



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

**TOLERANCIA DE PASTOS COSTEROS A CONDICIONES SALINAS:  
IMPACTO DE SU ESTABLECIMIENTO EN AGOSTADEROS DE SANTA  
ELENA, OAXACA.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO FORESTAL

**PRESENTA**

GUILLERMO RAMÍREZ PALACIOS

**DIRECTOR DE TESIS**

DR. EDGAR IVÁN SÁNCHEZ BERNAL

PUERTO ESCONDIDO, OAXACA 2020

## **DEDICATORIA**

A mis padres Guillermo Ramírez Sánchez y Alejandra Palacios Gómez por apoyarme en todo momento y confiar siempre en mis habilidades. Los amo.

A mis abuelos Octavio Ramírez e Isabel Sánchez a quienes considero mis segundos padres, gracias por cuidarme, enseñarme y guiarme en todos los momentos de mi vida y sobre todo por su amor incondicional. Los amo demasiado.

A mis hermanos Omar, Guadalupe y Erik Samuel por nuestras pláticas y peleas, pero sobre todo por compartir momentos maravillosos en familia.

A mis tíos Agrimaldo, Idolina, Yesica, Evelia, Fidel, Efrén y Zeferino por brindarme su apoyo y motivación. Gracias a todos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad del Mar, por brindarme la oportunidad de estudiar la carrera en esta gran institución.

Al Dr. Edgar Iván Sánchez Bernal por inculcarme el camino y las bases de la investigación, por apoyarme y motivarme a superar los obstáculos académicos, pero sobre todo por el tiempo que me ha brindado en la revisión y corrección de este trabajo. Gracias por enseñarme que en esta vida para superarse es necesario el tiempo, esfuerzo y dedicación.

Al Dr. Héctor Manuel Ortega Escobar por su apoyo en la gestión y transporte del agua destilada, factor indispensable para realizar este trabajo. Por compartir su gran conocimiento, trayectoria académica y por motivarme a seguir preparándome.

Al Dr. Álvaro Can Chulim, la Dra. Verónica Ortega Baranda y al MC. Ricardo García García por su disposición y colaboración en la revisión de esta tesis.

A la empresa Semillas Papalotla S.A. de C.V. por darme la oportunidad de realizar este trabajo en sus instalaciones, al Dr. Álvaro Bernal y al Ing. Rodolfo Ruiz Ramón por apoyo otorgado en las diferentes fases del proyecto.

A todos los profesores que formaron parte del plan de estudios de la carrera y que compartieron sus anécdotas, conocimientos y buenos consejos para fortalecer mis habilidades y conocimientos.

A mis compañeros Ana, Dulce, Manuel, Obed, Yasmhín y Román con quienes compartí malos y buenos momentos en mi vida académica.

A todas esas personas que formaron parte de mi vida durante mi etapa en la Universidad del Mar.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	9
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	10
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	12
<b>RESUMEN</b> .....	13
<b>ABSTRACT</b> .....	14
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>2. HIPÓTESIS</b> .....	16
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	16
3.1. Objetivo general.....	16
3.2. Objetivos específicos.....	17
<b>4. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	17
4.1. El fenómeno de la salinidad.....	17
4.2. Suelos salinos en el mundo .....	19
4.3. Suelos salinos en México.....	19
4.4. Suelos halomórficos en la planicie costera de Oaxaca.....	20
4.5. Impacto de la salinidad en la selva baja caducifolia.....	21
4.6. Tipos de sales en los suelos.....	22
4.6.1. Sales del grupo de los cloruros.....	23
4.6.2. Sales del grupo de los sulfatos .....	24
4.6.3. Sales del grupo de los carbonatos y bicarbonatos.....	24
4.6.4. Sales del grupo de los nitratos.....	25
4.6.5. Sales del grupo de los boratos.....	26
4.7. Clasificación de los suelos salinos.....	26
4.7.1. Suelos sin problemas de sales y sodio intercambiable .....	27

