

UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Ángel



EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE TRES CEPAS FÚNGICAS (*Fusarium solani*, *Alternaria alternata*, y *Talaromyces pinophilus*) PARA LA DEGRADACIÓN DE VAPORES DE METANOL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERA AMBIENTAL

PRESENTA

DIANA ALEJANDRA JIMÉNEZ SANTOS

DIRECTOR

DR. AITOR AIZPURU

PUERTO ÁNGEL, OAXACA 2020

Dedicatoria

A mis padres Carmen y Alejandro.

A mi hermano Abraham.

A mis abuelos.

Agradecimientos

A la Universidad del Mar por mi formación académica y profesional.

Al Dr. Aitor Aizpuru por la oportunidad de realizar este trabajo bajo su dirección.

A la Dra. Susana García, M.C. Cervando Sánchez, M.C. Belem Espinosa, y M.C. Yolanda Huante quienes revisaron y aprobaron este trabajo.

A mis profesores y profesoras que dedicaron tiempo y disponibilidad a mi aprendizaje, muchas gracias.

A mi familia por su amor y apoyo incondicional.

A Jared Pérez por compartir esta etapa, por los buenos momentos y por crecer juntos, gracias.

A mis amigos Rosario, Rafael, Monserrat a pesar de la distancia seguimos unidos.

A mis amigos que me recibieron e integraron a su círculo, por haberme regalado momentos, experiencias y consejos únicos. Gracias Eduardo, Alejandra, Abril, Ivan, Mayra, Anyeli, Liz, Vicente, Mirian, Ray, Itzel, Ernestina, Daniela, Isma, Pablo y Juan.

A mis compañeros y amigos de generación Mirian, Carlos, Noe, Jaqueline, Jorge, Quero e Ivan.

A todas las personas que me han acompañado en el proceso de elaboración de este trabajo.

Gracias a la inteligencia infinita que es Dios.

Índice de contenido

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Compuestos orgánicos volátiles.....	1
1.1.1	Definición	1
1.1.2	Fuentes	2
1.1.3	Efectos	4
1.1.4	Principales compuestos orgánicos volátiles.....	4
1.1.5	Métodos de tratamiento	7
1.2	Biofiltración	8
1.2.1	Desempeño de un biofiltro.....	10
1.2.2	Diferentes contaminantes tratados	13
1.2.3	Poblaciones microbianas.....	16
1.3	Biofiltración fúngica	18
1.3.1	Características generales de los hongos.....	18
1.3.2	Inconvenientes de la biofiltración fúngica.....	19
1.3.3	Ventajas de la biofiltración fúngica	20
1.3.4	Antecedentes	22
1.4	Uso de microcosmos	25
2.	JUSTIFICACIÓN	27
3.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	28
3.1	Hipótesis	28
3.2	Objetivos	28
3.2.1	Objetivo general.....	28
3.2.2	Objetivos particulares	28
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.1	Cepas fúngicas	29
4.1.1	Activación de las cepas fúngicas y conservación	29
4.1.2	Crecimiento en presencia de metanol	30
4.2	Soporte microbiano	31
4.2.1	Densidad aparente.....	32
4.2.2	Grado de vacío	32
4.2.3	Densidad real	32
4.2.4	Capacidad de retención de agua.....	32

4.3	Técnicas analíticas	33
4.3.1	Análisis de la fase gaseosa.....	33
4.3.2	Análisis del soporte microbiano	34
4.4	Descripción de los microcosmos utilizados.....	37
4.4.1	Reactor	37
4.4.2	Componentes y preparación del microcosmos	38
4.4.3	Diferentes configuraciones de microcosmos utilizados.....	44
4.5	Microcosmos abióticos	45
4.5.1	Comprobación de la hermeticidad del sistema	45
4.5.2	Determinación de la constante de solubilidad de metanol.....	46
4.5.3	Cálculos para determinar la constante de Henry	47
4.6	Microcosmos bióticos	49
4.6.1	Estimación del desempeño de cada cepa	49
4.6.2	Extrapolación al desempeño de un biofiltro	52
4.6.3	Mineralización del metanol	53
5.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	54
5.1	Caracterización del soporte microbiano.....	54
5.2	Aspectos microbiológicos.....	54
5.2.1	Descripción de las cepas fúngicas	55
5.2.2	Características macroscópicas y microscópicas	57
5.2.3	Prueba metilotrófica.....	59
5.3	Microcosmos sin actividad biológica (abióticos)	59
5.3.1	Prueba de hermeticidad.....	60
5.3.2	Determinación de la constante de solubilidad de Henry.....	61
5.4	Microcosmos bióticos y cinéticas de consumo de metanol	65
5.4.1	<i>Fusarium solani</i>	65
5.4.2	<i>Alternaria alternata</i>	72
5.4.3	<i>Talaromyces pinophilus</i>	78
5.5	Extrapolación a un biofiltro	81
5.5.1	Resultados.....	81
5.5.2	Comparación con otras cepas de la literatura	86
6.	CONCLUSIONES	88
7.	REFERENCIAS.....	89

