



**UNIVERSIDAD DEL MAR**  
**CAMPUS PUERTO ESCONDIDO**

**RESPUESTA DEL MANGLE NEGRO A LA SALINIDAD INTERANUAL EN LA  
LAGUNA “LA SALINA”, ESCOBILLA, OAXACA.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE

**INGENIERA FORESTAL**

PRESENTA

**EDNA SOLEDAD LEAL PEREZ**

DIRECTOR

**DR. EDGAR IVÁN SÁNCHEZ BERNAL**

**PUERTO ESCONDIDO, OAXACA 2017**

## DEDICATORIA

*“Si tu supieras lo que siento,  
cuando pensando en tí lucho y espero  
pudieras comprender el sentimiento  
sublime y santo con que yo te quiero”*

La presente investigación está dedicado principalmente a la persona que más quiero en este universo, la **Sra. Tomasa Pérez García**, mi madre. De la cual he tenido siempre todo su amor, es por ello que agradezo su sacrificio devoto e incondicional apoyo. Me siento muy orgullosa de ser su hija, ya que desde pequeña me inculcó la empatía por el estudio y forjó en mí valores de perseverancia, honestidad, humildad y la búsqueda de acciones que ayuden a hacer realmente del mundo un lugar mejor.

Dedico también este trabajo a mi padre el **Sr. Jose Manuel Leal Muñoz**, por alentarme a seguir adelante y nunca dudar de mis capacidades, reconozco su cooperación y soporte para que yo no declinara en momentos que parecían difíciles, para él todo mi respeto y cariño.

Por último le agradezco y dedico esta investigación a la persona que me enseñó el camino del método científico de forma explícita , el **Dr. Edgar Iván Sánchez Bernal** mi director de tesis, quien confió en mí compartiéndome sus conocimientos y me otorgó su valioso tiempo y dedicación.

*"Somos lo que hacemos día a día.*

*De modo que la excelencia no es un acto sino un hábito".*

*Aristóteles*

## *AGRADECIMIENTOS*

Ha sido una dicha para mí haber estudiado en la Universidad del Mar, honorable y prestigiosa institución, umbral del éxito y dadora de profesionistas comprometidos con su trabajo, por lo cual le agradezco la preparación académica que me fue otorgada y las oportunidades que de ella recibí.

Estoy agradecida infinitamente con del Dr. Edgar Iván Sánchez Bernal, por dirigir la presente tesis, por su colaboración en el muestreo así como en las actividades de análisis en laboratorio y sobre todo por enseñarme que la ciencia debe ser aplicada y difundida con veracidad absoluta. Me enorgullece haber realizado este trabajo profesional con una persona dedicada por completo a generar y compartir conocimientos, es por ello que siempre va a contar con mi respeto y admiración.

Al distinguido Dr. Héctor Manuel Ortega Escobar le expreso mi sincero agradecimiento por el apoyo brindado para la realización de los análisis de suelos y aguas en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, así también por su interés y amplia cooperación en toda la investigación. Su larga carrera profesional es una motivación para continuar en la búsqueda del conocimiento.

A la Dra. Verónica Ortega Baranda, por ser un ejemplo a seguir en el área de Ingeniería Forestal y por su disposición para colaborar en la revisión de este trabajo.

Al Dr. Carlos Estrada Vázquez por su participación en la revisión de la investigación y de la misma forma agradezco al Dr. Álvaro Can Chulim por sus valiosas sugerencias.

A mis profesores por su calidad educativa y valiosa enseñanza, especialmente le manifiesto mi gratitud a la Profesora Investigadora Edith Galván Ochoa, quien me apoyó en todo momento y me brindó su paciencia y confianza.

A mis compañeros Adrián, Ana Laura, Brenda y Silvestre por todos las experiencias compartidas, por otorgarme cada uno de ellos un aprendizaje diferente y sobre todo por su amistad y cariño, juntos formamos una hermandad encaminada a la sustentabilidad.

