



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

RESPUESTA FISIOLÓGICA, BIOQUÍMICA Y MORFOLÓGICA DE
Salicornia bigelovii (Torr.), BAJO TRATAMIENTOS DE AGUAS
RESIDUALES DE CULTIVOS MARINOS Y FERTILIZACIÓN
ORGÁNICA.

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Agricultura Sustentable)

P r e s e n t a

Emilio García Galindo

La Paz, Baja California Sur, julio de 2023.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 11:30 horas del día 14 del Mes de Junio del 2023, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Respuesta fisiológica, bioquímica y morfológica de *Salicornia bigelovii* (Torr.), bajo tratamientos de aguas residuales de cultivos marinos y fertilización orgánica"

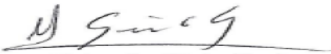
Presentada por el alumno:

Emilio García Galindo

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Agricultura Sustentable**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA



Dra. Alejandra Nieto Garibay
Co-Directora de Tesis



Dr. Enrique Troyo Diéguez
Co-Director de Tesis



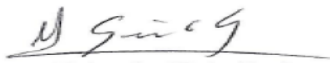
Dr. Gregorio Lucero Vega
Co-Tutor de Tesis



Dr. Bernardo Murillo Amador
Co-Tutor de Tesis



Dr. Héctor Cirilo Fraga Palomino
Co-Tutor de Tesis



Dra. Alejandra Nieto Garibay,
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos



La Paz, Baja California Sur, a 14 de junio de 2023.

Los miembros del comité de tesis del (la) estudiante EMILIO GARCÍA GALINDO del Programa de Doctorado en Uso, Manejo y Preservación de Recursos Naturales, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:
iThenticate
- Filtros utilizados:
Bibliografía excluida
- Porcentajes de similitud:
17%
Se muestra captura de
pantalla

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	cibnor.repositorioinstitucional.mx Internet	1022 palabras — 4%
2	hdl.handle.net Internet	265 palabras — 1%
3	www.revista.cbba.uady.mx Internet	242 palabras — 1%
4	www.researchgate.net Internet	180 palabras — 1%
5	colposdigital.colpos.mx:8080 Internet	167 palabras — 1%
6	dspace.cibnor.mx:8080 Internet	148 palabras — 1%
7	www.scielo.org.mx Internet	136 palabras — 1%
11	Kopf, R. K., P. S. Davie, D. B. Bromhead, and J. W. Young. "Reproductive biology and	72 palabras — < 1%

Firmas del Comité


Dra. Alejandra Nieto Garibay


Dr. Enrique Troyo Diéguez


Dr. Bernardo Murillo Amador


Dr. Héctor Cirilo Fraga Palomino


Dr. Gregorio Lucero Vega

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dra. Alejandra Nieto Garibay
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Directora de tesis

Dr. Enrique Troyo Diéguez
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Director de tesis

Dr. Bernardo Murillo Amador
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Tutor de Tesis

Dr. Héctor Cirilo Fraga Palomino
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Tutor de Tesis

Dr. Gregorio Lucero Vega
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Co-Tutor de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dra. Alejandra Nieto Garibay
Dr. Enrique Troyo Diéguez
Dr. Bernardo Murillo Amador
Dr. Héctor Cirilo Fraga Palomino
Dr. Gregorio Lucero Vega

Jurado de Examen

Dra. Alejandra Nieto Garibay
Dr. Enrique Troyo Diéguez
Dr. Bernardo Murillo Amador
Dr. Héctor Cirilo Fraga Palomino
Dr. Gregorio Lucero Vega

Suplentes

Dra. Ana Gisela Reyes Alvarado
Dr. Luis Hernández Adame

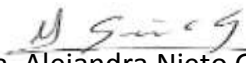
Resumen

La península de Baja California se encuentra entre los estados más áridos de nuestro país. En esta región, el desarrollo de actividades agrícolas depende de aguas subterráneas que debido a la sobreexplotación y/o aplicación excesiva de fertilizantes sintéticos presentan problemas de salinidad. La búsqueda de alternativas que permitan maximizar el uso de recursos hídricos cobra relevancia ante tal situación. *Salicornia bigelovii* es una planta halófila de interés comercial que se distribuye naturalmente en las costas de la península de Baja California. En su etapa adulta es considerada una de las plantas halófitas de mayor tolerancia a la salinidad, sin embargo, es susceptible a este factor en las etapas de germinación y plántula, que se refleja en bajos porcentajes de germinación y alta mortalidad. Ante lo anterior, el uso de fertilizantes orgánicos ha mostrado efectos positivos en distintos cultivos ante ambientes salinos en ambas etapas fenológicas. Para el presente estudio, se evaluó el efecto de lixiviados de lombriz (Lvc) y de frass de larva de mosca soldado (LF) en las etapas de germinación y plántula en condiciones de laboratorio; la aplicación de té de lombricomposta (TLvc) y de frass de larva de mosca soldado (TF) durante las etapas de desarrollo vegetativo en un sistema hidropónico bajo condiciones de campo abierto, irrigados con agua de mar (AM) y agua residual de un cultivo de jurel (AR). Para la evaluación de los datos obtenidos, se aplicaron análisis de varianza y pruebas post hoc Tukey HSD para determinación de diferencias entre los tratamientos. Los índices de germinación, porcentaje total de germinación (PG) e índice de tasa de germinación (ITG) disminuyeron en las semillas tratadas con AM y AR e incrementaron el tiempo medio de germinación (TMG), sin embargo, se observó el incremento en PG e ITG y la disminución de TMG con la adición de Lvc y LF. Las variables de respuesta de relaciones hídricas evidenciaron el desarrollo del ajuste osmótico como estrategia ante el estrés salino al mantener niveles altos en el contenido relativo de agua (CRA), producto de mantener bajos niveles de potencial osmótico (Ψ_s), en todas etapas fenológicas evaluadas. Los resultados en el análisis mineral foliar en la etapa de desarrollo vegetativo, mostraron un aumento significativo en el contenido de sodio (Na^+) y disminución en el contenido de potasio (K^+) y calcio (Ca^{2+}) en las plantas sometidas a los tratamientos AM y AR. La concentración de pigmentos fotosintéticos (clorofila a, b y totales) disminuye ante el incremento en la salinidad. Las variables de respuesta morfométricas mostraron una disminución significativa en los tratamientos AM y AR, sin embargo, incrementaron ante la presencia de Lvc y LF en la etapa de plántula y TLvc y TF en la etapa de desarrollo vegetativo. Se concluye que la adición de los fertilizantes orgánicos utilizados en la presente investigación reduce parcialmente los daños provocados por el estrés salino al mejorar la germinación y favorecer el crecimiento de *S. bigelovii* en las etapas de plántula y desarrollo vegetativo. Asimismo, el desarrollo del ajuste osmótico pareciera ser una estrategia inherente a la especie independiente de la aportación de los fertilizantes orgánicos utilizados.

Palabras clave: *Salicornia bigelovii*, frass de larva de mosca soldado, estrés salino, germinación.

