

U N I V E R S I D A D D E L M A R

Campus Puerto Ángel



**Monitoreo de la depositación atmosférica en Puerto
Ángel, Oaxaca**

T E S I S

Como parte de los requisitos para obtener el título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presenta:

Anel López Barenca

Director de tesis:

Dr. Aitor Aizpuru

Puerto Ángel, Pochutla, Oaxaca 2016

AGRADECIMIENTOS

Los caminos no siempre se recorren en el tiempo establecido, lo valioso es concluir y a pesar de los altibajos saber ser humildes y agradecidos con aquellas personas que hicieron del trayecto una experiencia memorable.

Agradezco a Dios por las bendiciones proporcionadas, por haberme permitido llegar a concluir uno de tantos escalones de mi vida, por haber pasado cada una de las situaciones vividas y cada persona conocida.

Gracias a mi director de tesis el Dr. Aitor Aizpuru, por haber tenido la paciencia necesaria y más, por haberme motivado a seguir y por todos los consejos pero sobre todo gracias por la amistad.

A la Dra. Rosa María Cerón Bretón, gracias por la confianza así también a la Dra. Julia Griselda Cerón Bretón por el apoyo y su amistad, a la Universidad Autónoma del Carmen por las facilidades proporcionadas para llevar a cabo el presente trabajo.

Agradezco a mis revisores de tesis Dra. Rosa María Cerón Bretón, Dra. María del Rosario Enríquez Rosado, M.C. María del Roció Gutiérrez Ortiz y M.C. Mayra Mendoza Gómez, por las observaciones realizadas al presente trabajo para poder enriquecerlo y mejorarlo.

Gracias a cada uno de los profesores que intervinieron en mi formación profesional, a mis compañeros que a pesar de las diferencias, aprendimos a trabajar en equipo, gracias a las inolvidables amistades del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental que alimentaron mi inquietud por la contaminación atmosférica y meteorología.

Siempre estaré agradecida con mis padres, la Sra. Andrea y el Sr. Manuel, por haber sembrado en mí la semilla de la superación, a mi madre por todos los consejos y su amor, por siempre estar dispuesta a olvidar sus penas y cansancios para estar entera para su familia, a mis dos grandes amigos, mis hermanos, Jesús y José Manuel, Gracias a mi familia que sin duda alguna creyeron en mi y día a día recibí motivaciones por parte de ellos para continuar el camino y jamás abandonarlo.

Como olvidar todo lo vivido a lado de compañeros y más que eso amigos, Berenice, Celestino y el buen Mario; Siempre agradecida con Octavio que supo estar al pie del cañón entre angustias, pesares y también triunfos, a cada momento contagiando su actitud positiva, gracias por haber estado en las buenas y no tan buenas y por todo lo jamás olvidado.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo I.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Contaminación atmosférica	1
1.1.1.- Definición legal.....	1
1.1.2.- Tipos de contaminantes atmosféricos.....	2
1.1.3.- Fuentes de contaminantes atmosféricos.....	3
1.2.- Remoción natural de contaminantes atmosféricos	6
1.2.1.- Depositación y absorción en flora	6
1.2.2.- Depositación seca.....	7
1.2.3.- Depositación húmeda	7
1.3.- Lluvia ácida.....	9
1.3.1.- Formación de la lluvia ácida.....	9
1.3.2.- Efectos de la lluvia ácida.....	10
1.3.3.- Especies neutralizantes de la lluvia ácida.....	12
1.4.- Estudios de depositación atmosférica	13
1.5.- Justificación	18
1.6.- Hipótesis.....	20
1.7.- Objetivos.....	20
1.7.1.- Objetivo general	20
1.7.2.- Objetivos específicos	20
Capítulo II.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
2.1.- Sitio de muestreo.....	21
2.2.- Toma de muestras.....	24
2.3.- Almacenamiento y acondicionamiento de muestras.....	24

