



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

**CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ**

POSTGRADO EN  
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

**CRECIMIENTO DE *Distichlis spicata* (L) E. Greene EN DIFERENTES  
CONDICIONES EDAFOLÓGICAS Y DE MANEJO AGRONÓMICO PARA  
SU MODELADO CON EPIC**

**AIDA GRICELDA CARDONA DUARTE**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México  
Julio 2019

---



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

## **CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ**

POSTGRADO EN  
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

**CRECIMIENTO DE *Distichlis spicata* (L) E. Greene EN DIFERENTES  
CONDICIONES EDAFOLÓGICAS Y DE MANEJO AGRONÓMICO PARA  
SU MODELADO CON EPIC**

**AIDA GRICELDA CARDONA DUARTE**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México  
Julio 2019

---



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

## CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DEL PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **AIDA GRICELDA CARDONA DUARTE**, alumna de esta institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor DR. BENJAMÍN FIGUEROA SANDOVAL, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **CRECIMIENTO DE *Distichlis spicata* (L) E. Greene EN DIFERENTES CONDICIONES EDAFOLÓGICAS Y DE MANEJO AGRO-NÓMICO PARA SU MODELADO CON EPIC** y de los productos de dicha investigación al colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven será, distribuidas entre la institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta institución.

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, a Julio 2019

Aida Gricelda Cardona Duarte

Firma

Dr. Benjamín Figueroa Sandoval

Vo.Bo. Profesor Consejero o Director de Tesis

La presente tesis, titulada: **Crecimiento de *Distichlis spicata* (L) E. Greene en diferentes condiciones edafológicas y de manejo agronómico para su modelado con EPIC**, realizada por la alumna: **Aida Gricelda Cardona Duarte**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

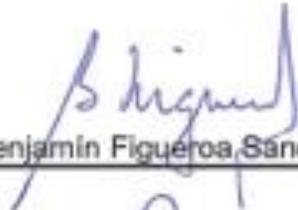
**MAESTRO EN CIENCIAS**

**EN INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

**CONSEJO PARTICULAR**

**CONSEJO PARTICULAR**

**CONSEJERO:**

  
Dr. Benjamín Figueroa Sandoval

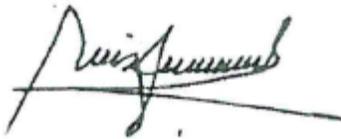
**ASESOR:**

  
Dr. José Pimentel López

**ASESOR:**

  
Dr. Esteban Salvador Osuna Ceja

**ASESOR:**

  
Dr. Víctor Manuel Ruíz Vera

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí  
Julio 2019

# **CRECIMIENTO DE *Distichlis spicata* (L) E. Greene EN DIFERENTES CONDICIONES EDAFOLÓGICAS Y DE MANEJO AGRONÓMICO PARA SU MODELADO CON EPIC**

Aida Gricelda Cardona Duarte, MC

Colegio de Postgraduados, 2019

El Exlago de Texcoco, es caracterizado edafológicamente por su extrema salinidad, sodicidad y alcalinidad, niveles freáticos someros y alcalinos, con baja conductividad hidráulica. Estos factores han ocasionado susceptibilidad a la erosión eólica, provocando problemas de insalubridad en la zona conurbada de la Ciudad de México. Dichos problemas han promovido la búsqueda de diferentes soluciones para aminorar este tipo de erosión. Una alternativa sustentable y con un gran valor ecológico es la formación de una cubierta vegetal permanente mediante el establecimiento de especies nativas. Por lo que ha llamado la atención un pasto halófito, *Distichlis spicata* (L) E. Greene ya que es una gramínea capaz de tolerar características como inundaciones, altas concentraciones de sales, deficiencias nutricionales e hídricas, suelos contaminados, sequías y frío, gracias a sus características biológicas como los rizomas, estolones y glándulas salinas. El trabajo está integrado por capítulos, donde cada uno corresponde a un artículo. La primera sección se refiere al análisis bibliométrico del pasto salado; el segundo capítulo se refiere al estudio del suelo extraído del Exlago de Texcoco y su mejoramiento con el uso de estiércol ovino crudo, así como sus eficiencias en el uso de la radiación y el agua; El cuarto capítulo muestra el desarrollo de *D. spicata* bajo condiciones de invernadero con el suelo del capítulo anterior; Por último, se realizó el modelado con la ayuda de EPIC (Erosion / productivity Impact Calculator). Se encontró que el uso de estiércol mejoró drásticamente la producción de Biomasa Total del pasto. El modelado ha servido para tener una idea de cómo se comportaría el establecimiento de *D. spicata* en el Exlago de Texcoco.

**Palabras clave:** Exlago de Texcoco, suelo salino, pasto salado, análisis bibliométrico, EPIC, modelación, eficiencias de radiación, modelado de nichos ecológicos, Semi árido.

# ***Distichlis spicata* (L) E. GREENE GROWTH UNDER DIFFERENT EDAPHOLOGICAL AND MANAGEMENT CONDITIONS FOR MODELLING USING EPIC**

Aida Gricelda Cardona Duarte, M.Sc.  
Colegio de Postgraduados, 2019

The Texcoco Ex lake is edaphologically characterized by its extreme salinity, sodicity and alkalinity, shallow and alkaline groundwater levels, with low hydraulic conductivity. These factors have caused susceptibility to wind erosion, causing problems of unhealthiness in the metropolitan area of Mexico City. These problems have promoted the search for different solutions to reduce this type of erosion. A sustainable alternative with great ecological value is the formation of a permanent vegetation cover through the establishment of native species. For what has drawn attention a halophyte grass, *Distichlis spicata* (L) E. Greene since it is a grass capable of tolerating characteristics such as floods, high salt concentrations, nutritional and water deficiencies, contaminated soils, droughts and cold, due to its biological characteristics such as rhizomes, stolons and salt glands. The work is integrated by chapters, where each one corresponds to an article. The first section refers to the bibliometric analysis of salted grass; the second chapter refers to the study of the soil extracted from the Texcoco Exlago and its improvement with the use of raw sheep manure, as well as its efficiencies in the use of radiation and water; The fourth chapter shows the development of *D. spicata* under greenhouse conditions with the soil of the previous chapter; Finally, modeling was performed with the help of EPIC (Erosion / productivity Impact Calculator). It was found that the use of manure drastically improved the production of Total Biomass from grass. The modeling has served to get an idea of how the establishment of *D. spicata* in the Texcoco Exlago would behave.

**Keywords:** Texcoco Ex lake, saline soil, salted grass, bibliometric analysis, EPIC, modeling, radiation efficiencies, ecological niche modeling; semiarid.

## **DEDICATORIA**

*A la bebé más linda, mi asistente de investigación, has crecido de una manera sorprendente en este lapso, gracias por tu compañía y motivación.*

***Atena Itzel Ramírez Cardona***

*Dedico esta publicación el hombre más fuerte e interesante que he conocido en los últimos años, él ha sabido cambiar con una simple mirada y una sutil sonrisa cualquier pensamiento y recuerdo negativo de mi mente.*

***Benjamín Figueroa Sandoval***

*Ajenos al campo de la investigación, pero cercanos a la producción de alimentos, juntos compartimos el amor y la admiración a la naturaleza.*

***Mi familia***

## AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados campus San Luis Potosí, por ser la plataforma que me ha permitido alcanzar un logro más en mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca de postgrado otorgada para realizar mis estudios de Maestría en Innovación en Manejo de Recursos Naturales.

A los integrantes de mi consejo particular gracias por su apoyo, formación y motivación. Con su guía y orientación no me dejaron decaer en momentos decisivos. Son excelentes personas, con una gran calidad y calidez humana, pilares del Colegio de Postgraduados e INIFAP.

**Dr. Benjamín Figueroa Sandoval, Dr. José Pimentel López, Dr. Esteban Salvador Osuna Ceja y Dr. Víctor Manuel Ruiz Vera**

Al personal Académico y Administrativo del Colegio de Postgraduados que me ayudaron a realizar el proceso de investigación, de trámites y muchas veces favores personales.

A las personas que me han brindado su ayuda incondicional, formando parte de esta etapa de mi vida: **María Guardado, Lidia López, Sandra López, Clara Tovar, Lea Silva, Román Aguayo, Miguel Hidalgo, Andrés Torres, Salvador Colima, Mario Palacios, Luis Monreal, Ariel (☆).**

A Socorro Ramírez Morales, que siempre ha estado dispuesta a ayudarme, aún con la distancia, siempre ha sabido llegar a Salinas de Hidalgo al rescate.

A las personas que le han brindado a mi hija su cariño y su tiempo, ustedes han sido muy importantes a lo largo del desarrollo de esta investigación y siempre los recordará como sus amigos de Salinas.

A la Dra. Libia Trejo Téllez por su absoluta disposición de enseñanza y profesionalismo en el laboratorio de Nutrición del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

A la comunidad de Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, por ser un lugar con tanta magia para provocar sonrisas e inspiración y por hacernos a mí y a mi hija parte de su gente.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	12
CAPÍTULO I. Investigaciones sobre el pasto salado ( <i>Distichlis spicata</i> ) de 1951 a 2019.....	14
1.1 RESUMEN .....	14
ABSTRACT.....	14
1.2 INTRODUCCIÓN.....	15
1.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
1.5 CONCLUSIONES.....	24
1.6 REFERENCIAS .....	25
CAPÍTULO II. Características físicas y químicas de tres suelos del Exlago de Texcoco adicionados con tres dosis de estiércol ovino .....	28
2.1 RESUMEN .....	28
ABSTRACT.....	29
2.2 INTRODUCCIÓN.....	30
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
2.3.1 Descripción del área de estudio .....	32
2.3.2 Fertilización .....	34
2.3.3 Descripción de los tratamientos.....	34
2.3.4 Diseño experimental .....	35
2.3.5 Análisis de suelo .....	35
2.3.5.1 Determinación de las propiedades físico-químicas del suelo utilizado .....	35
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
2.4.1 Características del suelo .....	36
2.4.2 Aniones solubles (SO <sub>4</sub> , Cl, CO <sub>3</sub> , HCO <sub>3</sub> ) .....	38
2.4.3 Cationes solubles .....	40
2.4.4 Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) .....	44
2.4.5 Correlaciones entre aniones, cationes, RAS y PSI .....	45
2.5 CONCLUSIONES.....	46
2.6 REFERENCIAS .....	47
CAPÍTULO III. Efecto de la salinidad en el desarrollo del zacate salado ( <i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene) 1	
3.1 RESUMEN .....	1

ABSTRACT.....	2
3.2 INTRODUCCIÓN.....	2
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
3.3.1 Localización del área de estudio.....	6
3.3.2 Preparación del material vegetativo.....	6
3.3.2.1 Llenado de macetas.....	7
3.3.2.2 Localización de los tratamientos en el área del invernadero .....	9
3.3.3 Descripción de las variables fisiológicas .....	9
3.3.4. Descripción de los tratamientos.....	10
3.3.5 Diseño experimental .....	10
3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	11
3.4.1. Estadística descriptiva de las variables vegetativas obtenidas en la experimentación .....	11
3.4.2. ANOVA de las variables de crecimiento.....	12
3.4.2.1. Cantidad de brotes y su altura media .....	13
3.4.2.2. Área foliar .....	15
3.4.2.3 Conductancia estomática .....	16
3.4.2.4 Biomasa húmeda de hojas y tallos.....	18
3.4.2.5 Biomasa seca de raíz y rizomas .....	19
3.4.2.6 Biomasa seca de hojas, tallos.....	21
3.4.2.7 Biomasa total seca .....	22
3.4.2.8 Hojas secas al corte y estolones antes y después del secado .....	23
3.4.2.9 Transpiración .....	25
3.4.3 Coeficientes de correlación de Pearson (Coeficientes\probabilidades) entre las variables bajo estudio. ....	26
3.4.4 Relación biomasa de raíz y biomasa aérea .....	27
3.4.5 Relación biomasa de rizomas y biomasa total .....	29
3.4.7 Cambios en biomasa total durante el tiempo de desarrollo del pasto <i>D. spicata</i> .....	30
3.4.8 Relación de biomasa normalizada con máximos y mínimos y conductividad eléctrica .....	32
3.4.7 Área foliar e Índice de área foliar .....	33
3.4.8 Transpiración .....	36
3.4.9 Tasa de asimilación neta, Relación de área foliar y Tasa de crecimiento relativo .....	41
3.4.10 Eficiencia en el uso de agua.....	46
3.5 CONCLUSIONES.....	47

3.6	REFERENCIAS .....	48
CAPÍTULO IV. Calibración del modelo EPIC para el zacate salado ( <i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene) bajo tres niveles de salinidad .....		
4.1	RESUMEN .....	50
	ABSTRACT.....	50
4.2	INTRODUCCIÓN.....	51
4.3	MATERIALES Y MÉTODOS .....	53
4.3.1	Área de Estudio.....	53
4.3.2	Tratamientos Estudiados.....	53
4.3.3	Modelo EPIC e Información Requerida .....	54
4.3.3.1	Variables ambientales.....	54
4.3.4	Calibración.....	55
4.3.4.1	Datos generales.....	55
4.3.4.2	Datos climáticos.....	55
4.3.4.3	Datos de suelo .....	55
4.3.4.4	Datos fisiológicos.....	56
4.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	57
4.5	CONCLUSIONES.....	60
4.6	REFERENCIAS .....	60
CAPÍTULO V. Conclusiones generales .....		
		63

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Las diez publicaciones más citadas sobre <i>Distichlis</i> de 1951-2019 (03/06/2019).....	19
Cuadro 2. Las 30 instituciones que más publican sobre <i>Distichlis</i> de 1951-2019 (03/06/2019)..	20
Cuadro 3. Las 10 revistas más citadas sobre <i>Distichlis</i> de 1951-2019 (03/06/2019). .....	22
Cuadro 4. Las 30 palabras clave más utilizadas en las publicaciones encontradas. ....	23
Cuadro 5. Tratamientos establecidos .....	34
Cuadro 6. Variables edafológicas iniciales para el modelado en EPIC** .....	36
Cuadro 7. Características del suelo (1 de 2). ....	37
Cuadro 8. Características del suelo (2 de 2). ....	37
Cuadro 9. Valores de medias y significancia de la prueba de Tukey con Alfa = 0.1 para las diferentes variables del extracto de los suelos bajo estudio* .....	39
Cuadro 10. Prueba de Tukey para cobre, hierro, calcio y magnesio. ....	40
Cuadro 11. Prueba de Tukey para Boro, Manganeso, Fósforo, Zinc, Sodio y Potasio en los tres diferentes suelos.....	42
Cuadro 12. Prueba de Tukey de la relación de adsorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI). ....	44
Cuadro 13. Valores del Coeficiente de Correlación de Pearson (Coeficientes\probabilidades) entre variables en estudio del extracto de saturación de los suelos. ....	46
Cuadro 14. Agua necesaria para llevar a capacidad de campo el suelo (1/3 atm). ....	8
Cuadro 15. Variables y métodos de medición .....	9
Cuadro 16. Tratamientos establecidos .....	10
Cuadro 17. Estadística descriptiva de las variables de la planta.....	12
Cuadro 18. Prueba de Tukey del número de brotes por maceta y su altura media (cm) con alfa=0.1 .....	15
Cuadro 19. Prueba de Tukey del área foliar con alfa=0.1 .....	16
Cuadro 20. Prueba de Tukey de la Conductancia estomática con alfa=0.1 .....	18
Cuadro 21. Prueba de Tukey de la biomasa de tallo y hojas antes del secado con un alfa de 0.1	19
Cuadro 22. Prueba de Tukey de la biomasa de las raíces y rizomas secos con alfa=0.1 .....	20
Cuadro 23. Prueba de Tukey de la Biomasa de las hojas y tallos secos con un alfa de 0.1 .....	22
Cuadro 24. Prueba de Tukey de la Biomasa total seca. ....	23
Cuadro 25. Prueba de Tukey de la biomasa de los estolones antes y después del secado y de las hojas ya secas al momento del corte. ....	23
Cuadro 26. Prueba de Tukey de la Traspiración de las plantas. ....	26
Cuadro 27. Coeficientes de Correlación de Pearson de las variables de crecimiento .....	27
Cuadro 28. Coeficientes de determinación de la relación de biomasa raíz y biomasa aérea ajustada al modelo $y = a*(x)^b$ .....	27
Cuadro 29. Coeficientes de ecuación para biomasa rizomas/biomasa total de la forma $y = b*\ln(x) + a$ .....	29
Cuadro 30. Coeficientes del modelo de Biomasa total .....	31
Cuadro 31 Parámetros de la ecuación logística para la variable de área foliar.....	35
Cuadro 32. Coeficientes de la ecuación de transpiración para cada tratamiento.....	37
Cuadro 33. Coeficientes de la ecuación de la eficiencia en el uso de la radiación con la forma $Y=a*X^b$ .....	39
Cuadro 34. Coeficientes de la ecuación de la eficiencia en el uso de la radiación con la forma $Y=a*X^b$ .....	41

Cuadro 35. Coeficientes de la ecuación de la tasa de asimilación neta (NAR) de la forma $Y=a \cdot X^b$ .....	42
Cuadro 36. Valor de la interceptada (a) y la pendiente (b) de la ecuación $\ln(\text{biomasa}) = a + b$ (días) y su coeficiente de determinación ( $R^2$ ) .....	43
Cuadro 37. Valor de la interceptada (a) y la pendiente (b) de la ecuación $LAR= b \cdot \ln(\text{días})+a$ y su coeficiente de determinación ( $R^2$ ) .....	44
Cuadro 38. Valor de la interceptada (a) y la pendiente (b) de la ecuación $RGR= b \cdot \ln(\text{días})+a$ y su coeficiente de determinación ( $R^2$ ) .....	44
Cuadro 39. Valor de la interceptada (a) y la pendiente (b) de la ecuación $IAF= b \cdot \ln(\text{días})+a$ y su coeficiente de determinación ( $R^2$ ) .....	45
Cuadro 40. Valor de la interceptada (a) y la pendiente (b) de la ecuación $EUA= b \cdot \ln(\text{días})+a$ y su coeficiente de determinación ( $R^2$ ) .....	47
Cuadro 41. Variables de las plantas necesarias para el modelado con EPIC obtenidas de Gerik <i>et al.</i> 2013.....	56
Cuadro 42. Valores medios fisiológicos utilizados para ejecutar EPIC y resultados de biomasa	57
Cuadro 43. Ajuste de parámetros de <i>D. spicata</i> para ejecutar EPIC .....	58
Cuadro 44. Valores resultantes del ajuste de los parámetros del pasto salado. ....	58
Cuadro 45. Resultados de la ejecución del modelo EPIC con los parámetros ajustados.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de publicaciones sobre <i>Distichlis</i> de 1951-2019. ....	18
Figura 2. Contribuciones globales de las publicaciones sobre <i>D. spicata</i> de 1951 al 2019. ....	20
Figura 3. Visualización de la red de co-ocurrencias utilizando el programa VOSviewer®. ....	24
Figura 4. Ubicación de los puntos de muestreo de los tres tipos de suelo: polígono rojo-suelo con plantas <i>Distichlis</i> (b); polígono amarillo-suelo desnudo (a); polígono azul-suelo con plantas <i>Distichlis spicata</i> y <i>Ordeum</i> (c). ....	33
Figura 5. Muestreo del suelo. ....	33
Figura 6. Equipo de granulometría. ....	34
Figura 7. Curva de retención de humedad del suelo. ....	38
Figura 8. Mapa de localización del lugar de experimentación. ....	6
Figura 9. Invernadero donde se estableció el material vegetativo. ....	7
Figura 10. Procedimiento para el trasplante de <i>D. spicata</i> . ....	8
Figura 11. Imagen desplegada por el software ImageJ. ....	10
Figura 12. Relación de la biomasa de la raíz y la aérea en el tiempo (días) ....	29
Figura 13. Relación de la biomasa de los rizomas y la biomasa total. ....	30
Figura 14. Biomasa total seca en el tiempo (días) ....	32
Figura 15. Biomasa normalizada en relación con la conductividad eléctrica. ....	33
Figura 16. Área foliar en el tiempo. ....	35
Figura 17. Índice de Área foliar en el tiempo. ....	36
Figura 18. Ajuste de la transpiración de <i>D. spicata</i> . ....	38
Figura 19. Eficiencia en el uso de la radiación en el tiempo de crecimiento de <i>D. spicata</i> . ....	40
Figura 20. Relación de la biomasa aérea-radiación a lo largo del crecimiento. ....	40
Figura 21. Tasa de asimilación neta. ....	42
Figura 22. Calculo de RGR (pendiente de la línea de regresión) a partir de los datos de biomasa total seca. ....	43
Figura 23. LAR en el tiempo (días) ....	44
Figura 24. RGR en el tiempo de crecimiento (días) ....	45
Figura 25. IAF a lo largo del crecimiento de <i>D. spicata</i> . ....	46
Figura 26. Eficiencia en el uso del agua (EUA) de <i>D. spicata</i> a lo largo de su desarrollo. ....	47

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El Exlago de Texcoco, es caracterizado edafológicamente por su extrema salinidad, sodicidad y alcalinidad, niveles freáticos someros y alcalinos, además de una baja conductividad hidráulica Arévalo (2007), factores que han ocasionado graves problemas de insalubridad y alta susceptibilidad a la erosión eólica (CONAGUA, 2005), por lo que se ha promovido la búsqueda de soluciones para amortiguar este tipo de erosión. Anteriormente, fue propuesta la formación de una cubierta vegetal mediante el establecimiento de praderas y barreras de cortinas rompe-vientos, buscando especies vegetales adecuadas, una de ellas *Distichlis spicata* (L) E. Greene (*D. spicata*) y la otra *Tamarix spp.* (CONAGUA, 2005, Arévalo, 2007).

*D. spicata*, es un pasto nativo de zonas altamente salinas (Pessarakli y Kopec, 2011) por lo que se considera una importante planta pionera en las primeras etapas de reforestación de sitios perturbados (Hansen *et al.* 1976), incluyendo porciones desnudas de suelo (Shumway, 1995). Los rizomas puntiagudos con numerosas células de sílice epidérmica y la red aerenquimática del rizoma, la vaina foliar y las raíces facilitan el desarrollo de la planta en arcillas pesadas, lutitas y suelos inundados (Hansen *et al.* 1976). En el Exlago de Texcoco la mayor proporción de la vegetación presente es de estos pastos salados (Arévalo, 2007). Por lo que se considera que el pasto salado *D. spicata* es un pasto nativo de zonas altamente salinas que tiene un gran potencial para ser utilizado en ambientes con estrés hídrico originados por salinidad o sequía, para combatir la desertificación, recuperar suelos salinos y cubrir el suelo por medio de revegetación (Pessarakli y Kopec, 2011; Qian *et al.* 2006).

El objetivo de esta investigación consiste en atacar los problemas de reforestación en estas zonas, debido a que no hay estrategias para el establecimiento y el manejo a largo plazo, no pudiendo garantizar una cobertura permanente del suelo. Por lo que se planea la elaboración de un modelo de crecimiento de esta planta halófila en el Exlago de Texcoco, bajo diferentes condiciones de salinidad y de manejo agronómico. Conociendo variables fisiológicas y de suelo principalmente, será posible utilizar el modelo EPIC (Erosion / productivity Impact Calculator) para diseñar un programa de manejo de la cobertura vegetal a largo plazo.

Se eligió el modelo EPIC por ser el más avanzado en la simulación de los procesos del cultivo (nutrimentos, crecimiento y productividad) (Licona, 2005), siendo una herramienta robusta para simular los efectos de las prácticas de manejo, clima, suelo y topografía sobre el rendimiento de

los cultivos, la erosión hídrica y eólica, las pérdidas de nutrientes y plaguicidas y el contenido del carbono orgánico (Gassman *et al.*, 2005).

### REFERENCIAS

- Arévalo, V. J. 2007. El tamarix (*Tamarix sp.*) en la reforestación del lecho del vaso del ex-lago de Texcoco, una estrategia más para su rescate. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. México.
- CONAGUA, 2005. Proyecto Lago de Texcoco. Rescate Hidro-ecológico CONAGUA-GRAVAMEX y SC-G L T. Edición Especial. IV Foro Mundial del Agua, 2006. México, D.F. 140 p.
- Gassman, P.W.; Williams, J.R.; Benson, V.W.; Izaurrealde, R.C.; Hauck, L.M. C. Jones, A.; Atwood, J.D.; Kiniry, J.R. y Flowers J.D. 2005. Historical Development and Applications of the EPIC and APEX Models. Center for Agricultural and Rural Development Iowa State University Ames. Working Paper 05-WP 397.
- Hansen, D. J., Dayanandan, P., Kaufman, P. B. & Brotherson, J. D. (1976). Ecological adaptations of salt marsh grass, *Distichlis spicata* (Gramineae) and environmental factors affecting its growth and distribution. *American Journal of Botany*, 63, 635-650.
- Licona-Santana, J., M. R. Martínez Menes., L. E. Mendoza-Onofre., B. Figueroa-Sandoval y D. S. Fernández-Reynoso. 2006. Uso del modelo EPIC para estimar rendimiento de maíz con base en variables fisiotécnicas en el oriente del estado de México. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 24 Núm. 2: 283-291.
- Pessaraki, Mohammad y Kopec, David. 2011. Responses of various saltgrass (*Distichlis spicata*) clones to drought stress at different mowing Heights. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol. 9 (3 y 4): 665-668. Tucson USA.
- Post, D. F., A. Fimbres, A. D. Matthias, E. E. Sano, L. Accioly. A. K. Batchily, and L. G. Ferreira. 2000. Predicting Soil Albedo from Soil Color and Spectral Reflectance Data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Volumen 64, p. 1027–1034.
- Qian, Y.L., J.A. Cosenza., S.J. Wilhelm, and D. Christensen. 2006. Techniques for enhancing saltgrass seed germination and establishment. *Crop Sci.* 46: 2613-2616.
- Shumway, S. W. 1995. Physiological Integration among Clonal Ramets during Invasion of Disturbance Patches in a New England Salt Marsh, *Annals of Botany*, Volume 76, Issue 3, September 1995, Pages 225–233, <https://doi.org/10.1006/anbo.1995.1091>

## **CAPÍTULO I. Investigaciones sobre el pasto salado (*Distichlis spicata*) de 1951 a 2019**

### **1.1 RESUMEN**

*Distichlis spicata* es un pasto que se adapta fácilmente a ambientes con alta humedad y salinos, teniendo potencial para la restauración de suelos contaminados, sirviendo como forraje para animales, así como para reducir la erosión del suelo. Este trabajo tuvo como objetivo realizar un análisis bibliométrico de las publicaciones científicas referentes a esta especie utilizando la metabase de datos SCOPUS®. Utilizando la palabra clave *Distichlis*, se obtuvieron un total de 372 publicaciones científicas, para el análisis de co-ocurrencias se utilizó el software VOSviewer®. Se identificaron las principales revistas, países e instituciones que han publicado sobre el tema. Los resultados muestran que las publicaciones respecto a este tema se centran en tópicos como distribución geográfica, composición florística, salinidad, fitoremediación, biomonitoreo y evotranspiración. Un pasto que resultó altamente relacionado con *Distichlis* fue la especie *Spartina patens*. Se concluye que el enfoque de las publicaciones versa sobre la capacidad de esta especie para reproducirse bajo las condiciones de humedad y salinidad, lo que denota lo limitado de su uso ya que no se presentan publicaciones sobre genómica o temas más innovadores.

**Palabras Clave:** *Distichlis spicata*, pasto salado, análisis bibliométrico, salinidad.

### **ABSTRACT**

*Distichlis spicata* is a grass that adapts easily to environments with high humidity and saline, having potential for the restoration of contaminated soils, serving as fodder for animals as well as to reduce soil erosion. The objective of this work was to carry out a bibliometric analysis of the scientific publications related to this species using the SCOPUS® meta-database. Using the keyword *Distichlis*, a total of 372 scientific publications were obtained, for the analysis of co-occurrences the VOSviewer® software was used. The main journals, countries and institutions

that have published on the subject were identified. The results show that the publications on this subject focus on topics such as geographical distribution, floristic composition, salinity, phytoremediation, biomonitoring and evotranspiration. One grass that was highly related to *Distichlis* was the species *Spartina patens*. It is concluded that the focus of the publications is on the ability of this species to reproduce under the conditions of humidity and salinity, which denotes the limited uses of this grass, since no publications on genomics or more innovative subjects are presented.

**Key words:** *Distichlis spicata*, salt grass, bibliometric analysis, salinity.

## 1.2 INTRODUCCIÓN

La salinidad de los suelos es uno de los problemas ambientales y agrícolas más grandes del mundo (Alshammary *et al.*, 2008). La FAO (Food and Agriculture Organization) estimó que la superficie global de suelos salinos era de 3.97 millones de km<sup>2</sup> (FAO, 2018). *Distichlis spicata* (L.) Greene (*D. spicata*) es una especie atractiva para su uso en este tipo de suelos (Abdallah *et al.*, 2017), así como para su uso en la restauración de suelos contaminados (Beland *et al.*, 2016). Tiene un potencial económico y ambiental para ser utilizado como forraje (Al-Shorepy *et al.*, 2010), contribuir al uso racional de recursos hídricos (Rao *et al.*, 2017), y reducir el escurrimiento y la movilización de sedimentos (Bawazir *et al.*, 2014). Se ha utilizado para la rehabilitación de granjas improductivas de cultivos convencionales (Rao *et al.*, 2017). Es un excelente candidato para la fitorestauración de las tierras bajas o ribereñas (Zhu *et al.*, 2017), ya que crece en zonas frecuentemente inundadas por agua salina (Alvarado Reyes y Flores-Olvera, 2013), desarrollándose principalmente en las marismas (Coldren *et al.*, 2016).

*D. spicata* es una especie con metabolismo C4 (Curtis *et al.*, 1990), resistente al frío (Bawazir *et al.*, 2014), halófila, perenne y de estación cálida, crece y se propaga a través de una red de rizomas (Brewer *et al.*, 1998; Al-Shorepy *et al.*, 2010; Mata-González *et al.*, 2012; Evans *et al.*, 2013), ya que su principal limitante biológica es su dificultad para germinar (Zhu *et al.*, 2017). Tiene un sistema radicular generalmente denso y poco profundo (Al-Shorepy *et al.*, 2010).

Al-Shorepy *et al.* (2010), mencionan que esta especie se encuentra presente en todo el mundo, y debido a que cuenta con mecanismos adaptativos como las glándulas de sal bicelulares y la estimulación del crecimiento de la raíz, es una especie tolerante a la salinidad (Alshammary *et al.*, 2004). Debido a esta capacidad de adaptación a condiciones donde otras especies no podrían crecer tiene un alto potencial para recuperar suelos salinos y con daños por eventos de contaminación.

A la fecha no existe una revisión sobre este pasto en particular, derivado de este vacío de información, así como del potencial para el uso de este pasto, este trabajo tuvo como objetivo realizar un análisis bibliométrico de las publicaciones científicas referentes a esta especie utilizando la metabase de datos SCOPUS® y el software VOSviewer (Visualizing scientific landscapes), con ello proporcionar información valiosa relacionada el pasto salado, como la caracterización de publicaciones, las referencias más relevantes citadas, las palabras clave más influyentes en los temas de investigación, las principales fuentes de revistas y los principales países activos en este campo de investigación particular.

VOSviewer es una herramienta para crear mapas basados en datos de red y para visualizar y explorar mapas, se desarrolló con lenguaje de programación de Java. VOSviewer se puede utilizar para construir redes de publicaciones científicas, revistas científicas, investigadores, organiza-

ciones de investigación, países, palabras clave o términos. Los elementos en estas redes se pueden conectar por coautoría, co-ocurrencia, cita, acoplamiento bibliográfico o enlaces de co-cita. Se pueden usar datos de Web of Science, Scopus, Dimensions, PubMed, RIS o Crossref JSON. Se pueden realizar tres visualizaciones de un mapa: la de red, de superposición y de densidad (Van Eck y Waltman, 2014).

Martínez *et al.* (2019) han utilizado VOSViewer para evaluar la tendencia evolutiva y el estado actual de dos conjuntos de datos, el de Huella ambiental y el de Evaluación de ciclo de vida y huella ambiental. Athar *et al.* (2019) utilizaron VOSviewer para realizar una extensa encuesta sobre la bibliometría en la cual se observa la tendencia de publicación, autores y cooperación geográfica y palabras clave destacadas relacionados con la evaluación de procesos sostenibles. Geo *et al.* (2019) realizaron un análisis bibliométrico sobre los temas candentes y las perspectivas futuras en el campo de los desechos electrónicos, con datos de la Colección principal de Web of Science con CiteSpace V, Histcite y VOSviewer.

### **1.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el análisis se utilizó la palabra ‘*Distichlis*’ presente en el título, resumen y/o palabras clave de la metabase de datos SCOPUS® al 03 de junio del 2019. Se encontraron un total de 372 publicaciones incluyendo artículos científicos (352), memorias de congresos (11), capítulos de libros (6) y revisiones (3).