ORCID: 0000-0001-5947-2641

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis


Dra. Alejandra Nieto Garibay


Dr. Enrique Troyo Diéguez

Summary

The Baja California peninsula is among the most arid states in our country. In this region, the development of agricultural activities depends on groundwater that due to overexploitation and/or excessive application of synthetic fertilizers present salinity problems. The search for alternatives that allow maximizing the use of water resources becomes relevant in this situation. *Salicornia bigelovii* is a halophyte plant of commercial interest and distributed along the coasts of the Baja California peninsula. During its adult stage it is considered one of the most tolerant halophyte plants, however, in its germination and seedling stages, it is susceptible to salinity, which is reflected in low germination percentages and high mortality. The use of organic fertilizers has shown positive effects on different crops in saline environments in both phenological stages. For the present study, the effect of earthworm leachates (Lvc) and black soldier fly larva frass (LF) on the germination and seedling stages under laboratory conditions was evaluated; the application of vermicompost tea (TLvc) and soldier fly larva frass (TF) during the vegetative development stages in a hydroponic system under open field conditions, irrigated with seawater (AM) and residual water from an amberjack culture (AR). An ANOVA and post hoc Tukey HSD tests were applied for data analysis. The germination indices, total germination percentage (PG) and germination rate index (ITG) decreased in the seeds treated with AM and AR and increased the mean germination time (TMG), however, an increase in PG was observed and ITG and the decrease of TMG with the addition of Lvc and LF. The water relation variables showed the development of osmotic adjustment as a strategy against saline stress by maintaining high levels in the relative water content (CRA), product of maintaining low levels of osmotic potential (Ψ_s), in all evaluated phenological stages. The results in the foliar mineral analysis in the vegetative development stage, showed a significant increase in the sodium (Na⁺) content and a decrease in the potassium (K⁺) and calcium (Ca²⁺) content in the plants subjected to the AM and AR. The concentration of photosynthetic pigments (chlorophyll a, b and total) decreases with the increase in salinity. The morphometric response variables showed a significant decrease in the AM and AR treatments; however, they increased in the presence of Lvc and LF in the seedling stage and TLvc and TF in the vegetative development stage. It is concluded that the addition of organic fertilizers used in this research partially reduces the damage caused by saline stress by improving germination and favoring the growth of *S. bigelovii* in the seedling and vegetative development stages. Also, the development of osmotic adjustment seems to be a strategy inherent to the species, independent of the contribution of the organic fertilizers used.

Key words: *Salicornia bigelovii*, black soldier fly larva frass, saline stress, germination.

ORCID: 0000-0001-5947-2641

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis


Dra. Alejandra Nieto Garibay


Dr. Enrique Troyo Diéguez

Dedicatoria

A Esmeralda por el amor y la paciencia durante esta aventura.

A Alejandra por el apoyo incondicional en los momentos complicados.

A Liliana, Eva y Arturo por acompañarme a la distancia en este proceso.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada No. 2021920049 para la realización de mis estudios de Doctorado. Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. por facilitarme sus instalaciones y personal para la culminación de mi proyecto de tesis doctoral.

A mis Co-Directores, Dra. Alejandra Nieto Garibay y Dr. Enrique Troyo Diéguez, a mis Co-Tutores, Dr. Bernardo Murillo Amador, Dr. Héctor Fraga Palomino y Dr. Gregorio Lucero Vega, por su apoyo incondicional, observaciones y consejos.

Al personal de Posgrado, Dra. Alejandra Nieto Garibay, Directora de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos, a Adriana Teresa Franzoni García, Asistente de la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos, a la Lic. Osvelia Ibarra Morales, Jefa del Departamento de Control Escolar, a Tania Verónica Núñez Valdez, Asistente del Departamento de Control Escolar, a la Lic. Raquel Emilia Herrera Vega, Jefa del Departamento de Becas y Apoyo Estudiantil y al Lic. Horacio Sandoval Gómez, Responsable del Laboratorio de Cómputo y de Contenido de la Página Web de Posgrado, por las facilidades y amabilidad brindada durante el desarrollo de mis actividades académicas.

Al personal del campo agrícola experimental, Ingeniero agrónomo Saúl Edel Briseño Ruiz, técnicos José Raymundo Ceseña, Adrián Jordán Castro y Pedro Luna García, por su paciencia, sugerencias y apoyo durante mi etapa de experimentación.

Al personal del Laboratorio de Fisiotecnia Vegetal, Dra. María del Carmen Mercado Guido y Lic. Lidia Hiraes Lucero por la capacitación en el uso de los equipos, asesoría y apoyo durante mi etapa de experimentación.

Al personal de la biblioteca, Lic. Ana María Talamantes Cota, Responsable de la Biblioteca “Dr. Daniel Lluch Belda”, a la Lic. María Esther Ojeda Castro, Responsable de Servicios de Información Especializada, a Elizabeth Guadalupe Sánchez Vázquez, Responsable del Desarrollo

de Colecciones y Procesos Técnicos y a Susana Luna García, Responsable de Servicios al Público, por su amabilidad y disposición en la búsqueda de artículos científicos y libros que contribuyeron a la realización de mi trabajo de tesis.

Al personal del Laboratorio de Edafología, M.C. Manuel Salvador Trasviña Castro y la I.B.Q. Myriam Lizzeth Hernández de Haro por su apoyo, guía y capacitación durante mi etapa experimental.

Al personal del Laboratorio de Bioquímica Fisiológica, M.C. Roberto Hernández Herrera por la capacitación y permitirme el uso de sus equipos.

Al personal del Laboratorio de Análisis Químico de Aguas, la Responsable Técnico Celina Beltrán Camacho, por su asesoramiento durante el análisis de mis tratamientos.

Al personal del Laboratorio de Espectrofotometría de Absorción Atómica, Ing. Francisca Griselda Peña Armenta y Q.B. Emerson Carlo Zúñiga Mayoral por las facilidades otorgadas en el uso del equipo de y capacitación en las técnicas para el análisis mineral de mis tratamientos.

Al personal de limpieza, transporte y seguridad por crear un ambiente confortable en las instalaciones del CIBNOR.

Muchas gracias a todos.

Contenido	
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	vi
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xi
Abreviaturas	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Fisiología de estrés o agobio en las plantas	3
2.1.1 Importancia del estudio del estrés en plantas	3
2.1.2 Estrés salino y su efecto en la fisiología de las plantas.....	4
2.2 Plantas halófitas	5
2.2.1 Irrigación de cultivos halófitos con efluentes de cultivos marinos	6
2.3 <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.).....	7
2.3.1 Manejo agronómico de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.)	11
2.4 Vermicomposta, lixiviados de vermicomposta y estrés salino	11
2.5 Larva de mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>) como alternativa para el manejo de residuos orgánicos y producción de fertilizantes orgánicos.....	14
2.6 Tratamientos de pre-germinación.....	16
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. HIPÓTESIS	20
5. OBJETIVOS	21
5.1 Objetivo general	21
5.2 Objetivos particulares.....	21
6. MATERIAL Y MÉTODOS	22
6.1 Experimento I: Evaluación de la aplicación por vía directa de fertilizantes orgánicos en etapa de germinación y plántula.....	22
6.1.1 Área de estudio	22
6.1.2 Material vegetal	22
6.1.3 Establecimiento y condiciones experimentales	23
6.1.4 Diseño experimental y nomenclatura de tratamientos	23
6.1.5 Origen y obtención de tratamientos	25
6.1.6 Análisis de los tratamientos.....	25
6.1.7 Variables de respuesta del Experimento I	26
6.1.7.1 Índices de germinación	26
6.1.7.1.1 Porcentaje total de germinación	26
6.1.7.1.2 Índice de tasa de germinación.....	27
6.1.7.1.3 Tiempo medio de germinación.....	27
6.1.7.2 Variables de relaciones hídricas.....	27
6.1.7.2.1 Potencial hídrico	27
6.1.7.2.2 Contenido relativo de agua	28
6.1.7.2.3 Potencial osmótico	28