UNIDAD

%	porcentaje
°C	grados Celsius
μL	microlitro
atm	atmósfera
g	gramo
$g \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$	gramo/(gramo. hora)
$g \cdot m^{-3}$	gramos/metro cúbico
$g \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$	gramo/(metro cúbico. hora)
$g \cdot mol^{-1}$	gramos/mol
h	hora
h^{-1}	1/hora
kPa	kilopascal
m^3	metro cúbico
mg	miligramo
$mg \cdot m^{-3}$	miligramos/metro cúbico
t	tonelada

NOMENCLATURA

		UNIDAD
α	Cantidad de metanol inicial	g
β	Parámetro relacionado a la condición inicial	adimensional
ρ_{agua}	Densidad del agua	$997 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
ρ_{ap}	Densidad aparente	$\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
ρ_{real}	Densidad real	$\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
% Humedad	Porcentaje de humedad	%
Biomasa <small>lixiviado</small>	Biomasa arrastrada en el lixiviado	g
Biomasa <small>perlita</small>	Biomasa retenida en la perlita	g
Biomasa <small>total</small>	Cantidad total de biomasa	g
$C_{\text{g salida}}$	Concentración de COV a la salida	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
C_{Biomasa}	Contenido de biomasa	$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$
CE	Capacidad de eliminación	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$
CE_{max}	Capacidad máxima de eliminación	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$
CEBB	Capacidad de eliminación basada en biomasa	$\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
$C_{\text{g entrada}}$	Concentración de COV a la entrada	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
C_{gas}	Concentración en fase gas al equilibrio	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
C_{liq}	Concentración en la fase líquida	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$

CRA	Capacidad de retención de agua	%
ϵ	Grado de vacío de un material	sin unidad
ER	Eficiencia de remoción	%
g C CH ₃ OH	Consumo de metanol	g·m ⁻³
g C CO ₂	Producción de CO ₂ en gramos de carbono	g·m ⁻³
gCH ₃ OH totales	Gramos de metanol totales	g
gintroducidos de CH ₃ OH	Cantidad de metanol introducida	g
H	Constante de Henry de solubilidad	C _{L,eq} /C _{G,eq}
H _{experimental}	Constante de Henry experimental (solubilidad)	adimensional
H _{global}	Constante de Henry global (solubilidad)	adimensional
IL	Carga de entrada	g·m ⁻³ ·h ⁻¹
K _H	Constante de Henry de volatilidad	C _{G,eq} / C _{L,eq}
k	Tasa de consumo de metanol	h ⁻¹
mineralizacion%	Porcentaje de mineralización	%
m _{muestra}	Masa de la perlita	g
P _{muestra}	Peso de perlita inoculada	g
P _{perlita saturada}	Peso de perlita saturada	g
P _{perlita seca}	Peso de perlita seca a 100°C	g
P _{probeta}	Peso de la probeta	g
P _{probeta con perlita}	Peso de la probeta con perlita	g
P _{secado}	Peso de perlita inoculada secada a 105°C	g
Q	Flujo de aire a tratar	m ³ ·h ⁻¹
r	Coefficiente de correlación del ajuste (Gompertz)	adimensional
Sc	Cantidad de metanol consumida	g
V _{empaque}	Volumen del material de empaque	m ³ ·h ⁻¹
V _{gas}	Volumen espacio de cabeza	m ³
V _{liq}	Volumen de agua presente en el soporte	m ³
V _{max}	Velocidad máxima de consumo	g·h ⁻¹
V _{perlita}	Volumen de perlita introducida	m ³
V _{probeta}	Volumen de la probeta	mL