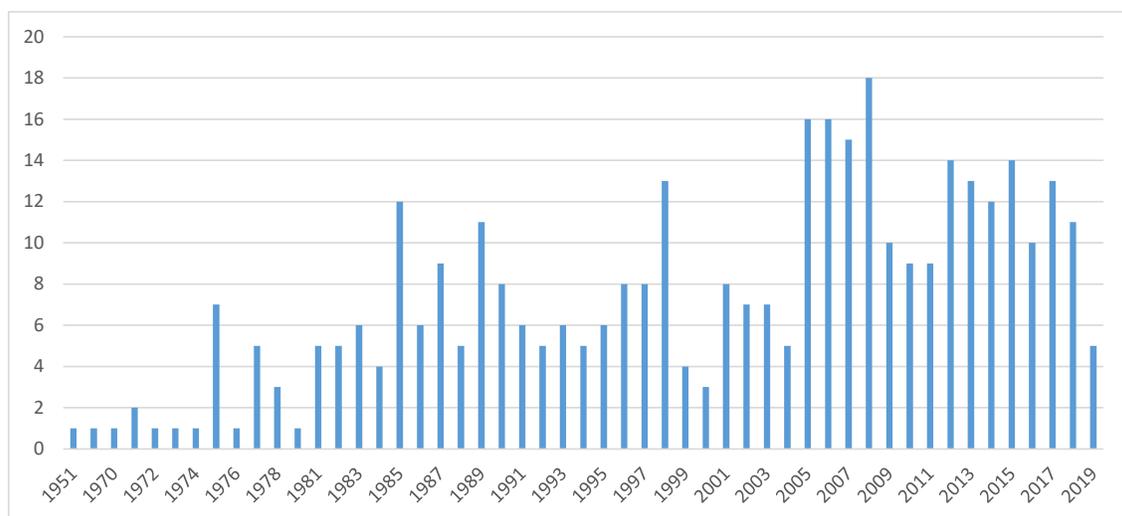
Para el análisis se utilizó el software VOSviewer® (Centre for Science and Technology Studies, 2018). Un análisis de co-ocurrencia de palabras clave y términos académicos en los títulos y resúmenes de las publicaciones, usando el método fue el de normalización-fuerza de asociación (FA), resolución de 1.00, escala de visualización al 100%, peso TLS, tamaño de variación de

etiqueta del 50% y fue utilizado un ancho del núcleo del 30%. Se siguió el método de conteo completo, con un número de registros de cada término  $\geq 2$ , y un tamaño mínimo de clúster de 1. Con los términos seleccionados por el software se creó el mapa para la visualización de la red (Van Eck y Waltman, 2014).

## 1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron un total de 372 publicaciones incluyendo artículos científicos (352), memorias de congresos (11), capítulos de libros (6) y revisiones (3).

La primera publicación sobre el tema surgió en 1951: “Edaphic preferences of *Distichlis spicata* (L.) Greene in the grasslands of Conchan (Lima, Peru)” publicado en los Anales de la Real Academia de Farmacia. En 1975 se presentan ya 7 publicaciones sobre el tema, el mayor número de publicaciones se registraron en 2008 con 18 (Figura 1).



**Figura 1. Distribución de publicaciones sobre *Distichlis* de 1951-2019.**

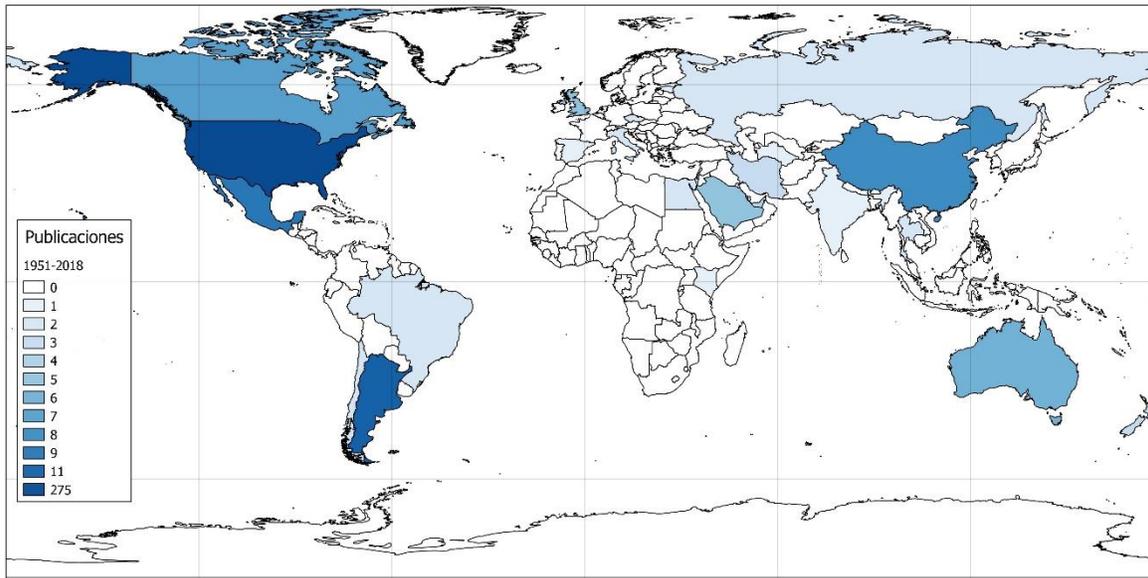
La estructura anual de citas (>1) de las publicaciones entre 1967 y 2019 fue de la siguiente manera: Hay 18 documentos que tienen más de 100 citas; 28 documentos tienen entre 99 y 50 citas; 88 tiene entre 49 y 20 citas; 76 tienen entre 19 y 10 citas; y, 126 tienen entre nueve y una citas.

En promedio son 28 citas para el tema por publicación. Los diez artículos más citados fueron publicados entre 1971 y el año 2001 (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Las diez publicaciones más citadas sobre *Distichlis* de 1951-2019 (03/06/2019)**

<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Título</b>	<b>Fuente</b>	<b>Citas (No.)</b>
Bertness M.D. y Ellison A.M.	1987	Determinants of pattern in a New England salt marsh plant community.	Ecological Monographs	436
Leonard L.A., y Luther M.E.	1995	Flow hydrodynamics in tidal marsh canopies	Limnology and Oceanography	325
Bertness M.D.	1991	Interspecific interactions among high marsh perennials in a New England salt marsh	Ecology	278
Donnelly J.P., y Bertness M.D.	2001	Rapid shoreward encroachment of salt marsh cordgrass in response to accelerated sea-level rise	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	209
Levine J.M., Brewer J.S., y Bertness M.D.	1998	Nutrients, competition and plant zonation in a New England salt marsh	Journal of Ecology	201
Warren R.S., y Niering W.A.	1993	Vegetation change on a northeast tidal marsh: interaction of sea-level rise and marsh accretion	Ecology	190
Emery N.C., Ewanchuk P.J., y Bertness M.D.	2001	Competition and salt-marsh plant zonation: Stress tolerators may be dominant competitors	Ecology	189
Valiela I., Teal J.M., Allen S.D., Van Etten R., Goehringer D., y Volkmann S.	1985	Decomposition in salt marsh ecosystems: The phases and major factors affecting disappearance of above-ground organic matter	Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	183
Kraft J.C.	1971	Sedimentary facies patterns and geologic history of a olocene marine transgression	Bulletin of the Geological Society of America	182
Curtis P.S., Drake B.G., Leadley P.W., Arp W.J., y Whigham D.F.	1989	Growth and senescence in plant communities exposed to elevated CO <sub>2</sub> concentrations on an estuarine marsh	Oecologia	156

En las publicaciones analizadas, Estados Unidos de América es líder en cuanto al número con 289 publicaciones, seguido por Argentina (16), México (13), Canadá (11), China (10) y 28 países más (Figura 2).



**Figura 2. Contribuciones globales de las publicaciones sobre *D. spicata* de 1951 al 2019.**

La Universidad de California campus Davis junto con la Universidad Estatal de Colorado son las instituciones con mayor número de publicaciones. Sin embargo, la institución que más impacto ha tenido es la Universidad de Brown (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Las 30 instituciones que más publican sobre *Distichlis* de 1951-2019 (03/06/2019).**

Lugar	Institución	País	TP	TC	AC	≥100	≥50	≥20	ARWU	QS
1	Brown University	USA	10	1376	137.6	4	3	3	101-150	53
2	University of California, Davis	USA	23	590	25.7	1	2	7	96	118
3	Smithsonian Environmental Research Center	USA	10	573	57.3	3	2	0	-	-
4	University of California, Berkeley	USA	13	502	38.6	1	2	5	5	27
5	U.S. Geological Survey	USA	11	401	36.5	1	3	0	-	-
6	University of Arizona	USA	10	394	39.4	2	0	3	101-150	230
7	Woods Hole Oceanographic Institution	USA	2	368	184.0	2	0	0	-	-

Lugar	Institución	País	TP	TC	AC	≥100	≥50	≥20	ARWU	QS
	graphic Institution									
8	Connecticut College	USA	7	351	50.1	1	1	1	-	-
9	Colorado State University	USA	19	349	18.4	0	1	2	201-300	481-490
10	University of North Carolina at Wilmington	USA	2	341	170.5	1	0	1	-	-
11	University of Mississippi	USA	4	325	81.3	1	1	2	-	801-1000
12	University of South Florida	USA	2	325	162.5	1	0	1	201-300	501-550
13	University of Delaware	USA	12	310	25.8	0	2	3	201-300	421-430
14	Rutgers University, Newark	USA	4	226	56.5	1	1	0	-	651-700
15	Mississippi State University	USA	7	217	31.0	0	2	0	401-500	
16	Boston University	USA	2	178	89.0	1	0	0	70	81
17	Louisiana State University	USA	8	172	21.5	0	0	3	301-400	651-700
18	University of Rhode Island	USA	6	162	27.0	0	1	1	-	-
19	University of California, Bodega Marine Laboratory	USA	3	144	48.0	0	2	1	-	-
20	Rutgers University, New Brunswick	USA	1	144	144.0	1	0	0	101-150	283
21	University of Nevada at Las Vegas	USA	1	140	140.0	1	0	0	-	-
22	Portland State University	USA	6	114	19.0	0	0	3	-	-
23	Kent State University	USA	1	110	110.0	1	0	0	401-500	801-1000
24	Duke University	USA	3	105	35.0	0	1	1	26	21
25	King Abdulaziz City for Science and Technology	Arabia Saudita	3	105	35.0	0	1	0	-	-
26	Washington State University	USA	4	103	25.8	0	0	4	301-400	401-410
27	Marine Research &	USA	1	99	99.0	0	1	0	-	-

Lugar	Institución	País	TP	TC	AC	≥100	≥50	≥20	ARWU	QS
	Education Center									
28	Colegio de Postgraduados	México	3	97	32.3	0	1	0	-	-
29	University of Liverpool	Reino Unido	1	95	95.0	0	1	0	101-150	173
30	New Mexico State University, Las Cruces	USA	7	94	13.4	0	1	0	301-400	-

TP: publicaciones totales citadas al menos una vez; TC: total de citas; AC: promedio de citas por publicación; ARWU: Academic Ranking of World Universities ; QS: Quacquerelli Symonds; S World University Rankings.

La revista con mayor número de publicaciones es la Wetlands, es una revista científica que aborda los aspectos de la biología de los humedales, ecología, hidrología, química del agua, características del suelo y los sedimentos, manejo, educación, legislación, cultura, sociología y regulaciones. Su factor de impacto para el año 2017 fue de 1.811. En el Cuadro 3, se observan las diez revistas con mayor número de citas y su factor de impacto. Las primeras tres son: Ecology, Oecologia y Wetlands. Ecology es una revista sobre fenómenos ecológicos. Oecologia publica investigaciones ecológicas innovadoras de interés general.

**Cuadro 3. Las 10 revistas más citadas sobre *Distichlis* de 1951-2019 (03/06/2019).**

Rank	Revista	Citas	Factor de Impacto*
1	Ecology	776	4.617
2	Oecologia	487	3.127
3	Wetlands	432	1.811
4	Ecological Monographs	419	7.828
5	Estuaries	368	6.080
6	Journal of Ecology	361	5.170
7	Limnology and Oceanography	304	3.595
8	Journal of Phycology	231	3.000
9	Crop Science	207	1.635
10	Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	198	1.990

Se utilizaron alrededor de 872 palabras clave en las investigaciones encontradas, en el Cuadro 4 se encuentran las 30 más utilizadas: “*Distichlis spicata*” fue la más frecuente (58 veces), seguida de “salt marsh” (32) y “salinity” (22).

**Cuadro 4. Las 30 palabras clave más utilizadas en las publicaciones encontradas.**

Rank	Palabra clave	Frecuencia	Rank	Palabra clave	Frecuencia
1	<i>Distichlis spicata</i>	58	16	Respiration	7
2	Salt marsh	32	17	Halophytes	6
3	Salinity	22	18	Coastal wetlands	6
4	Saltgrass	16	19	Biomass	6
5	<i>Spartina</i>	16	20	Salt tolerance	6
6	Halophyte	16	21	Plant community	6
7	<i>Spartina patens</i>	15	22	Turfgrass	5
8	<i>Distichlis</i>	15	23	Spatial segregation of the sexes	5
9	<i>Spartina alterniflora</i>	14	24	<i>Schoenoplectus americanus</i>	5
10	Wetland	9	25	Salt marshes	5
11	Sea-level rise	9	26	Evapotranspiration	5
12	Sex ratio	58	27	Eutrophication	5
13	Salinity tolerance	8	28	Warm-season turfgrass	4
14	Dioecy	8	29	Taxonomy	4
15	Competition	8	30	Selenium	4

Se realizó un análisis de co-ocurrencia de términos, este provee una visión general de las tendencias de las investigaciones al reflejar los tópicos abordados. Los resultados establecen 1043 términos, de los cuales se conservaron aquellos con co-ocurrencias mayores a 2, se retuvieron 169 términos, organizados en 12 clusters con 561 relaciones. En la Figura 3, se observan los 12 clusters, lo que denota lo diversificada que se encuentra la producción científica con respecto a este pasto. El cluster más grande agrupa 22 items (color rojo), el tema central es halophytes; el cluster 2 agrupa 19 items (color verde), con el tema central spartina; el cluster 3



presentan publicaciones sobre genómica o temas innovadores, además de que la mayor parte de las publicaciones se desarrollaron en zonas costeras de USA.

Se observa gran relación de las investigaciones de *D. spicata* con especies del género *Spartina*, plantas herbáceas, perennes y risomatozas, pertenecientes a la familia de las poáceas.

Con el uso de herramientas de investigación como Scopus y VOSviewer se puede conocer mucho sobre un tema específico, como ejemplo en *Distichlis spicata* se encontró desde cuando se ha ido investigando, los países en donde se estudia, las revistas más interesadas en el tema, las especies de otras plantas que se investigan mutuamente, los temas o palabras clave con las que se desarrolla, los problemas ambientales en los cuales sea visto involucrado, entre muchas otras cosas más.

## 1.6 REFERENCIAS

- Abdallaha Mohamed A. B., Ricardo Mata-Gonzalez, David W. Martinb, Ricardo Trejo-Calzadac y Jay S. Nollerd. 2017. Effects of surface and subsurface water application on nitrogen and sodium relations of desert graminoids of different geographic origin. *Arid Land Research and Management*. 31(1): 1-13
- Academic Ranking of World Universities. 2018. Fecha de consulta 05 de noviembre del 2018. <http://www.shanghairanking.com/ARWU2018.html>.
- Al-Shorepy S.A., G.A. Alhadrami, A.I. El Awad. 2010. Development of sheep and goat production system based on the use of salt-tolerant plants and marginal resources in the United Arab Emirates. *Small Ruminant Research*. 91: 39-46.
- Allison, Stuart K. 1995. Recovery from small-scale anthropogenic disturbances by Northern California salt marsh plant assemblages. *Ecological Society of America*. 5(3): 693-702.
- Alshammary S.F., Hussain G., Qian Y.L. 2008. Response of four warm-season grasses to saline irrigation water under arid climate. *Asian Journal of Plant Sciences*. 7(7): 619-627.
- Alshammary S.F., Y.L. Qian, S.J. Wallner. 2004. Growth response of four turfgrass species to salinity. *Agricultural Water Management*. 66: 97-111
- Alvarado-Reyes E. y Flores-Olvera. H. 2013. Suaeda pulvinata (Chenopodiaceae), a new species from saline lakes of central Mexico. *Willdenowia* 43: 309-314.
- Armitage Anna R., Katharyn E. Boyer, Richard R. Vance, y Richard F. Ambrose. 2006. Restoring assemblages of salt marsh halophytes in the presence of a rapidly colonizing dominant species. *Wetlands*. 26 (3) 667-676.
- Athar, M., Shariff, A.M., Buang, A. 2019. A review of inherent assessment for sustainable process design(Review). *Journal of Cleaner Production*. Vol. 233(1) 242-263

- Aschenbach Todd A. 2006. Variation in Growth Rates under Saline Conditions of *Pascopyrum smithii* (Western Wheatgrass) and *Distichlis spicata* (Inland Saltgrass) from Different Source Populations in Kansas and Nebraska: Implications for the Restoration of Salt-Affected Plant Communities. *Restoration Ecology*. 14(1) 21-27.
- Bawazir A. Salim, Richard Luthy, J. Phillip King, Brent F. Tanzy y Juan Solis. 2014. Assessment of the crop coefficient for saltgrass under native riparian field conditions in the desert southwest. *Hydrological Process*. 28, 6163-6171.
- Beland Michael, Dar A. Roberts, Seth H. Peterson, Trent W. Biggs, Raymond F. Kokaly, Sarai Piazza, Keely L. Roth, Shruti Khanna, Susan L. Ustin. 2016. Mapping changing distributions of dominant species in oil-contaminated salt marshes of Louisiana using imaging spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*, 182:192–207.
- Bell Hester L. y J. Travis Columbus. 2008. Proposal for an Expanded *Distichlis* (Poaceae, Chloridoideae): Support from Molecular, Morphological, And Anatomical Characters. *The American Society of Plant Taxonomists*, 33(3):536-551.
- Beetle Alan A. 1943. The North American Variations of *Distichlis spicata*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 70(6): 638-650.
- Bertness Mark D. 1991. Interspecific interactions among high marsh perennials in a New England salt marsh. *Ecology*, 72(1):125-137.
- Bickford Wesley A., Brian A. Needelman, Raymond R. Weil y Andrew H. Baldwin. 2012. Vegetation Response to Prescribed Fire in Mid-Atlantic Brackish Marshes. *Estuaries and Coasts*. 35:1432-1442.
- Bickford Wesley A., Andrew H. Baldwin, Brian A. Needelman y Raymond R. Weil. 2012b. Canopy disturbance alters competitive outcomes between two brackish marsh plant species. *Aquatic Botany*. 103:23-29.
- Breen, Amanda N. y James H. Richards. 2008. Seedling Growth and Nutrient Content of Two Desert Shrubs Growing in Amended Soil. *Arid Land Research and Management*, 22:1,46-61.
- Brewer, J. S., Rand, T., Levine, J. M. y Bertness, M. D. 1998. Biomass allocation, clonal dispersal, and competitive success in three salt marsh plants. *Oikos* 82: 347-353.
- Coldren, G. A., C. R. Barreto, D. D. Wykoff, E. M. Morrissey, J. A. Langley, I. C. Feller y S. K. Chapman. 2016. Chronic warming stimulates growth of marsh grasses more than mangroves in a coastal wetland ecotone. *Ecology*, 97(11): 3167-3175.
- DeFalco Lesley A., Sara J. Scoles-Sciulla, Emily R. Beamguard. 2017. The role of salinity tolerance and competition in the distribution of an endangered desert salt marsh endemic. *Plant Ecol* 218:475-486.
- Evans TL, Mata-Gonzalez R, Martin DW, McClendon T, Noller JS. 2013. Growth, Water productivity, and biomass allocation of Great Basin plants as affected by summer watering. *Ecohydrology*. 6:713-721.
- FAO. 2018. En línea
- Ferrato Jacqueline R., Thomas R. Simpson, Michael F. Small, Joseph A. Veech y Mark H. Conway. 2017. Population density and habitat associations of the Seaside Sparrow (*Ammodramus maritimus*) on Laguna Atascosa National Wildlife Refuge, Cameron County, Texas. *The Wilson Journal of Ornithology*, 129(1):131-138.
- Gao, Y., Ge, L., Shi, S., Sun, Y., Liu, M., Wang, B., Shang, Y., Wu, J., Tian, J. 2019. Global trends and future prospects of e-waste research: a bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*. 26 (17) 17809-17820.

- Gerik, Tom; Wyatte Harman, Jimmy Williams, Larry Francis, John Greiner, Melanie Magre, Avery Meinardus, Evelyn Steglich y Robin Taylor. 2013. Environmental Policy Integrated Climate Model. WinEPIC Interface Manual Ver. 0810. Blackland Research and Extension Center Texas A&M AgriLife. Temple, Texas.
- INTAGRI S.C. (2018). Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/salinidad-de-suelos-problema-de-fertilidad>. Consultada el 10 de marzo del 2018.
- Peterson Paul M., Konstantin Romaschenko y Yolanda Herrera Arrieta. 2016. A molecular phylogeny and classification of the Cynodonteae (Poaceae: Chloridoideae) with four new genera: *Orthacanthus*, *Triplasiella*, *Tripogonella*, and *Zaqiqah*; three new subtribes: *Dactylocteniinae*, *Orininae*, and *Zaqiqahinae*; and a subgeneric classification of *Distichlis*. *Taxon*, 65 (6): 1263-1287.
- Kemp Paul R. y Gary L. Cunningham. 1981. Light, Temperature and Salinity Effects on Growth, Leaf Anatomy and Photosynthesis of *Distichlis spicata* (L.) Greene. *American Journal of Botany*. 68(4):507-516.
- Martínez, S., Delgado, M.D.M., Martínez Marín, R., Álvarez, S. 2019. Science mapping on the Environmental Footprint: A scientometric analysis-based review. *Ecological Indicators*. Vol. 106. Article number 105543
- Mata-González R, McLendon T, Martin DW, Trlica MJ, Pearce RA. 2012. Vegetation as affected by groundwater depth and microtopography in a shallow aquifer area of the Great Basin. *Ecohydrology*. 5:54-63.
- Moseman-Valtierra, S., O. I. Abdul-Aziz, J. Tang, K. S. Ishtiaq, K. Morkeski, J. Mora, R. K. Quinn, R. M. Martin, K. Egan, E. Q. Brannon, J. Carey, and K. D. Kroeger. 2016. Carbon dioxide fluxes reflect plant zonation and belowground biomass in a coastal marsh. *Ecosphere* 7(11): e01560. 10.1002/ecs2.1560.
- Pérttega Díaz S, Pita Fernández S. 2005. Revisión sistemática y metaanálisis. *Cad Aten Primaria* 2005; 12(2): 109-112.
- Palacio-Rodríguez Rubén, Jessica Lizbeth Coria-Arellano, José López-Bucio, Jaime Sánchez-Salas, Gisela Muro-Pérez, Gamaliel Castañeda-Gaytán y Jorge Sáenz-Mata. 2017. Halophilic rhizobacteria from *Distichlis spicata* promote growth and improve salt tolerance in heterologous plant hosts. *Symbiosis*. DOI 10.1007/s13199-017-0481-8.
- QS World University Rankings. 2018. Fecha de consulta 05 de noviembre del 2018. <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2018>.
- Rao, Nanduri Kameswara, Ian McCann, Shabbir Ahmad Shahid, Khalil Ur Rahman Butt, Basel Al Araj y Shoaib Ismail. 2017. Sustainable use of salt-degraded and abandoned farms for forage production using halophytic grasses. *Crop and Pasture Science*, 68, 483-492.
- Schofield, R.V., Kirkby, M.J., 2003. Application of salinization indicators and initial development of global soil salinization scenario under climatic change. *Global Biogeochemical Cycles*. 17(3): 1-14.
- Van Eck, N.J., & Waltman, L. (2014). Visualizing bibliometric networks. In Y. Ding, R. Rousseau, & D. Wolfram (Eds.), *Measuring scholarly impact: Methods and practice* (pp. 285–320). Springer.
- Zhu Hui, Alicia A. Taylor, Savina R. Astor y Norman Terry. 2016. Enhancing saltgrass germination and growth in a saline <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/more-information-on-salt-affected-soils/en/>. Consultada el 10 de marzo del 2018. e soil contaminated with petroleum hydrocarbons. *Plant Soil*. DOI 10.1007/s11104-016-3051-6.

## **CAPÍTULO II. Características físicas y químicas de tres suelos del Exlago de Texcoco adicionados con tres dosis de estiércol ovino**

### **2.1 RESUMEN**

La salinidad de los suelos es uno de los problemas ambientales y agrícolas más grandes del mundo, aumentando la contaminación atmosférica cercana a las zonas salinas, estas características describen claramente el caso del Exlago de Texcoco, aledaño a la Ciudad de México. El polvo del lecho lacustre y la contaminación antrópica son excesivas en la actualidad, aunado a la orografía que no permite el libre paso del aire contaminado, provoca daños a la salud irreversibles. Actualmente, es necesario un el manejo sustentable de estos suelos y de su vegetación. *Distichlis spicata* es una planta nativa de esta zona salina que con sus características biológicas lo llevan a dar servicio ambiental y agrícola. Es por ello que el objetivo de ésta investigación es analizar tres suelos con coberturas vegetales diferentes (desarrollo vegetativo nulo, desarrollo de *D. spicata* e *Ordeum*, desarrollo de *D. spicata*) con tres dosis de fertilización orgánica (0, 20 y 40 ton/ha) de estiércol ovino. Se analizan las principales características físicas y químicas, con la finalidad de observar los efectos sobre el suelo y el desarrollo de *D. spicata* en condiciones de invernadero.

En el suelo sin cobertura (21.53 dS/cm en extracto 1:5 suelo:agua) aun con la adición de estiércol más alta, no se obtuvo rendimiento alguno, por lo que se omitió en el análisis. Se encontró que hubo respuesta significativa por efecto del estiércol, siendo el suelo con cobertura vegetal de *Distichlis spicata* y *Ordeum*, seguido del cubierto con *Distichlis spicata* los tratamientos con más cambios en las propiedades químicas del suelo. Esto nos indica el mejoramiento notable de algunas de sus características físicas y químicas; dichos cambios se debieron al tipo de cobertura vegetal del suelo y a la aportación de materia orgánica sobre y debajo del suelo. En relación a los cambios físicos y químicos ocurridos en los suelos salino-sódicos con diferente cobertura vegetal y evaluados con aportaciones de materia orgánica de ganado ovino aplicada como mejorador,

mostraron que es posible recuperar éstos con la aportación de este mejorador de suelo, hasta un límite o concentración crítica umbral que no afectaron la permeabilidad.

**Palabras Clave:** suelos salino-sódicos, textura, humedad aprovechable, materia orgánica, conductividad eléctrica, aniones solubles, cationes solubles, PSI, RAS, CIC.

## ABSTRACT

The salinity of soils is one of the problems of environmental media and those of agriculture. The dust from the lake bed and anthropogenic pollution are currently excessive, in addition to the orography that does not allow the passage of contaminated air, causes irreversible health damage. Currently, sustainable management of these soils and their vegetation is necessary. The specific characteristics are a native plant of this area that meets its bio-logical characteristics that carry an environmental and agricultural service. That is why the objective of this participation is the research in spaces with different plants (null vegetative development, development of *D. spicata* and *Ordeum*, development of *D. spicata*) with the dose of organic fertilization (0, 20 and 40 tons / ha) of sheep manure. The main physical and chemical characteristics are analyzed, in order to observe the effects on the soil and the development of *D. spicata* under greenhouse conditions. In the uncovered soil (21.53 dS / cm in extract 1: 5 soil: water) even when the fertilization is higher, there is not only one yield, but also no analysis. It was found that there was a significant response due to the effect of manure, with the soil with vegetal cover of *Distichlis spicata* and *Ordeum*, followed by the cover with *Distichlis spicata* the treatments with more changes in the chemical properties of the soil. This indicates the remarkable improvement of some of its physical and chemical characteristics; These changes were due to the type of vegetation cover of the soil and the contribution of organic matter above and below the ground. The relationship with the physical and chemical changes occurring in saline-sodic soils with different vegetation cover and

evaluated with contributions of organic matter from sheep is applied as a better amendment, it gives the possibility of responding to the contribution of this soil amendment, up to a limit or critical concentration that will not affect the permeability.

**Key words:** saline-sodic soils, texture, usable humidity, organic matter, electrical conductivity, soluble anions, soluble cations, PSI, RAS, CIC.

## 2.2 INTRODUCCIÓN

La salinidad de los suelos es uno de los problemas ambientales y agrícolas más grandes del mundo (Alshammary *et al.* 2008). El establecimiento de vegetación nativa es un método para minimizar la contaminación atmosférica por partículas finas (polvo) en los lechos lacustres estériles y secos en todo el mundo (Breen y Richards, 2008). Días-Nigenda *et al.* (2010) mostraron que el lago seco de Texcoco y las tierras agrícolas al este y sureste de la Ciudad de México son una causa importante de altas concentraciones de PM10 en la Ciudad de México. Diamant *et al.* (2015) publicaron cuatro propuestas para el manejo del Exlago de Texcoco en favor del desarrollo económico y ambiental de la Zona Metropolitana del Valle de México a largo plazo. Éstas son: a) rehabilitación de suelos y vegetación, b) regeneración de zonas lacustres, c) manejo de residuos sólidos orgánicos y d) generación de electricidad y calor con energía solar.

El origen de la extrema salinidad del Exlago de Texcoco se debe a procesos de intemperismo químico de las rocas volcánicas y a los flujos de agua que han concentrado a estos iones en la parte más baja de la cuenca. La desecación del lago de Texcoco ha contribuido a la acumulación de estas sales en el acuitardo superficial conformado por los materiales arcillosos de los depósitos lacustres (SRH, 1971; Cruickshank, 2007).

La región del Exlago tiene una superficie de 60 km<sup>2</sup> aproximadamente (Diamant *et al.*, 2015) se considera como una planicie aluvial-lacustre, formado por sedimentos, producto de la alteración de las rocas ígneas presentes en la zona circundante al Valle de México (Del Valle, 1983) y que

se intercalan con sedimentos volcánicos (Bradbury, 1989). Gutiérrez (1997) reportó que el suelo dominante en esta área es un Fluvaquentic Endoaquolls (Soil Survey Staff, 1994), es un mollisol, debido a la acumulación de materia orgánica promovida por el pasto salado (*Distichlis spicata*); con un régimen de humedad áquico (influencia del manto freático) y con propiedades flúvicas. Debajo de la capa de suelo se encuentra una capa de ceniza volcánica, seguido del sedimento lacustre. *D. spicata* es una gramínea que caracteriza la flora de las áreas naturalmente salitrosas desde el nivel del mar hasta altitudes de 2500 m (Pelliza *et al.*, 2005) y que se adapta bien a las condiciones de salinidad del suelo que prevalecen en el Exlago de Texcoco (Soriano *et al.*, 1995).

Long *et al.* (1989) especifica una precipitación de 700 mm/año, una temperatura mínima de 12°C y máxima de 19°C, y una radiación solar de 6810 (MJm<sup>-2</sup>año<sup>-1</sup>) en la zona del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, aledaña a el Exlago de Texcoco; en esta misma publicación se reportan rendimientos medios de 2.79 ton/ha de biomasa aérea y de 3.89 ton/ha para raíces y rizomas. Sin embargo, en zonas costeras de Estados Unidos de América se obtuvieron rendimientos de superiores a 26 ton/ha (Bañuelos *et al.* 2005). Fernández-Buces *et al.* (2006) realizaron un mapeo de conductividad eléctrica y relación de adsorción de sodio con la respuesta espectral de especies de plantas y suelos desnudos mediante el uso de sensores remotos en el Exlago de Texcoco.

López-Ávila *et al.* (2004) estudiaron características de los sedimentos lacustres después de 84 cm de profundidad como la capacidad de campo (1/3 atm) y el punto de marchites permanente (15 atm) en muestras con la humedad del campo y muestras secadas a temperatura ambiente encontrando diferencias en el contenido de retención del agua entre ellas. Se ha observado que *D. spicata* es capaz de desarrollarse en suelos con pH desde 5.01 (Howard *et al.* 2015) hasta 9.66 (De

Falco *et al.* 2017). En suelos como marismas (Meixlee *et al.* 2017), desiertos (Rao *et al.* 2017), pantanos (Armitage *et al.* 2006) y humedales (Artigas y Yang, 2006). De Falco *et al.* (2017) observaron crecimiento de *D. spicata* en suelos con una relación de adsorción de sodio (RAS) de 21.6.

## **2.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.3.1 Descripción del área de estudio**

Los suelos fueron obtenidos del Exlago de Texcoco, localizado en el estado de México con coordenadas 19.4965° N y -99.0008° W aproximadamente. La vegetación está dominada por plantas halófitas (Bradbury, 1989 y Lozano-García y Ortega-Guerrero 1998). Se pueden distinguir varias comunidades vegetales: pirul (*Schinus molle*), lentejilla (*Lemma giba*), pasto salado (*Distichlis spicata*), romerito (*Suaeda nigra*) y eucalipto (*Eucaliptus spp.*) (Rzedowski y Huerta, 1985), *Suaeda pulvinata* (Alvarado-Reyes y Flores-Olvera, 2013).

El suelo se extrajo de los primeros 20 cm de suelo de tres polígonos del Exlago de Texcoco, Estado de México (Figura 4). En el primer polígono no existía vegetación (a), el segundo tenía un desarrollo de plantas de *Distichlis spicata* e *Ordeum spp.* con un buen establecimiento (c), y en el tercero existían una cubierta de *Distichlis spicata* (b) (Figura 5).



**Figura 4. Ubicación de los puntos de muestreo de los tres tipos de suelo: polígono rojo-suelo con plantas *Distichlis* (b); polígono amarillo-suelo desnudo (a); polígono azul-suelo con plantas *Distichlis spicata* y *Ordeum* (c).**



**Figura 5. Muestreo del suelo.**

Se extendió el suelo (en una capa de 5 cm de espesor) para secarse al aire en un invernadero, sobre una superficie de concreto por 30 días, se volteó completamente el suelo dos veces. Se destruyeron los agregados usando un marro de hierro. Se tamizó el suelo con equipo para granu-

lometría (Figura 6.), el cual separa el suelo dependiendo del tamaño de las partículas. Se utilizó el suelo con un tamaño menor a 2 mm.



**Figura 6. Equipo de granulometría.**

### 2.3.2 Fertilización

Se colectó estiércol ovino fresco, con el fin de darle una fertilización orgánica al suelo, se dejó secar en invernadero sobre una superficie de concreto por 60 días, volteándose cada 20 días. Finalmente, se tamizó en una malla de 5 mm.

El área de cada maceta fue de 176.7 cm<sup>2</sup> (0.000001767 ha), lo que indicó que para los tratamientos 2, 5 y 8 (20 t/ha) le fueran adicionados 35.3 g/maceta de estiércol y a los tratamientos 3, 6 y 9 se les adicionó 70.7 g de estiércol por maceta (40 t/ha). El estiércol fue revuelto uniformemente maceta por maceta antes del establecimiento de la planta y del primer riego.