6.1.7.3 Variables morfológicas.....	29
6.1.7.3.1 Biomasa fresca y seca total	29
6.2 Experimento II: Evaluación de la aplicación de fertilizantes orgánicos a través de tratamientos de pre-germinación en etapa de germinación y plántula	29
6.2.1 Área de estudio	29
6.2.2 Material vegetal	29
6.2.3 Establecimiento y condiciones experimentales	30
6.2.4 Diseño experimental y nomenclatura de tratamientos	30
6.2.5 Origen y obtención de tratamientos de fertilización.....	32
6.2.6 Análisis de los tratamientos.....	32
6.2.7 Variables de respuesta del Experimento II	33
6.2.7.1 Índices de germinación	33
6.2.7.1.1 Porcentaje total de germinación	33
6.2.7.1.2 Índice de tasa de germinación.....	34
6.2.7.1.3 Tiempo medio de germinación.....	34
6.1.7.2 Variables de relaciones hídricas.....	34
6.2.7.2.1 Potencial hídrico	34
6.2.7.2.2 Contenido relativo de agua	35
6.2.7.2.3 Potencial osmótico	35
6.1.7.3 Variables morfológicas.....	36
6.1.7.3.1 Biomasa fresca y seca total	36
6.3 Experimento III: Aplicación fertilizantes orgánicos en dilución con distintas fuentes de riego durante la etapa de plántula y desarrollo vegetativo de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.).....	36
6.3.1 Área de estudio	36
6.3.2 Material vegetal	36
6.3.3 Establecimiento y condiciones experimentales	36
6.3.4 Siembra y germinación de las semillas	38
6.3.5 Trasplante y proceso de aclimatación al incremento de salinidad	39
6.3.6 Diseño experimental y nomenclatura de tratamientos	41
6.3.7 Origen y producción de fertilizantes orgánicos	42
6.3.7.1 Análisis de tratamientos.....	43
6.3.7.2 Aplicación de fertilizantes orgánicos.....	44
6.3.8 Manejo del sistema de riego.....	44
6.3.9 Variables de respuesta del Experimento III	45
6.3.9.1 Variables de relaciones hídricas.....	45
6.3.9.1.1 Potencial hídrico	45
6.3.9.1.2 Potencial osmótico	45
6.3.9.2 Variables bioquímicas	46
6.3.9.2.1 Contenido de clorofila	46
6.3.9.2.2 Contenido mineral	46
6.3.9.2.3 Variables morfológicas	48
6.4 Análisis estadísticos	49
7. RESULTADOS	50
7.1 Resultados de los experimentos I y II	50

7.1.1 Caracterización de variables fisicoquímicas de los tratamientos de riego y fertilización	50
7.1.2 Experimento I y II: Índices de germinación.....	51
7.1.2.1 Porcentaje total de germinación.....	51
7.1.2.2 Índice de tasa de germinación	53
7.1.2.3 Tiempo medio de germinación	54
7.1.3 Experimento I y II: Relaciones hídricas	54
7.1.3.1 Potencial hídrico.....	54
7.1.3.2 Contenido Relativo de Agua.....	55
7.1.3.3 Potencial osmótico.....	56
7.1.4 Experimento I y II: Morfometría	57
7.1.4.1 Biomasa fresca y seca total	57
7.2 Resultados del experimento III.....	58
7.2.1 Caracterización de variables fisicoquímicas de los tratamientos de riego y fertilización	58
7.2.2 Relaciones hídricas.....	60
7.2.2.1 Potencial hídrico.....	60
7.2.2.2 Potencial osmótico	61
7.2.2.3 Contenido Relativo de Agua.....	62
7.2.3 Variables bioquímicas	63
7.2.3.1 Pigmentos fotosintéticos	63
7.2.4 Contenido mineral	64
7.2.5 Variables morfométricas.....	65
7.2.6 Consumo de agua y monitoreo de condiciones ambientales.....	68
8. DISCUSIÓN	70
8.1 Efecto de los tratamientos de riego y fertilización orgánica en la etapa de germinación y plántula.....	70
8.1.1 Índices de germinación	70
8.1.2 Relaciones hídricas.....	71
8.1.3 Morfometría.....	73
8.2 Efecto de los tratamientos de riego y fertilización orgánica en la etapa de desarrollo vegetativo	74
8.2.1 Relaciones hídricas.....	74
8.2.2 Pigmentos fotosintéticos	75
8.2.3 Contenido mineral	76
8.2.4 Morfometría.....	77
9. CONCLUSIONES.....	79
10. LITERATURA CITADA.....	80
11. ANEXOS.....	91
Anexo A.- Artículo publicado.- Germination of <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.) under Shrimp Culture Effluents and the Application of Vermicompost Leachate for Mitigating Salt Stress.....	91
Anexo B.-Artículo sometido.- LOS FERTILIZANTES NATURALES LIXIVIADOS DE LOMBRIZ Y FRASS MEJORAN LA GERMINACIÓN DE LA HALÓFITA COSTERA <i>Salicornia bigelovii</i> Torr.: Fertilizantes naturales en la germinación de <i>Salicornia bigelovii</i>	106

Lista de figuras

Figura 1. Fotografía de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.), en etapa de desarrollo vegetativo.	9
Figura 2. Imagen de adulto de mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>).....	15
Figura 3. a: Recolección de plantas maduras de <i>S. bigelovii</i> (Torr.); b: exposición al sol de plantas maduras de <i>S. bigelovii</i> ; c: separación de las semillas del material vegetal; d: separación de semillas maduras del material vegetal.....	23
Figura 4. Cajas Petri con semillas de <i>S. bigelovii</i> (Torr.) colocadas en cámara de germinación....	23
Figura 5. Proyección de la radícula de <i>S. bigelovii</i> (Torr.).....	26
Figura 6. Muestra compuesta de plántulas de <i>S. bigelovii</i> para la determinación de potencial hídrico.....	27
Figura 7. Cajas Petri con semillas de <i>S. bigelovii</i> preparadas para evaluación de índices de germinación.....	30
Figura 8. a: Semillas de <i>S. bigelovii</i> (Torr.), bajo tratamientos de pre-germinación con lixiviados de lombriz; b: Aplicación de lixiviados de frass en semillas de <i>S. bigelovii</i> (Torr.) como tratamiento de pre-germinación	31
Figura 9. Proyección de la radícula de <i>S. bigelovii</i> (Torr.).....	33
Figura 10. Muestra compuesta de plántulas de <i>S. bigelovii</i> para la determinación de potencial hídrico.....	34
Figura 11. izquierda: mesas utilizadas para el experimento; centro: mesas con las tablas fijadas en el perímetro; derecha: revestimiento de las mesas con geomembrana.....	37
Figura 12. Establecimiento de mesas simuladoras de marismas automatizadas para el experimento III	37
Figura 13: Área de siembra de semillas de <i>S. bigelovii</i> (Torr.).....	38
Figura 14. Germinación de semillas de <i>S. bigelovii</i> (Torr.) en condiciones de campo	39
Figura 15. Trasplante de plántulas de <i>S. bigelovii</i> (Torr.) en condiciones de campo	40
Figura 16. Distribución de plántulas de <i>S. bigelovii</i> bajo condiciones de campo abierto	42
Figura 17. Proceso de producción y almacenamiento de té de lombricomposta y frass de larva de mosca soldado.....	43
Figura 18. Proceso de pesado de muestras deshidratadas de <i>S. bigelovii</i> (izquierda); Proceso de digestión de muestras de tejido vegetal de <i>S. bigelovii</i> en plancha caliente (derecha).....	47
Figura 19. Proceso de medición de cobertura vegetal (CV) en plantas adultas de <i>S. bigelovii</i> (izquierda); Proceso de medición de grosor del tallo (GT) en planta de <i>S. bigelovii</i> (derecha). ...	49
Figura 20. Germinación de semillas de <i>Salicornia bigelovii</i> sometidas a distintos tratamientos de fuente de riego y fertilizantes de origen natural.	54
Figura 21. Valores de potencial hídrico en plántulas de <i>Salicornia bigelovii</i> bajo distintas fuentes de riego y fertilización orgánica. Literales diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).	55
Figura 22. Valores de Contenido Relativo de Agua (CRA) en plántulas de <i>Salicornia bigelovii</i> bajo distintas fuentes de riego y fertilización orgánica. Literales diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).	56
Figura 23. Valores de potencial osmótico de plántulas de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos. Literales diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).....	57