ACRÓNIMOS

ATP	Trifosfato de adenosina
BTEX	Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno
CE _{max}	Capacidad máxima de eliminación
C _{G,eq}	Concentración en fase gas al equilibrio
CH _{1.8} °0.45N _{0.2}	Biomasa fúngica

CH ₃ OH	Metanol
C _{L,eq}	Concentración en fase líquida al equilibrio
CO ₂	Dióxido de carbono
COVs	Compuestos orgánicos volátiles
DS	Dextrosa Sabouraud
ech42	Endoquitinasa recombinante
EEUU	Estados Unidos de América
EPA	Agencia de Protección Ambiental
FID	Detector de Ionización de Llama
gas LP	Gas Licuado de Petróleo
H ₂ O	Agua (monóxido de hidrógeno)
HAPs	Contaminante peligroso del aire (Hazardous Air Pollution)
HCl	Ácido clorhídrico
HCNQ	Hidrocarburos no quemados
IED	Directiva Emisiones Industriales (Industrial Emissions Directive)
IL _{crítica}	Carga crítica
NAD ⁺	Nicotinamida adenina dinucleótida (forma oxidada)
NADH	Nicotinamida adenina dinucleótida (forma reducida)
N,P,K, S	Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre
NH ₄ Cl	Cloruro de amonio
O ₂	Oxígeno
P _{agua añadida}	Agua para llenar espacios vacíos de la perlita
PDA	Agar de Dextrosa y Papa (Potato Dextrose Agar)
PTFE	Septo de politetrafluoretileno
pH	Potencial de hidrógeno
PVC	Policloruro de vinilo
RB	Rosa de Bengala con cloranfenicol
SV	Sólidos volátiles
t de Student	Prueba estadística t
TCD	Detector de Conductividad Térmica (Thermal conductivity detector)
Tg de C	Teragramos de carbono
TRI	Inventario de emisiones tóxicas (Toxics Release Inventory)
USEPA	Agencia de protección ambiental de EU (US Environmental Protection Agency)
UV	Radiación Ultravioleta
V _{vacío}	Volumen vacío
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
ΔT	Diferencia de temperatura
EOP	Tecnologías de fin de proceso (end-of-pipe)

Índice de figuras

Figura 1. Fuentes de COVs en la ZMVM en 2012.....	3
Figura 2. Curva típica de CE en función de IL	11
Figura 3. Determinación de humedad de la perlita	34
Figura 4. Lavado de perlita para la cuantificación de biomasa.....	36
Figura 5. Opciones para sellar el microcosmos	37
Figura 6. Esquema de un microcosmos	38
Figura 7. Acondicionamiento de la perlita.....	40
Figura 8. Inoculación de la perlita	42
Figura 9. Microcosmos con perlita inoculada.....	43
Figura 10. Variables α , β y k del modelo de Gompertz	51
Figura 11. Colonias fúngicas en RBA	55
Figura 12. Colonias fúngicas en a) RBA, b) SA y c) PDA.....	56
Figura 13 . Características a) macroscópicas y b) microscópicas de <i>F. solani</i>	58
Figura 14. Características a) macroscópicas y b) microscópicas de <i>A. alternata</i>	58
Figura 15. Características a) macroscópicas y b) microscópicas de <i>T. pinophilus</i>	58
Figura 16. Evolución del metanol en fase gas para microcosmos vacío y control	61
Figura 17. Equilibrio gas-líquido en microcosmos blanco y testigo	62
Figura 18. Constante de Henry global	64
Figura 19. Cinéticas de consumo de metanol en fase gas por <i>F. solani</i>	66
Figura 20. Consumo de metanol en fase gas por <i>F. solani</i>	67
Figura 21. Ajuste del consumo de metanol al modelo de Gompertz (<i>F. solani</i>)	68
Figura 22. Producción de CO ₂ por <i>F. solani</i>	70
Figura 23. Cinéticas de consumo de metanol en fase gas por <i>A. alternata</i>	73
Figura 24. Consumo de metanol en fase gas con <i>A. alternata</i>	74
Figura 25. Ajuste del consumo de metanol al modelo de Gompertz (<i>A. alternata</i>)	75
Figura 26. Producción de CO ₂ por <i>A. alternata</i>	77
Figura 27. Cinéticas de consumo de metanol en fase gas por <i>T. pinophilus</i>	79
Figura 28. Producción de CO ₂ por <i>T. pinophilus</i>	80
Figura 29. Valor significativamente superior de ECBB, para <i>F. solani</i>	82
Figura 30. Valores significativamente inferiores de CE _{BB} para <i>A. alternata</i>	83
Figura 31. Valores estadísticamente superiores de CE _{max}	84
Figura 32. Valores estadísticamente a) superiores, y b) inferiores de CE _{BB}	84