### 2.3.3 Descripción de los tratamientos

Se realizaron nueve tratamientos, obteniéndose de tres suelos con las diferentes coberturas vegetales y tres dosis de fertilización orgánica por medio de estiércol ovino (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Tratamientos establecidos**

<b>Tratamiento (macetas)</b>	<b>Suelo</b>	<b>Salinidad Inicial *</b>	<b>Estiércol (t/ha)</b>
<b>1 (001-030)</b>	Sin cobertura	21.53	00

Tratamiento (macetas)	Suelo	Salinidad Inicial *	Estiércol (t/ha)
2 (031-060)	Sin cobertura	21.53	20
3 (061-090)	Sin cobertura	21.53	40
4 (091-120)	<i>D. spicata</i> e <i>Ordeum</i>	1.84	00
5 (121-150)	<i>D. spicata</i> e <i>Ordeum</i>	1.84	20
6 (151-180)	<i>D. spicata</i> e <i>Ordeum</i>	1.84	40
7 (181-210)	<i>D. spicata</i>	4.97	00
8 (211-240)	<i>D. spicata</i>	4.97	20
9 (241-270)	<i>D. spicata</i>	4.97	40

\*Medida en el extracto 1:5 suelo-agua en mS/cm

### 2.3.4 Diseño experimental

Se arreglaron los tratamientos como un diseño factorial de 3x3, en el que se tienen tres factores (suelos con 3 diferentes coberturas vegetales) y tres dosis de fertilización con estiércol, con tres repeticiones en cada muestreo.

Las unidades experimentales se distribuyeron en un arreglo completamente al azar. El modelo experimental es:

$$Y = \mu + \text{Salinidad}_i + \text{Estiercol}_j + \text{Salinidad} * \text{Estiercol}_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y= Variable de observación
- $\mu$  =Media general
- i = Tipo de cobertura vegetal (1, 2, 3)
- j = Dosis de estiércol (1, 2, 3)
- k = Repetición (1, 2, 3)
- $\epsilon$ = Error experimental

### 2.3.5 Análisis de suelo

#### 2.3.5.1 Determinación de las propiedades físico-químicas del suelo utilizado

Al inicio del muestreo se realizaron las determinaciones mostradas en el Cuadro 6, en los tres suelos evaluados, después de revolver hasta unificar las características visuales de cada tipo de suelo con tres repeticiones cada uno. Los suelos se analizaron para las siguientes variables:

**Cuadro 6. Variables edafológicas iniciales para el modelado en EPIC\*\*.**

<b>Nombre</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método</b>
<b>Textura ID</b>		Triángulo de texturas
<b>Densidad aparente</b>	t/m	Método de la probeta, gravimétrico
<b>Punto de marchitez permanente</b>	m/m	AS-06, NOM-021-SEMARNAT
<b>Capacidad de campo</b>	m/m	AS-06, NOM-021-SEMARNAT
<b>Contenido de arena</b>	%	Bouyoucos AS-09 NOM-021-SEMARNAT-2000
<b>Contenido de limo</b>	%	Bouyoucos AS-09 NOM-021-SEMARNAT-2000
<b>pH del suelo</b>		AS-02, NOM-021-SEMARNAT FIELDSCOUT Ph 100 Meter de Spectrum®
<b>Suma de bases</b>	cmol/kg	Equipo de Emisión por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)
<b>Carbono orgánico</b>	%	Walkley y Black, AS-07, NOM-021-SEMARNAT
<b>Carbonato de calcio</b>	%	Neutralización ácida. AS-29. NOM-021-SEMARNAT-2000
<b>Capacidad de intercambio catiónico</b>	cmol/kg	Equipo de Emisión por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)
<b>Concentración de nitratos*</b>	g/t	Equipo de Emisión por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)
<b>Concentración de fósforo lábil*</b>	g/t	Equipo de Emisión por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)
<b>Densidad aparente en seco</b>	t/m <sup>3</sup>	Método de la probeta
<b>Relación de adsorción de sodio</b>		AS-21, NOM-021-SEMARNAT
<b>Conductividad eléctrica (CE)</b>		Conductivity Meter OAKTON CON 100 Series

\* Estas propiedades no se analizaron por problemas de disponibilidad de equipos. \*\*Fuente: Gerik *et al.* (2013)

La conductividad eléctrica se determinó en la solución del suelo en relación 1:5 suelo:agua, con el Conductivity Meter OAKTON CON 100 Series. En la misma solución del suelo se midió el pH con el FIELDSCOUT Ph 100 Meter de Spectrum® Technologies, Inc. Se determinó la curva de retención de humedad por el método del plato y membrana de presión AS-06 según la NOM-021 REC/NAT-2000.

## 2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.4.1 Características del suelo

La textura de los suelos salinos-sódicos de la región del Exlago de Texcoco en su mayoría son franco arcilloso en la capa superficial (0-20 cm); con una humedad aprovechable que varió de 16 a 17 g g<sup>-1</sup>; una densidad aparente de 1.08 a 1.12 gr cm<sup>-3</sup>; conductividad eléctrica de 1.8 a 21.5 dS m<sup>-1</sup>; y un pH de 9.7 a 10.5, correspondiendo el valor más bajo al suelo con *D. Spicata* e *Ordeum*.

La CIC varió de 73.3 a 76.1 meq/100g, el carbono orgánico de 0.78 a 1.48 (Cuadro 7) y la MO de 1.48 a 2.81 %. Se considera que la fertilidad del suelo en todos los tratamientos evaluados es baja. En general, el suelo con cobertura vegetal de *Distichlis spicata* e *Ordeum* presentó los valores más bajos, mientras que el suelo sin cobertura tuvo los valores más altos de los parámetros químicos analizados. Esto indica que la calidad química del suelo salino-sódico en los primeros 20 cm de profundidad es mejor en el suelo con *Distichlis Spicata* e *Ordeum* debido a una mayor entrada orgánica sobre y debajo de la superficie del suelo, al haber una mayor cubierta vegetal, cuya cantidad y calidad de follaje y raíces contribuyen fuertemente a los ciclos biogeoquímicos.

**Cuadro 7. Características del suelo (1 de 2).**

Suelo**	Análisis de Distribución de Partículas (%)			Constantes de humedad (g g <sup>-1</sup> )					Humedad aprovechable (g g <sup>-1</sup> )	
	Arena	Limo	Arcilla	0.33	1.5	5.0	8.0	10.0	15.0	
<b>Suelo Desnudo<sup>1</sup></b>	17.8	53.1	29.1	50.0	40.5	35.6	35.0	33.7	33.0	17.03
<b>Suelo con <i>D. spicata</i> y <i>Ordeum</i><sup>2</sup></b>	19.6	47.3	33.1	55.3	46.8	42.1	41.4	39.4	38.3	16.99
<b>Suelo con <i>D. spicata</i><sup>3</sup></b>	25.1	42.7	32.2	54.4	46.7	42.4	41.8	39.9	38.3	16.12

<sup>1</sup> Tratamientos T1, T2 y T3; <sup>2</sup> Tratamientos T4, T5 y T6; <sup>3</sup> Tratamientos T7, T8 y T9.

\*\* Fuente: datos obtenidos en los laboratorios del Campus San Luis Potosí por la autora del estudio. Promedios de tres determinaciones en cada tratamiento.

El suelo desnudo obtuvo la conductividad eléctrica más alta, al igual que el pH, el CO, la RAS, y el PSI. El mismo suelo obtuvo la densidad aparente y la CIC menor (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Características del suelo (2 de 2).**

Suelo**	DA (g cm <sup>-3</sup> )		CE (1:5) (mS cm <sup>-1</sup> )	CEe (mS cm <sup>-1</sup> )*	pH (1:5)	CO (%)	CIC meq/100 g	RAS	PSI
	seco	0.3 atm							
<b>Suelo Desnudo<sup>1</sup></b>	0.72	1.08	21.5	158.2	10.53	1.48	73.3	299.5	60.2
<b>Suelo con <i>D. spicata</i> y <i>Ordeum</i><sup>2</sup></b>	0.72	1.12	1.8	13.2	9.75	0.78	76.2	29.8	25.0
<b>Suelo con <i>D. spicata</i><sup>3</sup></b>	0.72	1.12	5.0	36.3	10.47	0.86	75.9	51.8	36.8

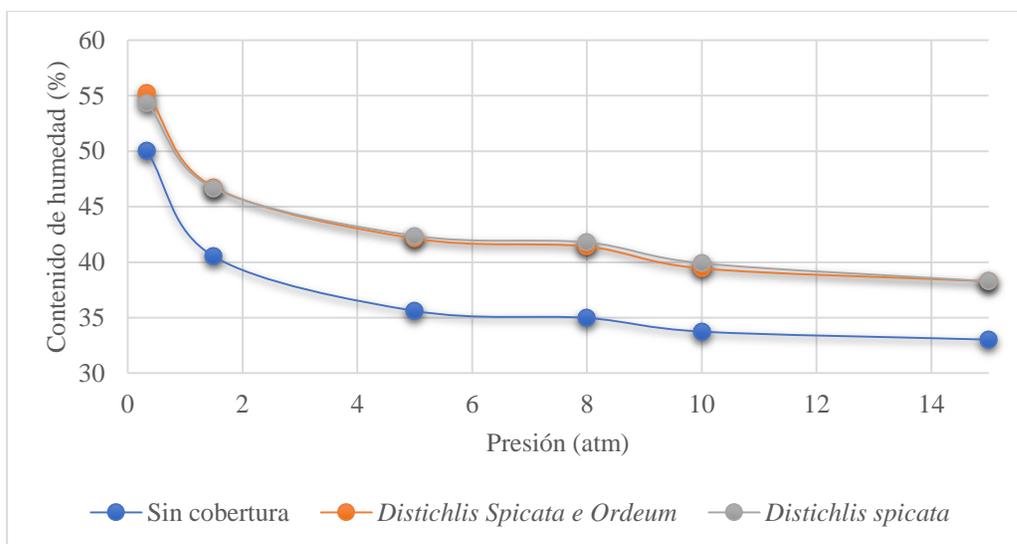
DA: Densidad aparente; CE: conductividad eléctrica; CEe: conductividad eléctrica del extracto; pH: potencia de Hidrogeno; CO: Carbono orgánico; CIC: capacidad de intercambio catiónico; RAS: relación de absorción de sodio; PSI: porcentaje de sodio intercambiable.

<sup>1</sup> Tratamientos T1, T2 y T3; <sup>2</sup> Tratamientos T4, T5 y T6; <sup>3</sup> Tratamientos T7, T8 y T9.

\* Usando la relación CEe = 7.36 [CE(1:5)] - 0.24; Sahriye, S., B. Dursun, O. Filiz, C. Sedat. 2008. Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. Geoderma 144: 361–369.

\*\* Fuente: datos obtenidos en los laboratorios del Campus San Luis Potosí por la autora del estudio. Promedios de tres determinaciones en cada tratamiento.

En la curva de retención de humedad de los suelos (1/3, 1.5, 5, 8, 10 y 15 atmósferas), el suelo sin cobertura vegetal se mostró con una retención de humedad menor a los otros dos suelos los cuales tuvieron un comportamiento similar ((Figura 7).



**Figura 7. Curva de retención de humedad del suelo.**

#### 2.4.2 Aniones solubles (SO<sub>4</sub>, Cl, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>)

Los resultados del análisis estadístico indicaron que hubo diferencias significativas entre tipos de suelo en tres de los cuatro parámetros analizados (Cuadro 9); no hubo significancia estadística en el parámetro: bicarbonato aunque el valor promedio del tratamiento con *Distichlis spicata* e *Ordeum* fue el más bajo (1.77 me l<sup>-1</sup>). Esto significa que ninguna condición de los tres tipos de suelos afectaron este parámetro y sí a los otros tres. En el factor de variación correspondiente a la adición de materia orgánica, no hubo significancia estadística ( $P \leq 0,05$ ) en los cuatro parámetros; las cuales registraron un valor promedio general de 24.61, 8,021.55, y 2.58 me l<sup>-1</sup>, respectivamente; se concluye que los efectos de expansión de arcillas y dispersión coloidal y la precipita-

ción de carbonatos del calcio, señalados como una limitación seria a la aplicación de mejoradores del suelo, en este caso no afectaron significativamente el desarrollo del pasto *D. spicata*.

**Cuadro 9. Valores de medias y significancia de la prueba de Tukey con Alfa = 0.1 para las diferentes variables del extracto de los suelos bajo estudio\***

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Resultados de la Prueba de Tukey									
		Suelo	Media	Tukey	Estiércol	Media	Tukey	Suelo	Estiércol	Media	Tukey
<b>Sulfatos</b>	0.0254	1	59.76	A	0	30.9	A	1	0	80.310	A
		3	9.47	B	20	26.3	A	1	20	70.250	A B
		2	4.60	B	40	16.7	A	1	40	28.730	A B
		3			40			3	40	14.140	A B
		3			0			3	0	9.880	A B
		2			40			2	40	7.130	A B
		3			20			3	20	4.380	B
		2			20			2	20	4.160	B
		2			0			2	0	2.520	B
		<b>Cloro</b>	0.0233	1	18445	A	20	9465.8	A	1	20
3	3555.7			B	0	9022.0	A	1	0	22031.3	A B
2	2064.0			B	40	5576.9	A	1	40	9665.2	A B
3					40			3	40	4650.3	A B
3					0			3	0	3360.6	A B
3					20			3	20	2656.3	A B
2					40			2	40	2415.2	A B
2					20			2	20	2102.7	A B
2					0			2	0	1674.1	B
<b>Carbonatos</b>	0.0124			1	33.23	A	0	15.54	A	1	20
		3	3.83	B	20	15.14	A	1	0	41.47	A B
		2	1.48	B	40	7.84	A	1	40	15.88	A B C
		3			40			3	40	5.17	A B C
		3			0			3	0	4.16	A B C
		2			40			2	40	2.49	B C
		3			20			3	20	2.16	B C
		2			0			2	0	1.01	C
		2			20			2	20	0.93	C
		<b>Bicarbonatos</b>	0.6186	1	3.25	A	40	2.74	A	1	0
3	2.72			A	0	2.59	A	3	40	3.50	A
2	1.77			A	20	2.42	A	1	20	3.00	A
1					40			1	40	2.56	A
1					0			1	0		

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Resultados de la Prueba de Tukey									
		Suelo	Media	Tukey	Estiércol	Media	Tukey	Suelo	Estiércol	Media	Tukey
								3	20	2.48	A
								3	0	2.18	A
								2	40	2.16	A
								2	20	1.77	A
								2	0	1.38	A

\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

\*\* 1 = Suelo Desnudo (T1, T2 y T3); 2 = Suelo con *D. spicata* y Ordeum (T4, T5 y T6); 3 = Suelo con *D. spicata* (T7, T8 y T9)

### 2.4.3 Cationes solubles

Hubo significancia estadística entre tipos de suelo ( $P \leq 0.05$ ), para seis de los parámetros estudiados (Cuadro 10 y 11); no hubo significancia en las variables: Ca, Fe, Cu y Mg, los cuales registraron en promedio  $0.253 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ ,  $0.01 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ ,  $0.01 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$  y  $0.0003 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$  de suelo, respectivamente. Esto significa que las concentraciones de sales registradas entre los tipos de suelo no afectaron a estas variables y si a las otras seis.

**Cuadro 10. Prueba de Tukey para cobre, hierro, calcio y magnesio.**

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Suelo	Media	Tukey	Estiércol	Media	Tukey	Suelo	Estiércol	Media	Tukey			
Cobre	0.3824	2	0.01	A	0	0.0	A	1	0	0.01	A			
		3	0.01	A	40	0.0	A	2	40	0.01	A			
		1	0.01	A	20	0.0	A	2	20	0.01	A			
								3	0	0.01	A			
								3	40	0.01	A			
								1	40	0.01	A			
								2	0	0.01	A			
								3	20	0.00	A			
Fierro	0.7329				2	0.010	A	2	20	0.010	A			
					3	0.01	A	1	0	0.003	A			
					1	0.01	A	3	0.000	A	2	40	0.002	A
									2	0	0.000	A		
									3	0	0.000	A		

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Suelo	Media	Tukey	Estiércol	Media	Tukey	Suelo	Estiércol	Media	Tukey
Calcio	0.5358							3	20	0.000	A
								1	40	0.000	A
								3	40	0.000	A
								1	20	0.000	A
		1	0.300	A	0	0.37	A	1	0	0.620	A
		2	0.270	A	40	0.22	A	2	0	0.290	A
		3	0.190	A	20	0.18	A	2	40	0.270	A
								2	20	0.240	A
								3	40	0.230	A
								3	0	0.190	A
								1	40	0.150	A
								3	20	0.140	A
Magnesio	0.7493							1	20	0.140	A
		3	0.050	A	0	0.08	A	3	0	0.120	A
		1	0.030	A	40	0.02	A	1	0	0.090	A
		2	0.020	A	20	0.00	A	2	0	0.030	A
								2	40	0.030	A
								3	40	0.020	A
								2	20	0.010	A
								1	40	0.001	A
								3	20	0.000	A
								1	20	0.000	A

\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

\*\* 1 = Suelo Desnudo (T1, T2 y T3); 2 = Suelo con *D. spicata* y *Ordeum* (T4, T5 y T6); 3 = Suelo con *D. spicata* (T7, T8 y T9)

Desataca el alto contenido de los cationes Na y K para el suelo desnudo (Cuadro 11). En el factor de materia orgánica adicionada, a excepción del Mg, no hubo significancia estadística ( $P \leq 0.05$ ) en los nueve parámetros; esto quiere decir que ninguna de las dosificaciones de estiércol probados, difieren entre sí en los parámetros medidos. El factor de variación de suelo por adiciones de materia orgánica mostró significancia estadística en cuatro de los diez parámetros (Cuadros 10 y 11).

Los valores más bajos de los cationes solubles evaluados se obtuvieron con el tratamiento *Distichlis Spicata* e *Ordeum*, luego con *Distichlis Spicata* y por último el tratamiento de suelo desnudo.

**Cuadro 11. Prueba de Tukey para Boro, Manganeso, Fósforo, Zinc, Sodio y Potasio en los tres diferentes suelos**

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Suelo	Media	Tukey	Estiércol	Media	Tukey	Suelo	Estiércol	Media	Tukey
<b>Boro</b>	0.0784	1	1.8	A	0	1.1	A	1	20	2.20	A
		3	1.0	B	20	1.1	A	1	0	2.11	A
		2	0.5	B	40	1.0	A	3	40	1.29	A
		1						1	40	1.05	A
		3						3	0	0.92	A
		3						3	20	0.74	A
		2						2	40	0.60	A
		2						2	20	0.42	A
<b>Manganeso</b>	0.0051	1	0.0008	A	0	0.0008	A	1	0	0.002	A
		2	0.0000	B	20	0.0000	B	2	20	0.000	B
		3	0.0000	B	40	0.0000	B	3	20	0.000	B
		2						2	0	0.000	B
		3						3	40	0.000	B
		2						2	40	0.000	B
		1						1	40	0.000	B
		3						3	0	0.000	B
<b>Fósforo</b>	0.0459	1	1.7600	A	0	1.1600	A	1	0	2.120	A
		3	0.9300	B	20	1.1000	A	1	20	2.070	A
		2	0.5100	B	40	0.9400	A	1	40	1.100	A
		3						3	40	1.060	A
		3						3	0	0.970	A
		3						3	20	0.750	A
		2						2	40	0.670	A
		2						2	20	0.480	A
<b>Zinc</b>	0.6254	1	1.7600	A	1	0.0011	A	1	40	0.003	A
		3	0.9300	B	2	0.0010	A	2	0	0.002	A
		2	0.5100	B	3	0.0006	A	2	20	0.001	A
		3						3	0	0.001	A

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Suelo	Media	Tukey	Estiércol	Media	Tukey	Suelo	Estiércol	Media	Tukey	
								3	20	0.001	A	
								1	20	0.00	A	
								2	40	0.00	A	
								3	40	0.00	A	
								1	0	0.00	A	
<b>Sodio</b>	0.0236	1	475.35	A	0	245.57	A	1	0	604	A	
		3	99.560		B	20	227.71	A	1	20	572.	A B
		2	50.270		B	40	151.89	A	1	40	250	A B
									3	40	141	A B
									3	0	93.6	A B
									2	40	65.1	A B
									3	20	64.0	A B
									2	20	47.0	A B
<b>Calcio</b>	0.5358							2	0	38.7	B	
		1	0.300	A	0	0.37	A	1	0	0.62	A	
		2	0.270	A	40	0.22	A	2	0	0.29	A	
		3	0.190	A	20	0.18	A	2	40	0.27	A	
									2	20	0.24	A
									3	40	0.23	A
									3	0	0.19	A
									1	40	0.15	A
<b>Potasio</b>	0.0149							3	20	0.14	A	
								1	20	0.14	A	
		1	30.8	A	0	15.83	A	1	0	39.69	A	
		3	5.2		B	20	14.54	A	1	20	36.64	A B
		2	3.7		B	40	9.27	A	1	40	16.2	A B
									3	40	6.90	A B
									3	0	5.19	A B
									2	40	4.74	A B
							2	20	3.60	B		
							3	20	3.39	B		
							2	0	2.60	B		

\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

\*\* 1 = Suelo Desnudo (T1, T2 y T3); 2 = Suelo con *D. spicata* y Ordeum (T4, T5 y T6); 3 = Suelo con *D. spicata* (T7, T8 y T9)

#### 2.4.4 Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)

Los análisis químicos del suelo muestran incrementos variables en el RAS para los tres suelos y la aplicación de materia orgánica (estiércol). Estos cambios son significativos, aunque se observaron incrementos de RAS con la aportación de materia orgánica, estos fueron variables y no mostraron un patrón definitivo. Por lo que no es posible aseverar que la utilización de la materia orgánica resultará en modificaciones benéficas del RAS de suelos afectados por sodio. Al igual que la RAS, el PSI presentó cambios significativos entre tratamientos, similares a los observados en el RAS (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Prueba de Tukey de la relación de adsorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI).**

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Resultados de la Prueba de Tukey									
		Suelo	Media	Tukey	Estiércol	Media	Tukey	Suelo	Estiércol	Media	Tukey
<b>RAS</b>	0.0126	1	299.5	A	20	151.2	A	1	20	383	A
		3	51.8	B	0	136.1	A	1	0	340	A B
		2	29.8	B	40	93.9	A	1	40	176	A B
								3	40	65.6	A B
								3	0	47.0	A B
								3	20	42.8	B
								2	40	40.5	B
								2	20	27.8	B
<b>PSI</b>	0.0029	1	60.2	A	20	44.8	A	1	20	76.4	A
		3	36.8	B	0	39.6	A	1	0	63.9	A B
		2	25.0	B	40	37.5	A	3	40	45.3	A B C
								1	40	40.1	A B C
								3	0	32.7	B C
								3	20	32.3	B C
								2	40	26.9	B C
								2	20	25.8	B C
						2	0	22.3	C		

\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

\*\* 1 = Suelo Desnudo (T1, T2 y T3); 2 = Suelo con *D. spicata* y *Ordeum* (T4, T5 y T6); 3 = Suelo con *D. spicata* (T7, T8 y T9).

Es importante resaltar que la efectividad de la materia orgánica como enmienda en suelos afectados por sodio en nuestro estudio, no permite aseverar que se corregirán los problemas de sodicidad del suelo, al tenerse problemas severos de drenaje.

#### **2.4.5 Correlaciones entre aniones, cationes, RAS y PSI**

El análisis de correlación por pares de variables de los 16 parámetros de suelo, mostró una correlación significativa con una probabilidad  $P \leq 0,05$  en 36 de los 120 pares de atributos del suelo (Cuadro 13). El *B* presentó una alta correlación positiva con *P*, *SO* y *Na* ( $r > 0.91$ ), pero con otras variables como *K*, *Cl* y *RAS* disminuyó ( $r = 0.89$ ), así como también con *CO* ( $r = 0.88$ ), *PSI* ( $r = 0.86$ ) y *HCO* ( $r = 0.79$ ); El *P* tuvo una  $r = 0.91$  con *SO* y *Na*, pero con otras variables como *K* y *Cl* ( $r = 0.89$ ), *RAS* ( $r = 0.88$ ), *PSI* ( $r = 0.84$ ), *HCO* y *Mn* ( $r = 0.77$ ) disminuyó; el *Zn* correlacionó positivamente con *B* ( $r = 0.87$ ). Una alta correlación fue obtenida entre *SO* con *Zn*, *RAS* y *CO* ( $r > 0.95$ ) pero con otras variables disminuyó ( $r = 0.81$ ). El *Na* mostró una asociación positiva con *Mn*, *Zn*, *RAS*, *CO*, *K* y *Cl* ( $r = 0.91$ ) y disminuyó estadísticamente con las otras variables. Por otro lado, *Ca* se encuentra estrechamente asociada con *B* y *Fe* con coeficientes de correlación que son significativos. El *Mg* mantiene una relación funcional que es altamente significativa con *Fe*, *Zn* y *SO*, con coeficientes de correlación que son altamente significativos; en tanto, *K* se asocia estrechamente en forma altamente significativa con *Mn*, *Zn*, *Mg*, *Cl*, *CO* y *RAS*. El *Cl* presentó una alta correlación positiva con *Mn*, *Zn*, *CO* y *RAS* ( $r > 0.92$ ); *CO* se asoció con *Zn*, *Ca* y *RAS* ( $r > 0.94$ ); *HCO* se encuentra estrechamente asociada con *Mn*, *Zn* y *Mg*. Los valores de la *RAS* mantienen una relación funcional que es estadísticamente significativa con *Zn*, *Ca* y *PSI*, respectivamente.

Cabe resaltar que uno de los iones que favorece la degradación del suelo es el sodio que sustituye al calcio en suelos salino-sódicos; situación que da lugar a una dispersión de los agregados y una pérdida de la estructura, por lo que el suelo pierde rápidamente su permeabilidad.

**Cuadro 13. Valores del Coeficiente de Correlación de Pearson (Coeficientes\probabilidades) entre variables en estudio del extracto de saturación de los suelos.**

	B	Cu	Fe	Mn	P	Zn	SO	Na	Ca	Mg	K	Cl	CO	HCO	RAS	PSI
B	1	0.08	0.5	0.56	0	0.87	0	0	0.77	0.44	0	0	0	0	0	0
Cu	0.22	1	0.69	2.00E-03	0.03	0.19	0.04	0.09	1.30E-04	0.16	0.06	0.11	0.18	0.1	0.25	0.24
Fe	-0.09	-0.05	1	0.66	0.39	0.67	0.73	0.67	0.77	0.99	0.69	0.71	0.69	0.59	0.63	0.31
Mn	-0.07	0.38	0.06	1	0.77	0.67	0.81	0.91	7.80E-06	0.11	0.86	0.93	0.75	0.93	0.7	0.59
P	0.97	0.27	-0.11	-0.04	1	0.67	0	0	0.66	0.48	0	0	0	0	0	0
Zn	0.02	0.16	-0.05	-0.05	0.05	1	0.95	0.95	0.69	0.88	0.93	0.92	0.94	0.78	0.97	0.34
SO	0.91	0.26	-0.04	0.03	0.91	-0.01	1	0	0.24	0.88	0	0	0	6.20E-10	0	2.90E-11
Na	0.92	0.22	-0.06	-0.01	0.91	-0.01	1	1	0.54	0.72	0	0	0	1.20E-09	0	4.20E-12
Ca	0.04	0.46	0.04	0.53	0.06	0.05	0.15	0.08	1	3.50E-03	0.34	0.6	0.97	0.13	0.84	0.98
Mg	-0.1	0.18	2.20E-03	0.2	-0.09	-0.02	-0.02	-0.05	0.36	1	0.83	0.74	0.63	0.81	0.52	0.15
K	0.89	0.23	-0.05	0.02	0.89	-0.01	1	1	0.12	-0.03	1	0	0	5.30E-09	0	4.50E-11
Cl	0.89	0.2	-0.05	-0.01	0.89	-0.01	0.99	1	0.07	-0.04	1	1	0	1.70E-08	0	9.90E-11
CO	0.88	0.17	-0.05	-0.04	0.87	-0.01	0.98	0.99	-0.01	-0.06	0.99	0.99	1	9.40E-07	0	3.50E-10
HCO	0.79	0.21	-0.07	0.01	0.77	-0.04	0.68	0.67	0.19	-0.03	0.65	0.64	0.57	1	2.40E-08	2.10E-10
RAS	0.89	0.15	-0.06	-0.05	0.88	-0.01	0.97	0.98	-0.03	-0.08	0.98	0.98	0.98	0.63	1	1.30E-12
PSI	0.86	0.15	-0.13	-0.07	0.84	0.12	0.72	0.74	-3.40E-03	-0.18	0.71	0.7	0.69	0.69	0.75	1

Fuente: datos de laboratorio propios, provenientes de tres o más observaciones. Análisis de datos usando StatInfo/E. Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

## 2.5 CONCLUSIONES

Los tratamientos de materia orgánica aplicados a los suelos con diferentes niveles de salinidad, mejoraron notablemente a algunas de sus características físicas y químicas; dichos cambios se debieron al tipo de cobertura del suelo y a la aportación de materia orgánica sobre y debajo del suelo.

Los cambios físicos y químicos ocurridos en los suelos salino-sódicos evaluados con diferentes dosis de materia orgánica aplicada como mejorador, mostraron que es posible mejorar los aportes de algunos de los cationes responsables del crecimiento vegetal, hasta un límite o concentración crítica umbral que no incrementa significativamente los daños a la estructura del suelo y la permeabilidad.

A los efectos de expansión de arcilla y dispersión coloidal por los contenidos altos de Na, es importante señalar que la precipitación de carbonatos de calcio originados por el pH alto, son una

limitación sería a la aplicación de mejoradores de suelos salino-sódicos, si no se corrigen los desbalances originados por el alto contenido de Na.

El contenido de sulfatos, cloro, carbonatos, boro, manganeso, fósforo, Zinc, sodio y potasio, además de la RAS y PSI fueron mayores y resultaron estadísticamente diferentes en el suelo sin vegetación alguna con respecto a los dos suelos con cobertura vegetal.

## 2.6 REFERENCIAS

- Armitage Anna R., Katharyn E. Boyer<sup>1,4</sup>, Richard R. Vance<sup>1</sup>, and Richard F. Ambrose. 2006. Restoring assemblages of salt marsh halophytes in the presence of a rapidly colonizing dominant species. *Wetlands*, Vol. 26, No. 3, September 2006, pp. 667–676 2006, The Society of Wetland Scientists
- Artigas, Francisco J. y Jiansheng Yang. 2006. Note spectral discrimination of marsh vegetation types in the New Jersey Meadowlands, USA. *Wetlands*, Vol. 26, No. 1, March 2006, pp. 271–277\_ 2006, The Society of Wetland Scientists.
- Bañuelos G.S., Z.-Q. Lin, I. Arroyo, N. Terry. 2005. Selenium volatilization in vegetated agricultural drainage sediment from the San Luis Drain, Central California. *Chemosphere* 60 (2005) 1203–121.
- Behrman, Kathrine D; Timothy H. Keitt y James R. Kiniry. 2014. Modeling Differential Growth in Switchgrass Cultivars Across the Central and Southern Great Plains.
- Bradbury, J.P. 1989. Late Quaternary lacustrine paleoenvironments in the Cuenca de México, *Quat. Sci. Rev.* 8 (1989) 75–100.[http://dx.doi.org/10.1016/0277-3791\(89\)90022-X](http://dx.doi.org/10.1016/0277-3791(89)90022-X)
- Collatz G. James, Miquel Ribas-Carbo y Joseph A. Berry. 1992. Coupled Photosynthesis-Stomatal Conductance Model for Leaves of C4 Plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 19(5):519-38. <https://doi.org/10.1071/PP9920519>.
- Coordinación Estatal para el Fortalecimiento Institucional de los Municipios. Gobierno del estado. 2009-2015. Subdirección de Informática y Estadística. San Luis Potosí, S.L.P.
- Coldren, G. A., C. R. Barreto, D. D. Wykoff, E. M. Morrissey, J. A. Langley, I. C. Feller y S. K. Chapman. 2016. Chronic warming stimulates growth of marsh grasses more than mangroves in a coastal wetland ecotone. *Ecology*, 97(11): 3167-3175.
- Cruickshank, G., 2007, Proyecto lago de Texcoco: rescate hidroecológico: México, D.F., Comisión Nacional del Agua-SEMARNAT, 140 p.
- DECAGON DEVICES 2005-2011. Leaf Porometer, Operator's Manual Version 9.
- DeFalco, Lesley A., Sara J. Scoles-Sciulla y Emily R. Beamguard. 2017. The role of salinity tolerance and competition in the distribution of an endangered desert salt marsh endemic. *Plant Ecol* 218:475–486. DOI 10.1007/s11258-017-0704-3
- Del Valle C., H. 1983. Los procesos de acumulación de sales e intemperismo en cubetas lacustres, en la zona de transición del ex lago de Texcoco. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Diamant, Arón Jazcilevich, Christina Siebe, Claudio Estrada, Javier Aguillón, Alberto Rojas, Elizabeth Chávez García, Claudia Sheinbaum Pardo. 2015. Retos y oportunidades para el aprovechamiento y manejo ambiental del ex lago de Texcoco. *Boletín de la Sociedad*

- Geológica Mexicana. Volumen 67, núm. 2, 2015, p. 145-166.  
<http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2015v67n2a2>
- Díaz-Nigenda, Emmanuel, John Tatarko, Arón D. Jazcilevich, Agustín R. García, Ernesto Caetano, L. Gerardo Ruíz-Suárez. A modeling study of Aeolian erosion enhanced by surface wind confluences over Mexico City. *Aeolian Research* 2 (2010) 143–157.
- Ehleringer, J. R., Monson, R.K. (1993). Título. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 24: 414-439.
- Fernández-Buces, N., Siebe, C., Palacio, J.L., Cram, S. 2006. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation; a case study in the former lake Texcoco, Mexico: *Journal of Arid Environments*, 65, 644-667.
- Gimenez C., M. Gallardo y R. B. Thompson. 2005. Plant–Water Relations. *Encyclopedia of Soils in the Environment*. 231–238. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00459-8>.
- Gutiérrez C., Ma. del C. 1997. Los suelos de la ribera oriente del ex lago de Texcoco (Macro y micromorfología). Tesis de Doctorado. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Howard, Rebecca J., Janelda Biagas y Larry Allain. 2016. Growth of Common Brackish Marsh Macrophytes Under Altered Hydrologic and Salinity Regimes. *Wetlands* (2016) 36:11–20. DOI 10.1007/s13157-015-0711-x
- Meixler, Marcia S., Michael J. Kennish y Katherine F. Crowley. 2017. Assessment of Plant Community Characteristics in Natural and Human-Altered Coastal Marsh Ecosystems.
- Rao N.K., McCann I., Shahid S.A., Butt K.U.R., Araj B.A., Ismail S. 2017. Sustainable use of salt-degraded and abandoned farms for forage production using halophytic grasses. *Crop and Pasture Science*, 68(5):483-492.
- Pelliza, A., L. Borrelli y G. Bonvissuto. 2005. El pasto salado (*Distichlis Spp*) en la Patagonia: Una forrajera adaptada a la aridez y a la salinidad. *Revista Científica Agropecuaria* 9 (2): 119-131p.
- Pouladi, Soheil Fatehi, Bruce C. Anderson, Brent Wootton y Lloyd Rozema. 2016. Evaluation of Phytodesalination Potential of Vegetated Bioreactors Treating Greenhouse Effluent. *Water*, 8, 233; doi:10.3390/w8060233.
- Post, D. F., A. Fimbres, A. D. Matthias, E. E. Sano, L. Accioly. A. K. Batchily, and L. G. Ferreira. 2000. Predicting Soil Albedo from Soil Color and Spectral Reflectance Data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Volumen 64, p. 1027–1034.
- Soriano, T. J., A. Martínez, A., A.S. Shimada, Miyasaka. 1995. Tratamiento de heno de pasto salado (*Distichlis spicata*) con amonio anhidro para borregos pelibuey en crecimiento. *Tec. Pecu. Mex.* Vol.33, No 1. 43-47p.
- Yensen, N.P.; Biel, K.Y. 2006. Soil remediation via salt-conduction and the hypotheses of halosynthesis and photoprotection. In *Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants*; Khan, M.A., Weber, D.J., Eds.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 40:313-344.
- López-Ávila, Guillermo, Ma. del Carmen Gutiérrez-Castorena, Carlos A. Ortiz-Solorio, David Flores-Román y Miguel A. Segura-Castruita. 2004. Sedimentos del Ex Lago de Texcoco y su Comportamiento con la Aplicación de Materiales Calcáreos y Compactación. *TE-RRR Latinoamericana* Vol. 22 No.1.
- Lozano-García, M. del S. y B. Ortega-Guerrero. 1998. Late Quaternary environmental changes of the central part of the Basin of Mexico; correlation between Texcoco and Chalco basins, *Rev. Palaeobot. Palynol.* 99 (1998) 77–93. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-6667\(97\)00046-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-6667(97)00046-8)

- Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), 1971, Estudio Agrológico Especial del Exlago de Texcoco, Estado de México: México, D.F., Secretaría de Recursos Hidráulicos, Dirección General de Irrigación y Control de Ríos, Serie de estudios No. 2, 145 p.
- Soil Survey Staff. 1994. Claves para la Taxonomía de Suelos. Trad. al español por C.A. Ortiz S. y Ma. del C. Gutiérrez C. Publicación Especial 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Rzedowski, J. y L. Huerta. 1985. La vegetación de México. Limusa. México, D.F.

