



Universidad del Mar
Campus Puerto Ángel

**“PROSPECCIÓN DE LA PLANTA SILVESTRE
Dodonaea viscosa PARA FITORREMEDIACIÓN DE
SUELO CONTAMINADO CON MALATIÓN
Y GLIFOSATO”**

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de Ingeniera
Ambiental

Presenta

Belinda Pilar Jiménez Jarquín

Director

Dr. Eustacio Ramírez Fuentes

Puerto Ángel, Oaxaca, 2024

DEDICATORIA

A mis padres,

Quienes me permitieron cumplir mi sueño de ser foráneo, y que mejor, junto al mar.
A ellos, que con gran amor y esfuerzo me apoyaron en la decisión de estudiar fuera de casa.

A ellos, en quienes pienso para estas palabras y me conmueve el alma.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia.

A la UMAR, por brindarme un hogar y momentos memorables.

A mis profesores, por compartir sus conocimientos, por su paciencia y por su apoyo todos
estos años.

A mi asesor Dr. Eustacio, por el apoyo en el tema que quería investigar como mi trabajo de
tesis.

A mis revisoras; Dra. Nieves, Dra. Citlally, Q.B. Concepción y Dra. Elizabeth, que con
cada comentario y observación se mejoró este trabajo.

A aquellos quienes me enseñaron tanto, me dieron mucha felicidad y admiro mucho.

A mis amigos umareños, por tener la fortuna de coincidir y formar parte de esta bella etapa
que guardo con mucho amor.

A mis compañeros, colegas y amigos; Aylin, Liliana, Lucerito, Manu, que hicieron mi
estancia en la UMAR una gran experiencia y a quienes deseo mucho éxito.

A mis amigos, por sus palabras de aliento, orientación y soportar todos mis dramas y
memes sobre tesis.

A mí, que después de todo, nadie puede ganar nada sin haber sacrificado algo a cambio.

A la vida, que me permitió cumplir un sueño y permitirme seguir el camino.

Gracias a todos.

- Belinda

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Problemas ambientales por agroquímicos	3
2.2 Plaguicidas	4
2.2.1 Glifosato	6
2.2.2 Malatión.....	8
2.2.3 Impacto de plaguicidas	10
2.3 Tecnologías de remediación y fitorremediación.....	14
2.4 Toxicidad	18
2.5 Bioensayos	19
2.6 Germinación de semillas.....	19
2.7 Fases de la germinación	21
2.8 Características de <i>Dodonaea viscosa</i>	22
2.8.1 Morfología de la semilla.....	23
2.8.2 Usos de <i>Dodonaea viscosa</i>	24
3 ANTECEDENTES.....	25
3.1 Fitorremediación de glifosato	25
3.2 Fitorremediación de malatión	26
3.3 Fitorremediación con <i>Dodonaea viscosa</i>	27
4 JUSTIFICACIÓN.....	29
5 HIPÓTESIS.....	30
6 OBJETIVOS.....	30
6.1 General.....	30
6.2 Específicos	30
7 METODOLOGÍA	31
7.1 Contaminante	31