Índice de tablas

Tabla 1. Principales COVs emitidos por fuentes puntuales en EEUU, en 2017 (18).....	5
Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas y toxicidad de metanol (21)	6
Tabla 3. Antecedentes de biofiltración de metanol.....	15
Tabla 4. Cepas <i>Fusarium</i> , <i>Alternaria</i> y <i>Talaromyces</i> en biofiltración	24
Tabla 5. Microcosmos empleados.....	45
Tabla 6. Caracterización de la perlita (sin repeticiones).....	54
Tabla 7. Prueba de crecimiento con metanol	59
Tabla 8. Determinación de la constante de solubilidad de Henry con metanol a 25°C y biomasa inactivada y perlita sin inocular.....	63
Tabla 9. Comparación estadística de las constantes de Henry obtenidas	63
Tabla 10. Condiciones del microcosmos de <i>F. solani</i>	65
Tabla 11. Ajuste al modelo de Gompertz y constantes cinéticas con <i>F. solani</i>	70
Tabla 12. Mineralización del metanol con <i>F. solani</i>	71
Tabla 13. Condiciones del microcosmos con <i>A. alternata</i>	72
Tabla 14. Ajuste al modelo de Gompertz y constantes cinéticas con <i>A. alternata</i>	76
Tabla 15. Mineralización del metanol con <i>A. Alternata</i>	78
Tabla 16. Condiciones del microcosmos con <i>T. pinophilus</i>	78
Tabla 17. Consumo de metanol de las diferentes cepas extrapolado a un biofiltro.....	81
Tabla 18. Comparación de CEBB con otros estudios.....	86

RESUMEN

El tratamiento biológico de aire contaminado por compuestos orgánicos volátiles, usualmente se ha reservado el uso de hongos para la degradación de compuestos hidrófobos. Sin embargo, su presencia durante el tratamiento de compuestos polares ha sido observada. En particular, en un trabajo anterior, se identificaron y aislaron tres cepas fúngicas (*Fusarium solani*, *Alternaria alternata*, *Talaromyces pinophilus*) en un biofiltro que trataba metanol. El objetivo del presente trabajo es evaluar la capacidad de degradación de vapores de metanol de estas cepas, en reactor en lote. Dos concentraciones de metanol en fase gas fueron probadas (11.4 y $17.1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$), cercanas a las aplicadas en el biofiltro. A estas concentraciones, las cepas *F. solani* y *A. alternata* fueron capaces de tratar el contaminante contrariamente a *T. pinophilus*. El mayor desempeño fue observado con *A. Alternata* a la concentración de $11.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, con una capacidad de eliminación de $1.81 \cdot 10^{-2} \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. A mayor concentración, se notó una posible inhibición de la actividad microbiana, con una disminución de su desempeño de cerca de 50 %. Por lo contrario, *F. solani* mantuvo una actividad estable a ambas concentraciones, con una capacidad de eliminación promedio de $1.15 \cdot 10^{-2} \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. Los valores encontrados están en el rango alto de lo reportado para la degradación de metanol con otras cepas, lo que recomienda el uso de estas dos cepas fúngicas en aplicaciones de biofiltración. A pesar del mayor desempeño de *A. alternata*, la mayor resistencia de *F. solani* ante altas concentraciones puede ser aprovechada en el caso del tratamiento de altas cargas de metanol.