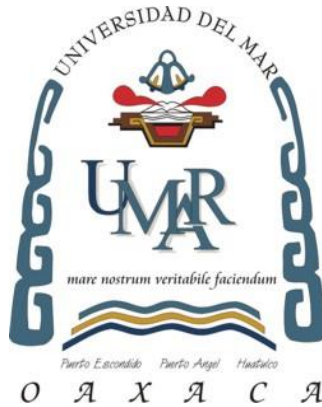


UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Ángel



“COMPOSTAJE DE BAGAZO DE AGAVE MEZCALERO Y SU BIOAUMENTACIÓN CON *Fischerella sp.*”

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Presenta:

Eduardo Salazar Martínez

Director de tesis:

Dr. Eustacio Ramírez Fuentes

Puerto Ángel, Oaxaca.

Marzo de 2025

Resumen

El compostaje es una tecnología de tratamiento de residuos orgánicos, y una alternativa para fomentar una economía circular en contextos agrícolas. En esta investigación se obtuvo una composta madura y estable a partir de residuos de bagazo de agave mezcalero, vinazas y residuos de pescado, y se evaluó su utilidad como sustrato alternativo en el crecimiento de plántulas de *Carica Papaya* var. Maradol, con y sin la inoculación de *Fischerella* sp. como biofertilizante. Se analizaron los insumos para fijar una condición inicial de R C/N 30, y dos pilas fueron elaboradas, la pila A fue regada con vinaza y la pila B con agua natural. El compostaje de bagazo de agave con residuos de pescado tuvo una duración de 94 días. De acuerdo con la NMX-AA-180-SCFI-2018, la Composta A cumple con casi todos los requisitos, excepto el de pH, mientras que la Composta B no cumple con 3 criterios (humedad, pH y conductividad). Se evaluó el crecimiento de *Carica papaya* en 10 tratamientos usando como sustrato mezclas de las compostas y aserrín, y en la mitad de los tratamientos se evaluó el efecto del biofertilizante. El uso de biofertilizante no aportó cambios significativos en la mayoría de los parámetros (raíz, diámetro del tallo, número de hojas, peso fresco) por lo cual no se recomienda su uso para *Carica papaya* en la etapa de almácigo, al menos no en la concentración que utilizamos. El biofertilizante tuvo un efecto negativo para el peso seco uno de los tratamientos, y en general tuvo un efecto negativo en las alturas de las plántulas para todos los tratamientos, excepto la turba. Se concluyó que el compostaje de residuos de la industria del mezcal (bagazo y vinazas) con residuos de pescado es viable como tratamiento de residuos y el producto obtenido tiene el potencial de ser utilizado como un sustrato agrícola, siendo factible su uso como alternativa a la turba comercial, e incluso superándola en términos de calidad de plántulas, en el caso de plántulas de *Carica papaya*.

Dedicatoria

Al Corazón misericordioso, manso y humilde de Jesucristo

Agradecimientos

Gracias, papá y mamá, por todo su apoyo durante toda la vida, y en esta etapa universitaria, gracias, gracias. Gracias a mis hermanos, Fernando, Ignacio, Daniela, por su cariño. Los quiero mucho, queridísima familia.

Gracias a todas aquellas personas que colaboraron en mi educación durante todos estos niveles, profesores y personal escolar. Especialmente al Dr. Eustacio, por su comprensión y paciencia, como director de tesis, y a todos los revisores de este trabajo.

Gracias a aquellas personas que me regalaron su tiempo, atención, cariño, y que llegué a llamar amigos, y aún los sigo llamando. Especialmente a mis queridas Michelle y Lizbeth, por tanto, en tiempo, estudio, risas, juntos. Gracias a mis amigos forjados en Puerto Ángel y CDMX, que estuvieron a mi lado mientras este sueño se materializaba, y que conocí en la escuela, la Iglesia y el campo laboral.

Gracias a mi grupo, “el hormiguero”, por compartir esos 5 años de formación, y a manera de recuerdo coloco sus nombres: Marlo, David, Nere, Cid, Chucho, Alexis, *Luis, Frida, Dani, Liz, Mich, Ale, Laurita*, Diego. Les deseo lo mejor.

Gracias, Eduardo, por valorarte y no rendirte. ¡Lo hicimos!

Gracias a ti que lees este escrito, me gustaría regalarte este consejo: cuida tu salud mental.

Por último, mi eterno agradecimiento a Cristo, quien estuvo en todo momento, quien estará siempre, y a quien mi corazón quiere pertenecer y amar, aún dentro de mis flaquezas, respondiendo a ese amor que Él me dio primero.