### **CAPÍTULO III. Efecto de la salinidad en el desarrollo del zacate salado (*Distichlis spicata* (L.) E. Greene)**

#### **3.1 RESUMEN**

Uno de los servicios ambientales resultantes del manejo sustentable de los suelos salino-sódicos del Exlago de Texcoco que se estima tiene potencial económico, es la revegetación de los suelos con *Distichlis spicata*. Sus características biológicas lo posibilitan a soportar salinidad, estrés ambiental y deficiencias nutrimentales. El presente estudio trata sobre el crecimiento de este pasto salado en suelos procedentes del Exlago de Texcoco con diferente afectación salina. El objetivo principal fue determinar la respuesta de crecimiento del *Distichlis spicata* a las diferentes dosis de estiércol ovino crudo (0, 20 y 40 ton ha<sup>-1</sup>) como fuente de mejoramiento de la salinidad de tres suelos con características físico-químicas diferentes. El estudio se realizó en condiciones de invernadero, en macetas de 176.7 cm<sup>2</sup>. La combinación de los niveles de los factores de estudio dio lugar a un diseño experimental factorial de 3x3, que se distribuyeron en un arreglo de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Los resultados indican que la dosis de 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, logró superar significativamente a los demás tratamientos, lo que indica que el estiércol como mejorador de suelos salinos es una alternativa de manejo para incrementar la producción de materia seca. La aplicación de este abono orgánico, propició un cambio significativo en las características nutrimentales del suelo que produjo un buen desarrollo del pasto salado. La interacción entre el estiércol y el suelo incrementó significativamente la respuesta de la mayoría de las variables fisiológicas evaluadas del *D. spicata*. La biomasa subterránea se correlacionó significativamente con la biomasa aérea de todas las particiones de la planta, provocadas por la aplicación del estiércol.

**Palabras Clave:** Pasto salado, biomasa, eficiencia en el uso de la radicación, área foliar, estiércol ovino, recuperación de suelos salinos, eficiencia en el uso del agua.

## ABSTRACT

One of the environmental services resulting from the sustainable management of saline-sodic soils of the Exlago de Texcoco that is estimated to have economic potential, is the revegetation of soils with *Distichlis spicata*. Its biological characteristics enable it to withstand salinity, environmental stress and nutritional deficiencies. The present study deals with the growth of this salty grass in soils from the Exlago de Texcoco with different salt affectation. The main objective was to determine the growth response of *D. spicata* to the different doses of raw sheep manure (0, 20 and 40 ton / ha) as a source of salinity amendment of three soils with different vegetative characteristics. The study was carried out under greenhouse conditions, in 176.7 cm<sup>2</sup> pots. The combination of the levels of the study factors gave rise to a 3x3 factorial experimental design, which was distributed in a completely randomized block arrangement with three repetitions. The results indicate that the dose of 40 t ha<sup>-1</sup> of manure, managed to significantly outperform the other treatments, which indicates that the manure as an enhancer of saline soils is an alternative of recovery. The application of this organic fertilizer, caused a significant change in the soil that produced a good development of salted grass. The interaction between manure and soil significantly increased the response of most of the evaluated physiological variables of *D. spicata*. Underground biomass correlated significantly with the aerial biomass of all partitions of the plant, caused by the application of manure.

**Key words:** Salt grass, biomass, efficiency in the use of the root, leaf area, ovine manure, recovery of saline soils, efficiency in the use of water. radiation use efficiency, leaf area

## 3.2 INTRODUCCIÓN

Uno de los servicios ambientales resultantes del manejo sustentable de los suelos salino-sódicos del Exlago de Texcoco, y que se estima tiene potencial económico, es la revegetación de los suelos con *D. spicata*. *Distichlis* es un género único, por sus características histológicas que posibili-

tan su resistencia a la salinidad y asociada en este ambiente a las bajas temperaturas y al sobrepastoreo. Es una especie no domesticada de la familia de las gramíneas, ha desarrollado características anatómicas, morfológicas y fisiológicas específicas que les permiten efectuar sus funciones vitales bajo la presencia de grandes concentraciones de sales dañinas (Escobar-Hernández *et al.* 2005). Estas condiciones ambientales lo hacen importante desde el punto de vista agrícola y ecológico (Collatz *et al.* 1992). El pasto salado posee estructuras morfo-anatómicas que corresponden a adaptaciones funcionales capaces de explicar su capacidad de crecimiento en condiciones muy desfavorables o salitrosas para la mayoría de las plantas, por lo que Pelliza *et al.* (2005) definen a *D. spicata* como planta pionera en la sucesión ecológica. Dichos autores señalan la presencia en *D. spicata* de: i) fuertes, profundos y extendidos rizomas que facilitan el transporte de gases, agua y nutrientes, de los que brotan las cañas aéreas (Pelliza *et al.*, 2005); estomas protegidos por protrusiones de las células oclusivas y por papilas, estructuras que ayudan a controlar la evapotranspiración; ii) microtelos, tricomas bicelulares con funciones de glándulas de sal, que participan en la regulación del equilibrio osmótico mediante la excreción de Na y K y iii) vía fotosintética C<sub>4</sub> evidenciada por la presencia de los caracteres Kranz (Pelliza *et al.*, 2005). Se ha sugerido anteriormente que *D. spicata* puede eliminar sales del suelo al colocar las sales en la superficie de la hoja sin acumulación de sales en el tejido (Yensen y Biel, 2006). Sin embargo, *D. spicata* mostró acumulación de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en sus tejidos (Pouladi *et al.*, 2016).

Rzedowski y Rzedowski. (2001) describen a El *Distichlis spicata*, como una planta de 10 a 40 cm (ocasionalmente mayor) de altura; tiene hojas numerosas de menos de 10 cm de largo colocadas en forma opuesta, en vainas apretadas, sobrepuestas y puntiagudas; panículas color verde pálido de 1 a 6 cm de longitud. Las especies son comprimidas, tiene de cinco a nueve flores de 6 a 10 cm de largo. Comúnmente las plantas C<sub>4</sub> crecen en lugares cálidos y húmedos (Ehleringer y

Monson, 1993), pero el pasto salado crece en ambientes muy variados, aunque con el común denominador de tener suelos salinos, y frecuentemente inundados (Alvarado Reyes E. y Hilda Flores-Olvera, 2013).

*Distichlis spicata* es una crinohalófito, es decir, posee glándulas ubicadas en las hojas que secretan sales (Zeme, *et al.*, 2014). Las glándulas salinas le permiten a esta especie realizar procesos de excreción durante el día y la noche, expulsando sales de sodio, potasio y iones de cloruro (URL, 2009). Las glándulas salinas permiten a esta especie mantener niveles de concentración de sodio y potasio adecuados. Se ha observado que la relación de excreción de esos iones es de 14 veces más sodio que el potasio (Escobar-Hernández *et al.*, 2005). Durante los períodos en que la salinidad aumenta, los estomas, glándulas salinas y tricomas se convierten en factores importantes para su subsistencia (Escobar-Hernández *et al.*, 2005). Los tricomas contienen sílice, están ubicados en las hojas, posiblemente tengan la función de restirar la hoja bajo condiciones de alta radiación solar. Además, sirven como mecanismos de defensa contra animales herbívoros (Escobar-Hernández *et al.*, 2005).

El pasto salado es una planta pionera importante, valiéndose de su acción de sus estolones, que le permiten la penetración y la formación de suelo para el avance sucesional de otras plantas. La punta de los estolones, que es punzante, la auxilia en su penetración en arcillas pesadas, y su tejido parenquimatoso le permite realizar un intercambio de gases adecuado. Las células cílicas, que son particularmente abundantes en la punta del estolón, facultan la fácil penetración aún en esquistos compactos (Baskin y Baskin, 2002). El sistema parenquimatoso del rizoma, raíces y vainas de las hojas realiza intercambio de gases suficientes para la respiración que se efectúa cuando el pasto está en suelos inundados o muy pesados (Escobar-Hernández *et al.*, 2005).

El crecimiento es definido generalmente como un incremento irreversible en las dimensiones de una planta, las variables como: acumulación de peso; variaciones en altura y diámetro; cambios en el área foliar; y el peso seco, que es un buen estimador del carbono total de la planta, permiten analizar importantes aspectos en su fisiología (análisis de fijación y partición de carbono) (Di Benedetto y Tognetti, 2016). Este crecimiento se describe con una curva sigmoidea (Poorter, 2002). La tasa de crecimiento relativo (RGR “relative growth rate”) es el concepto central del análisis de crecimiento, esta tasa se define como el incremento de materia vegetal por unidad de material vegetal existente y por unidad de tiempo. Una de las características sobresaliente de este pasto es la producción de estolones por arriba y rizomas por debajo de la superficie del suelo, los que a veces llegan a alcanzar más de 3 m (Zeme, *et al.*, 2014).

La conductancia estomática es una medida del grado de apertura estomática y se puede utilizar como un indicador del estado hídrico de la planta (Bach Allen y Cunningham, 1983). Está relacionada con el potencial del agua en la hoja por procesos de retroalimentación (Giménez *et al.* 2005). DECAGON DEVICES (2005) lo describe como la medida de la tasa de paso de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o vapor de agua a través de los estomas de una hoja utilizando el porómetro. El área foliar (LAI) se acumula a lo largo de la temporada de crecimiento de acuerdo con una curva en forma sigmoidea, localizando el punto máximo de LAI cerca de la fecha de antesis. Este parámetro del cultivo es importante ya que especifica el área de hoja disponible para la intercepción de luz (Behrman *et al.*, 2014).

*Distichlis spicata* es una planta halófila que se ve creciendo frecuentemente en zonas con vegetación como: *Suaeda pulvinata* (Alvarado Reyes y Flores-Olvera, 2013), *Spartina patens*, *Limonium carolinianum*, *Salicornia spp. L.*, *Morus rubra*, *Symphyotrichum tenuifolium* (Meixler *et al.*, 2017), *Spartina alterniflora* (Bruno *et al.* 2017), *Suaeda maritima*, *Spartina pectinata* (Ba-

langtasbururow *et al.* 1993), *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Salicornia virginica* (Coldren y Proffitt, 2017), entre otras especies pertenecientes a hábitats desérticos, manglares, estuarios y otros ecosistemas dominados por suelos salinos. El objetivo de este estudio fue la caracterización de variables fisiológicas de *D. spicata* cuando crece en tres diferentes suelos del Exlago de Texcoco a los que se les adiciono estiércol ovino crudo.

### 3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.3.1 Localización del área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en macetas de 5” de diámetro, bajo condiciones de invernadero, en el Colegio de Postgraduados campus San Luis Potosí, en el municipio de Salinas de Hidalgo (Figura 8). Se encuentra localizado a -101°43’ longitud oeste, 22°38’ de latitud norte y una altitud de 2070 m sobre el nivel del mar. El invernadero tiene una localización noreste-sureste, de vidrio, dividido en tres secciones y con un sub-techo de policarbonato a una altura de 2.18 m. El experimento fue sometido a fotoperiodo natural.



Figura 8. Mapa de localización del lugar de experimentación

#### 3.3.2 Preparación del material vegetativo

El material vegetativo fue obtenido del Exlago de Texcoco, mediante bloques de suelo 19x19x23 cm con los cepellones de pasto vivo, asegurándose de que se tuviera una conexión intacta con los

rizomas. Se envolvieron mediante hule transparente y fueron transportadas hacia un invernadero del Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí (Figura 9).



**Figura 9. Invernadero donde se estableció el material vegetativo.**

El cepellón se sumergió en agua corriente para eliminar completamente el suelo original del cepellón, con una agitación manual cuidando que no se lastimara la planta y enjuagándose finalmente. Se realizó el trasplante de *D. spicata*, seleccionando los rizomas y las raíces vivas (color claro) con pinzas de poda, tratando que todas las plantas quedaran de manera uniforme (longitud y diámetro), con un peso desde 25 a 50 g de biomasa total húmeda, no se controló la variabilidad genética.

### **3.3.2.1 Llenado de macetas**

Se enumeró y pesó cada maceta, se adicionó la cantidad de 1.3 kg de suelo, se adicionó la cantidad de estiércol según el tratamiento a cada maceta. Se estableció el cepellón anteriormente preparado y pesado. Finalmente se adicionaron 200 g de pellets de polipropileno (aproximadamente

2 cm de espesor) para evitar la evaporación de la superficie de la maceta y con ello obtener posteriormente el agua transpirada por cada planta (Figura 10). Se registró el peso total de cada maceta, y se le adicionó el volumen de agua necesario para tenerlo a capacidad de campo (CC) 1300 g de suelo (Cuadro 14), el cual se calculó con la relación peso de agua/peso de suelo de la curva de retención de humedad (Figura 7).

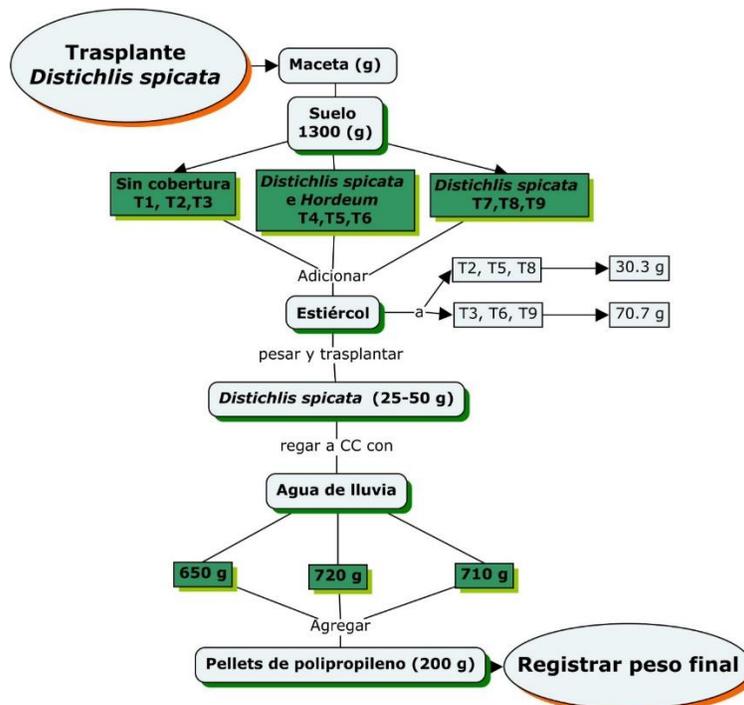


Figura 10. Procedimiento para el trasplante de *D. spicata*.

Se llenaron tres macetas sin planta de los tratamientos del 4 al 9 para observar la evaporación y con ello realizar el cálculo de la transpiración. Se utilizó la balanza de alta precisión BH-3000 EXCELL, con una precisión de  $\pm 0.1$  g.

Cuadro 14. Agua necesaria para llevar a capacidad de campo el suelo (1/3 atm).

Suelo (tratamiento)	Contenido de humedad a CC (g/g)	Suelo (g)	Agua para CC (g)
Sin cobertura (1,2,3)	0.50	1300	650
<i>Distichlis spicata</i> e <i>Ordeum</i> (4,5,6)	0.55	1300	720
<i>Distichlis spicata</i> (7,8,9)	0.54	1300	710

### 3.3.2.2 Localización de los tratamientos en el área del invernadero

El invernadero tiene un área de 5.92 x 4.91 m, en el cual en 10 mesas de 1.54m x 0.75 m se distribuyeron de manera aleatoria 30 macetas/tratamiento. Se realizaron 8 muestreos destructivos, en los cuales se cortó una planta con sus dos repeticiones.

### 3.3.3 Descripción de las variables fisiológicas

A continuación, se describen la manera de obtener las variables analizadas en este apartado.

**Cuadro 15. Variables y métodos de medición**

Variable (Unidad de medida)	Método
Brotos (número)	Conteo al momento del muestreo destructivo
Altura media brotes (cm)	Con cinta métrica se midió cada brote desde el inicio a la hoja más larga inmediatamente después de su corte y se obtuvo la media con una precisión de 1 mm.
Biomasa hojas H (g)	Peso total de las hojas antes del secado
Biomasa tallo H (g)	Peso total de los tallos antes del secado
Biomasa raíz S (g)	Peso total de las raíces gruesas y finas después del secado
Biomasa rizomas S (g)	Peso total de los rizomas después del secado
Biomasa hojas S (g)	Peso total de las hojas después del secado
Biomasa tallo S (g)	Peso total del tallo después del secado
Biomasa total S (g)	Peso total de hojas, tallos, estolones, rizomas, raíces y hojas secas
Estolones H (g)	Peso total de los estolones antes del secado
Estolones S (g)	Peso total de los estolones después del secado
Hojas secas al corte (g)	Peso total de las hojas ya secas después del secado
Fracción de agua en el rendimiento (%)	peso de la muestra aérea dividida en hoja y tallo después del corte y después de ser secada a 70°C durante 48 h. En cuanto a las raíces y rizomas se secaron a 60°C por 48 h. Se utilizó una balanza Velab con 0.001 g de precisión.
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Por medio de fotografías y el uso del Software ImageJ, separando hoja por hoja de la vaina (Figura 11).
Conductancia estomática (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Con el Leaf Porometer de DECAGON DEVICES, Inc. Una medición por maceta al inicio de los muestreos. Separando las hojas de la vaina uniéndose de un extremo de cinta Masking Tape para poder cubrir el área de medición antes de dos minutos después del corte, como lo especifica el manual del usuario.
Evaporación del suelo (g)	Se midió diariamente mediante el uso de tres macetas “testigo” de cada tratamiento, distribuidas aleatoriamente en el invernadero.
Tasa relativa de crecimiento (RGR)	Matemáticamente es la pendiente de la ecuación que relaciona el logaritmo natural del peso seco con el tiempo transcurrido y el coeficiente de determinación (r <sup>2</sup> ) indica el grado de asociación entre los datos (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

El Software ImagenJ fue utilizado debido a la facilidad con que separa los colores contrastantes blanco (hoja de papel) y el verde de las hojas, asignándole una escala es posible obtener el área de las hojas.

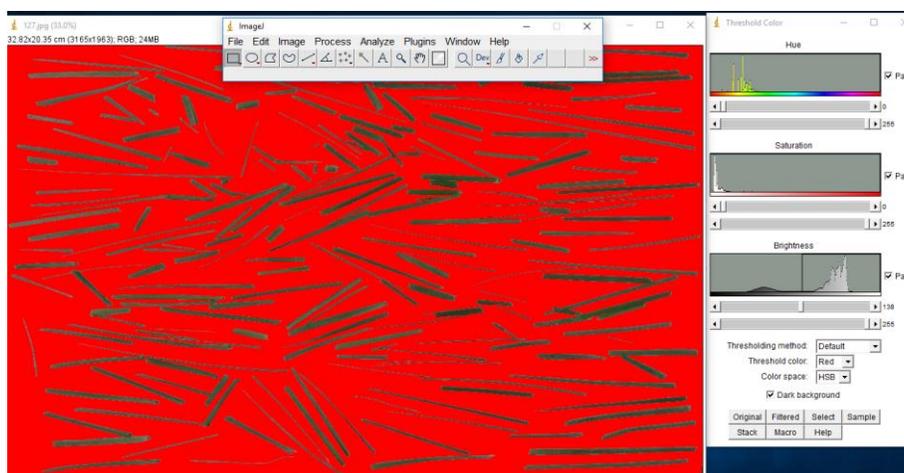


Figura 11. Imagen desplegada por el software ImageJ.

### 3.3.4. Descripción de los tratamientos

Se realizaron nueve tratamientos, obteniéndose de tres suelos con las diferentes coberturas vegetales y tres dosis de fertilización orgánica por medio de estiércol ovino (Cuadro 16).

Cuadro 16. Tratamientos establecidos

Tratamiento (macetas)	Suelo	Salinidad Inicial *	Fertilización
1 (001-030)	Sin cobertura	21.53	00 t/ha Estiércol
2 (031-060)	Sin cobertura	21.53	20 t/ha Estiércol
3 (061-090)	Sin cobertura	21.53	40 t/ha Estiércol
4 (091-120)	<i>D. spicata</i> e <i>Ordeum</i>	1.84	00 t/ha Estiércol
5 (121-150)	<i>D. spicata</i> e <i>Ordeum</i>	1.84	20 t/ha Estiércol
6 (151-180)	<i>D. spicata</i> e <i>Ordeum</i>	1.84	40 t/ha Estiércol
7 (181-210)	<i>D. spicata</i>	4.97	00 t/ha Estiércol
8 (211-240)	<i>D. spicata</i>	4.97	20 t/ha Estiércol
9 (241-270)	<i>D. spicata</i>	4.97	40 t/ha Estiércol

\*Medida en el extracto 1:5 suelo-agua en mS/cm

### 3.3.5 Diseño experimental

Se arreglaron los tratamientos como un diseño factorial de 3x3, en el que se tienen tres factores (suelos con 3 diferentes coberturas vegetales) y tres dosis de fertilización con estiércol, con tres repeticiones en cada muestreo. Las unidades experimentales se distribuyeron en un arreglo completamente al azar.

El modelo experimental es:

$$Y = \mu + \text{Salinidad}_i + \text{Estiercol}_j + \text{Salinidad} * \text{Estiercol}_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y= Variable de observación

$\mu$  =Media general

i = Tipo de cobertura vegetal (1, 2, 3)

j = Dosis de estiércol (1, 2, 3)

k = Repetición (1, 2, 3)

$\epsilon$ = Error experimental

Los datos obtenidos fueron analizados utilizando los paquetes estadísticos StatInfo/E (Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>) y SAS 9.4 TS Level 1 M 1 for Windows Version 6.1.7601 (SAS Institute Inc.).

### **3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.4.1. Estadística descriptiva de las variables vegetativas obtenidas en la experimentación**

El tratamiento del suelo desnudo, no permitió el desarrollo del pasto *D. spicata* por lo que se eliminó al hacer el ANOVA de las variables estudiadas. El conocimiento de la variabilidad de los parámetros fisiológicos y la producción de biomasa en las particiones de la planta de *Distichlis spicata* es una forma de evaluar las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas específicas que le permiten a la planta efectuar sus funciones vitales bajo la presencia de grandes concentraciones de sales dañinas. La media y la mediana se utilizaron como estimaciones primarias de tendencia central, la desviación estándar, curtosis, coeficiente de asimetría, mínimo y máximo se usaron como estimaciones de variabilidad. (Cuadro 17). Debido a cierta asimetría en la distribución de los parámetros fisiológicos y la producción de biomasa aérea y subterránea, la media y la mediana de los valores fueron en su mayoría diferentes y sólo la altura de brotes y la

biomasa de rizomas, fueron similares, con una mediana igual o menor que la media de la mayoría de los parámetros de la planta (Cuadro 17). Esto demostró que los valores atípicos dominaron las medidas de tendencia central. Sin embargo, se sabe que las estadísticas descriptivas no pueden discriminar entre fuentes de variabilidad intrínsecas (variaciones naturales) y extrínsecas (impuestas). También se observaron valores del CV desde 37 hasta 397%. Estos valores tan altos del CV podrían interpretarse como resultado de una baja precisión experimental (Gordon y Camargo, 2015), sin embargo, estos autores señalan que el coeficiente de variación está estrechamente asociado con la media general del experimento, relación que le resta confianza como herramienta para medir la precisión experimental, puesto que la expresión de la media de una variable depende de múltiples factores bióticos y abióticos (Gordon y Camargo, 2015).

**Cuadro 17. Estadística descriptiva de las variables de la planta**

Estadístico	Brotos (número)	Altura media brotes (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Conductancia estomática (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Biomasa hojas H (g)	Biomasa tallo H (g)	Biomasa raíz S (g)	Biomasa rizomas S (g)	Biomasa hojas S (g)	Biomasa tallo S (g)	Biomasa total S (g)	Estolones H (g)	Estolones S (g)	Hojas secas al corte (g)	Evaporación (g)
Media	58.79	22.14	347.6	54.91	4.93	7.06	3.41	8.85	2.09	3.27	17.84	0.17	0.07	0.31	2497.83
Error típico	3.75	0.69	28.5	2.29	0.40	0.64	0.18	0.23	0.17	0.32	0.86	0.05	0.02	0.05	163.60
Mediana	43.00	22.01	178.7	49.60	2.75	3.64	2.52	8.50	1.14	1.67	13.91	0.00	0.00	0.03	1982.30
Moda	38.00		406.7	35.70	1.21	13.29			2.36	0.17		0.00	0.00	0.00	
Desviación estándar	44.82	8.27	340.9	26.64	4.70	7.56	2.09	2.75	1.99	3.78	10.32	0.63	0.29	0.60	1956.33
Varianza de la muestra	2008.56	68.36	116188.5	709.89	22.10	57.19	4.38	7.57	3.95	14.31	106.48	0.40	0.09	0.36	3827231.14
Curtosis	7.20	-0.56	0.4	1.09	0.67	1.35	0.84	0.70	0.28	2.16	1.29	42.69	59.46	10.04	1.50
Coefficiente de asimetría	2.27	0.09	1.1	1.19	1.18	1.41	1.31	0.35	1.12	1.60	1.34	5.99	7.05	3.00	1.33
CV	76.23	37.35	98.1	48.52	95.28	107.18	61.42	31.09	95.00	115.54	57.85	365.38	396.77	191.73	78.32
Rango	270.00	36.77	1335.4	124.60	19.95	34.90	8.77	15.89	7.74	18.77	54.88	5.57	2.84	3.53	9256.70
Mínimo	3.00	5.16	7.3	12.70	0.10	0.09	0.86	0.70	0.05	0.04	0.28	0.00	0.00	0.00	377.90
Máximo	273.00	41.94	1342.7	137.30	20.05	34.99	9.63	16.59	7.79	18.81	55.16	5.57	2.84	3.53	9634.60
Suma	8407.00	3165.36	49712.7	7413.30	685.77	980.70	480.48	1247.91	299.35	468.13	2550.90	24.73	10.51	44.53	357189.30
Cuenta	143	143	143.0	135	139	139	141	141	143	143	143	143	143	142	143

Notas: H húmedo; S seco; La Biomasa total se calculó como la suma de Biomasa raíz S + Biomasa rizomas S + Biomasa hojas S + Biomasa tallo S + Biomasa estolones S + Hojas secas al corte

### 3.4.2. ANOVA de las variables de crecimiento

Se encontró significancia estadística entre tipos de suelo ( $P < 0.0001$ ), para 14 de los 15 parámetros estudiados; no hubo significancia en el parámetro: brotes, el cual registró en promedio 58.8 cm de largo; esto indica que las diferencias en el contenido de salinidad registrados en ambos suelos estudiados no dañaron a este parámetro y sí a los otros 14. En el factor de variación de los tratamientos de estiércol, no hubo significancia estadística ( $P < 0.0001$ ) en una variable (biomasa de rizoma); esto quiere decir que sólo en esta variable, los tratamientos probados son iguales y

difieren entre sí en los otros parámetros medidos. Sin embargo, los tratamientos de 20 y 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol fueron estadísticamente iguales ( $P < 0.0001$ ), para seis de los 15 parámetros estudiados; el tratamiento de 40 t ha<sup>-1</sup> fue significativamente superior al resto de los tratamientos, en ocho de los 15 parámetros evaluados ( $P < 0.0001$ ).

En relación al análisis de varianza entre fechas de muestreo del *Distichlis spicata* para los diferentes parámetros fisiológicos y particiones de biomasa aérea y subterránea se encontró diferencias significativas ( $P < 0.0001$ ) entre muestreos respecto a todos los parámetros evaluados; esto quiere decir que al menos una de las fechas de muestreo realizadas difiere del resto en las variables medidas.

Los efectos de las interacciones de primer orden, entre suelos con dosificación de estiércol; muestreo con suelos y muestreos con dosificación de estiércol, mostraron significancia estadística en las 15 variables de crecimiento. Por lo que en este escrito se discutirá lo relativo a cada una de las combinaciones para cada variable en su respectivo apartado.

#### **3.4.2.1. Cantidad de brotes y su altura media**

Se presentaron entre 3 y 273 brotes para los diferentes tratamientos y repeticiones; las alturas variaron entre 5 y 42 cm (Cuadro 18). El análisis de varianza mostró diferencia significativa entre tipos de suelo ( $P < 0.0001$ ), para la altura media de brotes (Cuadro 18) con el suelo con cobertura de *D. spicata e Ordeum* (S2) presentando una mayor altura (25.6 cm) que el suelo con cobertura de *D. Spicata* (S3) (18.6 cm); no hubo significancia en la variable Brotes, la cual fue en promedio de 59; esto muestra que el nivel de afectación salina, en ambos suelos estudiados no influyeron en este parámetro. En relación al factor de variación de los tratamientos de estiércol, hubo significancia estadística ( $P < 0.0001$ ) entre tratamientos en ambos parámetros evaluados. En comparación con el testigo (sin estiércol), el crecimiento de brotes y la altura media de brotes,

los tratamientos de 20 y 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol fueron mayores, logrando entre 20 y 32.5 más brotes y más de 4.3 cm en altura media de brotes por encima del testigo, respectivamente. Con respecto al análisis de varianza entre fechas de muestreo se encontró diferencias significativas entre fechas de muestreo ( $P < 0.0001$ ), para los dos parámetros evaluados.

En la prueba de medias de las fechas de muestreo (Cuadro 18), el número siete, para la variable brotes tuvo el mayor número y fue altamente significativo, en comparación con el resto de los muestreos; en el caso de altura media de brotes hubo significancia estadística entre muestreos ( $P < 0.0001$ ), logrando sobresalir el número: cinco, seis, siete y ocho, respectivamente (Cuadro 18). También se observó que la interacción entre tipo de suelo con dosis de estiércol fue significativa, ya que, la respuesta fue alta en el suelo S2 con 20 y 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, en donde se obtuvieron crecimientos de brotes de 32.8 y 48.7 más que el testigo y en el caso de altura media de brotes, también hubo respuesta significativa, logrando valores de 3.9 y 5.1 cm mayores para esta misma combinación de suelo con dosis de estiércol, respectivamente.

De la interacción entre fecha de muestreo con tipo de suelo, destaca que el mayor número de brotes se obtuvo con la combinación de muestreo: siete con suelo S3, siete con suelo S2 y ocho con suelo S2, respectivamente. La altura media de brotes fue mayor en el muestreo: ocho con suelo S2, cinco con suelo S2 y siete con suelo S2, respectivamente.

En la combinación muestreo con dosis de estiércol, se destacó la influencia del primero en la fecha siete y ocho con 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol en el mayor número de brotes. Esta misma interacción, pero con muestreo: ocho con 20 t ha<sup>-1</sup> y siete con 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol se obtuvo la mayor altura media de brotes.