Deseo expresar mi gratitud a la Comunidad de “Escobilla” perteneciente al municipio de Santa María Tonameca, por todo el apoyo que me fue brindado durante los recorridos observacionales, muestreo y toma de datos durante la investigación, así mismo a la Sociedad Cooperativa el Santuario de las Tortugas Escobilla S.C. de R.L. de C.V. y al Campamento Tortuguero Santuario Playa de Escobilla, especialmente a las Biólogas Erika Peralta Buendía y Maria Teresa Luna Medina.

De corazón agradezco a todas y cada una las personas que me apoyaron directamente durante el muestreo y durante el trabajo de gabinete de la tesis.

Estoy eternamente agradecida con Dios, entendido como la energía, fuerza, esperanza y fé para vencer los rigores del destino, e impulsarme a seguir en este camino llamado “Vida”.

## Índice General

<b>Índice General</b> .....	I
<b>Índice de tablas</b> .....	IV
<b>Índice de figuras</b> .....	V
<b>Índice de anexos</b> .....	VI
<b>RESUMEN</b> .....	VII
<b>ABSTRACT</b> .....	VIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	5
2.1. Objetivo general .....	5
2.2. Objetivos específicos .....	5
III. HIPÓTESIS .....	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
4.1. Suelos salinos .....	6
4.1.1. Suelos salinos en el mundo .....	8
4.1.2. Suelos salinos en México .....	9
4.2. Clasificación de los suelos salinos .....	11
4.2.1. Suelos sin problemas de sales y sodio intercambiable .....	11
4.2.2. Suelos salinos .....	12
4.2.3. Suelos salino-sódicos .....	12
4.2.4. Suelos sódicos .....	12
4.3. Sales solubles más importantes .....	13
4.4. Sales en las soluciones acuosas .....	14
4.5. Potencial Osmótico .....	15
4.6. Relación de Adsorción de Sodio .....	17
4.7. Salinidad Efectiva .....	20
4.8. Salinidad Potencial de la solución iónica del suelo .....	21
4.9. Composición y caracterización hidroquímica de fuentes superficiales .....	21
4.9.1. Hidroquímica de fuentes superficiales .....	22
4.10. Calidad química del agua .....	25
4.10.1. Infiltración .....	27
4.11. Tolerancia de las plantas a la salinidad .....	29

4.11.1.	Plantas halófitas .....	31
4.12.	Ecosistema manglar .....	32
4.12.1.	Descripción .....	32
4.12.2.	Origen, distribución y extensión .....	32
4.12.3.	Ecología del manglar .....	33
4.12.4.	Importancia del manglar .....	34
4.12.5.	Características geomorfológicas del manglar .....	36
4.13.	El caso específico de la laguna “La Salina”, Escobilla, Oaxaca .....	37
4.14.	Mangle negro ( <i>Avicennia germinans</i> L.) .....	39
4.14.1.	Categoría taxonómica y características de la especie .....	39
4.14.2.	Descripción de la especie .....	39
V.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	41
5.1.	Localización del área de estudio .....	41
5.1.1.	Características medioambientales del área de estudio .....	42
5.2.	Selección del área de estudio y muestreo de sedimentos y aguas .....	44
5.3.	Análisis de sedimentos y aguas .....	45
5.3.1.	Análisis físico de las muestras de sedimentos .....	45
5.3.2.	Análisis químico de suelos y aguas .....	35
5.4.	Gradientes salinos .....	46
5.4.1.	Análisis estadístico .....	47
5.5.	Determinación de cambios de estructura de <i>A. germinans</i> en función del gradiente salino .....	48
5.5.1.	Variables dasométricas .....	48
5.5.2.	Análisis de regresión lineal y varianza .....	49
VI.	RESULTADOS .....	50
6.1.	Caracterización físicoquímica de los suelos en estudio .....	50
6.1.1.	Densidad Aparente .....	51
6.1.2.	Tasa de Infiltración .....	51
6.1.3.	Textura .....	51
6.1.4.	Estructura .....	52
6.1.5.	Color .....	53
6.1.6.	Materia Orgánica .....	54
6.1.7.	pH .....	54
6.1.8.	Conductividad Eléctrica .....	54