2.4.- Análisis químico de las muestras.....	25
2.4.1.- Preparación de las muestras para su análisis.....	25
2.4.2.- Determinación de pH y conductividad.....	25
2.4.3.- Determinación de NH_4^+	25
2.4.4.- Determinación de SO_4^{2-} por método turbidimétrico	26
2.4.5.- Determinación de NO_3^- por colorimetría	26
2.4.6.- Determinación de Cl^- por colorimetría	26
2.4.7.- Determinación Ca^{2+} , K^+ , Na^+ y Mg^{2+} NH_4^+ por absorción atómica.....	27
2.5.- Análisis de los resultados	28
2.5.1.- Cálculo de la concentración de la deposición seca.....	28
2.5.2.- Promedio ponderado.....	29
2.5.3.- Factor de enriquecimiento.....	29
2.6.- Análisis meteorológico.....	31
Capítulo III.- RESULTADOS Y DISCUSION	34
3.1.- Depositación seca	34
3.1.1.- Descripción global de los resultados de depositación seca	34
3.1.2.- Descripción detallada de la depositación seca.....	36
3.1.3.- Análisis de los datos de depositación seca	39
3.1.4.- Relación entre trayectorias de vientos y depositación seca.....	46
3.2.- Depositación Húmeda	49
3.2.1.- Descripción global de los resultados de depositación húmeda.....	49
3.2.2.- Descripción detallada de la depositación húmeda	52
3.2.3.- Análisis de los datos de depositación húmeda.....	54
3.2.4.- Relación entre trayectorias de vientos y depositación húmeda.....	60

3.3.- Comparación de abundancia iónica depositada	64
3.4.- Evaluación comparativa de la depositación húmeda	66
Capítulo IV.- CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS	80
Anexo 1: Trayectorias de la depositación seca.....	80
Anexo 2: Trayectorias de la depositación húmeda	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales fuentes antropogénicas de cationes básicos	12
Tabla 2. Resultado de depositación húmeda en sitios de Venezuela	13
Tabla 3. Resultados en $\mu\text{Eq/L}$ de sitios de fondo en China	14
Tabla 4. Valores de pH reportados en sitios de fondo en Estados Unidos	15
Tabla 5. Depositación húmeda en Salina Cruz	16
Tabla 6. Abundancia iónica de depositación húmeda en China	16
Tabla 7. Valores estándares de origen terrestre	30
Tabla 8. Valores estándares de origen marino	30
Tabla 9. Abundancia iónica de la depositación seca ($\mu\text{Eq/m}^2$ día).	34
Tabla 10. Valores de pH registrados	35
Tabla 11. Diferencia porcentual entre cationes y aniones	41
Tabla 12. Factores de correlación de Pearson de la depositación seca.	43
Tabla 13. Factores de enriquecimiento de la depositación seca	45
Tabla 14. Abundancia iónica de la depositación húmeda ($\mu\text{Eq/L}$)	50
Tabla 15. Valores de pH de la depositación húmeda	51
Tabla 16. Diferencia porcentual entre cationes y aniones	56
Tabla 17. Correlación de Pearson de la depositación húmeda	58
Tabla 18. Factor de enriquecimiento de la depositación húmeda	59
Tabla 19. Comparación de la abundancia de depositación.	64
Tabla 20. Comparación de resultados con sitios de fondo	66
Tabla 21. Comparación de resultados con sitios impactados	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de fuentes de contaminantes atmosféricos	4
Figura 2. Emisión de contaminantes atmosféricos a nivel nacional por tipo de fuente, 2005	5
Figura 3. Diagrama general de procedimientos.....	21
Figura 4. Macro localización del sitio de muestreo	22
Figura 5. Localización del sitio dentro de las instalaciones de la UMAR	23
Figura 6. Colector de depósito húmedo y seco	24
Figura 7. Ejemplo de modelo de trayectoria	33
Figura 8. Abundancia de la depositación seca de cationes.....	36
Figura 9. Abundancia de la depositación seca de aniones	38
Figura 10. Balance iónico de la depositación seca.....	40
Figura 11. Trayectoria de vientos de las semanas destacadas	47
Figura 12. Precipitación registrada en la estación meteorológica ubicada en la UMAR.....	49
Figura 13. Abundancia de la depositación húmeda de cationes.	52
Figura 14. Abundancia de la depositación húmeda de aniones.	53
Figura 15. Balance iónico de la depositación húmeda	55
Figura 16. Trayectorias de las precipitaciones destacadas.....	61