Figura 24. Valores de biomasa total fresca (izquierda) y biomasa total seca (derecha) de plántulas de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos. Literales diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).....	58
Figura 25. Valores de potencial hídrico de plantas maduras de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos. Literales diferentes denotan diferencias estadísticas Tukey HSD ($p \leq 0.05$).	61
Figura 26. Valores de potencial osmótico de plantas maduras de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos. Literales diferentes denotan diferencias estadísticas Tukey HSD ($p \leq 0.05$).	62
Figura 27. Valores de Contenido Relativo de Agua de plantas maduras de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos. Literales diferentes denotan diferencias estadísticas Tukey HSD ($p \leq 0.05$).	63
Figura 28. Valores de biomasa fresca total del experimento (BF-E) y la biomasa seca total del experimento (BS-E) de plantas maduras de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos.	68
Figura 29. Temperatura ambiental y consumo de agua dulce de los tratamientos.....	69

Lista de tablas

Tabla 1. Mecanismos de respuesta al estrés por salinidad de algunas especies halófitas.	5
Tabla 2. Publicaciones del uso de agua residual de acuicultura para irrigación de especies halófitas.	7
Tabla 3. Propiedades de semillas de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.).....	9
Tabla 4. Propiedades de plantas de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.).....	10
Tabla 5. Efecto de la aplicación de vermicomposta en la mitigación del estrés por salinidad en distintos cultivos.....	13
Tabla 6. Efecto de la aplicación de lixiviados de vermicomposta en la mitigación del estrés por salinidad en distintos cultivos.	13
Tabla 7. Uso de frass de larva de mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>), como fertilizante orgánico.	16
Tabla 8. Clasificación de tratamientos de pre-germinación.	18
Tabla 9. Descripción de diseño experimental.	24
Tabla 10. Descripción y nomenclatura de tratamientos.....	24
Tabla 11. Análisis químicos de los tratamientos utilizados en el experimento.....	26
Tabla 12. Descripción de diseño experimental.....	31
Tabla 13. Descripción y nomenclatura de tratamientos.....	32
Tabla 14. Análisis químicos de los tratamientos utilizados en el experimento.....	33
Tabla 15. Horario de los eventos de riego durante la etapa de germinación de semillas de <i>S. bigelovii</i> (Torr.)	39
Tabla 16. Período de aclimatación con diluciones de agua de mar y residual en plántulas de <i>S. bigelovii</i> (Torr.)	40
Tabla 17. Descripción de diseño experimental.....	41
Tabla 18. Descripción y nomenclatura de tratamientos.....	41
Tabla 19. Análisis químicos de los tratamientos utilizados en el experimento.....	43
Tabla 20. Evento y fechas de fertilización.....	44
Tabla 21. Intervalos de C.E. en los tratamientos de riego	44
Tabla 22. Minerales cuantificados en plantas adultas de <i>Salicornia bigelovii</i>	47
Tabla 23. Variables morfométricas evaluadas en plantas adultas de <i>Salicornia bigelovii</i>	48
Tabla 24. Caracterización de tratamientos de fuente de riego y fertilización.	51
Tabla 25. Prueba de Tukey HSD ($p \leq 0.05$) de diferentes índices de germinación de semillas de <i>Salicornia bigelovii</i> Torr.	52
Tabla 26. Caracterización de tratamientos de fuente de riego y fertilización.	60
Tabla 27. Contenido de pigmentos fotosintéticos en plantas adultas de <i>Salicornia bigelovii</i> sometidas a distintas fuentes de riego y fertilización orgánica.....	64
Tabla 28. Caracterización de tratamientos de fuente de riego y fertilización.	65
Tabla 29. Variables morfométricas de tratamientos de fuente de riego y fertilización.	66
Tabla 30. Variables de producción de biomasa tratamientos de fuente de riego y fertilización..	67
Tabla 31. Consumo de agua dulce de los tratamientos.....	69

Abreviaturas

AC	Agua corriente del campo agrícola experimental
AD	Agua destilada
AM	Agua de mar
ANOVA	Análisis de varianza
AP	Altura total de la planta
AR	Agua residual
BF	Biomasa total fresca
BS	Biomasa seca total
C.E.	Conductividad eléctrica
Ca ²⁺	Contenido de calcio total
CIBNOR	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Chl a	Contenido de clorofila a
Chl b	Contenido de clorofila b
Chl total	Contenido de clorofila total
CRA	Contenido Relativo de Agua
CV	Cobertura vegetal
dS/m	Decisiemens por metro
ERO	Especies Reactivas de Oxígeno
F	Frass de larva de mosca soldado
GT	Grosor del tallo
IG	Índices de germinación
ITG	Índice de tasa de germinación
K ⁺	Potasio total
LR	Longitud de raíz
Lvc	Lixiviados de lombriz
Mg ²⁺	Magnesio total
MPa	Megapascales
NH ₄	Amonio
NO ₃ ⁻	Nitratos
P	Fósforo total
PG	Porcentaje total de germinación
pH	Potencial de hidrógeno
RS	Número de ramificaciones secundarias
TMG	Tiempo medio de germinación
Ψ _s	Potencial osmótico
Ψ _w	Potencial hídrico

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas halófitas son todas aquellas especies que, a través de una serie de adaptaciones morfológicas y fisiológicas, logran desarrollar sus ciclos de vida en ambientes salinos (Flowers y Colmer, 2008). Ante la creciente preocupación por el incremento de la salinización de suelos y fuentes de agua destinados a actividades agrícolas a nivel mundial (Ventura y Sagi, 2013), este tipo de especies vegetales genera un genuino interés ante la posibilidad de utilizar suelos salinos para su explotación comercial (Rabhi *et al.*, 2008), así como agua de mar (Bianciotto *et al.*, 2021), agua de pozos salinizados (Ozturk *et al.*, 2019) o agua residual de cultivos marinos como fuentes de irrigación (Buhmann y Papenbrock, 2013).

De acuerdo con datos de la FAO (2014), para el año 2030, aproximadamente 62% del pescado consumido a nivel mundial provendrá de granjas acuícolas, lo cual representa retos diversos, entre los que destaca una eventual contaminación causada por un manejo inadecuado de aguas residuales derivadas de la acuicultura. Lo anterior obedece a la gran cantidad de fósforo y nitrógeno en formas asimilables que puede generar fenómenos de eutrofización y florecimientos algales que favorezcan condiciones de anoxia si son liberados a los océanos sin ningún tipo de filtrado, repercutiendo en la salud del medio marino (Buhmann y Papenbrock, 2013). Ante esta situación, el desarrollo de biofiltros en donde interviene el uso de plantas halófitas se ha manejado como una alternativa a esta problemática (Buhmann *et al.*, 2015). Las especies de plantas halófitas que componen el género *Salicornia* han sido utilizadas para dicho objetivo (Shpigel *et al.*, 2013).

Salicornia bigelovii (Torr) es considerada como una de las plantas halófitas con mayor tolerancia a la salinidad durante su etapa adulta (Mahmoud *et al.*, 2016), sin embargo, es susceptible a este factor durante las etapas de germinación y plántula, lo que se refleja en bajos porcentajes de germinación, plántulas con poco vigor y/o alta mortalidad (García-Galindo *et al.*, 2021). Ante esto, el uso de algunos fertilizantes orgánicos ha atenuado los efectos dañinos producidos por la salinidad en diversos cultivos durante las etapas mencionadas y a lo largo de su ciclo de vida (Beykkhormizi *et al.*, 2018).