4.7.2.	Suelos salinos.....	27
4.7.3.	Suelos salinos-sódicos .....	27
4.7.4.	Suelos sódicos.....	27
4.8.	Potencial osmótico de las soluciones salinas en suelos y aguas de riego....	29
4.9.	Efecto de las sales en las plantas.....	30
4.10.	Sequia fisiológica por estrés osmótico .....	32
4.11.	Deficiencia nutrimental.....	33
4.12.	Toxicidad de iones específicos .....	34
4.13.	Antagonismo iónico.....	35
4.14.	Tolerancia de las plantas halófitas a la salinidad .....	35
4.15.	Plantas halófitas.....	37
4.16.	Forrajes tropicales .....	37
4.17.	Variedades Cayman, Cobra, Camello y Mulato II .....	38
4.17.1.	Origen .....	38
4.17.2.	Características botánicas y agronómicas.....	40
4.18.	Tolerancia de pastos a la salinidad.....	42
4.19.	Ecuación de predicción del rendimiento de pastos en condiciones salinas ..	43
<b>5.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>43</b>
5.1.	Localización del área de estudio.....	43
5.1.1.	Clima.....	44
5.1.2.	Edafología .....	44
5.1.3.	Vegetación .....	45
5.1.4.	Geología .....	45
5.1.5.	Geomorfología .....	45
5.1.6.	Hidrología.....	45

5.2.	Muestreo y análisis de suelo y agua .....	46
5.3.	Establecimiento del experimento en invernadero .....	47
5.3.1.	Factor de variación y tratamiento.....	47
5.3.2.	Unidades experimentales.....	47
5.3.3.	Preparación de soluciones salinas.....	47
5.3.4.	Preparación de unidades experimentales .....	48
5.3.5.	Manejo agronómico .....	48
5.4.	Lote experimental de campo.....	51
5.5.	Diseño experimental .....	51
6.	<b>RESULTADOS</b> .....	53
6.1.	Efecto de las sales NaCl, MgCl <sub>2</sub> y NaHCO <sub>3</sub> sobre el porcentaje de emergencia de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II, DDS. ....	53
6.2.	Efecto de las sales NaCl, NaHCO <sub>3</sub> y MgCl <sub>2</sub> sobre la altura de plantas de pastos Cayman, Cobra, Camello y Mulato II, DDS. ....	60
6.3.	Efecto de las sales NaCl, NaHCO <sub>3</sub> y MgCl <sub>2</sub> sobre el diámetro del tallo de los pastos Cayman, Cobra, Camello y Mulato II, DDS.....	64
6.4.	Efecto de las sales NaCl, MgCl <sub>2</sub> Y NaHCO <sub>3</sub> sobre el número de hojas de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	68
6.5.	Efecto de las sales NaCl, MgCl <sub>2</sub> y NaHCO <sub>3</sub> sobre el número de macollos de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	73
6.6.	Efecto de las sales NaCl, MgCl <sub>2</sub> y NaHCO <sub>3</sub> sobre el crecimiento de raíz de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	77
6.7.	Efecto de las sales NaCl, NaHCO <sub>3</sub> y MgCl <sub>2</sub> en el peso seco de la parte aérea (tallos y hojas) de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	85
6.8.	Efecto de las sales NaCl, NaHCO <sub>3</sub> y MgCl <sub>2</sub> en el peso seco de raíz de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II.....	90