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	9
II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Sustentabilidad y Agricultura	10
2.2 Residuos de la agroindustria del mezcal y pesqueros	10
2.2.1 Residuos de la agroindustria del mezcal	11
2.2.1.1 Bagazo de agave	12
2.2.1.2 Vinaza	14
2.2.2 Residuos de pescado	15
2.2.3 Clasificación de los residuos de acuerdo a la legislación ambiental mexicana	17
2.2.3.1 Residuos de Manejo Especial (RME)	17
2.2.3.2 Agua residual	19
2.3 El compostaje de residuos	20
2.3.1 Definición del proceso de compostaje	20
2.3.2 Usos y beneficios del uso de composta	21
2.3.3 Etapas del compostaje	22
2.3.3.1. Fase mesófila	22
2.3.3.2. Fase termófila y de desinfección	22
2.3.3.3. Fase de enfriamiento o Mesófila II	23
2.3.3.4. Maduración	23
2.3.4 Parámetros del compostaje	25
2.3.4.1 Parámetros de Inicio (“puesta en marcha”)	25
2.3.4.1.1 Relación carbono / nitrógeno (R C/N)	25
2.3.4.1.2 Humedad	27
2.3.4.1.3 Porosidad y tamaño de partícula	27
2.3.4.1.4 Oxígeno	28
2.3.4.2 Parámetros de monitoreo	28
2.3.4.2.1 Temperatura	28
2.3.4.2.2. pH	30
2.3.4.2.3 Conductividad	31
2.3.4.3 Parámetros de calidad	31
2.3.4.3.1 Estabilidad y madurez	32
2.3.5 Técnicas y aditivos en el compostaje	33

2.4 Generalidades de las Cianobacterias	35
2.4.1 Biología de las cianobacterias	35
2.4.2 Ecología de las cianobacterias.....	35
2.4.3 Las cianobacterias como biofertilizantes	36
2.5 Generalidades de los sustratos hortícolas y las plántulas.....	39
2.6 Generalidades del cultivo de <i>Carica papaya</i> L.	41
III. ANTECEDENTES	43
3.1 Compostaje de residuos agroindustriales y pesqueros.....	43
3.2 Uso de microorganismos como biofertilizantes.....	45
3.3 Producción de plántulas en sustratos naturales y empleando biofertilizantes	46
IV. JUSTIFICACIÓN	48
V. HIPÓTESIS.....	49
VI. OBJETIVOS.....	50
6.1 General	50
6.2 Objetivos particulares	50
VII. METODOLOGÍA	51
7.1 Compostaje de bagazo de agave.....	52
7.1.1 Obtención de los residuos.....	52
7.1.2. Medición de peso volumétrico de bagazo de agave (Consideración de 30 %H)	53
7.1.3 Elaboración de las mezclas de residuos para su compostaje.....	53
7.1.4 Técnica de compostaje.....	56
7.1.5 Pruebas de laboratorio realizadas durante el proceso de compostaje	58
7.1.5.1 Pruebas realizadas a los insumos	58
7.1.5.2 Pruebas realizadas durante el compostaje	58
7.1.5.2.1 Temperatura.....	58
7.1.5.2.2 Humedad.....	58
7.1.5.2.3 pH y Conductividad	59
7.1.5.2.4 Nitrógeno Total Kjeldal (NTK).....	60
7.1.5.2.5 Carbono Orgánico Total (COT)	61
7.1.6 Pruebas de laboratorio realizadas a la composta como producto final.....	63
7.1.6.1 Estabilidad	63
7.1.6.2 Muestreo de las pilas	64
7.1.6.3 pH	65

7.1.6.4 Conductividad eléctrica	65
7.1.6.5 Análisis químicos	66
7.1.6.6 Humedad	66
7.1.6.7 Capacidad de retención de agua	66
7.1.6.8 Densidad real, densidad aparente, espacio poroso	67
7.1.6.9 Prueba de Incubación aerobia.....	69
7.1.6.9.1 Respiración (Prueba CO ₂)	69
7.1.6.10 Índice de Germinación (IG).....	70
7.1.6.11 Coliformes fecales	71
7.1.6.12 Tamizado de las compostas.....	71
7.2 Almácigo de <i>Carica papaya</i> v. Maradol utilizando sustratos no convencionales y biofertilizante ...	71
7.2.1 Pretratamiento de las semillas de papaya	73
7.2.2 Preparación de los sustratos	73
7.2.3 Germinación de las semillas de papaya	73
7.2.4 Siembra de las semillas	74
7.2.5 Riego de las plántulas.....	74
7.2.6 Determinación de biomasa de cianobacterias a través de peso seco (adaptación de Arredondo & Votolina 2007)	75
7.2.7 Monitoreo de la altura de las plantas en la charola de la germinación	76
7.2.8 Análisis de las plántulas al corte (34 y 35 DDS).....	76
7.2.8.1 Longitud radicular, diámetro del tallo, número de hojas	76
7.2.8.2 Peso fresco y peso seco.....	76
7.2.8.3 Análisis estadístico	77
VIII. RESULTADOS	78
8.1 Análisis de laboratorio de los insumos.....	78
8.2. Pruebas realizadas durante el compostaje	79
8.2.1 Temperatura.....	79
8.2.2 Humedad	83
8.2.3 pH	85
8.2.4 Conductividad.....	87
8.2.5 Pruebas realizadas a las compostas como producto final	90
8.2.5.1 Pruebas fisicoquímicas (pH, conductividad, temperatura, R C/N) e IG.....	90
8.2.5.2 Prueba microbiológica (Coliformes fecales).....	91