Entre los fertilizantes orgánicos utilizados en agricultura destaca la lombricomposta, la cual, se obtiene a partir de la bioconversión de residuos orgánicos de origen vegetal generada por la acción combinada entre microorganismos y la cría de distintas especies de lombrices de tierra, principalmente la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) (Aremu *et al.*, 2015). Otro fertilizante orgánico menos común es el frass, el cual se obtiene a partir de la crianza de la larva de la mosca soldado (*Hermetia illucens*); mediante su manejo es posible transformar residuos de origen vegetal, cárnicos, lácteos y grasas (Tan *et al.*, 2021).

La lombricomposta y el frass son fertilizantes sólidos constituidos por las eyecciones de las lombrices y las larvas, respectivamente. Sin embargo, es posible obtener fertilizantes líquidos a partir de ambos, incluyendo los lixiviados de lombriz (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008), lixiviados frass de larva de mosca soldado (Green y Popa, 2012), té de lombricomposta (Pant *et al.*, 2013) o “té” de frass de larva de mosca soldado (Romano *et al.*, 2023). Diversos estudios han mostrado efectos positivos con la aplicación de lixiviados de lombriz como agentes atenuantes del estrés salino en las etapas de germinación y plántula de distintos cultivos (Benazzouk *et al.*, 2019), y particularmente en *S. bigelovii* (García-Galindo *et al.*, 2021). Sin embargo, según nuestra revisión de literatura, el uso de algún fertilizante en forma líquida derivada de frass de larva de mosca soldado en cualquiera de las etapas de desarrollo de *S. bigelovii* no ha sido reportado.

Bajo el contexto anterior, el presente estudio tiene por objetivos evaluar lixiviados de lombriz y de frass de larva de mosca soldado como agentes atenuantes del estrés salino producido con la aplicación de agua de mar y agua residual de un cultivo de peces marinos en las etapas de germinación y plántula, bajo condiciones de laboratorio. Asimismo, evaluar los productos té de lombricomposta y de frass de larva de mosca soldado como agentes atenuantes del estrés salino por la aplicación de las mismas fuentes de riego, en un cultivo de *S. bigelovii* bajo condiciones de campo a cielo abierto, durante la etapa de desarrollo vegetativo, analizando parámetros morfológicos, fisiológicos y bioquímicos como variables de respuesta en ambos objetivos.

2. ANTECEDENTES

2.1 Fisiología de estrés o agobio en las plantas

El estrés se presenta en cualquier organismo cuando es sometido a condiciones significativamente distintas a las óptimas para su desarrollo. Dichos requerimientos óptimos dependen de cada especie, además de que existen etapas del desarrollo en los cuales pueden reflejar mayor o menor susceptibilidad a un determinado tipo de estrés (Valladares *et al.*, 2014).

De acuerdo con Azcón-Bieto y Talón (2008) el estrés se clasifica en dos tipos de factores:

Factores bióticos: causados por la acción de otros seres vivos, incluyendo animales, microorganismos (hongos, bacterias), además de otros agentes fitopatógenos como los virus y fitoplasmas.

Factores abióticos: causados por exceso o falta de humedad, altas y bajas temperaturas y/o irradiación, toxicidad por metales pesados, exceso de sales, entre otros.

Las plantas pueden manifestar en su fenotipo los efectos negativos causados por algún factor de estrés al presentar deformaciones en sus hojas, amarillamiento, manchas, necrosis, marchitamiento, caída foliar y otras señales. Sin embargo, se requieren técnicas especializadas para la detección de efectos menos obvios como baja asimilación enzimática, cambios en la composición química, inducción a transmisión o modificación de genes, entre otros (Basurto-Sotelo *et al.*, 2008).

2.1.1 Importancia del estudio del estrés en plantas

Existen diversas razones para profundizar en el conocimiento de los mecanismos y respuestas que emplean las plantas ante distintos factores de estrés.

Desde un punto de vista ecológico, permite comprender su distribución en diferentes ecosistemas. Desde la óptica de la agronomía, conocer las respuestas y mecanismos adaptativos para contrarrestar los efectos relacionados a factores estresantes, permite establecer umbrales mínimos y máximos de tolerancia a los mismos en cada especie, para generar estrategias de manejo y con ello optimizar su rendimiento. Por otro lado, en años recientes con dicho

conocimiento se construyen modelos predictivos ante los posibles efectos que del cambio climático en los diferentes cultivos (Tambussi, 2004; Montouli-Vidal, 2010; Yan *et al.*, 2013).

2.1.2 Estrés salino y su efecto en la fisiología de las plantas

Hasegawa *et al.* (2000) explicaron que las afectaciones provocadas por el estrés salino responden a una combinación entre los efectos del estrés hídrico, toxicidad iónica, perturbación mineral y estrés oxidativo. En este sentido, de acuerdo con Madueño-Molina *et al.* (2006) las sales sódicas, en particular el cloruro de sodio (NaCl), son las que causan mayores daños a los cultivos, siendo las más comunes.

El sodio (Na) posee una alta capacidad higroscópica, característica que le confiere la facilidad de enlazarse con las moléculas de agua del suelo, por ende, al presentarse un exceso de dichas sales, los valores de potencial hídrico del suelo llegar a ser inferiores a los del interior de las células de las raíces, produciéndose un estado de sequía fisiológica. Lo anterior ocasiona que la planta no pueda absorber agua con facilidad, aun cuando la misma se encuentre disponible (Argente *et al.*, 2006).

A nivel metabólico, el exceso de sodio está asociado con perturbaciones en la estabilidad de la membrana celular, toda vez que compite con los sitios de inserción del calcio (Ca²⁺), alterando la permeabilidad de esta, ocasionando la salida de iones potasio (K⁺), los cuales ejercen distintas funciones vitales a nivel celular. Dichas funciones incluyen la activación de distintas enzimas, participación en la síntesis de proteínas, intervención en procesos fotosintéticos, intervención en los mecanismos de osmorregulación y movimiento estomático y otras. (Dood *et al.*, 2010; Marschner, 2012).

En el caso del cloro (Cl⁻), su absorción es requerida para desarrollar distintas funciones para el crecimiento de las plantas, sin embargo, su concentración en exceso puede provocar quemaduras en el área foliar, causar efectos negativos en el proceso de fotosíntesis e inhibir la absorción de nitratos (Villa-Castorena *et al.*, 2006).

2.2 Plantas halófitas

La mayoría de los cultivos son incapaces de crecer y desarrollarse en medios con altos niveles de salinidad y se clasifican como glicófitas (Xiong y Zhu, 2002). Por el contrario, existen especies que son capaces de desarrollar su ciclo de vida en ambientes con altos niveles de salinidad (concentraciones mayores de 200 mM de NaCl). Este tipo de especies son conocidas como halófitas (Flowers *et al.*, 1986; Flowers y Colmer, 2008; Munns y Tester, 2008). De acuerdo con Nikalje *et al.* (2017), las especies que corresponden a dicha clasificación son subdivididas de la siguiente manera:

- Halófitas obligadas: Aquellas especies que requieren el suministro constante de sales para lograr un óptimo desarrollo.
- Halófitas facultativas: Aquellas especies que pueden desarrollarse tanto en condiciones salinas como en ambientes con baja salinidad.

Las halófitas constituyen alrededor del 2% de la flora a nivel mundial y están distribuidas en 20 órdenes y 256 familias; dentro de las cuales destaca la familia Chenopodiaceae por poseer la mayor diversidad con 550 especies (Flowers *et al.*, 2010). Las especies que comprenden dicha clasificación logran desarrollarse en este tipo de ambientes mediante múltiples mecanismos morfológicos, fisiológicos y anatómicos. En la Tabla 1 se presentan los mecanismos reportados para diversas especies de plantas halófitas ante un medio salino.

Tabla 1. Mecanismos de respuesta al estrés por salinidad de algunas especies halófitas.