6.9.	Efecto de las sales NaCl, NaHCO <sub>3</sub> Y MgCl <sub>2</sub> en el peso seco total (PST) de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	96
6.10.	Modelos de predicción del peso seco total de los pastos evaluados en función del potencial osmótico producido por las sales NaCl, MgCl <sub>2</sub> y NaHCO <sub>3</sub> .....	103
6.11.	Resultados de análisis físico-químicos, de calidad de muestras de agua y suelo del centro de investigación Papalotla .....	104
6.12.	Evaluación de las variedades de pasto en condiciones de campo .....	106
7.	<b>DISCUSIÓN</b> .....	108
7.1.	Efecto de NaCl, MgCl <sub>2</sub> Y NaHCO <sub>3</sub> sobre la emergencia de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	108
7.2.	Efecto de NaCl, MgCl <sub>2</sub> Y NaHCO <sub>3</sub> sobre altura de planta de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	109
7.3.	Efecto de NaCl, MgCl <sub>2</sub> Y NaHCO <sub>3</sub> sobre el diámetro del tallo de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	111
7.4.	Efecto de NaCl, MgCl <sub>2</sub> Y NaHCO <sub>3</sub> sobre el número de hojas de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	112
7.5.	Efecto de NaCl, MgCl <sub>2</sub> Y NaHCO <sub>3</sub> sobre el macollamiento de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	113
7.6.	Efecto de las sales NaCl, MgCl <sub>2</sub> y NaHCO <sub>3</sub> en la longitud de raíz de los pastos estudiados .....	114
7.7.	Efecto de las sales NaCl, MgCl <sub>2</sub> y NaHCO <sub>3</sub> y sus concentraciones en la producción de biomasa de la parte aérea (tallos y hojas) de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	115
7.8.	Acumulación de biomasa radical en las sales NaCl, MgCl <sub>2</sub> y NaHCO <sub>3</sub> y concentraciones evaluadas.....	117
7.9.	Efecto de NaCl, MgCl <sub>2</sub> Y NaHCO <sub>3</sub> sobre la producción de biomasa total de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II .....	118

7.10.	Modelos de predicción del peso seco total de los pastos evaluados en función del potencial osmótico de las sales NaCl, MgCl <sub>2</sub> y NaHCO <sub>3</sub> .....	119
7.11.	Análisis físico-químicos de suelo y aguas del predio agrícola Santa Elena, Oaxaca.....	119
7.12.	Evaluación de variedades de pasto en condiciones de campo.....	119
8.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	120
9.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	121
10.	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	123
11.	<b>ANEXO FOTOGRÁFICO</b> .....	138