7.2	Prueba 1: Bioensayo de germinación.....	31
7.3	Prueba 2. Ensayo en maceta	32
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
8.1	Caracterización de suelo	34
8.2	Germinación de semillas de <i>D. viscosa</i>	35
8.3	Actividad enzimática con DAF.....	40
8.4	Amonio (NH_4^+).....	44
8.5	Nitrato (NO_3^-)	46
8.6	Contenido de clorofila	48
9	CONCLUSIONES	52
10	REFERENCIAS	54
11	ANEXOS.....	70
11.1	Anexo 1. Prueba de germinación.....	70
11.1.1	Porcentaje de germinación.....	70
11.2	Anexo 2. Caracterización de suelo y cuantificación: NH_4^+ y NO_3^-	70
11.2.1	Determinación de pH.....	70
11.2.2	Determinación de la capacidad de retención de agua.....	70
11.2.3	Determinación de densidad real, densidad aparente y espacio poroso.....	71
11.2.4	Determinación del tamaño de partículas del suelo	73
11.2.5	Determinación de la conductividad	74
11.2.6	Determinación de materia orgánica mediante el método Walkey y Black.....	74
11.2.7	Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	75
11.2.8	Cuantificación de amonio (NH_4^+).....	76
11.2.9	Cuantificación de nitratos (NO_3^-)	78
11.2.10	Actividad enzimática con técnica DAF	79
11.3	Anexo 3. Determinación de clorofila.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos de degradación y de transporte de plaguicidas.	3
Figura 2. Diferentes formas de clasificación de los plaguicidas.	4
Figura 3. Estructura química del glifosato como ingrediente activo.	6
Figura 4. Estructura química del malatión.	8
Figura 5. Estructura de la semilla de <i>Beta vulgaris</i> con embrión dicotiledóneo.	20
Figura 6. Cinética de germinación de semillas.	20
Figura 7. Planta <i>Dodonaea viscosa</i>	22
Figura 8. Semillas de <i>Dodonaea viscosa</i>	24
Figura 9. Diseño de la prueba de germinación.	32
Figura 10. Porcentaje de germinación para el glifosato respecto al tiempo (9 días después del inicio de la prueba), a) Concentración 25 ppm, 50 ppm y 75 ppm; b) Concentración 100 ppm, 200 ppm y 300 ppm.	36
Figura 11. Porcentaje de germinación en semillas de <i>D. viscosa</i> los tratamientos a 9 días para glifosato y 10 días para malatión.	37
Figura 12. Porcentaje de germinación para el malatión respecto al tiempo (10 días después del inicio de la prueba) a) Concentración 25 ppm, 50 ppm y 75 ppm; b) Concentración 100 ppm, 200 ppm y 300 ppm.	38
Figura 13. Producción enzimática para el glifosato.	40
Figura 14. Incorporación de materia orgánica en maceta.	42
Figura 15. Producción enzimática para el malatión.	43
Figura 16. Producción de amonio (NH_4^+) en suelo expuesto a glifosato.	45
Figura 17. Producción de amonio (NH_4^+) en suelo expuesto a malatión.	46
Figura 18. Producción de nitrato (NO_3^-) en suelo expuesto a glifosato.	47
Figura 19. Producción de nitrato (NO_3^-) en suelo expuesto a malatión.	48
Figura 20. Datos de clorofila en hojas de <i>D. viscosa</i> expuesta a glifosato.	49
Figura 21. Datos de clorofila en hojas de <i>D. viscosa</i> expuesta a malatión.	51
Figura 22. Determinación de pH.	70
Figura 23. Probeta para el cálculo de la densidad real, aparente y espacio poroso después de 24 horas.	71

Figura 24. Determinación del tamaño de las partículas del suelo, a) Recién agitado para homogeneizar, b) medición con el densímetro, c) Probeta dos horas después para realizar la segunda medición.	74
Figura 25. Determinación de materia orgánica, a) después de la titulación con sulfato ferroso, b) matraz de muestra.....	75
Figura 26. Preparación de los extractos, a) suelo seco y tamizado, b) Mezcla de suelo con K ₂ SO ₄ , c) Extractos.	76
Figura 27. Muestra estabilizadas para leer en espectrofotómetro UV/VIS.	77
Figura 28. Curva de calibración de NH ₄ ⁺	77
Figura 29. Curva de calibración de NO ₃ ⁻	78
Figura 30. Cuantificación de nitratos: comparativa visual entre los plaguicidas, a) Malatión a 300, 900 y 1500 ppm, b) Glifosato a 300, 900 y 1500 ppm.	78
Figura 31. Muestras para lectura de Actividad enzimática con DAF en espectrofotómetro a 490 nm.	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características generales de los plaguicidas de acuerdo con su estructura química.	5
Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del glifosato (CAS: 1071-83-6).	6
Tabla 3. Vida media de glifosato en diferentes matrices: suelo, sedimentos y agua.	8
Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas del malatión (No. CAS: 121-75-5).	9
Tabla 5. Vida media del malatión en diferentes matrices: Agua, follaje, suelo.	10
Tabla 6. Impactos del glifosato en la salud humana, flora y fauna.	12
Tabla 7. Impactos del malatión en la salud humana, flora y fauna.	13
Tabla 8. Descripción de los mecanismos de fitorremediación.	15
Tabla 9. Especies vegetales y su método de eliminación de contaminantes.	17
Tabla 10. Categoría taxonómica de la <i>Dodonaea viscosa</i> .	23
Tabla 11. Características fisicoquímicas del suelo.	34
Tabla 12. Datos a los 9 días de germinación. Promedio \pm SD, n = 2, 30 semillas por experimento.	35