Especie	Clasificación	Adaptación morfológica	Respuesta al estrés salino	Mecanismo específico	Referencia
<i>Chenopodium quinoa</i>	Halófitas facultativa	Glándulas excretoras de sal	Excreción de sal	Inducción de rutin-flavonoides.	Ismail <i>et al.</i> (2016)
<i>Puccinellia nuttalliana</i>	Halófitas obligada	Suculencia	Acumulación de sales	Secuestro de iones sodio en vacuola.	McSorley <i>et al.</i> (2016)
<i>Salicornia herbaceae</i>	Halófitas facultativa	Suculencia	Acumulación de sales	Inducción de siquimato, vitamina K1 e indol-3-acido carboxílico	Lee <i>et al.</i> (2016)

2.2.1 Irrigación de cultivos halófitos con efluentes de cultivos marinos

La acuicultura o acuicultura incluye aquellas actividades que tienen por objetivo la crianza de especies acuáticas vegetales y animales, las cuales se desarrollan en agua salada o en agua dulce, bajo condiciones controladas (INAES, 2018). De acuerdo con la FAO (2014), se estima que para el año 2030 alrededor del 62% del pescado consumido por la población a nivel mundial provendrá de esta industria. Sin embargo, a pesar de los múltiples servicios brindados por dicha actividad como proporcionar alimentos accesibles para la población, generación de millones de empleos y ser una industria que genera billones de dólares a nivel mundial, también es una de las actividades más criticadas globalmente, por el impacto medioambiental que ha producido o que puede llegar producir (Martínez-Porchas y Ramírez-Cordova, 2012). Lo anterior obedece a que las aguas residuales que son liberadas al océano poseen antibióticos (Graslund y Bengtsson, 2001), organismos en descomposición, patógenos que pueden afectar las especies marinas silvestres (FAO, 2014) y residuos de alimento sin digerir, además de excretas de los animales cultivados, los cuales pueden producir eutrofización en los ecosistemas marinos por los altos niveles de amonio y fósforo que contienen, propiciando florecimientos algales que pueden generar condiciones anóxicas, afectando otras especies (Islam, 2005; Crab *et al.*, 2007). En este sentido, Schenider *et al.* (2005) reportaron que solo entre 20 y 50% del nitrógeno total suplementado a los organismos cultivados en este tipo de sistemas es asimilado, mientras que el restante queda incorporado en la columna de agua que eventualmente será vertida al océano.

Por lo antes expuesto, el desarrollo de tecnologías o sistemas que permitan maximizar el aprovechamiento de dichos nutrientes son cruciales para disminuir los efectos nocivos derivados de dicha actividad. En años recientes la implementación de sistemas acuapónicos y multitróficos ha tomado relevancia, llegando incluso a esperarse a que se conviertan en los principales sistemas productivos a nivel mundial (Tyson *et al.*, 2011; Hu *et al.*, 2012). La acuaponía es definida por Tyson *et al.* (2011) como un sistema que integra la recirculación del agua proveniente de actividades acuícolas con la producción hidropónica. A su vez, la acuicultura multitrófica se explica como un sistema de cultivo integrado en donde el agua de salida de un subsistema representa el agua de entrada a otro subsistema, permitiendo el aprovechamiento del recurso que de otra manera se habría perdido (FAO, 2009).

Bajo este contexto, el uso de diversas especies de plantas halófitas como eslabón en este tipo de sistemas ha ido en aumento, ya que además de disminuir la carga de nutrientes y materia orgánica de las aguas de rechazo, permite su comercialización al ser usadas para el consumo humano, como forrajeras, en la producción de biocombustibles, entre otros (Buhmann *et al.*, 2015). A continuación, en la Tabla 2, se presentan algunos estudios al respecto.

Tabla 2. Publicaciones del uso de agua residual de acuicultura para irrigación de especies halófitas.

Espece	Objetivo	Espece cultivada	Resultados	Referencia
<i>Spartina alterniflora</i>	Biofiltro	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Remoción 89% de solidos inorgánicos, 96% de solidos orgánicos, 63% nitrógeno total, 92% nitrógeno amoniacal, 59% orto fosfato, 89% de turbidez.	Suosa <i>et al.</i> (2011)
<i>Juncus kraussii</i>	Biofiltro	Tilapia arcoíris	Remoción de 69, 88.5 y 54.8% de Nitrógeno total, fosforo total y NaCl, respectivamente.	Lymbery <i>et al.</i> (2006)
<i>Suaeda esteroa</i>				
<i>Salicornia bigelovii</i>	Biofiltro	Tilapia	Remoción del 98 y 94% del nitrógeno total e inorgánico, respectivamente. Remoción del 99 y 97% del potasio total y soluble, respectivamente.	Brown <i>et al.</i> (1999).
<i>Atriplex barclayana</i>				

2.3 *Salicornia bigelovii* (Torr.)

Se cree que el género *Salicornia* tuvo origen entre el Mediterráneo y Asia Central durante el Mioceno (~23 mda), comenzando a diversificarse durante el Plioceno Tardío (~2.5 mda) y el Pleistoceno Temprano (~1.8 mda), derivándose a partir del género *Sarcocornia* (Kadereit *et al.*, 2007). El género *Salicornia*, de la familia *Chenopodiaceae*, está compuesto por 117 especies, entre las que se encuentra *Salicornia bigelovii* (Isca *et al.*, 2014; Beltrán-Burboa *et al.*, 2017).

Salicornia bigelovii (Fig. 3), es una especie arbustiva, anual, de metabolismo C₃, que se desarrolla en hábitats costeros, principalmente en zonas afectadas por inundaciones periódicas

producto del ciclo de mareas, así como en suelos arenosos (Ayala y O'Leary, 1995; Aghaleh *et al.*, 2009; Rueda-Puente *et al.*, 2017). De acuerdo con Glenn y O'Leary (1984), esta especie está considerada como una halófito facultativa, es decir, que puede desarrollar su ciclo de vida en distintos niveles de salinidad. Se distribuye mundialmente en las costas y marismas de Europa, África y Norte América. En México se distribuye ampliamente en las zonas costeras de Sonora y la península de Baja California, presentando una amplia variedad de ecotipos, los cuales varían fenotípicamente (Rueda-Puente *et al.*, 2011; Beltrán-Burboa *et al.*, 2017). En el estado de Baja California Sur, el desarrollo natural de esta especie es similar a lo reportado en las zonas costeras del estado de Sonora, en donde, la germinación y emergencia ocurren entre los meses de diciembre y febrero, el inicio de la floración en los meses de marzo y mayo, la madurez fisiológica entre julio y agosto, senescencia y liberación de semillas entre septiembre y noviembre (Rueda-Puente *et al.*, 2017). Durante la etapa de desarrollo vegetativo presenta un tallo principal, del cual se proyectan ramificaciones suculentas, articuladas, erectas y carentes de hojas. Durante la etapa de floración se forman a nivel de entrenudo, alrededor de seis flores con sépalos verdes y suculentos, en dos grupos de tres flores, las cuales producen entre dos y tres semillas cada uno (Saslis-Lagoudakis *et al.*, 2015).

Los usos que posee *S. bigelovii* van desde su aprovechamiento como forrajera, producción de artículos de belleza e higiene personal, consumo humano, como verdura gourmet en ensaladas, acompañamiento de platillos con mariscos, producción de sales biominerales, elaboración de harinas, y en años recientes, en la producción de biocombustibles a partir de la extracción de los aceites contenidos en sus semillas (Glenn *et al.*, 1995; Rueda-Puente *et al.*, 2017). De acuerdo con Shahid y Rao (2011) a partir una hectárea de *S. bigelovii* es posible producir entre 225-250 galones (1022.87-1136.52 litros) de biodiesel, a través de un proceso de transesterificación de sus aceites. En la Tabla 3 se muestran algunas de las propiedades de las semillas de esta especie.