6.1.9.	Porcentaje de Sodio Intercambiable.....	59
6.1.10.	Potencial Osmótico.....	59
6.1.11.	Tipogénesis del suelo y salinidad.....	59
6.2.	Caracterización fisicoquímica de las aguas lacustres .....	60
6.2.1.	Composición iónica de las aguas de la laguna “La Salina” .....	60
6.2.2.	pH.....	60
6.2.3.	Conductividad Eléctrica .....	60
6.2.4.	Residuo Seco Calcinado .....	65
6.2.5.	Potencial Osmótico.....	65
6.2.6.	Relación de Adsorción de Sodio .....	65
6.2.7.	Salinidad Efectiva y Salinidad Potencial.....	65
6.3.	Gradientes salinos interanuales .....	68
6.4.	Evaluación de las variables dasométricas de <i>A. germinans</i> en las condiciones salinas y periodo interanual estudiado .....	70
6.4.1.	Altura total .....	70
6.4.2.	Diámetro normal .....	73
6.4.3.	Cobertura de copa.....	75
6.4.4.	Peso seco de la hojarasca .....	76
VII.	DISCUSIÓN.....	78
7.1.	Caracterización geoquímica de los suelos de la laguna “La Salina” .....	78
7.2.	Caracterización química del agua de la laguna “La Salina” .....	81
7.3.	Gradientes salinos.....	83
7.4.	Evaluación de las variables dasométricas de <i>A. germinans</i> en las condiciones salinas y periodo interanual estudiado .....	87
7.4.1.	Altura total .....	87
7.4.2.	Diámetro normal .....	88
7.4.3.	Cobertura de copa.....	89
7.4.4.	Peso seco de la hojarasca .....	90
7.5.	<i>Avicennia germinans</i> ¿halófito facultativo o euhalófito?.....	91
VIII.	CONCLUSIONES.....	93
IX.	RECOMENDACIONES .....	95
X.	ANEXOS.....	97
XI.	BIBLIOGRAFÍA.....	106

## Índice de tablas

Tabla I. Distribución mundial de suelos salinos y sódicos (Szabolcs 1989).....	9
Tabla II. Solubilidad de las sales a una temperatura de 20°C (Strogonov 1964).....	13
Tabla III. Clasificación de las aguas para riego de acuerdo al Índice de Salinidad Efectiva. ....	20
Tabla IV. Clasificación de las aguas para riego de acuerdo al Índice de Salinidad Potencial. ....	21
Tabla V. Composición media del agua de algunos ríos en el mundo (Kovda 1973).....	25
Tabla VI. Clasificación de aguas por su concentración salina (Rhoades 1987).....	27
Tabla VII. Servicios ecosistémicos suministrados por el manglar (RAMSAR 2007). ....	35
Tabla VIII. Clasificación de la salinidad de acuerdo al número de intervalo. ....	47
Tabla IX. Determinación textural de diversos espesores de perfiles de suelo en estudio. ....	52
Tabla X. Determinación del color del suelo en cada monolito analizado. ....	53
Tabla XI. Parámetros fisicoquímicos de los extractos acuosos de sedimentos en la época de humedad 2012. ....	55
Tabla XII. Parámetros fisicoquímicos de los extractos acuosos de sedimentos en la época de estiaje 2013.....	57
Tabla XIII. Composición química de monolitos de suelo de la laguna “La Salina” en la época de humedad 2012. ....	61
Tabla XIV. Composición química de monolitos de suelo de la laguna “La Salina” en la época de estiaje 2013.....	63
Tabla XV. Composición química de la laguna “La Salina” en el periodo de humedad 2012 y estiaje 2013.....	66
Tabla XVI. Parámetros fisicoquímicos de la laguna “La Salina” en el periodo humedad 2012 y estiaje 2013.....	67
Tabla XVII. Valores de CE en el periodo humedad 2012 y estiaje 2013, por cada perfil analizado.	68
Tabla XVIII. Intervalos de CE obtenidos de extractos de saturación del suelo para cada gradiente salino (periodo interanual humedad 2012-estiaje 2013).....	68
Tabla XIX. Promedios de valores de altura total, diámetro normal, cobertura de copa y peso seco de la hojarasca de árboles de mangle <i>A. germinans</i> , para cada gradiente identificado en el periodo de humedad y estiaje 2012-2013. ....	71