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Clasificación de las sales de mayor incidencia en los suelos. ....	22
Tabla II. Clasificación de suelos salinos por el departamento de agricultura de los Estados Unidos de América.....	26
Tabla III. Efecto de las sales en las plantas.....	31
Tabla IV. Adaptaciones fisiológicas, morfológicas y fenológicas de las plantas a la salinidad.....	36
Tabla V. Parámetros físico-químicos y metodología para análisis de suelos y aguas.....	46
Tabla VI. Concentraciones de NaCl, MgCl <sub>2</sub> y NaHCO <sub>3</sub> por niveles de salinidad.....	49
Tabla VII. Variables de crecimiento evaluadas.....	50
Tabla VIII. Efecto de la conductividad eléctrica (CE), pH y potencial osmótico ( $\Psi\pi$ ) de soluciones salinas experimentales sobre el porcentaje de emergencia de semillas de pastos Cayman, Cobra, Camello y Mulato II (DDS). ....	54
Tabla IX. Efecto de las sales experimentales en el crecimiento de raíz de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato II. ....	81
Tabla X. Reducción de biomasa de los pastos Cobra, Cayman, Camello y Mulato en función de los niveles de Conductividad eléctrica de la solución (CE).....	102
Tabla XI. Modelos para determinar el peso seco total de los pastos en función de la concentración salina generada por las sales NaCl, MgCl <sub>2</sub> y NaHCO <sub>3</sub> .....	103
Tabla XII. Resultados de análisis físico-químico de suelo y agua del rancho Papalotla. .....	105
Tabla XIII. Resultados de evaluación final de parcela experimental de campo. ....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución mundial de suelos salinos y sódicos. Fuente: Wicked et al. (2011). .....	19
Figura 2. Ubicación geográfica del invernadero del grupo Papalotla en donde se llevaron a cabo los estudios de tolerancia de los pastos a condiciones de salinidad. 44	44
Figura 3. Efecto de diferentes concentraciones de NaCl sobre la altura de pastos. ....	61
Figura 4. Efecto de diferentes concentraciones de MgCl <sub>2</sub> sobre la altura de pastos.....	62
Figura 5. Efecto de diferentes concentraciones de NaHCO <sub>3</sub> sobre la altura de pastos...63	63
Figura 6. Efecto de diferentes concentraciones de NaCl sobre el diámetro del tallo.....	65
Figura 7. Efecto de diferentes concentraciones de MgCl <sub>2</sub> sobre el diámetro del tallo. ....	66
Figura 8. Efecto de diferentes concentraciones de NaHCO <sub>3</sub> sobre el diámetro del tallo. 68	68
Figura 9. Efecto de diferentes concentraciones de NaCl en el número de hojas. ....	70
Figura 10. Efecto de diferentes concentraciones de MgCl <sub>2</sub> en el número de hojas. ....	71
Figura 11. Efecto de diferentes concentraciones de NaHCO <sub>3</sub> en el número de hojas.....	72
Figura 12. Efecto de diversas concentraciones de NaCl en el número de macollos. ....	74
Figura 13. Efecto de diferentes concentraciones de MgCl <sub>2</sub> en el número de macollos. ..	75
Figura 14. Efecto de diferentes concentraciones de NaHCO <sub>3</sub> en el número de macollos. .....	76
Figura 15. Efecto de diferentes concentraciones de NaCl en la biomasa acumulada en parte aérea. ....	86
Figura 16. Efecto de diferentes concentraciones de MgCl <sub>2</sub> en la biomasa acumulada en parte aérea. ....	88
Figura 17. Efecto de diferentes concentraciones de NaHCO <sub>3</sub> en la biomasa acumulada en parte aérea. ....	90
Figura 18. Efecto de diferentes concentraciones de NaCl en la biomasa acumulada de raíz.....	92
Figura 19. Efecto de diferentes concentraciones de MgCl <sub>2</sub> en la biomasa acumulada de raíz.....	94
Figura 20. Efecto de diferentes concentraciones de NaHCO <sub>3</sub> en la biomasa acumulada de raíz.....	96

Figura 21. Efecto de diferentes concentraciones de NaCl en la biomasa total de los pastos evaluados.....	98
Figura 22. Efecto de diferentes concentraciones de MgCl <sub>2</sub> en la biomasa total de los pastos evaluados.....	99
Figura 23. Efecto de diferentes concentraciones de NaHCO <sub>3</sub> en la biomasa total de los pastos evaluados.....	101

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Colecta de agua de pozo de riego.....	138
Anexo 2. Extracción de monolito de suelo.....	138
Anexo 3. Extracción de alícuotas de suelo.....	138
Anexo 4. Determinación granulométrica con hidrómetro de Bouyoucos.....	138
Anexo 5. Sales utilizadas en la preparación de soluciones salinas.....	139
Anexo 6. Establecimiento de unidades experimentales en invernadero.....	139
Anexo 7. Crecimiento de pastos en macetas experimentales.....	139
Anexo 8. Cosecha y colecta de datos en invernadero.....	139
Anexo 9. Establecimiento de parcela experimental.....	140
Anexo 10. Crecimiento de pastos en condiciones de campo.....	140
Anexo 11. Cosecha de pastos en campo.....	140
Anexo 12. Colecta de datos en campo.....	140