**Cuadro 18. Prueba de Tukey del número de brotes por maceta y su altura media (cm) con alfa=0.1**

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Resultados de la Prueba de Tukey															
		Suelo			Estiércol			Muestreo			Suelo			Estiércol			Muestreo
		Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey
Brotes	<0.0001	2	62.06 A	40	73.75 A	M7	113.41 A	2	40	83.58 A	M7	3	139.38 A	M7	40	141.33 A	
		3	55.47 A	20	61.27 A	M8	76.44 B	2	20	67.67 A B	M7	2	90.33 A B	M8	40	117.67 A B	
				0	41.27 B	M6	61.39 B C	3	40	63.92 A B	M8	2	85.67 A B C	M7	0	111.17 A B C	
						M5	60.78 B C	3	20	54.87 B C	M5	2	68.56 B C D	M8	20	82.67 A B C D	
						M4	51.61 B C D	3	0	47.63 B C	M6	2	68.44 B C D	M7	20	82.60 A B C D	
						M3	45.50 B C D	2	0	34.92 C	M8	3	67.22 B C D	M5	40	82.17 A B C D	
						M2	37.95 C D				M4	2	62.67 B C D	M6	20	80.33 A B C D	
						M1	25.59 D				M6	3	54.33 B C D	M6	40	71.50 A B C D	
											M5	3	53.00 B C D	M5	20	69.17 B C D	
											M3	2	51.89 B C D	M4	40	62.00 B C D	
											M2	2	43.50 B C D	M4	20	57.33 B C D	
											M4	3	40.56 B C D	M3	40	56.33 B C D	
											M3	3	39.11 B C D	M3	20	53.50 B C D	
											M2	3	31.78 C D	M2	20	43.83 C D	
											M1	3	27.78 D	M2	40	38.50 D	
											M1	2	23.13 D	M4	0	35.50 D	
														M2	0	32.43 D	
														M6	0	32.33 D	
														M1	0	32.00 D	
														M5	0	31.00 D	
														M8	0	29.00 D	
														M3	0	26.67 D	
														M1	20	25.33 D	
														M1	40	20.50 D	
Altura media de los brotes	<0.0001	2	25.60 A	40	23.57 A	M8	29.02 A	2	40	27.69 A	M8	2	33.33 A	M8	20	32.41 A	
		3	18.65 B	20	23.53 A	M7	27.09 A	2	20	26.52 A	M5	2	31.26 A B	M7	40	30.25 A B	
				0	19.27 B	M5	26.32 A B	2	0	22.59 A B	M7	2	31.11 A B	M7	20	30.09 A B	
						M6	26.31 A B	3	20	20.53 B C	M6	2	30.15 A B C	M8	40	29.33 A B C	
						M4	22.57 B C	3	40	19.46 B C	M4	2	25.51 B C D	M6	20	28.79 A B C	
						M3	19.91 C D	3	0	15.95 C	M8	3	24.71 C D	M6	40	28.72 A B C	
						M2	16.20 D				M3	2	22.86 D E	M5	20	28.29 A B C D	
						M1	9.56 E				M7	3	22.57 D E	M4	40	27.39 A B C D E	
											M6	3	22.46 D E	M5	40	27.29 A B C D E	
											M5	3	21.38 D E	M8	0	25.32 A B C D E F	
											M4	3	19.63 D E F	M5	0	23.39 B C D E F G	
											M2	2	17.84 E F G	M4	20	22.81 B C D E F G	
											M3	3	16.97 E F G	M7	0	21.44 C D E F G	
											M2	3	14.39 F G	M6	0	21.41 C D E F G	
											M1	2	12.10 G H	M3	40	20.52 D E F G	
											M1	3	7.31 H	M3	20	20.19 E F G	
														M3	0	19.03 F G	
														M4	0	17.52 F G H	
														M2	20	16.67 G H I	
														M2	40	16.55 G H I	
														M2	0	15.51 G H I J	
														M1	20	10.56 H I J	
														M1	0	9.56 I J	
														M1	40	8.57 J	

\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

2 = Suelo con cobertura de *D. spicata* y *Ordeum*; 3= Suelo con cobertura de *D. spicata*

### 3.4.2.2. Área foliar

Esta variable presentó valores entre 7 y 1342 cm<sup>2</sup> durante el desarrollo del zacate (Cuadro 19).

Hubo significancia estadística entre tipos de suelo ( $P < 0.0001$ ), para éste parámetro analizado

(Cuadro 19), el suelo S3 mostró una disminución de área foliar con relación al suelo S2; respecto

al factor de variación de los tratamientos de estiércol, hubo significancia estadística ( $P < 0.0001$ )

entre tratamientos en este parámetro evaluado. En comparación con el testigo (sin estiércol), el

área foliar, en los tratamientos con 20 y 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol fueron mayores y diferentes estadís-

ticamente entre sí, logrando un incremento de 410 y 272 % respecto al testigo. El análisis de va-

rianza entre los muestreos realizados, mostró diferencias significativas entre fechas de muestreo

( $P < 0.0001$ ), para este parámetro evaluado. El valor más alto de área foliar se obtuvo en los muestreos ocho y siete con valores de 637.4 y 551.2  $\text{cm}^2$ , respectivamente.

También se observó que la interacción entre tipo de suelo con dosis de estiércol fue significativa, ya que, la respuesta fue alta en el suelo S2 con 40  $\text{t ha}^{-1}$  de estiércol, en donde se obtuvo un valor de área foliar de 542  $\text{cm}^2$  más que el testigo. Cabe destacar que se formaron cuatro grupos estadísticamente diferentes, el valor más alto se obtuvo con la combinación entre el suelo S2 con 40  $\text{t ha}^{-1}$  de estiércol, siguiéndole el suelo S2 con 20  $\text{t ha}^{-1}$ , luego el suelo S3 con 40 y 20  $\text{t ha}^{-1}$  de estiércol y por último los testigos (Cuadro 19). De la interacción entre muestreo con tipo de suelo, destaca que el mayor valor de área foliar se obtuvo del muestreo 8 y suelo S2; aunque esta combinación fue estadísticamente similar al muestreo 7 y 6 del mismo suelo. La mayor área foliar se observó en el muestreo 8 y 7 en el suelo S2 con 40  $\text{ton ha}^{-1}$ .

**Cuadro 19. Prueba de Tukey del área foliar con  $\alpha=0.1$**

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Resultados de la Prueba de Tukey																				
		Suelo	Media	Tukey	Estiércol	Media	Tukey	Muestreo	Media	Tukey	Suelo	Media	Tukey	Muestreo	Media	Tukey						
Área foliar	<0.0001	2	436.07	A	70.7	520.98	A	M8	637.42	A	2	40	683.30	A	M8	2	760.87	A	M8	40	1065.18	A
		3	259.09	B	35.3	411.24	B	M7	551.25	A	2	20	483.66	B	M7	2	609.99	A	M7	40	840.92	A
					0	110.52	C	M6	456.3	B	3	40	358.65	B	M5	2	598.07	A	M8	20	703.77	B
								M5	452.06	B	3	20	338.83	C	M6	2	579.64	A	M7	20	692.82	B
								M4	325.34	C	2	0	141.24	D	M8	3	513.97	B	M6	40	670.87	B
								M3	215.22	D	3	0	79.80	D	M7	3	485.16	B	M5	40	664.18	B
								M2	112.67	E					M4	2	458.21	B	M6	20	574.58	B
								M1	38.05	F					M6	3	332.96	C	M5	20	550.92	B
															M5	3	306.06	C	M4	40	488.33	C
															M3	2	291.21	C	M4	20	372.92	D
															M4	3	192.47	D	M3	40	284.73	E
															M3	3	139.22	D	M3	20	269.58	E
															M2	2	137.47	D	M7	0	143.6	F
															M2	3	85.11	E	M8	0	143.3	F
															M1	2	42.53	F	M2	20	143.08	F
															M1	3	34.07	F	M5	0	141.08	F
																			M2	40	124.95	F
																			M6	0	123.45	F
																			M4	0	114.77	F
																			M3	0	91.33	F
																			M2	0	76.07	F
																			M1	0	45.46	G
																			M1	20	41.27	G
																			M1	40	28.65	G

\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ )

### 3.4.2.3 Conductancia estomática

Los valores de conductancia estomática registrados variaron entre 12 y 137  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Cuadro 16). Hubo significancia estadística entre tipos de suelo ( $P < 0.0001$ ), para el parámetro de conductancia estomática (Cuadro 20), el suelo S2 fue el que mostró el valor más alto de conductancia

estomática con respecto al suelo S3; En relación al factor de variación de los tratamientos de estiércol, hubo significancia estadística ( $P < 0.0001$ ) entre tratamientos. El valor más alto se obtuvo con la dosis de estiércol de  $40 \text{ t ha}^{-1}$ , luego con  $20 \text{ t ha}^{-1}$  y por último el testigo. El análisis de varianza de muestreos, mostró diferencias significativas ( $P < 0.0001$ ). El valor más alto de conductancia estomática se obtuvo en el muestreo cuatro y seis, los cuales fueron estadísticamente iguales con valores de  $86.9$  y  $83.31 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , respectivamente. También se observó que la interacción entre tipo de suelo con dosis de estiércol fue significativa, ya que, la respuesta fue alta en el suelo S2 sin estiércol, suelo S2 con  $20 \text{ t ha}^{-1}$  y suelo S2 con  $40 \text{ t ha}^{-1}$  en donde se obtuvieron los valores más altos de conductancia estomática y son estadísticamente iguales (Cuadro 20).

De la interacción entre muestreo con tipo de suelo, el mayor valor de conductancia estomática se obtuvo con la combinación de muestreo: cuatro y seis, ambos con suelo S2. En la combinación de muestreo con dosis de estiércol, se destacó la influencia del primero en el muestreo cuatro con  $40 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol con el mayor valor de conductancia estomática, aunque las combinaciones de muestreo cuatro con  $20 \text{ t ha}^{-1}$ , seis con  $40 \text{ t ha}^{-1}$ , seis con  $20 \text{ t ha}^{-1}$ , seis y cuatro sin estiércol fueron estadísticamente iguales (Cuadro 20).

**Cuadro 20. Prueba de Tukey de la Conductancia estomática con alfa=0.1**

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Resultados de la Prueba de Tukey																						
		Suelo	Media	Tukey	Estiércol	Media	Tukey	Muestreo	Media	Tukey	Suelo	Estiércol	Media	Tukey	Muestreo	Suelo	Media	Tukey	Muestreo	Estiércol	Media	Tukey		
Conductancia estomática	0.0283	2	60.6	A	40	521.0	A	M4	86.9	A	2	0	66.7	A	M4	2	105.8	A	M4	40	92.9	A		
		3	47.6	B	20	412.8	B	M6	83.3	A	2	20	59.0	A B	M6	2	102.9	A	M4	20	88.7	A B		
					0	110.5	C	M7	53.1	B	2	40	56.1	A B	M4	3	68.0	B	M6	40	85.4	A B		
								M5	53.1	B	3	40	52.1	B C	M6	3	63.7	B C	M6	20	82.7	A B C		
								M8	44.1	B C	3	20	49.9	B C	M7	2	59.8	B C D	M6	0	81.9	A B C		
								M1	42.1	B C	3	0	41.0	C	M5	2	55.5	B C D E	M4	0	79.2	A B C D		
								M3	37.4	B C					M5	3	50.7	B C D E	M7	20	60.8	A B C D E		
								M2	33.6	C					M8	2	48.7	B C D E	M5	20	57.5	B C D E		
															M7	3	45.6	B C D E	M5	40	54.9	B C D E		
															M1	2	44.5	B C D E	M7	40	50.0	C D E		
															M1	3	40.1	C D E	M7	0	49.9	C D E		
															M8	3	39.5	C D E	M3	0	49.2	C D E		
															M3	3	39.0	C D E	M5	0	46.9	D E		
															M3	2	35.8	D E	M1	20	46.6	D E		
															M2	3	34.3	D E	M8	0	44.5	E		
															M2	2	33.0	E	M1	0	44.4	E		
																			M8	40	44.3	E		
																			M8	20	43.5	E		
																			M2	0	36.3	E		
																			M2	40	36.2	E		
																			M1	40	35.8	E		
																			M3	40	33.6	E		
																			M3	20	29.3	E		
																			M2	20	27.9	E		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ ).

### 3.4.2.4 Biomasa húmeda de hojas y tallos

Los valores de biomasa húmeda de hojas y tallos variaron entre 0.1 y 34 g (Cuadro 21). El análisis de varianza mostró diferencia significativa entre tipos de suelo ( $P < 0.0001$ ) y cantidad de estiércol añadido (Cuadro 21), separando claramente cada tratamiento para hojas y tallos ( $P < 0.0001$ ). Con respecto al análisis de varianza entre los muestreos, se encontró diferencias significativas entre éstos ( $P < 0.0001$ ), para ambas variables. Sin embargo, no se observó claramente la diferencia entre muestreos consecutivos. La interacción suelo-estiércol también fue estadísticamente diferente, el suelo más productivo fue el suelo S2 con 40 ton/ha, seguido del mismo suelo con 20 ton/ha para ambas variables. En la interacción muestreo-suelo solo se diferenciaron estadísticamente los primeros cinco tratamientos del resto, aunque esta característica es más pronunciada en tallos que en hojas. Los muestreos 7 y 8 fueron por lógica y estadísticamente los más productivos. Se obtuvo con la combinación del muestreo ocho con el suelo S2, aunque esta com-



suelo-estiércol se diferenci6 la media del suelo S2 con una dosis de 40 ton/ha, siendo este el m6s productivo, pero no diferente del mismo suelo con 20 ton/ha de estiércol. El par6metro de biomasa seca de rizomas, solo tuvo diferencia significativa ( $P < 0.0001$ ) en el tipo de suelo (Cuadro 22).

**Cuadro 22. Prueba de Tukey de la biomasa de las raices y rizomas secos con  $\alpha=0.1$**

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Resultados de la Prueba de Tukey																
		Suelo			Estiércol			Muestreo			Suelo			Estiércol			Muestreo	
		Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	
Biomasa raíz Seca	<0.0001	2 3.9 A		40 9.2 A	M8 5.0 A			2 40 4.9 A				M8 2 5.7 A				M8 20 6.6 A		
		3 2.9 B		20 8.9 A	M7 4.6 A			2 20 4.5 A B				M5 2 5.3 A B				M8 40 6.0 A B		
				0 8.3 B	M5 4.4 A			3 20 3.5 B C				M7 2 5.2 A B C				M7 40 5.9 A B		
					M6 3.9 A B			3 40 3.2 C D				M6 2 4.6 A B C D				M5 40 5.7 A B C		
					M4 3.0 B C			2 0 2.2 D E				M8 3 4.2 A B C D E				M7 20 5.6 A B C D		
					M3 2.6 B C D			3 0 2.0 E				M7 3 3.9 A B C D E F				M6 20 5.4 A B C D E		
					M2 2.1 C D							M4 2 3.7 A B C D E F G				M5 20 5.1 A B C D E F		
					M1 1.6 D							M5 3 3.4 B C D E F G H				M6 40 4.2 A B C D E F G		
												M6 3 3.2 C D E F G H				M4 40 3.9 B C D E F G H		
												M3 2 3.0 D E F G H				M4 20 3.0 C D E F G H		
												M4 3 2.4 E F G H				M3 20 2.9 D E F G H		
												M3 3 2.3 E F G H				M3 40 2.8 E F G H		
												M2 3 2.3 E F G H				M7 0 2.4 F G H		
												M2 2 1.9 F G H				M5 0 2.4 F G H		
												M1 3 1.6 G H				M2 40 2.3 G H		
												M1 2 1.6 H				M4 0 2.3 G H		
																M3 0 2.2 G H		
																M8 0 2.2 G H		
																M2 20 2.1 G H		
																M6 0 2.0 G H		
																M2 0 1.8 G H		
																M1 40 1.8 G H		
																M1 0 1.6 G H		
																M1 20 1.4 H		
Biomasa rizomas Secos	0.0047	2 9.5 A		40 9.3 A	M8 10.5 A			2 40 10.5 A				M8 2 11.7 A				M7 40 12.4 A		
		3 8.1 B		20 8.9 A	M7 10.2 A B			2 20 9.2 A B				M7 2 10.6 A B				M8 20 12.3 A		
				0 8.3 A	M5 9.1 A B C			2 0 8.9 A B				M5 2 10.2 A B				M8 40 10.9 A		
					M6 8.9 A B C			3 20 8.7 A B				M6 2 9.9 A B				M6 20 10.1 A		
					M4 8.6 A B C			3 40 8.0 B				M7 3 9.9 A B				M5 40 10.0 A		
					M1 8.5 A B C			3 0 7.7 B				M4 2 9.3 A B				M7 0 9.4 A		
					M2 7.7 B C							M8 3 9.2 A B				M4 40 9.2 A		
					M3 7.3 C							M1 2 8.7 A B				M5 20 9.2 A		
												M2 2 8.4 A B				M6 40 8.8 A		
												M1 3 8.3 A B				M1 0 8.8 A		
												M5 3 8.0 A B				M7 20 8.7 A		
												M6 3 7.9 A B				M1 20 8.7 A		
												M4 3 7.8 A B				M4 0 8.5 A		
												M3 2 7.4 B				M2 0 8.5 A		
												M3 3 7.1 B				M8 0 8.2 A		
												M2 3 6.9 B				M5 0 8.2 A		
																M1 40 8.0 A		
																M4 20 8.0 A		
																M6 0 7.7 A		
																M2 40 7.5 A		
																M3 20 7.4 A		
																M3 0 7.2 A		
																M3 40 7.2 A		
																M2 20 7.0 A		

Medias con una letra com6n no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ ).

#### **3.4.2.6 Biomasa seca de hojas, tallos**

Estas variables tomaron valores entre 0.05 y 7.8 g para hojas y entre 0.04 y 18.81 g para tallos. Se observó diferencias significativas en la producción de biomasa de tallos y hojas en el caso de tipo de suelo. Para el caso del contenido de estiércol, en las hojas si se observaron diferentes los tres tratamientos, la media más alta fue el suelo con 40 ton/ha de estiércol. En los tallos sólo se observó diferente el testigo, con la producción mínima. No se observó diferencia significativa entre muestreos consecutivos de ambas variables, con excepción del M7 y M8 de la biomasa de tallos. El suelo S2 con la mayor cantidad de estiércol fue el más productivo de hojas, en cuanto a tallos no se observó diferencias entre en suelo S2 con 20 y 40 ton/ha de estiércol (Cuadro 23).

**Cuadro 23. Prueba de Tukey de la Biomasa de las hojas y tallos secos con un alfa de 0.1**

Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Resultados de la Prueba de Tukey																	
		Suelo			Estiércol			Muestreo			Suelo			Estiércol			Muestreo		
		Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey	Media	Tukey		
Biomasa Hojas	<0.0001	2 2.6 A		40 3.1 A		M8 3.9 A		2 40 4.0 A		M8 2 4.5 A		M8 # 6.4 A							
		3 1.6 B		20 2.4 B		M7 3.3 A B		2 20 2.8 B		M7 2 3.6 A B		M7 # 5.1 A B							
				0 0.8 C		M6 2.7 B C		3 40 2.3 B C		M5 2 3.5 A B		M8 # 4.2 B C							
						M5 2.7 B C		3 20 2.0 C		M6 2 3.4 A B C		M7 # 4.0 B C							
						M4 1.9 C D		2 0 1.0 D		M8 3 3.2 A B C D		M6 # 4.0 B C							
						M3 1.3 D E		3 0 0.6 D		M7 3 3.1 B C D E		M5 # 4.0 B C D							
						M2 0.7 E F				M4 2 2.7 B C D E		M6 # 3.3 B C D E							
						M1 0.2 F				M6 3 2.1 C D E F		M5 # 3.2 C D E							
										M5 3 1.9 D E F G		M4 # 2.9 C D E							
										M3 2 1.7 E F G		M4 # 2.2 D E F							
										M4 3 1.2 F G H		M3 # 1.7 E F G							
										M3 3 0.9 F G H		M3 # 1.6 E F G							
										M2 2 0.8 F G H		M7 0 1.0 F G							
										M2 3 0.5 G H		M8 0 1.0 F G							
										M1 2 0.3 H		M5 0 1.0 F G							
										M1 3 0.2 H		M6 0 0.9 F G							
		Biomasa tallo	<0.0001	2 4.5 A		40 4.6 A		M8 7.5 A		2 40 6.4 A		M8 2 10.0 A		M8 # 11.0 A					
				3 2.0 B		20 4.0 A		M7 6.0 A		2 20 5.3 A		M7 2 7.7 A B		M8 # 9.4 A B					
				0 1.3 B		M6 4.3 B		3 40 2.8 B		M6 2 6.2 B C		M7 # 8.9 A B C							
						M5 4.0 B C		3 20 2.6 B		M5 2 5.9 B C D		M7 # 7.2 B C D							
						M4 2.4 C D		2 0 1.7 B C		M8 3 5.0 C D E		M6 # 5.7 C D E							
						M3 1.3 D E		3 0 0.8 C		M7 3 4.2 C D E F		M6 # 5.6 C D E							
						M2 0.6 E				M4 2 3.5 D E F G		M5 # 5.3 D E F							
						M1 0.2 E				M6 3 2.5 E F G H		M5 # 4.8 D E F G							
										M5 3 2.1 F G H		M4 # 3.5 E F G H							
										M3 2 1.7 F G H		M4 # 2.7 E F G H I							
										M4 3 1.4 G H		M7 0 2.1 F G H I							
										M3 3 0.9 H		M8 0 2.1 F G H I							
										M2 2 0.7 H		M5 0 1.8 G H I							
										M2 3 0.5 H		M3 # 1.7 G H I							
										M1 2 0.2 H		M6 0 1.6 G H I							
										M1 3 0.2 H		M3 # 1.5 G H I							
												M4 0 1.1 H I							
												M2 # 0.7 H I							
										M2 # 0.7 H I									
										M3 0 0.7 H I									
										M2 0 0.5 H I									
										M1 0 0.2 H I									
										M1 # 0.2 H I									
										M1 # 0.1 I									

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ ).

### 3.4.2.7 Biomasa total seca

Los rangos de valores de biomasa total seca estuvieron entre 0.3 g y 55.2 g (Cuadro 24). Existieron diferencias significativas entre el S2 (21.1 g) y el S3 (14.9 g); también entre las dosis de estiércol de 0 (12.7 g) y 20 y 40 (20.65 g promedio). La biomasa total se incrementó entre los muestreos, aunque solo fue significativa la diferencia entre el M1 y el M8 (10.5 y 28.2 g respectivamente) y existió una disminución de producción de biomasa entre los muestreos M6 y M5. La interacción suelo-estiércol mostró diferencias entre S2 a las dosis de 20 y 40 (24.6 g promedio) y



Variable	Probabilidad Modelo de ANOVA**	Resultados de la Prueba de Tukey																									
		Suelo	Media	Tukey	Estiércol	Media	Tukey	Muestreo	Media	Tukey	Suelo	Estiércol	Media	Tukey	Muestreo	Suelo	Media	Tukey	Muestreo	Estiércol	Media	Tukey					
Estolones antes del secado	<0.0001	2	0.29	A	40	0.44	A	M8	0.67	A	2	40	0.79	A	M8	2	1.10	A	M8	40	1.92	A					
		3	0.06	B	20	0.08	B	M5	0.29	A	B	3	40	0.08	B	M7	2	0.42	A	B	M7	40	0.55	B			
					0	0.00	B	M7	0.22	A	B	3	20	0.08	B	M5	2	0.42	A	B	M5	40	0.49	B			
								M6	0.11	B		2	20	0.08	B	M8	3	0.23	B		M5	20	0.38	B			
								M4	0.06	B		3	0	0.00	B	M6	2	0.17	B		M6	40	0.24	B			
								M3	0.03	B		2	0	0.00	B	M5	3	0.16	B		M4	40	0.19	B			
								M2	0.00	B						M4	2	0.13	B		M3	40	0.10	B			
								M1	0.00	B						M3	2	0.07	B		M7	20	0.10	B			
																M6	3	0.05	B		M6	20	0.09	B			
																M1	3	0.00	B		M8	20	0.08	B			
																M7	3	0.00	B		M1	0	0.00	B			
																M4	3	0.00	B		M2	20	0.00	B			
																M3	3	0.00	B		M7	0	0.00	B			
																M2	2	0.00	B		M5	0	0.00	B			
																M2	3	0.00	B		M8	0	0.00	B			
																M1	2	0.00	B		M2	40	0.00	B			
		Estolones Secos	<0.0001	2	0.13	A	40	0.19	A	M8	0.29	A	2	40	0.34	A	M8	2	0.50	A	M8	40	0.85	A			
				3	0.02	B	20	0.03	B	M5	0.11	A	B	2	20	0.03	B	M7	2	0.18	A	B	M7	40	0.23	B	
					0	0.00	B	M7	0.09	A	B	3	20	0.03	B	M5	2	0.16	A	B	M5	40	0.20	B			
								M6	0.04	B		3	40	0.03	B	M8	3	0.09	B		M5	20	0.13	B			
								M3	0.03	B		2	0	0.00	B	M3	2	0.07	B		M3	40	0.08	B			
								M4	0.01	B		3	0	0.00	B	M5	3	0.06	B		M6	40	0.08	B			
								M1	0.00	B						M6	2	0.05	B		M4	40	0.04	B			
								M2	0.00	B						M4	2	0.04	B		M7	20	0.04	B			
																M6	3	0.02	B		M8	20	0.03	B			
																M2	2	0.00	B		M6	20	0.03	B			
																M1	2	0.00	B		M3	20	0.02	B			
																M1	3	0.00	B		M2	0	0.00	B			
																M3	3	0.00	B		M1	20	0.00	B			
																M2	3	0.00	B		M7	0	0.00	B			
																M7	3	0.00	B		M5	0	0.00	B			
																M4	3	0.00	B		M1	40	0.00	B			
																					M4	20	0.00	B			
Hojas secas al corte	<0.0001			2	0.49	A	20	0.43	A	M8	1.11	A	2	20	0.70	A	M8	2	1.61	A	M8	20	1.79	A			
		3	0.13	B	40	0.32	A	B	M7	0.75	B	2	40	0.50	A	B	M7	2	1.18	A	B	M8	40	1.11	A	B	
					0	0.19	B	M6	0.30	C	2	0	0.28	B	C	M8	3	0.62	B	C	M7	40	1.01	B	C		
								M5	0.27	C	3	20	0.15	C	D	M6	2	0.51	C	D	M7	20	0.86	B	C	D	
								M4	0.07	C	3	40	0.14	C	D	M5	2	0.51	C	D	M6	20	0.47	B	C	D	E
								M3	0.01	C	3	0	0.10	C	D	M7	3	0.27	C	D	M8	0	0.44	B	C	D	E
								M2	0.00	C						M4	2	0.12	C	D	M7	0	0.40	B	C	D	E
								M1	0.00	C						M6	3	0.09	C	D	M6	0	0.33	C	D	E	
																M5	3	0.04	D		M5	20	0.30	C	D	E	
																M4	3	0.03	D		M5	40	0.26	D	E		
																M3	2	0.01	D		M5	0	0.26	D	E		
																M1	3	0.00	D		M6	40	0.11	E			
																M2	3	0.00	D		M4	40	0.08	E			
																M2	2	0.00	D		M4	0	0.07	E			
																M3	3	0.00	D		M4	20	0.07	E			
																M1	2	0.00	D		M3	0	0.02	E			
																					M3	40	0.00	E			
																					M2	40	0.00	E			
																			M2	20	0.00	E					
																			M1	40	0.00	E					
																			M1	0	0.00	E					
																			M2	0	0.00	E					
																			M1	20	0.00	E					
																			M3	20	0.00	E					

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.10$ ).

### 3.4.2.9 Traspiración

Los valores de transpiración del pasto *D. spicata* en el experimento variaron entre 377 y 9634 g (Cuadro 26). El análisis de varianza mostró diferencia significativa entre tipos de suelo ( $P < 0.0001$ ), para el parámetro de transpiración evaluado (Cuadro 24); Al comparar ambos suelos, se encontró que el suelo S2 superó significativamente ( $P < 0.0001$ ) al suelo S3 respecto a la variable estudiada. En relación al factor de variación de los tratamientos de estiércol, hubo significancia estadística ( $P < 0.0001$ ) entre tratamientos en la variable evaluada. Los valores de transpiración más altos del *D. spicata* se obtuvieron con la dosis de 40 t ha<sup>-1</sup> y 20 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, los cuales superaron al testigo sin estiércol. Con respecto al análisis de varianza entre fechas de muestreo realizadas, se encontró diferencias significativas entre fechas de muestreo ( $P < 0.0001$ ), para la variable Transpiración. El muestreo ocho logró superar estadísticamente al resto de las mediciones realizadas (Cuadro 26).

También se observó que la interacción entre tipo de suelo con dosis de estiércol fue significativa ( $P < 0.0001$ ), ya que, la respuesta fue alta en el suelo S2 con 20 y 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, en donde se obtuvieron los valores de Transpiración más altos, que la combinación testigo-S3. De la interacción entre fecha de muestreo con tipo de suelo, destaca que el mayor valor de Transpiración se obtuvo con la combinación de muestreo ocho con suelo S2. La combinación de fecha de muestreo ocho con dosis de 20 y 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol produjeron los valores más altos de transpiración, aunque esta combinación fue estadísticamente igual a la combinación de muestreo siete con 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol (Cuadro 26).



encontró correlación positiva ( $r > 0.86$ ;  $P < 0.0001$ ) entre HSC y T. En este análisis de correlación el parámetro de conductancia estomática fue el único que mostró coeficientes de Pearson bajos con el total de parámetros estudiados (Cuadro 27).

**Cuadro 27. Coeficientes de Correlación de Pearson de las variables de crecimiento**

Variables	Brotos	Altura media brotes	Área foliar	Conductancia estomática	Biomasa Hojas H	Biomasa tallo H	Biomasa raíz S	Biomasa rizomas S	Biomasa Hojas S	Biomasa tallo S	Biomasa total seca	Estolones H	Estolones S	Hojas secas al corte	Transpiración
Brotos	1	1.30E-08	0	0.58	0	0	0	6.90E-10	0	0	0	5.00E-06	2.00E-05	4.20E-07	0
Altura media brotes	0.45	1	0	2.60E-05	0	0	0	2.00E-08	0	0	0	1.20E-04	5.30E-04	0	0
Área foliar	0.68	0.79	1	0.02	0	0	0	0	0	0	0	9.30E-11	2.90E-09	0	0
Conductancia estomática	0.05	0.35	0.20	1	0.03	0.03	0.12	0.17	0.02	0.04	0.04	0.77	0.99	0.48	0.02
Biomasa Hojas H	0.67	0.76	0.99	0.19	1	0	0	1.20E-10	0	0	0	9.80E-12	6.30E-10	3.70E-10	0
Biomasa tallo H	0.65	0.80	0.97	0.19	0.95	1	0	0	0	0	0	0	2.00E-11	0	0
Biomasa raíz S	0.62	0.76	0.90	0.13	0.85	0.89	1	0	0	0	0	1.90E-07	2.10E-06	0	0
Biomasa rizomas S	0.49	0.45	0.57	0.12	0.51	0.57	0.62	1	0	0	0	2.20E-04	4.60E-04	1.00E-11	0
Biomasa Hojas S	0.69	0.79	1.00	0.20	0.99	0.97	0.89	0.56	1	0	0	2.20E-10	5.90E-09	0	0
Biomasa tallo S	0.63	0.80	0.93	0.18	0.89	0.98	0.9	0.61	0.93	1	0	1.40E-11	1.40E-10	0	0
Biomasa total S	0.66	0.75	0.91	0.18	0.87	0.93	0.9	0.8	0.91	0.96	1	2.8E-11	2.60E-10	0	0
Estolones H	0.37	0.32	0.51	0.03	0.54	0.56	0.42	0.31	0.50	0.53	0.52	1	0	1.40E-05	2.70E-09
Estolones S	0.35	0.29	0.47	1.20E-03	0.50	0.53	0.39	0.29	0.46	0.51	0.5	0.99	1	4.70E-06	1.50E-08
Hojas secas al corte	0.41	0.62	0.60	0.06	0.50	0.70	0.67	0.53	0.60	0.83	0.78	0.36	0.37	1	0
Transpiración	0.62	0.82	0.89	0.20	0.83	0.93	0.87	0.60	0.89	0.97	0.93	0.47	0.45	0.86	1

Fuente: Datos propios obtenidos durante la conducción del experimento. Análisis de datos usando InfoStat/E. Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

### 3.4.4 Relación biomasa de raíz y biomasa aérea

En promedio, la biomasa de raíz del *Distichlis spicata* evaluado bajos dos tipos de suelo con diferentes niveles de salinidad y tres niveles de estiércol mostró una alta correlación ( $P < 0.0001$ ) con la biomasa de la hoja ( $r = 0.89$ ); la biomasa del tallo ( $r = 0.90$ ) y la biomasa total ( $r = 0.92$ ) (Cuadro 28). En el caso de la relación Biomasa de raíz y biomasa aérea los valores encontrados a lo largo del experimento variaron entre 0.3 y 13.5; cuando se ajustan regresiones entre la relación entre biomasa de raíz y biomasa aérea (de hojas, tallos y total) como independiente y fechas de muestreo (variable dependiente), se encontraron valores de  $R^2$  altos ( $> 0.75$ ) a un modelo de potencia (Cuadro 28 y Figura 12).