## Índice de figuras

Figura 1. Superficie con problemas de sales y sodio en los distritos de riego de México (IMTA 2010).....	10
Figura 2. Clasificación de los suelos salinos (Richards 1985) .....	11
Figura 3. Diagrama para la clasificación de las aguas para riego (Richards 1985) .....	19
Figura 4. El ciclo hidrológico (UCM 2007). .....	22
Figura 5. Reducción relativa de la infiltración, provocada por la salinidad y la relación de adsorción de sodio RAS (Rhoades 1977, Oster & Schroer 1979).....	29
Figura 6. Laguna “La Salina” a) Época de humedad, b) Época de estiaje.....	37
Figura 7. Zonificación de los manglares en la laguna “La Salina”.....	38
Figura 8. Área de Estudio.....	41
Figura 9. Morfología general de los horizontes de los suelos analizados. ....	50
Figura 10. Localización de tres Gradientes Salinos con base en la CE de cada perfil en la época de humedad.....	69
Figura 11. Localización de tres Gradientes Salinos con base en la CE de cada perfil en la época de estiaje.....	70
Figura 12. Altura total de árboles de <i>A. germinans</i> con respecto a la CE de suelos de la laguna “La Salina” en el periodo humedad 2012.....	72
Figura 13. Altura total de árboles de <i>A. germinans</i> con respecto a la CE de suelos de la laguna “La Salina” en el periodo estiaje 2013. ....	73
Figura 14. Diámetro normal de árboles de <i>A. germinans</i> con respecto a la CE de suelos de la laguna “La Salina” en el periodo humedad 2012.....	74
Figura 15. Diámetro normal de árboles de <i>A. germinans</i> con respecto a la CE de suelos de la laguna “La Salina” en el periodo estiaje 2013. ....	74
Figura 16. Cobertura de copa de árboles de <i>A. germinans</i> con respecto a la CE de suelos de la laguna “La Salina” en el periodo humedad 2012.....	75
Figura 17. Cobertura de copa de árboles de <i>A. germinans</i> con respecto a la CE de suelos de la laguna “La Salina” en el periodo estiaje 2013. ....	76
Figura 18. Peso seco de la hojarasca de árboles de <i>A. germinans</i> con respecto a la CE de suelos de la laguna “La Salina” en el periodo humedad 2012.....	76
Figura 19. Peso seco de la hojarasca de árboles de <i>A. germinans</i> con respecto a la CE de suelos de la laguna “La Salina” en el periodo estiaje 2013. ....	77
Figura 20. Presencia de costras salinas en la laguna “La Salina” en el periodo de estiaje 2013. ....	79
Figura 21. Geomorfología de la laguna “La Salina” y zonas de muestreo de aguas. ....	82
Figura 22. <i>Avicennia germinans</i> L. abasteciéndose de solución de NaCl, proveída por la composición química de la laguna “La Salina”. ....	92



## Índice de anexos

Anexo 1. Actividades de muestreo de sedimentos.....	97
Anexo 2. Toma de medidas dasométricas y captura de hojarasca de <i>Avicennia germinans</i> .....	97
Anexo 3. Análisis de suelos.....	98
Anexo 4. Infiltración y muestreo de aguas. ....	101
Anexo 5. Presencia de NaCl en hojas de <i>Avicennia germinans</i> y suelos. ....	101
Anexo 6. Dinámica natural del manglar.....	102
Anexo 7. Fauna asociada al manglar .....	103
Anexo 8. Actividades antrópicas de impacto negativo realizadas en el ecosistema manglar. ....	104
Anexo 9. Estructura de <i>Avicennia germinans</i> L.....	105