8.2.5.3 Propiedades físicas de la composta (Capacidad de retención de agua, Densidad Real, Densidad Aparente, Espacio Poroso Total)	92
8.2.5.4 Pruebas de calidad de la composta: estabilidad, producción de CO ₂ e Índice de germinación.....	93
8.2.5.4.1 Prueba de estabilidad.....	93
8.2.5.4.2 Prueba de emisión de CO ₂	94
8.2.5.4.3 Prueba de madurez (Índice de Germinación)	94
8.3 Prueba de germinación de semillas de <i>Carica papaya</i>	95
8.3.1 Altura de las plántulas durante su crecimiento en charola de germinación	95
8.3.2 Resultados de las plántulas al corte (34 y 35 DDS): Altura, Raíz, Diámetro del Tallo, Número de hojas, Peso fresco y Peso Seco.	96
8.3.2.1 Raíz, diámetro del tallo, número de hojas 35 DDS.....	97
8.3.2.2 Peso fresco y peso seco.....	101
IX. CONCLUSIONES	105
X. RECOMENDACIONES	107
Literatura citada	108
Anexo I.....	116

Índice de figuras

Figura 1 Perfil de tiempo de la temperatura promedio de una pila de compostaje [Editada de Sánchez, Ospina y Montoya (2017)].....	24
Figura 2 Categorías de los parámetros utilizados en el compostaje [Adaptado de Azim et al. (2018)]	25
Figura 3 Efectos benéficos de las cianobacterias en las plantas y el suelo. Modificada de Singh et al (2018, p. 362).....	38
Figura 4 Ubicación geográfica del experimento (Elaboración propia utilizando Google Earth, 2024)	51
Figura 5 Pilas de compostaje de bagazo y pescado en forma cilíndrica	57
Figura 6 Seguimiento de la temperatura del compostaje durante el periodo: agosto a noviembre de 2019. Las flechas azules indican hidratación y mezcla. Las flechas grises indican solo mezcla. Los días 47 y 58 del compostaje llovió fuertemente, los recuadros L1 y L2 indican los días que se retiraron esos lixiviados del contenedor.	80
Figura 7 Humedades máximas de las pilas de compostaje	84
Figura 8 Evolución del pH en las pilas de compostaje.....	86
Figura 9 Evolución de la conductividad en las pilas de compostaje.....	88
Figura 10 Evolución de las alturas en los tratamientos en función del tiempo. T1 (Turba), T2 (CA + a 30:70), T3 (CA + a 50: 50), T4 (CB + a 30:70), T5 (CB + a 50:50), T6 (Turba + F), T7 (CA + a +F 30:70), T8 (CA + a +F 50:50), T9 (CB + a + F 30:70), T10 (CB + a + F 50:50). Donde CA es composta A, CB es composta B, a es aserrín, F es biofertilizante. Las relaciones son V:V entre Composta:aserrín.	95
Figura 11 Evolución de las raíces en los tratamientos al día de corte (35 DDS)	97

Figura 12 Evolución del diámetro del tallo (35 DDS).....	98
Figura 13 Número de hojas en los tratamientos (35 DDS).....	100
Figura 14 Peso fresco en los tratamientos (35 DDS).....	102
Figura 15 Peso seco (35 DDS).....	103

Índice de tablas

Tabla 1 Propiedades del bagazo de maguey (Elaboración propia a partir de otras investigaciones).....	13
Tabla 2 Características de las vinazas mezcaleras de diferentes fábricas en el Estado de Oaxaca, México. Tomada de Robles-González citado en Robles-González et. al. (2012)	14
Tabla 3 Características de los residuos de pescado	16
Tabla 4 Claves tomadas del Anexo 1 de la "Guía" (Tomadas de SEMAEDESO, s.f.).....	19
Tabla 5 Temperatura necesaria para la eliminación de algunos patógenos (Jones and Martin, 2003, en Román et al, 2013, p.33).....	29
Tabla 6 Manejo de la temperatura en el compostaje (Tomada de: Román et al., 2013, p.28).....	30
Tabla 7 Rangos óptimos de los parámetros del compostaje (Tomada de Román et al. (2013), p.31)	33
Tabla 8 Estrategias utilizadas para el compostaje (Fan et al., (2018), p.518)	34
Tabla 9 Clasificación de los sustratos (Elaborada a partir de información de Martínez y Roca (2011, p.38))	40
Tabla 10 Composición inicial de las dos pilas de compostaje	56
Tabla 11 Características de los insumos utilizados en el compostaje	78
Tabla 12. Descripción de las etapas del compostaje de las pilas de acuerdo con la temperatura.....	79
Tabla 13 Manejo de la humedad en las pilas de compostaje	83
Tabla 14 Propiedades de las compostas terminadas A y B, y su comparación con la Tabla 5 y clasificación con la Tabla 6 de la NMX-AA-180-SCFI-2018	90
Tabla 15 . Propiedades de las compostas terminadas A y B, y su comparación con turba y aserrín	92
Tabla 16 Resultados de la prueba de germinación	94
Tabla 17 Valores registrados para las plántulas al día del corte con Prueba de Tukey aplicada.	96