**Cuadro 28. Coeficientes de determinación de la relación de biomasa raíz y biomasa aérea ajustada al modelo  $y = a*(x)^b$**

Tratamiento	a	b	R <sup>2</sup>
-------------	---	---	----------------

<b>Tratamiento</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>T4</b>	80.50300	-1.08800	0.92840
<b>T5</b>	103.89000	-1.20700	0.90190
<b>T6</b>	106.63000	-1.21100	0.90080
<b>T7</b>	42.49200	-0.79400	0.88410
<b>T8</b>	75.88000	-1.05800	0.94890
<b>T9</b>	2114.4000	-1.84500	0.96350
<b>Todos</b>	157.20000	-1.24100	0.75650

Nota: sólo se consideraron los datos después de los 18 días de crecimiento

Estas relaciones son importantes, ya que permiten inferir sobre la biomasa de la raíz a partir de los parámetros medidos en la parte aérea de la planta a lo largo de su ciclo vegetativo, lo que significaría que se tiene un método suficientemente preciso para predecir un valor difícil de medir (biomasa útil), a partir de un valor fácil de determinar (biomasa de la parte aérea). Se observó que el valor disminuye conforme transcurren los días de crecimiento hasta alcanzar un valor entre 0.3 (T6) y 0.9 (T7). Se puede pensar que la planta desarrolla un sistema radicular vigoroso durante el inicio de su periodo de crecimiento y paulatinamente disminuye su crecimiento radical para favorecer el crecimiento aéreo aun cuando en el tratamiento del S3 sin estiércol mantiene una proporción cercana a la unidad.

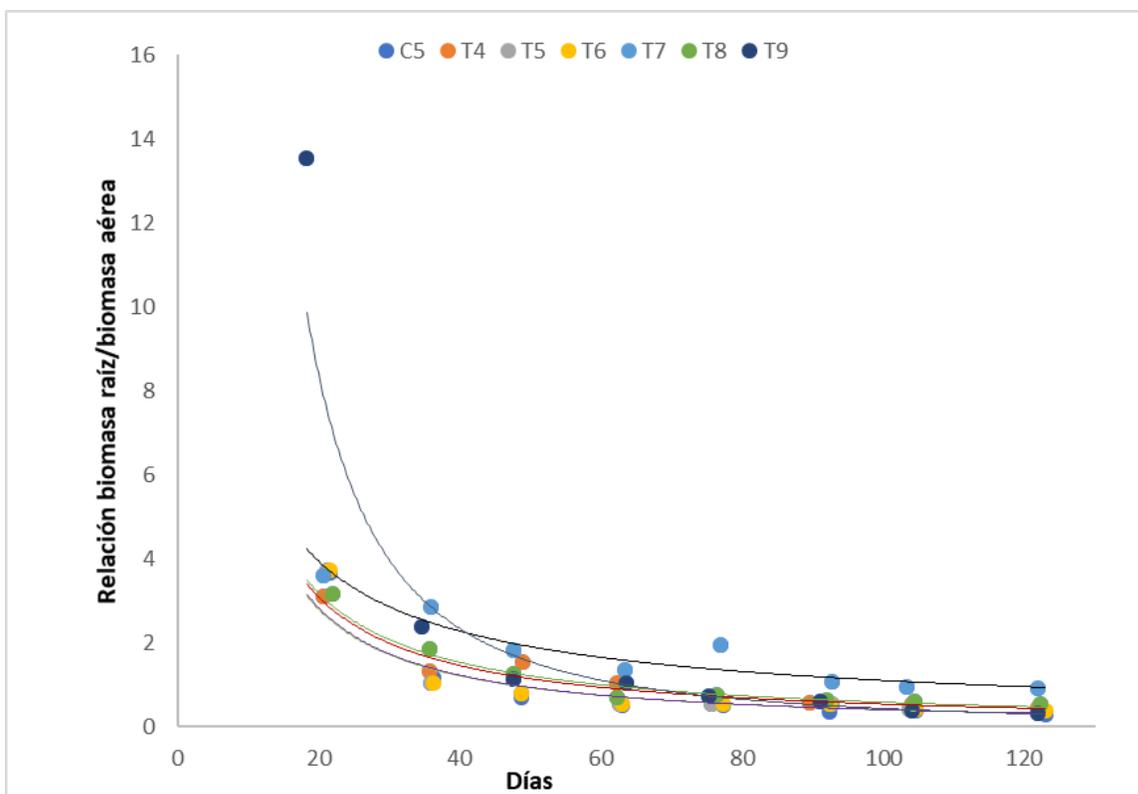


Figura 12. Relación de la biomasa de la raíz y la aérea en el tiempo (días)

### 3.4.5 Relación biomasa de rizomas y biomasa total

*D. spicata* emite rizomas como una estrategia de reproducción y colonización de áreas con mayores niveles de salinidad. Se consideró conveniente entonces calcular la relación biomasa de rizomas y biomasa total. Aunque en la prueba realizada bajo condiciones controladas en invernadero, la biomasa de rizoma estuvo moderadamente correlacionada ( $r = 0.67$ ) con la biomasa total, al calcular la relación para los diferentes tratamientos y graficarla contra los días de desarrollo de la planta (Figura 13 y Cuadro 29) se observa un ajuste a un modelo logístico con valores de los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) mayores a 0.6 para los diferentes tratamientos.

Cuadro 29. Coeficientes de ecuación para biomasa rizomas/biomasa total de la forma  $y = b \cdot \ln(x) + a$

Tratamiento	b	a	R <sup>2</sup>
T4	-0.1510	1.2631	0.8179
T5	-0.3040	1.7255	0.9297
T6	-0.3040	1.7175	0.9624
T7	-0.0950	1.0817	0.7628

Tratamiento	b	a	R <sup>2</sup>
T8	-0.2590	1.6122	0.9290
T9	-0.2280	1.4676	0.8835
Todos	-0.2230	1.4758	0.6025

Nota: sólo se consideraron los datos después de los 18 días de crecimiento.

Al transcurrir el tiempo la relación BRiS/BT tiende a disminuir desde valores iniciales de alrededor de 0.8 hasta valores de 0.4 en promedio, aunque los tratamientos con adición de estiércol afectaron el desarrollo de rizomas disminuyendo la proporción a medida que se incrementan las adiciones de estiércol (figura 13).

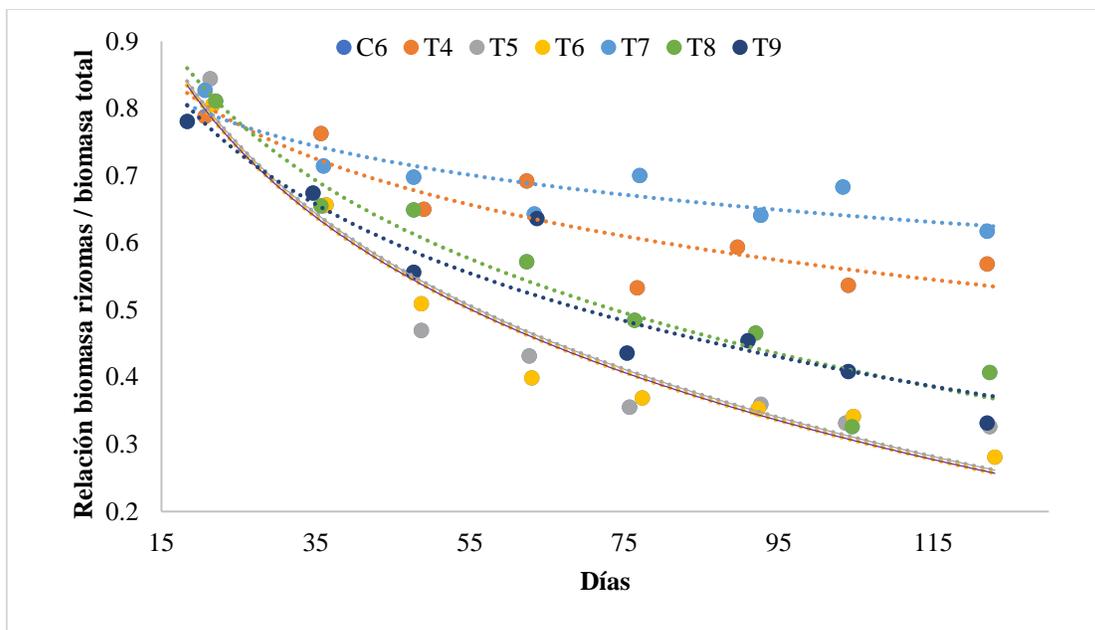


Figura 13. Relación de la biomasa de los rizomas y la biomasa total

### 3.4.7 Cambios en biomasa total durante el tiempo de desarrollo del pasto *D. spicata*

Con la finalidad de modelar el cambio de biomasa del pasto durante su desarrollo se ajustaron los datos obtenidos a una curva logística del tipo:

$$E[(Y|x)] = \delta + (\alpha - \delta) * (1/(1+\gamma*\exp(\beta*\log(días))))$$

Donde  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  son parámetros de ajuste de la ecuación. La forma de s alargada que tiene la curva logística (sigmoidea) se explica a partir de sus características de monotonía (la función monótona switch toma valores entre 0 y 1), curvatura (si la función switch aumenta en el tiempo

$\beta < 0$  y si disminuye en el tiempo  $\beta > 0$ ), extremos ( $\alpha$  y  $\delta$ ) y puntos de inflexión (cambio entre curvatura cóncava y convexa). En el Cuadro 30 se dan los coeficientes de ajuste del modelo para los datos experimentales y se muestran las curvas de ajuste en la Figura 14.

**Cuadro 30. Coeficientes del modelo de Biomasa total**

Tratamiento	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	Probabilidad modelo*
T4	9.68E+07	-0.1774	1.43E+07	0	<.0001
T5	6.70E+06	-1.0219	2.33E+07	0	<.0001
T6	1.07E+07	-0.9583	2.37E+07	0	<.0001
T7	9.51E+07	-0.1922	1.88E+07	0	<.0001
T8	2.10E+07	-0.6778	2.15E+07	0	<.0001
T9	1.67E+07	-0.8121	3.17E+07	0	<.0001

\* Switch =  $1/(1+\gamma*\exp(\beta*\log(\text{dias})))$ ; modelo área foliar =  $\delta + (\alpha - \delta) * \text{Switch}$

Los valores de biomasa total (BT) variaron entre 0.28 y 55.16 g. La BT se incrementa con el tiempo transcurrido en todos los tratamientos sin llegar todavía al límite máximo en que se tendría un cambio en el valor de  $\beta$  a positivo. Los valores de  $\beta$  se pueden interpretar como la tasa de crecimiento del pasto, siendo más alta en el caso del S2 con adición de 20 (T5) y 40 (T6) ton de estiércol ovino, intermedia para S3 con adición de 40 (T9) y 20 (T8) ton de estiércol de ovino. Para el caso de S3 y S2 sin la adición del estiércol (T7 y T4 respectivamente) se tuvieron los valores de  $\beta$  más pequeños (Cuadro 30). Este comportamiento está relacionado con la salinidad de los suelos y el efecto positivo de la adición de materia orgánica.

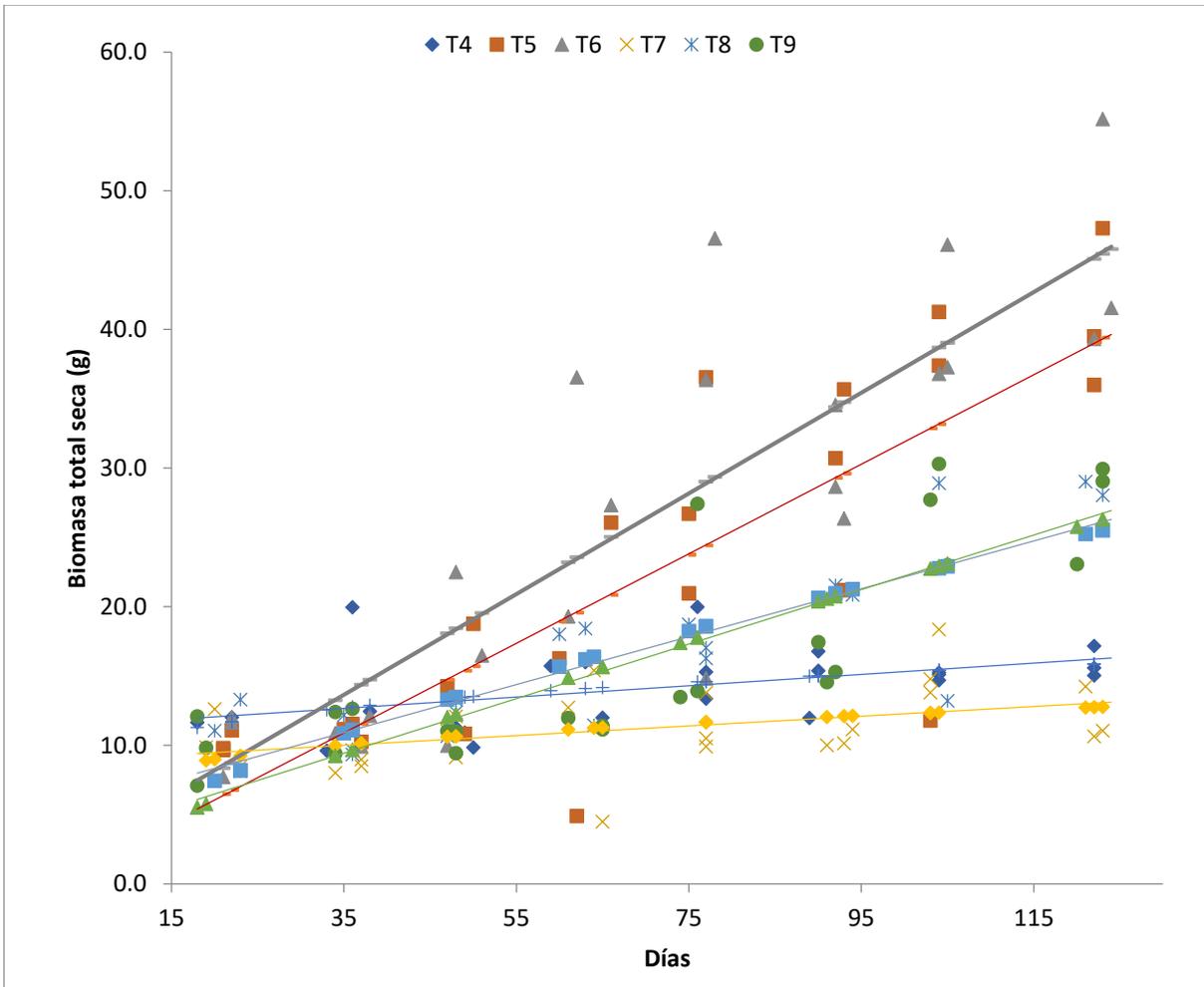
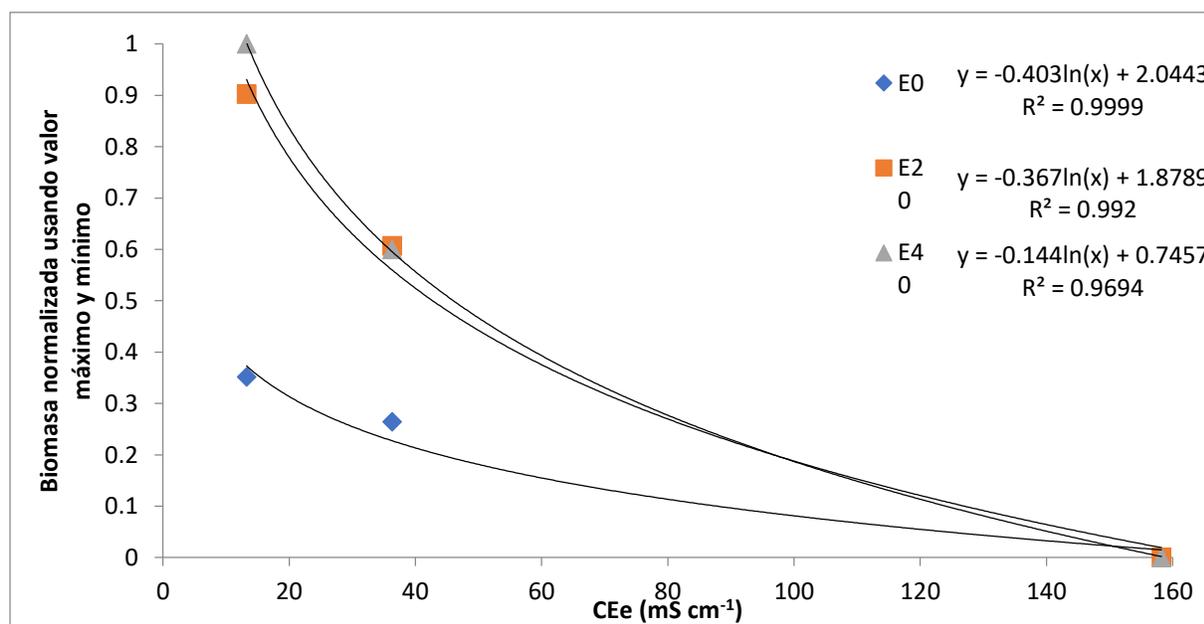


Figura 14. Biomasa total seca en el tiempo (días)

### 3.4.8 Relación de biomasa normalizada con máximos y mínimos y conductividad eléctrica

Los modelos de regresión logarítmica mediante los cuales se buscó la relación entre la biomasa normalizada, usando los valores de biomasa total máximos  $BT_{max}$  y mínimos  $BT_{min}$  observados en el ensayo para su cálculo  $[(BT_i - Bt_{max})/(BT_{max} - Bt_{min})]$ , medida en los tres niveles de estiércol (0, 20 y 40 t ha<sup>-1</sup>) y la conductividad eléctrica (CE) del suelo, se muestran en la Figura 15, junto con las líneas de ajuste ( $P < 0.05$ ) para los tres niveles de estiércol evaluados, respectivamente. En todos los casos se observa que la tasa de crecimiento de la función logarítmica, que explica de mejor manera la respuesta de la BT en función de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo ( $R^2 > 0.96$ ), fue negativa en los tres tratamientos estudiados. La

variabilidad en biomasa de los tres tratamientos de estiércol, explican más del 99% en todos los casos de la variabilidad en CE, con lo cual se deduce que los modelos seleccionados son buenos predictores del comportamiento de la biomasa en los tres niveles de estiércol evaluados. El valor negativo del coeficiente de la función ln varió desde -0.144 hasta -0.403. Es decir, que a mayor CE es menor la BT, pero la adición de estiércol amortigua la caída de la BT de manera similar para las dos dosis adicionales. Entonces se puede concluir que los niveles de 20 y 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol son una opción de manejo de suelos salinos para amortiguar el efecto negativo de la conductividad eléctrica del suelo en el crecimiento vegetal, proporcionándole una mejor calidad.



**Figura 15. Biomasa normalizada en relación con la conductividad eléctrica.**

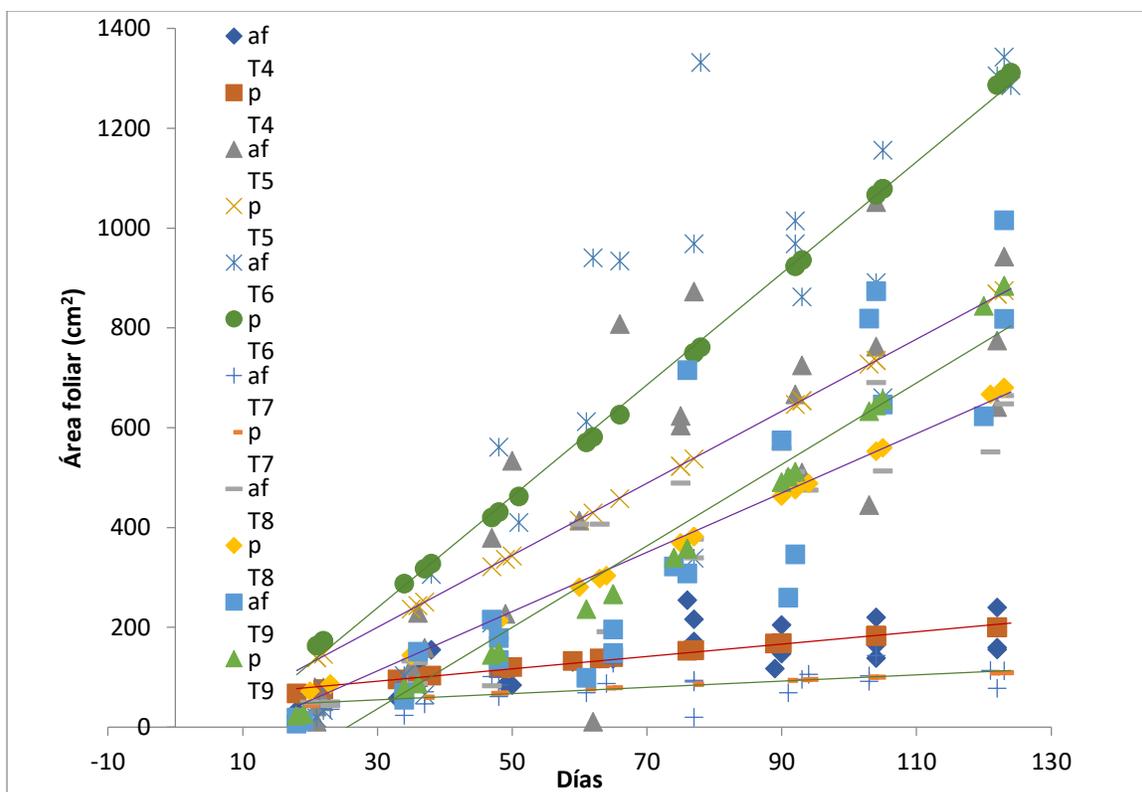
### 3.4.7 Área foliar e Índice de área foliar

Los valores de área foliar medidos a partir de fotografías o en el software versátil ImageJ para los diferentes tratamientos estudiados, presentaron una asociación logística altamente significativa para todos los tratamientos (Figura 16). Los coeficientes de líneas de regresión entre las áreas generadas variaron de 0.92 a 0.98 entre tratamientos, indicando así los valores más cercanos entre las mediciones del sistema. En general se observó una buena relación entre las medidas de

área foliar obtenidas de las imágenes tomadas con la cámara digital. Es importante mencionar que el sistema de fotografía empleado en este estudio no requirió ningún procesamiento de las imágenes, excepto la conversión en blanco y negro.

En este estudio no se usaron montajes especiales para sostener la cámara, ni correcciones ópticas o algoritmos complejos para procesar imágenes. Es posible que esos ajustes se requieran en otras condiciones experimentales, como medidas no destructivas y condiciones generales de iluminación. En cualquier caso, estos resultados sugieren que, a partir de adaptaciones mínimas, es posible desarrollar un sistema semiautomático, que permitiría detectar variaciones especiales en hojas de plantas de manera fácil, precisa y a muy bajo costo.

Los valores del área foliar en el ensayo variaron desde  $7.30 \text{ cm}^2$  hasta  $1342.7 \text{ cm}^2$ , correspondiendo los valores mayores a los 122 días para el S2 con adición de 40 ton de estiércol ovino (T6) y 20 ton de estiércol ovino (T5); los tratamientos T9 y T8 (suelo S3 con 49 y 20 ton de estiércol ovino respectivamente) tuvieron un área foliar intermedia y los tratamientos sin adición de estiércol presentaron los valores de área foliar más bajos (T4 y T7) como se muestra en la Figura 16.



**Figura 16. Área foliar en el tiempo**

Notas: af= área foliar real; p=área foliar predicha

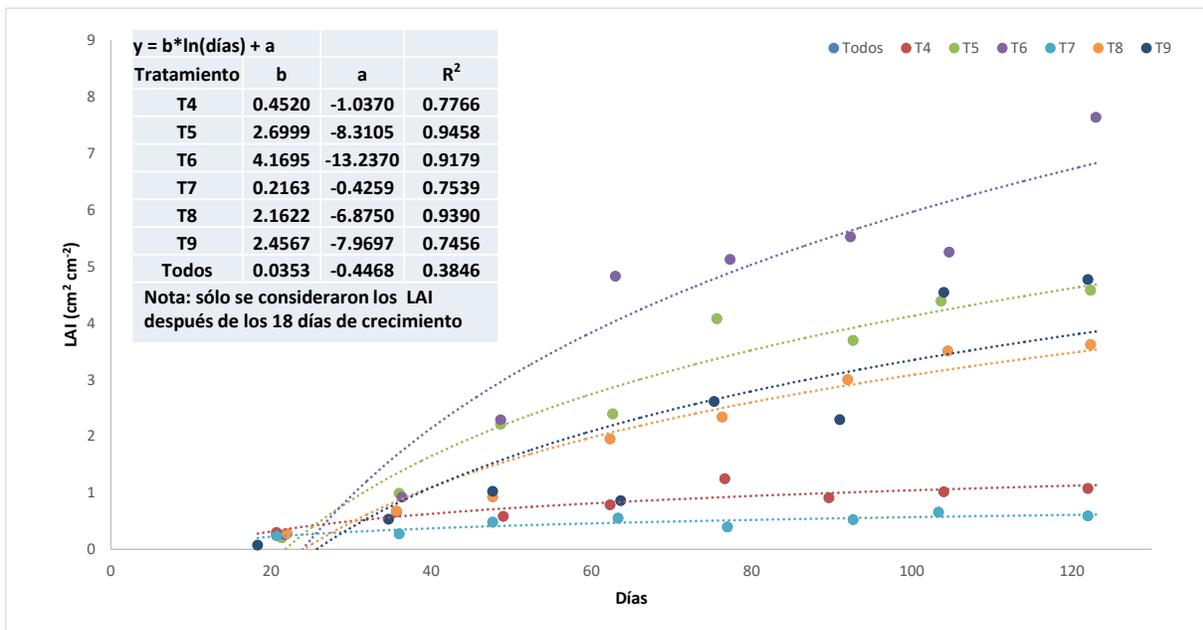
Los valores de  $\beta$  de la ecuación log-logística muestran tasas de incremento del área foliar diferentes para cada tratamiento (Cuadro 31); la tasa más alta correspondió al S3 con la adición de 40 ton de estiércol ovino ( $\beta = -1.88$ ), seguida de T8, T6 y T5. Las tasas de crecimiento menor fueron de  $\beta = -0.50$  y  $\beta = -0.57$  para S2 y S3 respectivamente sin la adición de estiércol. Se corrobora así la bondad del uso del estiércol como moderador de la salinidad para el caso del pasto *D. spicata*.

**Cuadro 31 Parámetros de la ecuación logística para la variable de área foliar.**

Tratamiento	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	Probabilidad modelo*
T4	3.05E+08	-0.5680	2.33E+07	0	<.0001
T5	2.07E+08	-1.0405	3.53E+07	0	<.0001
T6	-6.86E+11	-1.1727	-1.49E+11	0	<.0001
T7	1.56E+08	-0.5025	1.61E+07	0	<.0001
T8	-1.76E+12	-1.2342	-9.82E+11	0	<.0001
T9	2.56E+09	-1.8813	2.48E+10	0	<.0001

\* Switch =  $1/(1+\gamma*\exp(\beta*\log(\text{días})))$ ; modelo área foliar =  $\delta + (\alpha - \delta)*\text{Switch}$

En relación al índice de área foliar ésta mostró valores entre 0.04 y 7.6 mostrando un aumento significativo por efecto de la adición de estiércol (Figura 17). Dichos incrementos en los seis tratamientos se ajustaron a un modelo log-logístico (Figura 17). Puede apreciarse que con excepción del tratamiento 4 ( $b = 0.45$ ) y 7 ( $b = 0.21$ ), la tasa de incrementos durante los estados iniciales de desarrollo hasta la última etapa de crecimiento (120 DDS) fue alta ( $b > 2.1$ ). El coeficiente  $b$  fue positivo para cada valor, lo que indica un desarrollo creciente. Se obtuvo un índice de área foliar que siguió el orden  $T6 > T5 > T9 > T8 > T4 > T7$  (Figura 17). Donde los dos primeros tratamientos fueron del suelo con *D. spicata* e *Ordeum* como cubierta vegetal. Los tratamientos menos productivos fueron los testigos (sin estiércol) para ambos suelos.



**Figura 17. Índice de Área foliar en el tiempo**

af= área foliar observada, p= área foliar predicha

### 3.4.8 Transpiración

La transpiración calculada para cada tratamiento varió entre 378 y 9635 g. Con los valores obtenidos de transpiración se ajustaron regresiones log-logísticas para los eventos de muestreo (Figura 18), obteniéndose valores de coeficientes de tasas de crecimiento ( $\beta$ ) entre -0.88 y -1.91 (Cuadro 18).

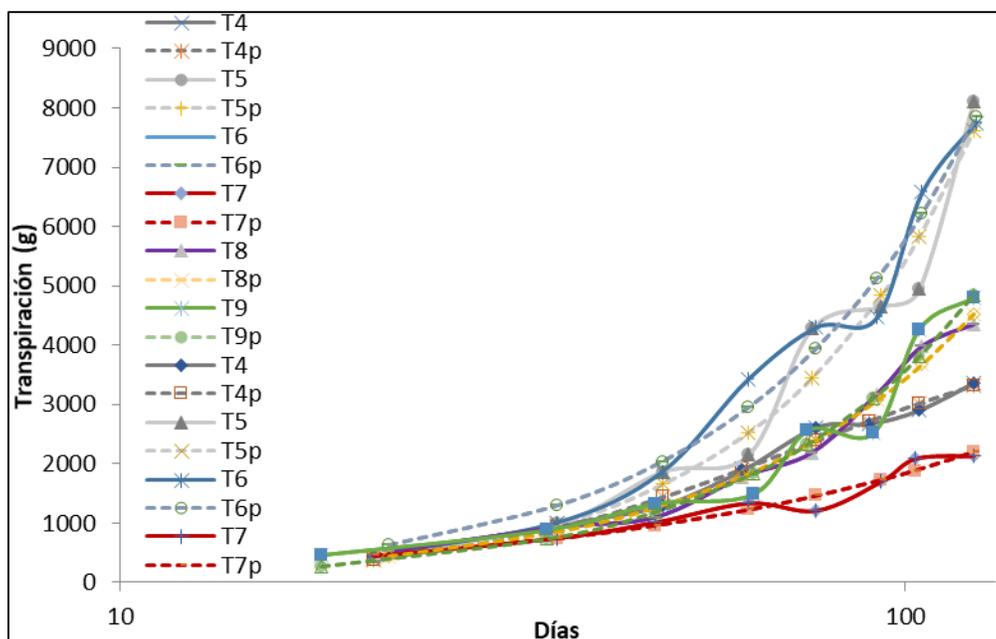
dro 32) para los tratamientos evaluados. Paradójicamente el valor más alto de  $\beta$  corresponde al S2 sin adición de estiércol que mostró incrementos relativos mayores conforme aumentaron los DDS.

**Cuadro 32. Coeficientes de la ecuación de transpiración para cada tratamiento**

Tratamiento	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	Probabilidad modelo*
T4	4583.9	-1.9098	3698.3	0	<.0001
T5	4.98E+08	-1.6701	2.00E+08	0	<.0001
T6	-1.21E+12	-1.4663	-1.79E+11	0	<.0001
T7	2.30E+09	-0.8822	7.28E+07	0	<.0001
T8	-3.81E+12	-1.3765	-6.26E+11	0	<.0001
T9	1.30E+09	-1.5015	3.66E+08	0	<.0001

\* Switch =  $1/(1+\gamma*\exp(\beta*\log(\text{días})))$ ; modelo transpiración =  $\delta + (\alpha - \delta) * \text{Switch}$

Los valores de transpiración obtenidos son muy elevados; este fenómeno es debido a las excelentes condiciones de desarrollo de la planta, así como a la alta densidad de tallos y hojas, la fuerte demanda climática de los eventos de muestreo y la gran disponibilidad de agua de las plantas; aunque son pocos los trabajos que se han desarrollado con *D. spicata* en invernaderos ubicados en zonas áridas o semiáridas que pudieran respaldar esta aseveración. La transpiración es el mecanismo más importante en la disipación de energía, determinante de las condiciones térmicas de la planta, y debe cobrar una mayor relevancia (Rivera *et al.*, 2013).



**Figura 18. Ajuste de la transpiración de *D. spicata***

Nota. p= ecuación log-logarítmicas ajustada a los datos.

### 3.3.7 Eficiencia en el uso de la radiación

La eficiencia en el uso de la radiación (EUR), se define como la biomasa del pasto producida por unidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR) y es una medida de la captura y utilización de los recursos disponibles en el ambiente. La captura de la radiación y la definición de EUR puede formalizarse como:

$$B = RUE f_{is} S_t$$

Donde B es la biomasa producida ( $\text{g m}^{-2}$ ), EUR un parámetro específico del cultivo ( $\text{g MJ}^{-1}$ ),  $f_{is}$  la fracción de la radiación solar incidente interceptada por la cobertura aérea del cultivo,  $S_t$  la radiación solar total incidente ( $\text{MJ m}^{-2}$ ). Este modelo es útil para interpretar los experimentos agronómicos y modelar la producción de biomasa. La relación  $S_{\text{PAR}}/S_t$  se considera igual a 0.5 y así se utilizó en este experimento.

**Cuadro 33. Coeficientes de la ecuación de la eficiencia en el uso de la radiación con la forma  $Y=a*X^b$**

Tratamientos	a	b	R <sup>2</sup>	Tratamientos	a	b	R <sup>2</sup>
<b>T4</b>	22.573	-1.353	0.966	<b>T4</b>	0.072	-0.401	0.853
<b>T5</b>	10.310	-1.197	0.666	<b>T5</b>	0.000	1.496	0.871
<b>T6</b>	6.209	-1.052	0.694	<b>T6</b>	18.178	-1.670	0.255
<b>T7</b>	20.834	1.283	0.947	<b>T7</b>	33046.0	-3.447	0.798
<b>T8</b>	21.547	-1.401	0.888	<b>T8</b>	21.3	-1.938	0.717
<b>T9</b>	181.480	-1.884	0.858	<b>T9</b>	39096.0	-3.618	0.800
<b>Todos</b>	23.432	-1.375	0.790	<b>Todos</b>	38.6	-1.918	0.398

Nota: solo se utilizaron valores de EUR después de 18 días. Se calculó la radiación fotosintética utilizando la expresión: Rad Fotos Activa=0.5\*R(1 - Exp(-0.65\*LAI))

En la Figura 19 y 20 se presenta el comportamiento de la eficiencia en el uso de la radiación para la producción de biomasa total (Figura 19) y biomasa aérea (Figura 20) durante el desarrollo del *D. spicata* (20 a 120 DDS). Esta relación se ajusta a un modelo potencial para todos los tratamientos evaluados. El incremento en la eficiencia en el uso de la radiación está relacionado con una mayor área foliar ocasionado por el mayor número de hojas por m<sup>2</sup> generado por el incremento de la densidad de población lo que permitió acumular más PAR durante los 122 DDS que duro el ensayo experimental (Aguilar-García *et al.*, 2005).