## RESUMEN

En el litoral costero de Oaxaca México, existen ambientes lacustres biosalinos donde crece y desarrolla vegetación de manglar. El clima cálido subhúmedo con intensas lluvias en verano, la excesiva evaporación y escasa precipitación pluvial en estiaje, la formación de suelos aluviales de planicie costera con deficiente drenaje natural, manto freático poco profundo e intrusión marina, son factores que determinan la formación de lagunas costeras que sostienen vegetación halófila. La laguna “La Salina”, localizada en Escobilla, Santa María Tonameca, Oaxaca, forma parte de esos cuerpos lacustres y en ella habita el mangle negro (*Avicennia germinans* L.), especie que tolera salinidades superiores a las del mar. Las condiciones salinas de la laguna se han intensificado por deforestación y cambios de uso del suelo, que afectan la estructura vegetal. Se realizó un estudio para determinar la variación salina interanual de sedimentos lacustres y aguas de la laguna en los periodos humedad-estiaje, así como su concentración, tipogénesis y evaluación de parámetros de crecimiento y desarrollo del mangle negro. Los resultados indican la presencia de tres gradientes diseminados en la laguna tanto en época de humedad como de estiaje. La calidad química del agua lagunar es clorhídrica con predominio de la sal NaCl, que produce intensos efectos osmóticos en la solución del suelo y al interior de las plantas. Sus altas concentraciones explican la ecofisiología del mangle negro. En humedad el agua de lluvia disminuye las concentraciones salinas lo que promueve el crecimiento y desarrollo del mangle. En estiaje la concentración salina incrementa en algunos sitios hasta 102 dS m<sup>-1</sup>. A estas concentraciones el mangle negro limita su producción de biomasa y en consecuencia su crecimiento y desarrollo, incluso restringe su distribución espacial. Se concluye que el mangle negro por su nivel de tolerancia a sales es una euhalofita facultativa.

**Palabras clave:** Mangle, variación interanual, gradientes salinos, euhalófila, estrés salino, tolerancia a sales.

## ABSTRACT

On the coast of Oaxaca, there are bio saline environments where mangrove vegetation grows and develops. The sub humid, warm climate, the intense summer rains with excessive evaporation and low rainfall in the dry season, the formation of alluvial soils with poor natural drainage, the shallow water table and marine intrusion are all factors that determinate the formation of coastal lagoons. These components allow and support halophyte vegetation. The lagoon, "La Salina", located in Escobilla, Santa María Tonameca, Oaxaca forms part of these lacustrine bodies in which the black mangrove (*Avicennia germinans* L.) inhabits. This species tolerates high saline levels, even higher than those of the sea. The saline conditions of the lagoon have been intensified by deforestation and land use changes which affect the plant's structure. A study was carried out during an interannual drought-dry period to determine the interannual salt variation of lacustrine sediments and lagoon waters and to determinate the concentration, typogenesis and evaluation of the growth and development of this mangrove. Results indicate the presence of three saline gradients scattered in the lagoon, both in the wet and dry seasons. The chemical quality of the lagoon water is hydrochloric with a predominance of NaCl salt; this produces intense osmotic effects in the solution of the soil and in the interior of the plants. These high chemical concentrations explain the ecology of the black mangrove. During the rainy season, rainwater decreases salinity which promotes the growth and development of the mangrove. In drought season, the saline concentration increases in some places, up to 102 dS m<sup>-1</sup>. At these concentrations, the black mangrove limits its growth and development and even restricts its spatial distribution. It is concluded that the black mangrove, due to its level of tolerance to salts, is a facultative euhalophyte.

**Key words:** Mangrove, interannual variation, saline gradients, salinity stress, tolerance, euhalophyte.