfil de producción de metano del lodo granular anaerobio con glucosa.....	37
Figura 6. Cinética de producción de metano específica por lotes con diferentes relaciones	38
Figura 7. Evolución del pH.....	44
Figura 8. Evolución alcalinidad.	45
Figura 9. Índices de alcalinidad del reactor UASB alimentado con la relación V/OH (60/40).....	46
Figura 10. a) color de la vinaza cruda, b) mezcla de V/OH (60/40), c) formación de precipitados	49
Figura 11. Generación de precipitados durante el tratamiento anaerobio de la mezcla V/OH.....	50
Figura 12. Producción de biogás y eficiencia de eliminación de DQO en el reactor UASB.....	51
Figura 13. Producción y caracterización de biogás producido durante el tratamiento anaerobio de la mezcla vinaza/OH en un reactor UASB.....	52