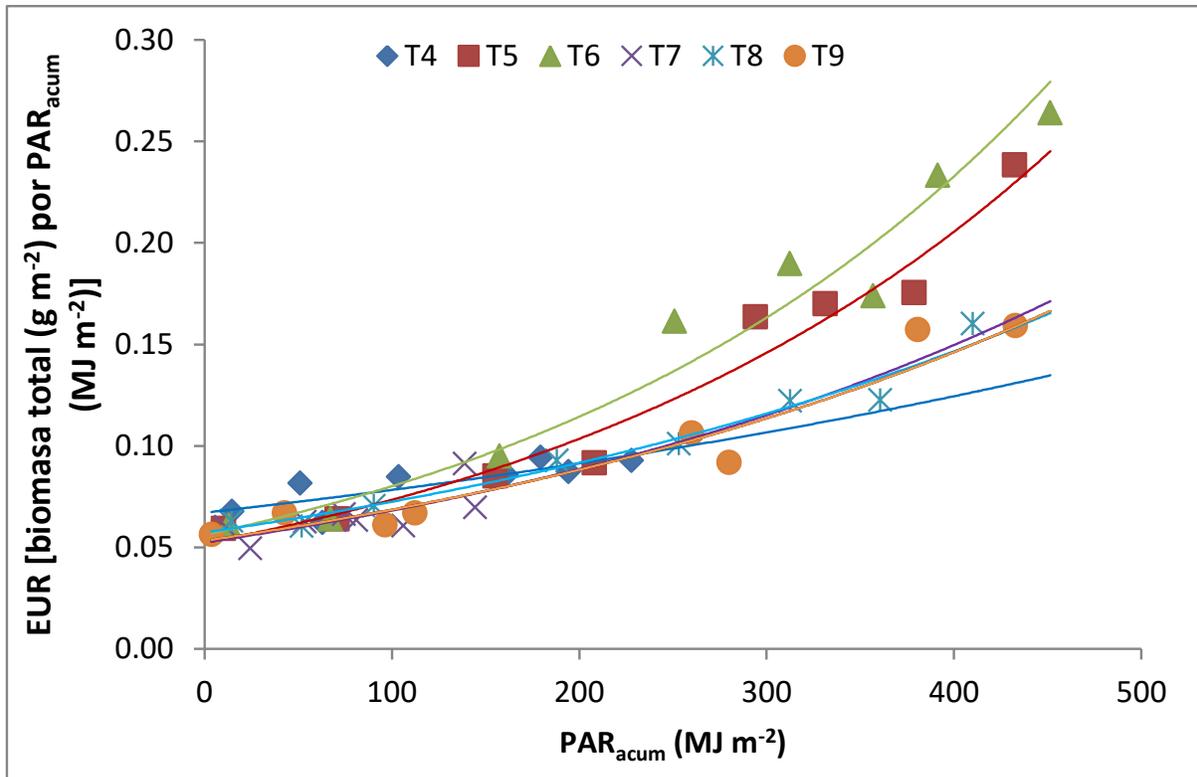


Figura 19. Eficiencia en el uso de la radiación en el tiempo de crecimiento de *D. spicata*

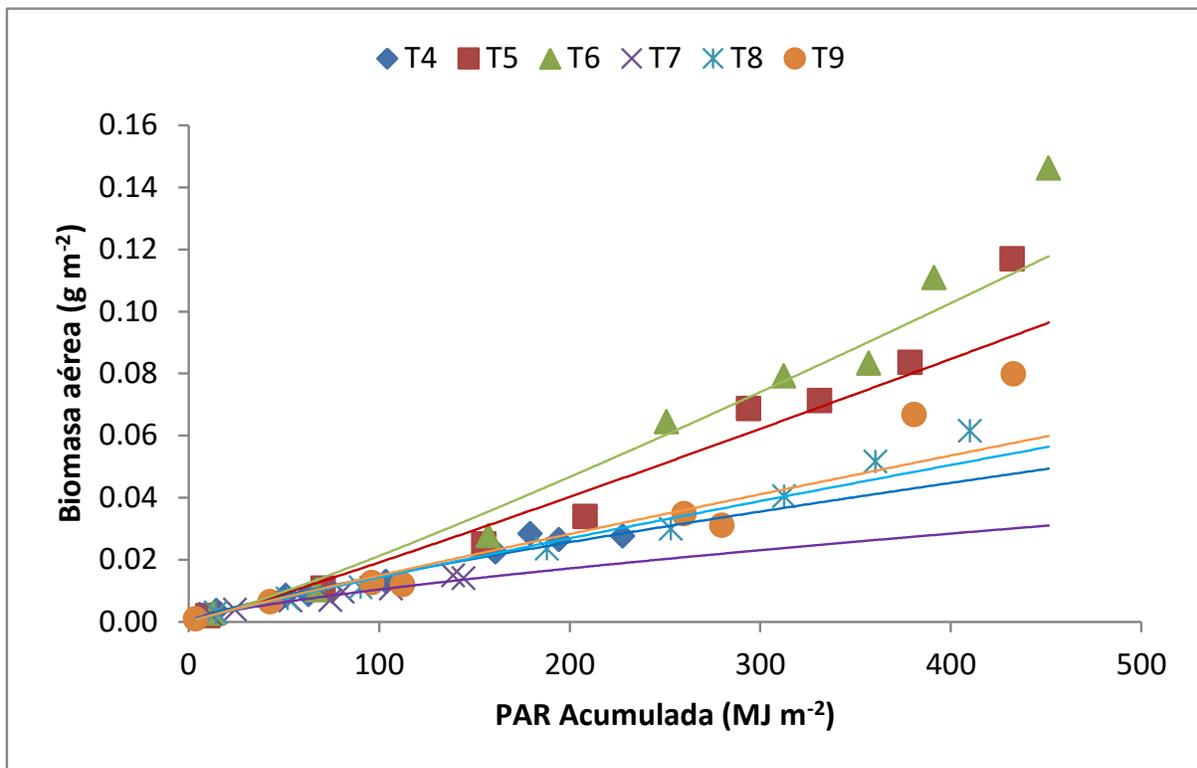


Figura 20. Relación de la biomasa aérea-radiación a lo largo del crecimiento

Las EUR para la biomasa aérea varió entre 0.8042 y 1.1377 (Cuadro 33) que se considera bajo para un pasto C<sub>4</sub>, aunque hay que tomar en cuenta la restricción por salinidad que enfrentó el cultivo durante todo su desarrollo y que le obligo a usar recursos para lograr desarrollarse en condiciones de potenciales de agua osmóticos muy altos.

**Cuadro 34. Coeficientes de la ecuación de la eficiencia en el uso de la radiación con la forma  $Y=a*X^b$**

EUR de la biomasa aérea en función de PAR <sub>acum</sub>					EUR de la biomasa total en función de PAR <sub>acum</sub>				
Tratamiento	Ecuación	a	b	R <sup>2</sup>	Tratamiento	Ecuación	a	b	R <sup>2</sup>
T4	$y = 0.0004x^{0.8042}$	0.0004	0.8042	0.9736	T4	$y = 0.0671e^{0.0015x}$	0.0671	0.0015	0.6424
T5	$y = 0.0001x^{1.0734}$	0.0001	1.0734	0.9820	T5	$y = 0.0521e^{0.0034x}$	0.0521	0.0034	0.9670
T6	$y = 0.0001x^{1.1377}$	0.0001	1.1377	0.9811	T6	$y = 0.0562e^{0.0036x}$	0.0562	0.0036	0.9965
T7	$y = 0.0004x^{0.7253}$	0.0004	0.7253	0.9767	T7	$y = 0.0524e^{0.0026x}$	0.0524	0.0026	0.5586
T8	$y = 0.0002x^{0.9099}$	0.0002	0.9099	0.9849	T8	$y = 0.0574e^{0.0023x}$	0.0574	0.0023	0.9732
T9	$y = 0.0002x^{0.9222}$	0.0002	0.9222	0.9746	T9	$y = 0.0533e^{0.0025x}$	0.0533	0.0025	0.9395
Todos	$y = 0.0002x^{1.0054}$	0.0002	1.0054	0.9356	Todos	$y = 0.0539e^{0.003x}$	0.0539	0.0030	0.8805

Nota: solo se utilizaron valores de EUR después de 18 días. Se calculó la radiación fotosintética acumulada (PAR<sub>acum</sub>) utilizando la expresión:  $PAR = 0.5 * R_i * (1 - \text{Exp}(-0.65 * IAF))$

### 3.4.9 Tasa de asimilación neta, Relación de área foliar y Tasa de crecimiento relativo

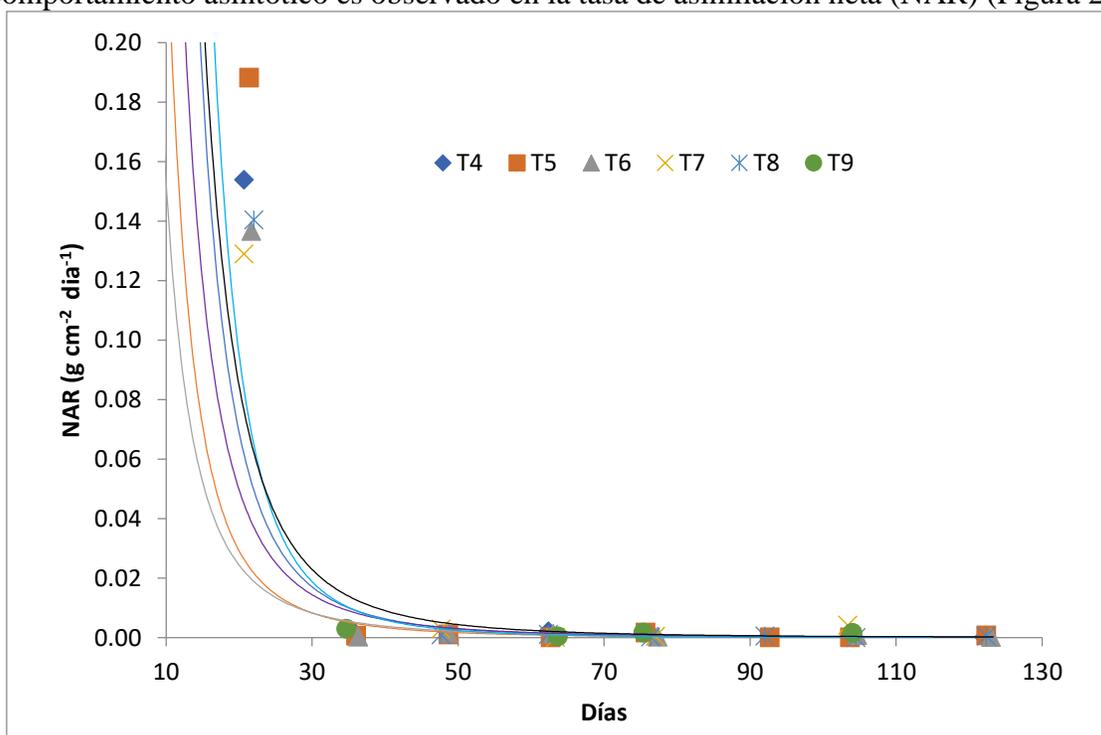
Se considera al crecimiento como un aumento irreversible en las dimensiones de la planta que se expresa como la acumulación de peso, incremento en altura y cambio en área foliar. La biomasa seca acumulada aumenta inicialmente a una tasa exponencial, más tarde lo hace linealmente y finalmente muestra una tasa decreciente hasta alcanzar un nivel máximo, lo que se asemeja a una curva sigmoidea. La pendiente de esta curva es la tasa de asimilación neta (incremento de peso por unidad de tiempo), que puede calcularse de la ecuación que relaciona el logaritmo natural del peso con el tiempo transcurrido. Una tasa de asimilación neta (NAR) constante significa que el crecimiento se mantiene exponencial. En este trabajo se obtuvieron tasa de asimilación neta (NAR) con un comportamiento exponencial con pendiente pronunciada negativa a lo largo del desarrollo de la planta (Cuadro 34, Figura 21). *D. spicata* fue más productivo al inicio de su establecimiento.

**Cuadro 35. Coeficientes de la ecuación de la tasa de asimilación neta (NAR) de la forma  $Y=a*X^b$**

Tratamiento	a	b	R <sup>2</sup>
T4	2084	-3.443	0.86390
T5	309.14	-3.093	0.57540
T6	68.815	-2.652	0.57350
T7	4.56E+02	-3.046	0.47190
T8	1.50E+04	-3.996	0.70700
T9	1327	-3.224	0.69940
Todos	1455	-3.398	0.65930

Nota: sólo se consideraron NAR positivos y después de los 18 días de crecimiento.

Un comportamiento asintótico es observado en la tasa de asimilación neta (NAR) (Figura 21).

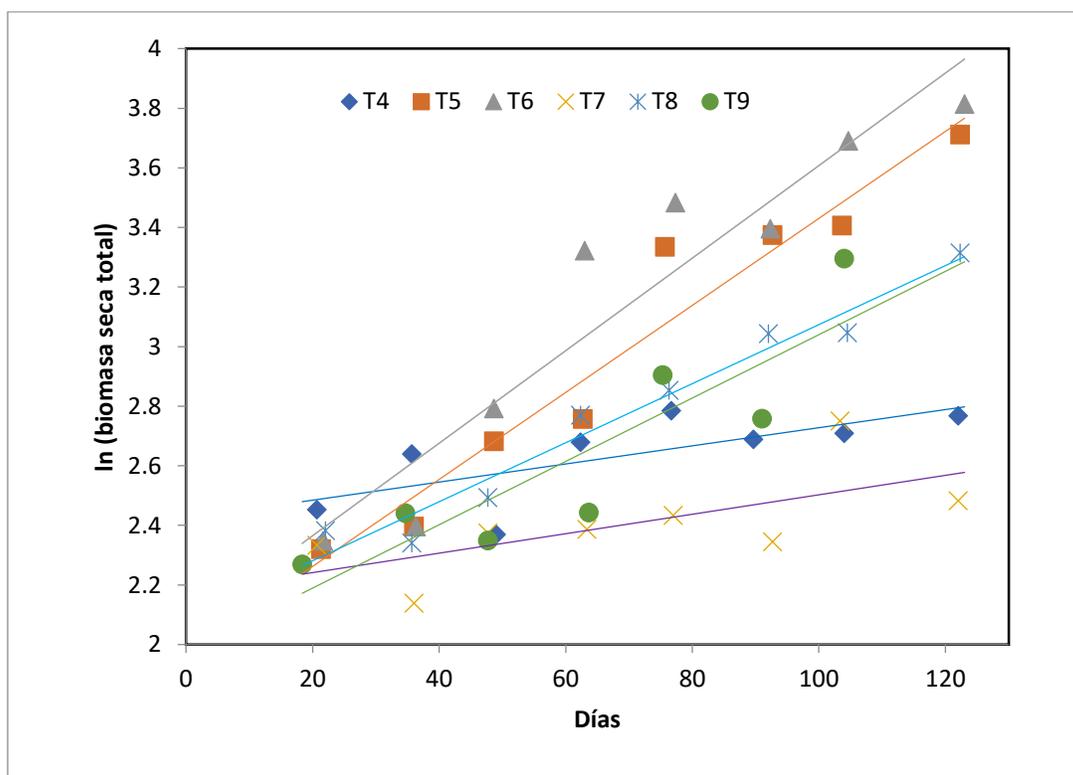


**Figura 21. Tasa de asimilación neta**

La tasa de crecimiento relativo (RGR,  $g\ g^{-1}\ día^{-1}$ ) suele ser exponencial en las fases de desarrollo iniciales del cultivo y refleja diferencias entre especies y los recursos ambientales que tiene a su disposición. Se obtuvieron valores de RGR con un comportamiento  $T6 > T5 > T9 > T8 > T7 > T4$  mediante el uso del logaritmo natural de la biomasa total (Figura 22). Se tiene un ajuste superior al 49% para un análisis general de todos los datos expuestos. (Cuadro 35). Como una primera aproximación es posible suponer a la RGR como el producto entre la tasa de asimilación neta (NAR,  $g\ cm^{-2}\ día^{-1}$ ) y la relación de área foliar (LAR,  $cm^2\ g^{-1}$ ).

**Cuadro 36. Valor de la interceptada (a) y la pendiente (b) de la ecuación  $\ln(\text{biomasa}) = a + b (\text{días})$  y su coeficiente de determinación ( $R^2$ )**

Tratamiento	a	b	$R^2$
T4	2.4235	0.0030	0.5036
T5	1.9699	0.0146	0.9445
T6	2.0553	0.0155	0.9037
T7	2.1761	0.0033	0.4380
T8	2.0836	0.0099	0.9626
T9	1.9777	0.0106	0.7819
Todos	2.1090	0.0096	0.4988



**Figura 22. Cálculo de RGR (pendiente de la línea de regresión) a partir de los datos de biomasa total seca.**

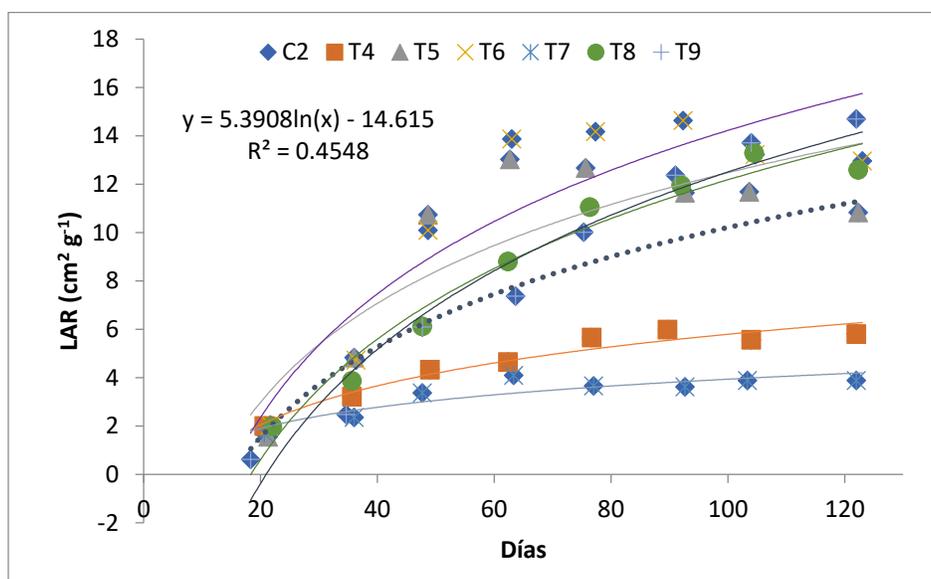
La relación de área foliar (LAR) con mejor ajuste se observó en T8, T9 y T4. El coeficiente b negativo relata un crecimiento positivo a lo largo del tiempo. La pendiente se comportó de manera  $T9 \gg T6 > T8 > T5 > T4 > T7$  (Cuadro 36).

**Cuadro 37. Valor de la interceptada (a) y la pendiente (b) de la ecuación  $LAR = b \cdot \ln(\text{días}) + a$  y su coeficiente de determinación ( $R^2$ )**

Tratamiento	b	a	$R^2$
T4	2.3278	-4.9215	0.9411
T5	5.9014	-14.696	0.7025
T6	7.3748	-19.734	0.8148
T7	1.2669	-1.8935	0.8050
T8	7.1925	-20.934	0.9659
T9	8.0031	-24.346	0.9500
Todos	5.3908	-14.615	0.4548

Nota: sólo se calcularon LAR después de los 18 días de crecimiento.

Las pendientes menos pronunciadas fueron las de T4 y T7 observándose un menor desarrollo en la relación de área foliar (Figura 23).



**Figura 23. LAR en el tiempo (días)**

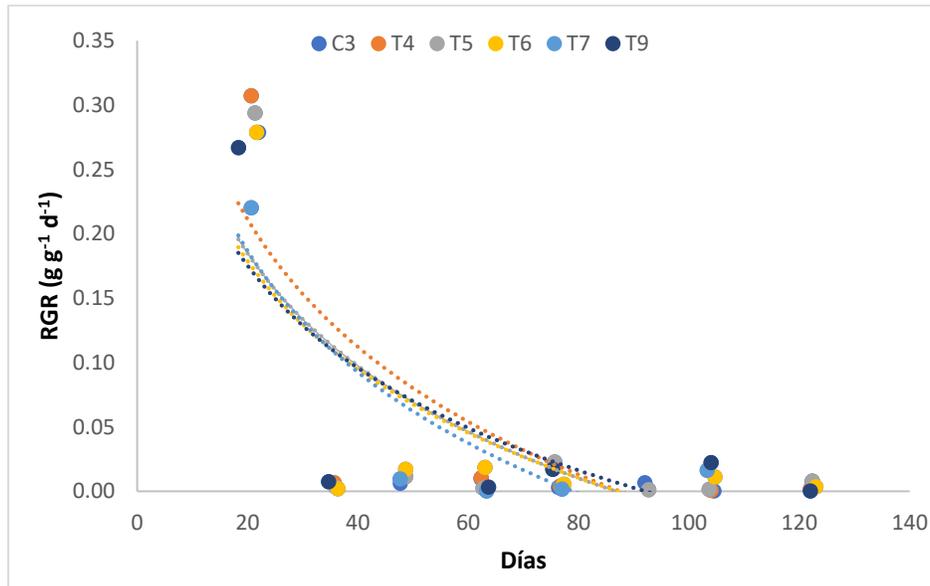
Los valores de RGR se ajustaron al modelo logarítmico con coeficientes mayores al 52% para todos los tratamientos (Cuadro 37), con un comportamiento decreciente (b negativo).

**Cuadro 38. Valor de la interceptada (a) y la pendiente (b) de la ecuación  $RGR = b \cdot \ln(\text{días}) + a$  y su coeficiente de determinación ( $R^2$ )**

Tratamiento	b	a	$R^2$
T4	-0.143	0.64060	0.6108
T5	-0.126	0.56250	0.5314
T6	-0.122	0.54350	0.5268
T7	-0.136	0.59450	0.765
T8	-0.149	0.67200	0.7104
T9	-0.115	0.51920	0.6102
Todos	-0.13	0.58110	0.6047

Nota: sólo se consideraron RGR positivos y después de los 18 días de crecimiento.

Aún con coeficientes de  $R^2$  buenos, no se ve claramente esta tendencia en el comportamiento de los datos analizados (Figura 24).



**Figura 24. RGR en el tiempo de crecimiento (días)**

Se observa un excelente ajuste del índice de área foliar (IAF) para cada uno de los tratamientos (Cuadro 38). La pendiente más pronunciada se tiene para T6, seguida de T5, tratamientos con una mayor producción de área foliar y por consiguiente biomasa total. Los tratamientos testigos tienen las pendientes menores, no observándose buen desarrollo de *D. spicata*, por lo que se considera que el estiércol es un buen auxiliar en la producción de este pasto en condiciones naturales.

**Cuadro 39. Valor de la interceptada (a) y la pendiente (b) de la ecuación  $IAF = b \cdot \ln(\text{días}) + a$  y su coeficiente de determinación ( $R^2$ )**

Tratamiento	b	a	$R^2$
T4	0.4520	-1.0370	0.7766
T5	2.6999	-8.3105	0.9458
T6	4.1695	-13.2370	0.9179
T7	0.2163	-0.4259	0.7539
T8	2.1622	-6.8750	0.9390
T9	2.4567	-7.9697	0.7456
Todos	0.0353	-0.4468	0.3846

Nota: sólo se consideraron los LAI después de los 18 días de crecimiento.

Se observa (Figura 25) que el índice de área foliar fue mayor para los tratamientos 6 y 5 seguidos los tratamientos 9 y 8. El índice de área foliar a lo largo de los muestreos de los tratamientos testigos (T4 y T7) fueron considerablemente menores, por lo que se podría asegurar que existe un gran efecto del uso de abono orgánico ovino en el desarrollo del pasto salado.

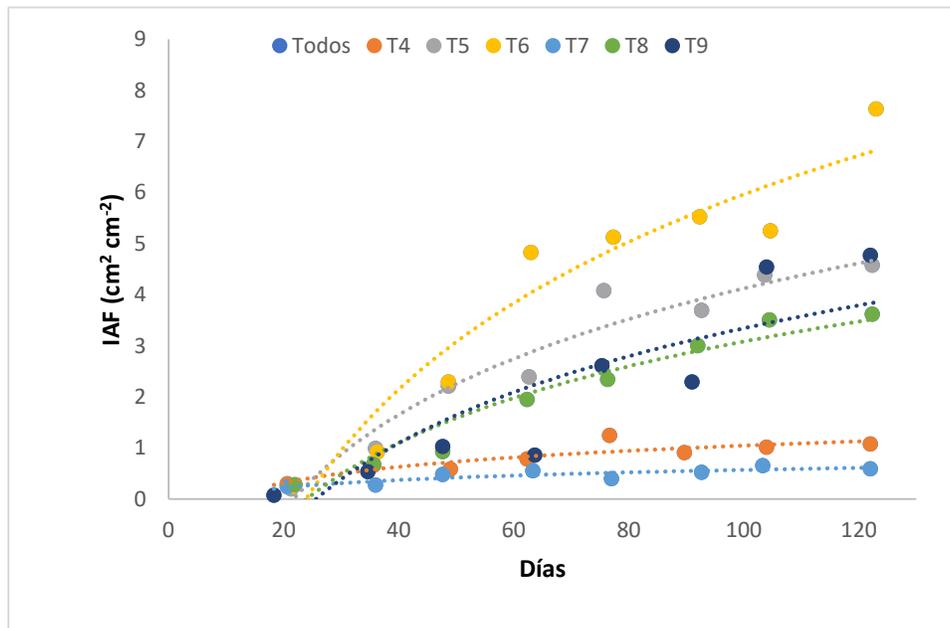


Figura 25. IAF a lo largo del crecimiento de *D. spicata*

### 3.4.10 Eficiencia en el uso de agua

La producción de biomasa está fuertemente influenciada por la cantidad de agua disponible para la planta. Una forma de cuantificar la eficiencia en el uso del agua (EUA) es relacionar la biomasa producida (g) con el agua utilizada (kg agua). Como se vio existe una alta correlación entre los componentes fisiológicos estudiados y el agua transpirada por la planta, como consecuencia de que el proceso de producción de biomasa (fotosíntesis) y el gasto de agua (transpiración) ocurren simultáneamente, y la entrada de CO<sub>2</sub> y la salida de agua usan la misma vía (estomas). Un kg de agua produjo una biomasa de *D. spicata* entre 4.7 y 26.5 g, siendo mayor su eficiencia en las primeras etapas de desarrollo y estabilizándose al final en una eficiencia promedio de 5.55 g por

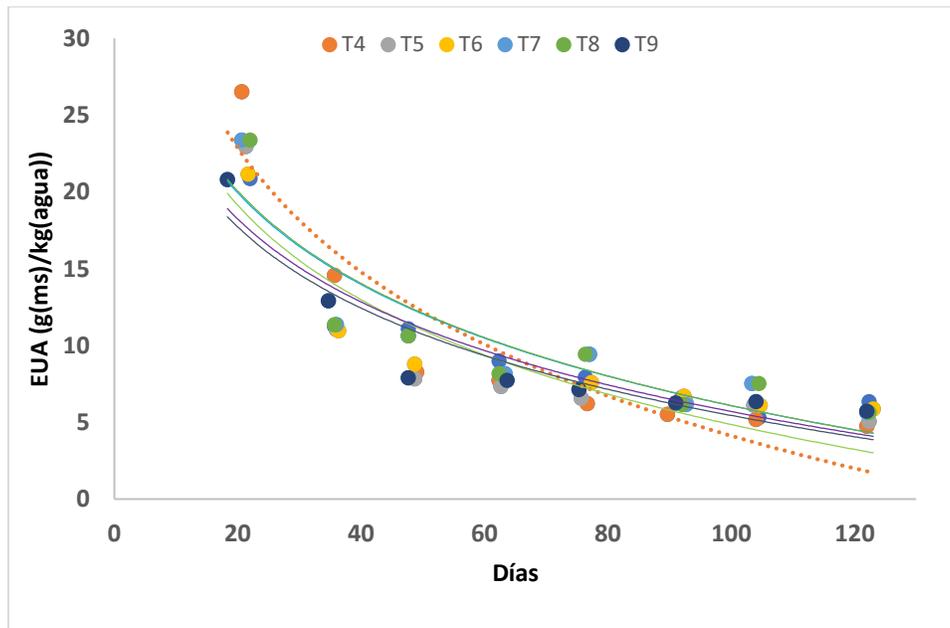
kg de agua (entre 4.7 y 6.3 g biomasa por kg agua). Durante la etapa final la planta. Se observó un ajuste mayor al 79% para las eficiencias en el uso del agua en todos los tratamientos.

**Cuadro 40. Valor de la interceptada (a) y la pendiente (b) de la ecuación  $EUA = b \cdot \ln(\text{días}) + a$  y su coeficiente de determinación ( $R^2$ )**

Tratamiento	b	a	$R^2$
T4	-11.650	57.753	0.867
T5	-8.877	45.724	0.794
T6	-7.795	41.585	0.825
T7	-8.613	45.743	0.825
T8	-8.686	46.082	0.800
T9	-7.630	40.575	0.878
Todos	-8.734	45.586	0.820

Nota: sólo se consideraron datos después de los 18 días

En la Figura 26 se muestra una alta EUA al inicio del crecimiento, esto debido a que se contaba con un área foliar menor, ya que las hojas son un factor importante en la disipación de energía (Figura 26).



**Figura 26. Eficiencia en el uso del agua (EUA) de *D. spicata* a lo largo de su desarrollo**

### 3.5 CONCLUSIONES

La dosis de estiércol que generó los mejores resultados en la mayoría de los parámetros analizados del *Distichlis spicata* fue la de 40 t ha<sup>-1</sup>, logrando superar de manera significativa a los de-

más tratamientos, por lo que pone de manifiesto que el uso del estiércol como mejorador de suelos salinos es una alternativa de recuperación.

La aplicación de estiércol originó un mejoramiento significativo para amortiguar los efectos negativos del exceso de  $\text{Na}^{+1}$  y demás sales, y se logró en el suelo un cambio en su provisión de nutrientes que propició un buen desarrollo del pasto salado. El estiércol en interacción con el suelo incrementó de manera significativa la respuesta de la mayoría de las variables fisiológicas evaluadas del *D. spicata*.

La biomasa subterránea mostró una relación alta con biomasa aérea (de hojas, tallos y total de la planta), los cuales están determinados por los cambios en las condiciones de suelo provocadas por la aplicación del estiércol.

El potencial observado en el pasto *D. spicata* permite considerar a esta especie como una alternativa de gran valor científico y productivo en regiones como el Exlago de Texcoco, donde los suelos además de estar contaminados por la presencia de sales, son también de baja fertilidad.

### 3.6 REFERENCIAS

- Aguilar-García, L., J.A. Escalante-Estrada., L. Fucikovsky-Zak, L. Tijerina-Chavez y E. Mark Engleman. 2005. Area foliar, Tasa de Asimilación Neta, Rendimiento y Densidad de Población en Girasol. Terra Latinoamericana Vol. 23 (1): 303-310.
- Alvarado Reyes E. y Hilda Flores-Olvera. 2013. *Suaeda pulvinata* (Chenopodiaceae), a new species from saline lakes of central Mexico. Botanic Garden and Botanical Museum Berlin (BGBM). Willdenowia, 43(2):309-314. DOI: <http://dx.doi.org/10.3372/wi.43.43211>
- Bach Allen y Cunningham (1983). Effects of vesicular–arbuscular mycorrhizae on *Distichlis spicata* under three salinity levels. New phytologist. 93 (2) 227-236.
- Baskin, C.C y J.M. Baskin. 2002. Propagation protocol for production of container *Distichlis spicata* (L) var. *stricta* plants; University of Kentucky, Lexington, Kentucky. In: Native Plant Network. URL: <http://www.nativeplantnetwork.org> (accessed 20 de noviembre 2005). University of Idaho, College of Natural Resources, Forest Research Nursery. Moscow, Idaho.
- Balagtasburow, Ge; Moroney, Jv; Longstreth, Dj. 1993. Growth And Osmotic Adjustment Of Cultured Suspension Cells From Alternanthera-Philoxeroides (Mart) Griseb After An Abrupt Increase In Salinity. Journal of Experimental Botany. 44(260) DOI: 10.1093/jxb/44.3.673

- Bruno, John F., Tatyana A. Rand, Nancy C. Emery y Mark D. Bertness. 2017. Facilitative and competitive interaction components among New England salt marsh plants. *PeerJ* 5:e4049; DOI 10.7717/peerj.4049
- Coldren, Glenn A. y C. Edward Proffitt. 2017. Mangrove seedling freeze tolerance depends on salt marsh presence, species, salinity, and age. *Hydrobiologia*. DOI 10.1007/s10750-017-3175-6.
- Di Benedetto y Tognetti, 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. RIA / Trabajos en prensa. Argentina
- Escobar-Hernández, A., E. Troya-Diequez., J.L. García-Hernández., H. Hernández-Contreras., B. Murillo-Amador y R. López-Aguilar. 2005. Potencial forrajero del pasto salado *Distichlis spicata* L. (Greene) en ecosistemas costeros de Baja California Sur, México por el método de “componentes principales”. *Tec. Pecu. Mex.* 2005; 43(1):13-25.
- Gordón-Mendoza, R. e I. Camargo-Buitrago. 2015. Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agron. Mesoam.* 26(1):55-63.
- Guerrero, R.N., M.A. Orlate, Q., y J.C. Pérez, N. 2012. Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara Web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 65(1): 6399-6405.
- Meixler, Marcia S., Michael J. Kennish y Katherine F. Crowley. 2017. Assessment of Plant Community Characteristics in Natural and Human-Altered Coastal Marsh Ecosystems.
- Poorter, H. 2002. Plant growth and carbon economy. En: *Encyclopedia of life science*, Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group.
- Lebourgeois, V., Bégué, S. Labbé, B. Mallavan, L. Prévot, and B. Roux. 2008. Can commercial digital cameras be used as multispectral sensors? A crop monitoring test. *Sensors* 8: 7300-7322.
- Rivera, Z.J., I.L. López, C., J.A. Castillo, S., y J. A. Ramírez, A. 2013. Comparación de tres modelos para estimar la transpiración de un cultivo de jitomate en Invernadero. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 31 (1): 2-21.
- Rzedowski, G.C. y J. Rzedowski, 2001. *Flora Fenerogamica del Valle de México*. 2ª. ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. 1406 pp.
- URL, Heike Vibrans (ed), 2009, *Malezas de México*, Julio 18, 2019.
- Zeme, S.A., Varni, M., Entraigas, I., Varcelli, N., y Ares, M.G. 2014. Humedad Edáfica, Raíces y Biomasa aérea en parches dominados por *Distichlis* spp. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas” Producción Sustentable en Ambientes Frágiles. Bahía Blanca, mayo, 2014.
- Zhenget, G., S.A. Lee, Y. Antebi, M.B. Elowitz, and C. Yang. 2011. The ePetri dish, an on-chip cell imaging platform based on subpixel perspective sweeping microscopy (SPSM). *Proceedings of the National Academic of Science of the United States of America PNAS* 108: 16889-16894.