Figura 1. Fotografía de *Salicornia bigelovii* (Torr.), en etapa de desarrollo vegetativo.

Tabla 3. Propiedades de semillas de *Salicornia bigelovii* (Torr.).

Propiedad	Contenido (%)
Contenido de aceite	28.2 ¹
	30 ²
Contenido de ácido linoleico	75 ¹
Contenido de ácido oléico	12.5 ¹
Contenido de ácido palmítico	8.1 ¹
	2.6 ¹
Contenido de ácido linolénico	2 ²
Contenido de ácido esteárico	2.2 ¹
	31.2 ¹
Contenido de proteína	42-45 ²
Contenido de fibra	5 ¹
Contenido de ceniza	7 ¹

¹Glenn *et al.* (1991); ²Shahid y Rao (2011).

De acuerdo con un estudio reportado en 2012 por el Centro Internacional de Agricultura Biosalina (ICBA, por sus siglas en inglés), se obtuvieron rendimientos de semilla de 2 t/ha⁻¹ empleando agua subterránea, con una salinidad de 20 dS/m (ICBA, 2015). Rendimientos similares se han reportado en cultivos convencionales como soya (1.9 t/ha⁻¹) y girasol (1.3 t/ha⁻¹) (Glenn *et al.*, 1991). Sin embargo, el ICBA, reportó el incremento en rendimiento de

producción de semilla en 3 t/ha⁻¹, utilizando agua de mar, previamente utilizada en un sistema de acuicultura (ICBA, 2018).

Por otro lado, se reportó un rendimiento de biomasa fresca de 23.7 t/ha⁻¹ utilizando efluentes acuícolas con agua de mar (ICBA, 2018), mientras que, con el uso de agua de mar, Glenn *et al.* (1998), reportaron un rendimiento de 1.7 kg/m² (~17 t/ha⁻¹). De acuerdo con dichos investigadores, rendimientos similares se obtienen en el cultivo de soya, utilizando agua dulce como fuente de irrigación.

En la Tabla 4 se listan algunas de las propiedades principales contenidas en la biomasa de plantas de esta especie.

Tabla 4. Propiedades de plantas de *Salicornia bigelovii* (Torr.).

Propiedad	Contenido	Referencia
Na	9.98 ^a	
K	1.76 ^a	
Mg	1.18 ^a	
Ca	0.62 ^a	
P	0.18 ^a	
Fe	0.01 ^a	
Zn	4.05 ^b	
Cu	0.91 ^b	Lu <i>et al.</i> (2010)
Cd	0.01 ^b	
Pb	0.02 ^b	
Cr	<0.01 ^b	
Proteína cruda	1.54 ^c	
Lípidos totales	0.37 ^c	
Fibra cruda	0.83 ^c	
Carbohidratos totales	4.48 ^c	

Cenizas	4.36 ^c	
Ácido ascórbico (vitamina C)	6 mg ^a	
Polifenoles totales	1.2 ^a	Ventura <i>et al.</i>
β -carotenos (vitamina A)	15.9 ^b	(2011)
Omega-3	2.12 ^c	

a: mg g⁻¹ biomasa fresca; b: μ g g⁻¹ biomasa fresca; c: g*100 g⁻¹ biomasa fresca.

2.3.1 Manejo agronómico de *Salicornia bigelovii* (Torr.)

El cultivo comercial de *Salicornia* inicia con una densidad de siembra de 30 a 40 kilos de semilla por hectárea si se trata de semillas con algunos años de selección o de 50 a 60 kilos, en caso de utilizarse semillas silvestres (Motta 1999). La siembra es la más crítica en el establecimiento de cultivos comerciales con agua de mar; al respecto, según Ungar (1981) la germinación de esta especie es inhibida por concentraciones de 50 dS/m de cloruro de sodio, en condiciones de laboratorio. Por lo tanto, se recomienda el uso de agua potable durante dicha etapa fenológica y el incremento paulatino de la salinidad en la fuente de riego 25 días después de la siembra (DDS) para disminuir la mortalidad de las plántulas. Posterior a la germinación, el desarrollo de la plántula sucede alrededor de 20 DDS (Motta, 1999).

Según Motta (1999), para la fertilización de *Salicornia bigelovii*, el aporte de fuentes nitrogenadas es indispensable para su desarrollo adecuado al ser el nutriente más importante, en virtud de que, al utilizar agua de mar como fuente de irrigación, la misma contiene la proporción necesaria de micronutrientes para el óptimo desarrollo del cultivo. Con respecto a la aportación de nitrógeno, se busca que sea aplicado en forma de nitratos y urea, a dosis de 250 a 500 kg ha⁻¹ a lo largo del ciclo de cultivo, donde la dosis recomendada por planta sea de 30 a 50 g L⁻¹ (Glenn *et al.*, 1994).

2.4 Vermicomposta, lixiviados de vermicomposta y estrés salino

El vermicompostaje consiste en una serie de procesos físicos y bioquímicos que involucran la interacción entre lombrices y microorganismos para la degradación de la materia orgánica, bajo

condiciones mesófilas y aerobias (Domínguez *et al.*, 2010; Villegas-Cornelio y Linares-Canepa, 2017). En este sentido, la fase física es llevada a cabo por las lombrices, quienes, mediante su circulación por el suelo, crean galerías que favorecen su aireación, así como la degradación de la materia orgánica que, a través de su ingesta, es fragmentada reduciendo el tamaño de partícula durante su paso a través de sus intestinos, acelerando el proceso de transformación (Aira *et al.*, 2002; Aira *et al.*, 2008). Asimismo, la fase bioquímica es realizada por la acción de microorganismos y hongos quienes transforman los materiales orgánicos insolubles en formas asimilables para las plantas (Kui *et al.*, 2014). Durante esta fase, se genera la expulsión de los líquidos contenidos en la materia orgánica sometida a este proceso de transformación. Dicha fracción líquida es conocida como lixiviado de vermicomposta, considerado como un fertilizante (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008).

Por otro lado, la fracción sólida es conocida como vermicomposta y se caracteriza por ser un material oscuro, parecido a la turba (Gupta *et al.*, 2014), que mejora la estructura del suelo aumentando la capacidad de retención hídrica (Yang *et al.*, 2015).

Ambos subproductos del vermicompostaje mejoran la fertilidad del suelo al poseer un alto contenido de macro y micronutrientes en formas solubles (Su *et al.*, 2015), generan un efecto amortiguador debido a su pH cercano a la neutralidad (Xiao *et al.*, 2017), contienen sustancias húmicas (Senesi *et al.*, 2007), aumentan la comunidad microbiana de los suelos (Tognetti *et al.*, 2005; Durak *et al.*, 2017), poseen componentes con acción hormonal y reguladores de crecimiento (Khurmizi *et al.*, 2015).

El uso de vermicompostas en cultivos como berenjena (Moraditochae *et al.*, 2011), lechuga (Durak *et al.*, 2017), maíz (Guo *et al.*, 2015), tomate (Wang *et al.*, 2017); como de lixiviados de lombriz en cultivos de plátano (Aremu *et al.*, 2012), eucalipto (Kandari *et al.*, 2011), tomate (Arthur *et al.*, 2012), entre otros, han incrementado el rendimiento de dichos cultivos bajo condiciones ambientales controladas. Sin embargo, debido a las características previamente descritas, ambos fertilizantes también han sido utilizados para mitigar los efectos dañinos generados por diversos factores de estrés incluyendo el provocado por altas concentraciones de salinidad a nivel morfológico, fisiológico y bioquímico (Tabla 5 y Tabla 6).

Tabla 5. Efecto de la aplicación de vermicomposta en la mitigación del estrés por salinidad en distintos cultivos.