## RESUMEN

Se evaluó la tolerancia de los pastos Cobra (BR02/1794), Cayman (BR02/1752), Camello (GP 3025) y Mulato II (CIAT 36087) a condiciones de estrés salino inducido por NaCl, MgCl<sub>2</sub> y NaHCO<sub>3</sub> en condiciones de invernadero y su validación en una parcela experimental de campo. En invernadero, se establecieron 252 macetas experimentales bajo siete niveles salinos 0, 1.13, 2.48, 3.84, 5.19, 6.40 y 9.60 g L<sup>-1</sup>. Se registró el porcentaje de emergencia, altura de plantas, diámetro del tallo, número de hojas y macollos, longitud de raíz y producción de biomasa. En condiciones de campo, se establecieron 32 unidades experimentales por variedad, la colecta de datos fue con idéntica metodología a la de invernadero, además se determinó la salinidad original del suelo y de las aguas del pozo de riego. El análisis estadístico se llevó a cabo bajo un diseño factorial A\*B\*C, completamente al azar. El análisis de varianza se realizó con el paquete estadístico (SAS 9.0) y la comparación de medias a través del estadístico de prueba Tukey  $\alpha = 0.05$ . Los resultados indican, que, al incrementar la concentración salina, todas las variedades disminuyeron de manera diferencial el porcentaje de emergencia, altura de plantas, diámetro del tallo, número de macollos, hojas y longitud de raíz, con decremento en la producción de biomasa de los pastos. La sal que mayor vulnerabilidad produjo fue NaHCO<sub>3</sub>, seguida de MgCl<sub>2</sub> y NaCl. El pasto moderadamente sensible a estas sales fue Cobra, mientras que el pasto Cayman fue moderadamente sensible a las sales NaCl, MgCl<sub>2</sub> y sensible a NaHCO<sub>3</sub>. Por su parte el pasto Camello fue sensible a NaCl, pero muy sensible a las sales MgCl<sub>2</sub> y NaHCO<sub>3</sub>. Finalmente, el pasto Mulato II fue muy sensible a las sales antes mencionadas. Los resultados de los pastos evaluados en campo, indican que no hubo forma de compararlos con los de invernadero, ya que estas no se sometieron a deficiencia hídrica, térmica y nutrimental, por tanto, no presentaron curva de crecimiento limitante, además las condiciones de suelo y aguas del rancho son propicias para la producción de estos híbridos.

**Palabras clave:** tolerancia, pastos, salinidad, producción de biomasa.

## ABSTRACT

The tolerance of Cobra pastures (BR02/1794), Cayman (BR02/1752), Camel (GP 3025) and Mulato II (CIAT 36087) was assessed to saline stress conditions induced by NaCl, MgCl<sub>2</sub> and NaHCO<sub>3</sub> under greenhouse conditions and their validation in experimental field plot. In greenhouse, 252 experimental pots were established under seven saline levels 0, 1.13, 2.48, 3.84, 5.19, 6.40 and 9.60 g L<sup>-1</sup>. There was an emergency percentage, plant height, stem diameter, number of leaves and tillering, root length and biomass production. In field conditions, 32 experimental units were established per variety, the data collection was with the same methodology to that of greenhouse, in addition the original salinity of the soil and water of the irrigation well was determined. Statistical analysis was carried out under a factorial design A\*B\*C, completely at random. The variance analysis was performed with the statistical package (SAS 9.0) and the comparison of means through the Tukey test statistic  $\alpha = 0.05$ . The results indicate that, by increasing the saline concentration, all varieties differentially decreased the emergency percentage, plant height, stem diameter, number of tillering, leaves and root length, with decrement in the biomass production of the pastures. The salt that caused the biggest vulnerability was NaHCO<sub>3</sub>, followed by MgCl<sub>2</sub> and NaCl. The grass moderately sensitive to these salts was Cobra, while Cayman grass was moderately sensitive to NaCl, MgCl<sub>2</sub> and NaHCO<sub>3</sub> sensitive salts. Camel grass was sensitive to NaCl, but very sensitive to MgCl<sub>2</sub> and NaHCO<sub>3</sub> salts. Finally the mulato II pasture was very sensitive to the aforementioned salts. There was no way to compare the results of the pastures evaluated in the field, with those of greenhouse, since these were not subjected to water, thermal and nutritional deficiency, therefore, they did not present limiting growth curve, in addition the soil and water conditions of the ranch are conducive to the production of these hybrids.

**Keys Word:** biomass production, grasses, salinity, tolerance.