## **CAPÍTULO IV. Calibración del modelo EPIC para el zacate salado (*Distichlis spicata* (L.) E. Greene) bajo tres niveles de salinidad**

### **4. 1 RESUMEN**

La salinidad es un aspecto que ocasiona problemas ecológicos y ambientales muy importantes. Actualmente la necesidad de mitigar estos problemas ha llevado a la necesidad de devolverle lentamente la productividad a estas tierras. *Distichlis spicata* es una planta distribuida principalmente a lo largo de las zonas salinas, en costas y zonas desérticas, por lo que se considera una excelente opción para la restauración de estas tierras infértiles y problemáticas. El objetivo de la investigación fue realizar una simulación para *D. spicata* en el área del Exlago de Texcoco, con el modelo de predicción Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC), utilizando las características del suelo del Capítulo II, variables fisiológicas iniciales obtenidas de los pastos considerados por la base de datos para WinEPIC, los datos climáticos fueron monitoreados en la fase experimental (Capítulo III)

**Palabras Clave:** Salinidad, Modelación, productividad, Exlago de Texcoco, pasto salado.

### **ABSTRACT**

Salinity is an aspect that causes very important ecological and environmental problems. Currently the need to mitigate these problems has led to the need to slowly return productivity to these lands. *Distichlis spicata* is a plant distributed mainly along saline areas, on coasts and desert areas, which is why it is considered an excellent option for the restoration of these infertile and problematic lands. The objective of the investigation was to perform a simulation for *D. spicata* in the area of the Texcoco Ex-lake, with the Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC) prediction model, using the soil characteristics of Chapter II, initial physiological variables obtained

from the data monitored by the database for WinEPIC, the climatic data were monitored in the experimental phase (Chapter III)

**Keywords:** Salinity, Modeling, productivity, Texcoco Ex-lake, salty grass.

## 4.2 INTRODUCCIÓN

La salinidad de los suelos es reconocida ampliamente como uno de los principales obstáculos para alcanzar la sustentabilidad agrícola y ambiental, debido a que reduce el potencial productivo de los suelos en todo el planeta (Alshammary *et al.* 2008). En la parte oriente de la ciudad de México, específicamente la zona del Exlago de Texcoco, los suelos presentan un alto grado de salinidad, lo cual ha provocado graves problemas de insalubridad y alta susceptibilidad a la erosión eólica en la zona conurbada de la ciudad (CONAGUA, 2005). Esto pone de manifiesto, la urgente necesidad de implementar medidas correctivas ambientales mediante un manejo sustentable de los suelos. La revegetación de los suelos con *D. spicata*, muestra respuestas únicas a las condiciones ambientales haciéndolo importante desde el punto de vista agrícola y ecológico (Collatz *et al.* 1992). Sin embargo, es difícil estimar de manera confiable la adaptación de *Distichlis spicata* (L.) Greene a los diferentes niveles de salinidad, así como la proyección de esta especie para restaurar áreas sujetas a sequía, salinidad y suelos contaminados en el futuro (Abdallaha *et al.* 2017; Bawazir *et al.*, 2014; Beland *et al.*, 2016).

El uso de modelos de simulación constituye una poderosa herramienta heurística para el manejo sustentable de los recursos naturales (Hartkamp *et al.*, 1999, Oleschko *et al.*, 2004) y son potencialmente útiles para establecer esquemas a largo plazo de ordenamiento espacial de servicios ambientales, sistemas de conservación del suelo a escala parcelaria, comunitaria o de microcuencas con base en la cuantificación de su impacto para reducir la erosión y mejorar los índices de sostenibilidad, en comparación con los sistemas tradicionales. Los modelos de simulación, son generalmente aplicables a condiciones similares a las que se generaron y constituyen una de las

alternativas metodológicas disponible para abordar este problema, pero se enfrentan al problema de carencia de información que permita usarlos en las condiciones indicadas.

Hoy día, los modelos de simulación son una alternativa que permiten tomar decisiones de manera más rápida y precisa. Sin embargo, para su calibración se requiere “alimentarlos” con información confiable. Para ello, es necesario conjuntar los métodos de campo con la aplicación de modelos (Gaiser *et al.*, 2010). Entre los modelos de simulación empleados para predecir contingencias ambientales, desastres naturales y rendimientos cuando prevalecen las interacciones entre factores destacan, el Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC) y el Agricultural Land Management Alternative with Numerical Assessment Criteria (ALMANAC), (Williams, 1990; Baez-González *et al.*, 2015).

En la actualidad, el modelo EPIC ha tenido una amplia gama de aplicaciones, como la evaluación del impacto del cambio climático sobre el rendimiento de diversos cultivos (Gyanedra *et al.*, 1997), la relación entre la pérdida de suelo por erosión (eólica e hídrica) con los rendimientos de maíz (Lee *et al.*, 1996; Steduto, 2006), el impacto de las prácticas de conservación de suelos sobre los rendimientos de maíz (Causarano *et al.*, 2008). Tiscareño *et al.* (2003) emplearon el modelo EPIC para evaluar el impacto del cambio climático sobre la producción de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.), mientras que Villar *et al.*, (2002) lo aplicaron para estimar el efecto de la erosión sobre la productividad del maíz en condiciones de trópico húmedo. Sin embargo, en estos estudios no se incluyeron las variables fisiotécnicas del cultivo que el modelo requiere. Consideración que fue tomada en cuenta por Licona *et al.* (2005) y Flores *et al.* (2014) para fines de estimación de rendimiento del maíz, y para evaluar el impacto de las prácticas de manejo sobre el rendimiento de grano de maíz de temporal.

En función de lo antes planteado, el presente trabajo tuvo como objetivo, calibrar y ajustar el modelo de simulación EPIC, a las condiciones climáticas, edáficas, y de manejo del pasto *D. spicata* bajo diferentes niveles de salinidad, en condiciones de invernadero, en el Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados, para determinar la respuesta de adaptación y la sostenibilidad de la producción de la especie.

### **4.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.3.1 Área de Estudio**

Durante 2018, se realizó un trabajo en macetas de 5” de diámetro, bajo condiciones de invernadero, en el Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí, municipio de Salinas de Hidalgo. El invernadero se encuentra localizado a -101°43’ longitud oeste, 22°38’ de latitud norte y una altitud de 2070 msnm. Tiene una localización este-oeste, de vidrio, dividido en tres secciones y con un sub-techo de policarbonato a una altura de 2.18 m. el experimento fue sometido a un fotoperiodo natural.

El material vegetativo y el suelo utilizado en el estudio fue obtenido del Exlago de Texcoco, mediante bloques de suelo 19x19x23 cm con los cepellones de pasto vivo *D. spicata*, asegurándose de que se tuviera una conexión intacta con los rizomas. Se envolvieron mediante hule transparente y fueron transportadas al invernadero del Campus San Luis Potosí, en Salinas de Hidalgo, SLP.

#### **4.3.2 Tratamientos Estudiados**

Se estudiaron nueve tratamientos, obteniéndose de tres suelos con diferentes coberturas vegetales y tres dosis de fertilización orgánica cuya fuente fue estiércol ovino. La descripción de los tratamientos fue descrita en el Capítulo III, en el apartado de Materiales y Métodos.

### **4.3.3 Modelo EPIC e Información Requerida**

Con base en lo indicado por Sharpley y Williams (1990) y Williams *et al.*, (1990), la información requerida por el modelo Erosion/Productivity Impac Calculator (EPIC), se agrupó en cinco categorías: a) Datos generales (dimensiones del área, ubicación geográfica y elevación, entre otras); b) clima (temperatura máxima y mínima, precipitación, humedad relativa, evaporación, radiación y velocidad de viento), c) características generales del suelo y descripción físico-químicas de cada capa de suelo, d) manejo de la especie (fecha de aplicación de alguna práctica), y e) variables fisiotécnicas del pasto (altura de planta, índice de área foliar, relación biomasa-energía e índice de cosecha entre otras). Todas estas variables requeridas para la calibración del modelo EPIC fueron obtenidas y discutidas en el Capítulo III en los apartados de Materiales y Métodos y Resultados y Discusión, excepto las variables ambientales que se describen a continuación.

#### **4.3.3.1 Variables ambientales**

Las variables climáticas necesarias para realizar el modelo de crecimiento con EPIC consultadas en Gerik *et al.* (2013) fueron monitoreadas desde el inicio del establecimiento del experimento a lo largo del día. A continuación, se describen estas variables. La temperatura máxima ( $T_{mx}$ ) y mínima ( $T_m$ ) en °C fue medida con termopares, la humedad relativa (HR) diaria se monitoreo con los sensores HMP60 de Campbell Scientific, la radiación solar (RS) ( $W/m^2$ ) con Thermal Sensors Hukseflux tipo LP02 con una sensibilidad de  $13.39 \mu V/Wm^{-2}$  y para la precipitación (P) se estuvo registrando el riego (g de agua), en cuanto a la velocidad del viento (VV) no fue determinada ya que la investigación se desarrolló en invernadero. Además, se estuvo observando el comportamiento del  $CO_2$  con el WatchDog A160 ® Spectrum Technologies, Inc. Midiendo al

mismo tiempo HR y temperaturas. La medición del albedo se realizó mediante el método propuesto por Post *et al.* (2000).

#### **4.3.4 Calibración**

##### **4.3.4.1 Datos generales**

La información de tipo de suelo, ubicación geográfica, elevación y topografía se obtuvo del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), se extrajo el tipo de suelo en la región del Exlago de Texcoco.

##### **4.3.4.2 Datos climáticos**

Las variables climáticas necesarias para realizar el modelo de crecimiento con EPIC consultadas en Gerik *et al.* (2013) fueron monitoreadas desde el inicio del establecimiento del experimento a lo largo del día. Para el registro de las variables de temperatura, radiación y humedad se usaron dos datalogger CR23X y CR1000 de Campbell Scientific. Al igual que las otras variables de planta y suelo son reportadas y obtenidas en el Capítulo II.

##### **4.3.4.3 Datos de suelo**

Al inicio del muestreo se realizaron las determinaciones expuestas en el Cuadro 11, en los tres suelos evaluados, después de revolver hasta unificar las características visuales de cada tipo de suelo con tres repeticiones cada uno. Los suelos fueron analizados para las variables requeridas en el modelo EPIC, mismas que son reportadas en el Capítulo II en el apartado de Materiales y Métodos y discutidas en Resultados y Discusión. Para simular la impermeabilidad de las macetas, por debajo de la profundidad del suelo en la maceta se simuló una capa delgada del mismo tipo de suelo con una conductividad hidráulica demasiado baja (prácticamente impermeable), con la finalidad de ejecutar el modelo EPIC. Cabe mencionar que al tratar de introducir los valores de pH a la base de datos del modelo EPIC se desplegaba un mensaje de que se rebasaba el límite máximo de 9, a pesar de esto el valor fue aceptado por el modelo.

#### 4.3.4.4 Datos fisiológicos

Los valores iniciales de las variables fisiotécnicas del pasto *Distichlis spicata*, se obtuvieron de los pastos que considera la base de datos para WinEPIC. Primeramente, se agruparon estos pastos en la subfamilia y tribu. Dado que el pasto *Distichlis spicata* pertenece a la tribu Chloridoideae, a los pastos de esta tribu se les determinó el valor medio de cada una de las variables fisiológicas. Utilizando el valor medio aproximado de cada una de las variables fisiológicas se ejecutó el modelo EPIC. Posteriormente se ajustaron los valores de las diferentes variables de acuerdo a los rangos de las variables para los pastos de la misma subfamilia. En cuanto al riego, se consideraron los valores medios aplicados al tratamiento del suelo con cobertura de *spicata* y *ordeum* para correr el modelo EPIC.

**Cuadro 41. Variables de las plantas necesarias para el modelado con EPIC obtenidas de Gerik *et al.* 2013**

Variable	Unidad	Método	Material
HI	Índice de cosecha	Relación entre el rendimiento (semilla) y la biomasa aérea total	Estufa con control de temperatura (60 y 70°C) Bolsas de papel Pinzas de poda
WCY	Fracción de agua en rendimiento	%	Gravimétrico Estufa
WA	Relación de la energía y la biomasa (para CO <sub>2</sub> =330 ppm)	(kg/ha/MJ) (t/ha <sup>-1</sup> MJ <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	Curva Energía-Biomasa Muestreo destructivo Bolsas de papel Invernadero
TOP	Temperatura óptima para el crecimiento de la planta	°C	Investigación N.A.
TBS	Temperatura mínima para el crecimiento de la planta	°C	Investigación N.A.
DLAI	Fracción de la temporada de crecimiento cuando el índice de área foliar (LAI) comienza a declinar	cm <sup>2</sup>	Observación LI-3000C
DLAP1	Primer punto de LAI de la curva de desarrollo óptimo	%	Muestreo de área foliar LI-3000C
DLAP2	Segundo punto de LAI de la curva de desarrollo óptima	%	Muestreo de área foliar LI-3000C
RLAD	Factor de disminución de LAI		Muestreo de área foliar LI-3000C
RBMD	Tasa de disminución de la biomasa/energía		
GSI	Conductancia estomática máxima	mmol/m <sup>2</sup> s ó m <sup>2</sup> s/mol	Leaf Porometer DECAGON DEVICES, Inc
RWPC1	Fracción del peso de la raíz en la emergencia		Observación Báscula de precisión Papel encerado
RWPC2	Fracción del peso de las raíces al vencimiento		Observación Báscula de precisión Papel encerado
PPLP2	Segundo punto sobre la curva LAI de la población de plantas		Uso de Fotografías y el Software ImageJ
DMLA	Área foliar máxima	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	Muestreo de área foliar Uso de Fotografías y el Software ImageJ
HMX	Altura máxima del cultivo	M	Observación Cinta métrica
RDMX	Profundidad máxima de la raíz	M	Observación Cinta métrica
WSYF	Límite inferior del índice de cosecha		Relación entre el rendimiento

(semilla) y la producción total				
WUB	Conversión del uso de agua a la biomasa	t/mm	Materia seca/lámina total de riego	Balanza de precisión

#### 4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al ejecutar el modelo EPIC con los valores medios aproximados de las variables fisiológicas que corresponden a la tribu Chloridoideae, se obtuvieron resultados de producción de biomasa dentro del intervalo que se reportan en la literatura (Cuadro 41). Sin embargo, estos datos se ajustaron de acuerdo al rango de valores para cada una de las variables de la subfamilia Chlo-ridoideae de los cuatro tipos de pastos enlistados en la base de datos del modelo EPIC (Buffa-lo Grass, Gramagrass, Sideoats, Sideoats Grama Grass). Los intervalos de ajuste para las variables analizadas fueron: relación biomasa-energía (WA), 12.0 a 45.0; índice de cosecha (HI), 0.15; índice de área foliar máxima (DMLA), 1.7 a 8.0; fracción de la temporada de crecimiento cuando el índice de área foliar comienza a declinar (DLAI), 0.35 a 0.85; altura de planta (HMX), de 0.20 a 0.80; primer punto de LAI de la curva de desarrollo óptimo (DLAP1), 5.05 a 10.2 y segundo punto de LAI de la curva de desarrollo óptimo (DLAP2), 20.95 a 30.70.

**Cuadro 42. Valores medios fisiológicos utilizados para ejecutar EPIC y resultados de biomasa**

Tipo de suelo	WA	DMLA	DLAI	DLAI1	DLAI2	HMX	RDMX	CNY	CKY	BK1	Biomasa (g/cm <sup>2</sup> )
<i>Spicata e Ordeum</i>	20	3.2	0.85	6.34	28.26	0.425	1.55	0.01343	0.0075	0.01285	117.9
<i>spicata</i>	20	3.2	0.85	6.34	28.26	0.425	1.55	0.01343	0.0075	0.01285	77.4
<b>Desnudo</b>	20	3.2	0.85	6.34	28.26	0.425	1.55	0.01343	0.0075	0.01285	27.8

Relación biomasa-energía (WA); índice de área foliar máxima (DMLA); el índice de área foliar comienza a declinar (DLAI); altura de planta (HMX); primer punto de LAI de la curva de desarrollo óptimo (DLAP1); segundo punto de LAI de la curva de desarrollo óptimo (DLAP2)

Una muestra de los resultados del ajuste en la variación de los parámetros y considerando la salida del modelo para la biomasa y los días de estrés por agua se muestran en el Cuadro 42. El ajuste de las variables consistió en modificar su valor inicial y realizar la corrida del modelo; aquella diferencia entre el rendimiento simulado y los valores reportados en la literatura que era mínima

define el conjunto de valores resultante de la calibración. El ajuste se realizó para cada uno de los tres tipos de suelo. El modelo EPIC se ejecutó para cada tipo de suelo, considerando los parámetros de la planta arriba mencionados, se obtuvieron los valores de biomasa para el suelo con cobertura de *Distichlis spicata* y para el suelo con *Distichlis spicata* y *Ordeum* que se muestran en el Cuadro 43, donde también se observan los valores obtenidos bajo condiciones de invernadero. Para el caso del suelo desnudo, no se hicieron más ajustes porque en el experimento de invernadero no se estableció el pasto y la producción de biomasa se considera 0 g m<sup>-2</sup>.

**Cuadro 43. Ajuste de parámetros de *D. spicata* para ejecutar EPIC**

Parámetros del pasto <i>Distichlis spicata</i>										Spicata-Ordeum		Spicata		Desnudo	
WA	DMLA	DLAI	DLAP1	DLAP2	HMX	RDMX	CNY	CKY	BK1	Biomasa (g/m <sup>2</sup> )	Estrés por agua (días)	Biomasa (g/m <sup>2</sup> )	Estrés po agua (días)	Biomasa (g/m <sup>2</sup> )	Estrés po agua (días)
15.5	2.425	0.3875	6.338	28.2625	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	58.5	45.7	42.4	67.8	17.7	102.5
18.0	2.425	0.3875	6.338	28.2625	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	69.1	45.7	50.2	67.8	21.0	102.5
12.0	2.425	0.3875	6.338	28.2625	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	42.5	45.7	28.4	75.0	12.7	102.5
15.5	4.000	0.3875	6.338	28.2625	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	55.8	70.6	36.2	84.5	16.5	106.5
15.5	1.700	0.3880	6.338	28.2625	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	60.7	26.1	43.4	52.1	18.4	98.4
15.5	2.425	0.5000	6.338	28.2625	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	70.8	46.7	50.7	68.5	20.5	102.6
15.5	2.425	0.3880	5.050	28.2625	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	59.7	35.5	36.1	64.9	16.8	97.9
15.5	2.425	0.3880	10.200	28.2625	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	54.9	14.6	40.1	54.7	18.2	96.5
15.5	2.425	0.3880	6.338	20.9500	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	52.8	77.0	33.7	88.8	15.8	106.0
15.5	2.425	0.3880	6.338	30.7000	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	56.2	69.9	35.3	84.0	16.7	105.0
15.5	2.425	0.3880	6.338	28.2630	0.200	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	58.5	45.7	42.9	67.2	17.9	102.4
15.5	2.425	0.3880	6.338	28.2630	0.800	1.55	0.013425	0.0075	0.01285	58.4	45.7	42.6	67.3	17.6	102.5
15.5	2.425	0.3880	6.338	28.2630	0.425	2.00	0.013425	0.0075	0.01285	58.5	45.7	42.7	67.3	17.7	102.5
15.5	2.425	0.3880	6.338	28.2630	0.425	1.55	0.017000	0.0075	0.01285	58.5	45.7	42.7	67.3	17.7	102.5
15.5	2.425	0.3880	6.338	28.2630	0.425	1.55	0.013425	0.0120	0.01285	58.5	45.7	42.7	67.3	17.7	102.5
15.5	2.425	0.3880	6.338	28.2630	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.02680	58.5	45.7	42.7	67.3	17.7	102.5
15.5	2.425	0.3880	6.338	28.2630	0.425	1.55	0.013425	0.0075	0.00820	58.5	45.7	42.7	67.3	17.7	102.5

Relación biomasa-energía (WA); índice de área foliar máxima (DMLA); el índice de área foliar comienza a declinar (DLAI); altura de planta (HMX); primer punto de LAI de la curva de desarrollo óptimo (DLAP1); segundo punto de LAI de la curva de desarrollo óptimo (DLAP2).

**Cuadro 44. Valores resultantes del ajuste de los parámetros del pasto salado.**

Tratamiento	Parámetros del pasto <i>Distichlis spicata</i>										EPIC	Invernadero
	WA	DMLA	DLAI	DLAP1	DLAP2	HMX	RDMX	CNY	CKY	BK1	Biomasa (T/ha)	Biomasa (T/ha)
T4	32	3.9	0.85	6.34	28.26	0.425	1.55	0.013	0.008	0.013	1.718	1.721
T5	45	1.95	1.00	6.34	28.26	0.425	1.55	0.013	0.008	0.013	4.725	5.154
T6	45	3.9	0.85	6.34	28.26	0.425	1.55	0.013	0.008	0.013	4.731	6.549
T7	17.5	1.8	1.00	6.34	28.26	0.425	1.55	0.013	0.008	0.013	0.847	0.851
T8	45	3.9	0.85	6.34	28.26	0.425	1.55	0.013	0.008	0.013	2.819	2.846
T9	45	3.9	0.85	6.34	28.26	0.425	1.55	0.013	0.008	0.013	2.951	3.052

Los resultados obtenidos para biomasa, peso de raíces, eficiencia en el uso del agua, estrés por falta de agua, estrés por temperatura baja, estrés por falta de aire en las raíces, estrés por sales, evapotranspiración y el agua aplicada se muestran en el Cuadro 44. Lo primero que resalta en el cuadro es que las plantas para los diferentes tratamientos no presentan estrés por sales ni por falta de aire en las raíces. En relación a la variable de estrés por sales se deben de realizar más corridas del modelo para identificar el parámetro que tiene una relación directa con el contenido de sales del suelo y que se refleja en las variables de salida. También se observa que el tipo de suelo principalmente afectado es el de cobertura con *D. spicata* (T7, T8, T9), ya que, en promedio, presenta los valores mayores de estrés por falta de agua y estrés por falta de nitrógeno, así como los valores menores de biomasa, peso de raíces y eficiencia en el uso del agua. En contraste, el tipo de suelo con el que se tienen los mejores resultados es el de cobertura con *D. spicata* y *Or-deum*. Este suelo exhibe los valores mayores de biomasa, peso de raíces, eficiencia en el uso del agua y evapotranspiración, mientras que arroja el menor valor en estrés por falta de agua.

Todos los tratamientos para los dos tipos de suelo muestran el mismo valor de estrés por temperaturas bajas. Los resultados simulados de biomasa del pasto salado son muy parecidos a los reportados bajo condiciones de invernadero (Cuadro 43), solamente en el caso de los tratamientos T5 y T6 las diferencias son un tanto mayores, lo cual puede deberse a que la versión utilizada del modelo EPIC tiene limitado la aplicación de unidades de fertilizante de nitrógeno y no fue posible la aplicación efectiva de la cantidad total de este nutrimento aplicado.

**Cuadro 45. Resultados de la ejecución del modelo EPIC con los parámetros ajustados.**

Tratamiento	Biomasa (T/ha)	Peso de raíces (T/ha)	Eficiencia en uso del agua (kg/mm)	Estrés por agua (días)	Estrés por N (días)	Estrés por temp baja (días)	Estrés por aire (días)	Estrés por sales (días)	Evapotrans (mm)	Agua aplicada (mm)
T4	1.718	0.379	2.94	70.9	1.9	0.1	0	0	273.4	236.4
T5	4.725	1.243	5.91	11.5	0.0	0.1	0	0	453.3	442.0
T6	4.731	1.232	5.16	29.7	0.0	0.1	0	0	515.7	505.5
T7	0.847	0.198	2.32	62.7	0.0	0.1	0	0	181.7	159.5
T8	2.819	0.686	5.08	40.5	14.5	0.1	0	0	288.6	265.7
T9	2.951	0.741	5.47	41.4	8.2	0.1	0	0	290.0	268.3

Los resultados en el Cuadro 44 también muestran que los tratamientos del suelo con aplicaciones de estiércol de ovino se tienen mayores producciones de biomasa, después de las simulaciones con el modelo EPIC, que los suelos que no recibieron alguna aplicación de fertilizante, lo cual concuerda con lo obtenido a nivel de invernadero. Del mismo cuadro se deduce que mientras mayor cantidad de agua recibe el cultivo, mayor es la cantidad de agua evapotranspirada por el pasto salado.

#### **4.5 CONCLUSIONES**

Se observó que con el uso de modelos para simular el comportamiento de un pasto salado bajo condiciones de invernadero se pueden obtener resultados de forma rápida y confiable. Para lograr esto es necesario el empleo de datos precisos de las variables fisiológicas de la planta considerada.

Como resultado de la simulación con el modelo EPIC, se obtuvo una biomasa producida mayor para los tratamientos que recibieron una cantidad superior de estiércol de ovino, mientras que los valores menores de biomasa los presentaron los tratamientos que no se les aplicó estiércol.

#### **4.6 REFERENCIAS**

- Abdallaha Mohamed A. B., Ricardo Mata-Gonzalez, David W. Martinb, Ricardo Trejo-Calzadac y Jay S. Nollerd. 2017. Effects of surface and subsurface water application on nitrogen and sodium relations of desert graminoids of different geographic origin. *Arid Land Research and Management*. 31(1): 1-13
- Alshammary S.F., Hussain G., Qian Y.L. 2008. Response of four warm-season grasses to saline irrigation water under arid climate. *Asian Journal of Plant Sciences*. 7(7): 619-627.
- Baez-González, J.R. Kiniry, J.S. Padilla-Ramírez, G. Medina-García, J.L. Ramos-González and E.S. Osuna Ceja. 2015. Parameterization of ALMANAC crop simulation model for non-irrigated dry bean in semi-arid temperate areas in Mexico. *Interciencia*. 40 (3): 185-189.
- Bawazir A. Salim, Richard Luthy, J. Phillip King, Brent F. Tanzy y Juan Solis. 2014. Assessment of the crop coefficient for saltgrass under native riparian field conditions in the desert southwest. *Hydrological Process*. 28, 6163-6171.
- Beland Michael, Dar A. Roberts, Seth H. Peterson, Trent W. Biggs, Raymond F. Kokaly, Sarai Piazza, Keely L. Roth, Shruti Khanna, Susan L. Ustin. 2016. Mapping changing distribu-

- tions of dominant species in oil-contaminated salt marshes of Louisiana using imaging spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*, 182:192–207.
- Bolaños-Aguilar, E.D., Jean Claude Emile y Guuillaume Audebert. 2012. Rendimiento y Calidad de híbridos de Sorgo con y sin nevadura café. *Rev. Mex. Cienc. Agr.* 3(2): 441-449.
- Borrell A.K. and Hammer G.L. 2000. Nitrogen dynamics and the physiological basis of stay-green in sorghum. *Crop Sci.* 40: 1295-1307.
- Causarano, H.J.; Shaw, J.N.; Franzluebbbers, A.J.; Reeves, D.W.; Raper, L.R.; Balkcom, K.S.; Norfleet, M.L and Izaurrealde, R.C. 2007. Simulating field-scale soil organic carbon dynamics using EPIC. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 1174-1185.
- Collatz G. James, Miquel Ribas-Carbo y Joseph A. Berry. 1992. Coupled Photosynthesis-Stomatal Conductance Model for Leaves of C4 Plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 19(5):519-38. <https://doi.org/10.1071/PP9920519>.
- CONAGUA, 2005. Proyecto Lago de Texcoco. Rescate Hidro-ecológico CONAGUA-GRAVAMEX y SC-G L T. Edición Especial. IV Foro Mundial del Agua, 2006. México, D.F. 140 p.
- Farahani, H.J., Peterson, G.A. and Westfall, D.G. 1998. Dryland cropping intensification: A fundamental solution to efficient use of precipitation. *Advances in Agronomy* 64, 197-223.
- Flores L.H.E.; J.A. Ruiz, C., C. de la Mora, O.; P. Zarazúa-Villaseñor.; A.A. Chávez Duran., H. Ramírez Vega y M.A. Velásquez Valle. 2014. Aplicación del modelo EPIC para evaluar el efecto del cambio climático y prácticas de manejo sobre el rendimiento de grano de maíz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp. Núm. 10.* p. 2007-2020.
- Gyanedra, B.D., C.L. Campbell, S.K. LeDuc y E.J. Cooter. 1997. Maize growth: assessing the effects of global warming and CO2 fertilization with crop models. *Agric. For. Meteorol.* 87:253-272.
- Hartkamp, A.D., K. de Beurs, A. Stein y J.W. White. 1999. Interpolation techniques for climate variables. NRG-GIS Series 99-01. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F.
- Lee, J.J., D.L., Phillips y R.F. Dodson. 1996. Sensivity of the US Corn Belt to climate change and elevate CO2: II. Soil erosion and organic carbon. *Agric. Systems.* 52: 503-521.
- Licona-Santana, J.; M.R. Martínez-Menes, L.E. Mendoza-Onofre, B. Figueroa-Sandoval y D.S. Fernández-Reynoso. 2005. Uso del modelo EPIC para estimar rendimientos de maíz con base en variables fisiotécnicas en el Oriente del Estado de México. *Terra Latinoamericana* 24: 283-291.
- Oleschko, K.; B. Figueroa-Sandoval, G. Korvin, M. Martínez-Menes. 2004. Agroconometría: Una caja de herramientas para el diseño de una agricultura virtual. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo.* 1 (1): 53-71.
- Sharpley, A.N. y J.R. Williams. 1990. EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator. 1. Model Documentation. Technical Bulletin 1768. US Department of Agriculture. Washington, DC. USA.
- Steduto, P.; Fereres, E., Hsiao, T.C. and Raes, D. 2006. Yield Response to Water: The FAO revision framework and the crop-water productivity model AquaCrop. *Proceedings of International Symposium of Water and Land Management for Sustainable Irrigated Agriculture, 4-8. April. Cukurova, Universty, Adana Turkey* (CD-ROM).

- Tiscareño-López, M.; C. Izaurralde, N.J. Rosenberg, A.D. Báez González y J. Salinas García. 2003. Modeling El Niño Southern Oscillation climate impact on Mexican agriculture. *Geofísica Internacional* 42: 331-339.
- Villar-Sánchez, B.; J. López-Martínez, J. Pérez-Nieto y R. Camas-Gómez. 2002. Aplicación del modelo de simulación EPIC en la predicción del efecto de sistemas de labranza del suelo. *Terra Latinoamericana* 21: 381-388.
- Williams, J.R., P.T. Dyke, W.W. Fuchs, V.W. Benson, O.W. Rice y E.D. Taylor. 1990. EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator. 2. User Manual. Technical Bulletin 1768. US Department of Agriculture. Washington, DC. USA.

## CAPÍTULO V. Conclusiones generales

El desarrollo de *D. spicata* trasplantado en el suelo sin cobertura vegetal fue nulo ya que el contenido de sales contenidas es superior al umbral para esta especie. Sin embargo, se ha encontrado que este pasto es un pionero en la restauración de suelos estériles, que con la ayuda de los estolones va colonizando la zona.

El pasto *D. spicata* tuvo en general una producción favorable con el uso de estiércol sienta 40>20>0 ton/ha con suelo con *D. spicata* y *Ordeum original*> suelo con *D. spicata*. Con estos resultados se puede comprobar que el uso de estiércol ovino crudo como mejorador de suelos salinos tiene un gran potencial.

El suelo con *D. spicata* en desarrollo, tuvo una mayor cantidad de sales en su extracto (1:5 suelo-agua), lo que provoca que no se puedan desarrollar plantas con menos tolerancia a la salinidad, por lo que muchas investigaciones han llamado a este pasto como un pionero en la rehabilitación de suelos infértiles.

El uso de estiércol tuvo gran relevancia en la producción de biomasa, el área foliar y demás factores por lo que se considera un factor importante, la adición de materia orgánica en el suelo como amortiguador, a diferencia de la adición de fertilizantes minerales que pueden aumentar los problemas en campo.

No se observaron cambios en la salinidad del suelo en el lapso de tiempo analizado. Sin embargo, si se observaron las sales excretadas en cada uno de los tratamientos. El estiércol fue una buena fuente de nutrientes disponibles para la planta.

Se observó que con el uso de modelos para simular el comportamiento de un pasto salado bajo condiciones de invernadero se pueden obtener resultados de forma rápida y confiable. Para lograr

esto es necesario el empleo de datos precisos de las variables fisiológicas de la planta considerada.

Como resultado de la simulación con el modelo EPIC, se obtuvo una biomasa producida mayor para los tratamientos que recibieron una cantidad superior de estiércol de ovino, mientras que los valores menores de biomasa los presentaron los tratamientos que no se les aplicó alguna fertilización.