Especie	Etapas fenológica	Efecto	Referencia
<i>Cucumis sativum</i> L.	Plántula	Aumento en la tasa de crecimiento relativo, expansión relativa de la hoja e incremento de la biomasa seca.	Salaku <i>et al.</i> (2009)
<i>Silybum marianum</i> Gaertn.	Desarrollo vegetativo	Reducción en el contenido de MDA.	Xu <i>et al.</i> (2016)
<i>Mentha haplocalyx</i> Briq.		Incremento de proteínas solubles totales.	
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. cv. Light Kidney	Floración	Aumento en la tasa fotosintética. Incremento en el contenido mineral en raíces y hojas (K ⁺ ; Ca ²⁺)	Beykkhormizi <i>et al.</i> (2016)
<i>Origanum majorana</i>	Desarrollo vegetativo	Incremento en la producción de biomasa, contenido foliar de N, P, K y Ca, producción de aceites esenciales y porcentaje de carbohidratos.	Mohammed-Kassem <i>et al.</i> (2018)

Tabla 6. Efecto de la aplicación de lixiviados de vermicomposta en la mitigación del estrés por salinidad en distintos cultivos.

Especie	Etapas fenológica	Efecto	Referencia
<i>Punica granatum</i>	Plántula	Reducción en el contenido foliar de Na.	Biabadi <i>et al.</i> (2017)
		Disminución de la degradación de pigmentos fotosintéticos.	
<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill var. Heinz-1370	Plántula	Mejora de la respuesta antioxidante y disminución de la pérdida de electrolitos.	Chinsamy <i>et al.</i> (2013)
		Incremento en el desarrollo radicular, mayor número de hojas, área foliar y mayor grosor de tallo.	
		Estimulación en la producción de prolina y azúcares totales compatibles.	

2.5 Larva de mosca soldado (*Hermetia illucens*) como alternativa para el manejo de residuos orgánicos y producción de fertilizantes orgánicos

En la actualidad la generación de desechos orgánicos derivados de actividades urbanas, agropecuarias e industriales esta intrínsecamente ligada al crecimiento de la población humana. Dicha situación obliga a nuestra sociedad a desarrollar estrategias para su manejo, priorizando métodos económicamente viables y que supongan un bajo impacto ambiental (Ancona-Méndez *et al.*, 2006). En ese sentido, destacan los métodos de bioconversión, los cuales se definen como la transferencia de nutrientes procedentes de la materia orgánica al cuerpo de cualquier organismo que la consuma: bacterias, hongos, lombrices, insectos (Barry, 2004) y otros. Entre los métodos de bioconversión más utilizados destacan las vermicompostas. Sin embargo, este método es poco eficiente para el manejo de residuos orgánicos de origen animal (carne, grasas, lácteos), además de requerir condiciones específicas para mantener ambientes en condiciones aeróbicas (Evans-Manyara, 2018). Ante las desventajas que el método de vermicompostaje presenta, se ha reportado el uso de distintas especies de insectos como alternativa para el manejo de residuos orgánicos, destacando la larva de mosca soldado (*Hermetia illucens*), como una de las especies más promisorias para este fin (Rindhe *et al.*, 2019).

La mosca soldado (Fig. 2), perteneciente a la familia Stratiomyidae, es una especie originaria de zonas tropicales del continente americano (Newton *et al.*, 2005). Sin embargo, debido a actividades humanas, en la actualidad es considerada nativa del 80% del planeta, concentrándose entre las latitudes 46°N y 42°S (Martínez-Sánchez *et al.*, 2011; Evans-Manyara, 2018). Generalmente considerada como insecto benéfico, esta especie no se alimenta en su etapa adulta, no están asociadas con enfermedades y generan ambientes poco deseables para el establecimiento de moscas comunes. Dicha especie ha generado una alta expectativa, ya que posee un ciclo de vida corto (13 a 18 días en la etapa larval; 7 días en la etapa de pre-pupa; 10 días en la etapa de pupa; 5 a 8 días en su etapa adulta), una tasa de reproducción alta (una sola hembra puede producir entre 500 y 900 huevos en una sola puesta), es resistente a condiciones ambientales estresantes como sequía, escasez de alimento o deficiencia de oxígeno y es capaz de alimentarse de una gran variedad de residuos orgánicos vegetales y animales (St-Hilaire *et al.*, 2007; Rhinde *et al.*, 2019).



Figura 2. Imagen de adulto de mosca soldado (*Hermetia illucens*)

Debido a que durante su etapa adulta carece de probóscide u órgano para alimentarse, sus reservas energéticas provienen de su etapa larval, en virtud de que durante esa etapa posee un órgano de masticación muy eficiente que le permite consumir compuestos orgánicos, incluso antes de que comiencen a descomponerse (Van Huis *et al.*, 2013). Así, la etapa larval es la que se utiliza para el manejo de residuos orgánicos, siendo posible su aprovechamiento en la etapa de pupa, la cual puede ser empleada para la alimentación de peces, aves y reptiles, al ser rica en proteínas (56.9%), lípidos (26%) y minerales como calcio (75.6 g/kg), fósforo (9 g/kg), potasio (6.9 g/kg), sodio (1.3 g/kg), magnesio (3.9 g/kg), hierro (1.37 g/kg), manganeso (246 mg/kg), zinc (108 mg/kg) y cobre (6 mg/kg) (Newton *et al.*, 1977; Makkar *et al.*, 2014).

Como parte de los subproductos obtenidos, a través del manejo de la larva de mosca soldado se genera el frass, el cual es un material sólido, de color oscuro, formado de las eyecciones generadas por las larvas durante el procesamiento de los residuos orgánicos. Dicho material, parecido a la composta, contiene nutrientes y materia orgánica, con potencial uso en actividades agrícolas como fertilizante orgánico (Rindhe *et al.*, 2019).

Sin embargo, existen estudios escasos que reporten el uso de frass con este fin, situación que abre una línea de investigación con respecto a su uso potencial como fertilizante y estimulante del desarrollo vegetal. En la Tabla 7 se muestran algunos estudios sobre el uso del frass con dicho objetivo.

Tabla 7. Uso de frass de larva de mosca soldado (*Hermetia illucens*), como fertilizante orgánico.

Objetivo del estudio	Especie	Resultados principales	Referencia
Evaluar las propiedades microbiológicas, químicas y agronómicas de frass, como medio de cultivo.	<i>Lactuca sativa</i>	La proporción de 20% frass y 80% peat moss comercial, registró los mayores valores de las variables morfométricas evaluadas en el estudio (altura, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar, biomasa fresca y seca: raíz, hojas, tallos y total).	Setti <i>et al.</i> (2019)
	<i>Ocimum basilicum</i>		
Comparación entre composta, frass y bokashi como medio de cultivo mediante variables morfométricas.	<i>Solanum lycopersicum</i>	El análisis químico del frass mostró pH alcalino (8.8) y C.E. de 8.5 dS m ⁻¹ . Parámetros que sirvieron para establecer las proporciones utilizadas en el experimento.	Alattar <i>et al.</i> (2016)
	<i>Zea mays</i>	Las plantas abonadas con bokashi presentaron un incremento de 109% en la altura y 14% mayor cantidad de hojas en comparación con las abonadas con composta. Mientras que las plantas abonadas con frass mostraron 39% menor altura y 19% menos hojas que las abonadas con composta.	
		El frass mostró efectos fitotóxicos al utilizarse como medio de cultivo en proporción 1:3 (v:v).	

2.6 Tratamientos de pre-germinación

Existen diversos métodos para promover la germinación rápida y homogénea de semillas (Tabla 8.), así como el establecimiento de plántulas con mayor vigor. Dentro de dichos métodos destacan los tratamientos de pre-germinación o “seed priming” (McDonald, 2000). En términos generales, los tratamientos de pre-germinación son técnicas basadas en la exposición de semillas en un medio líquido, lo que lleva a la semilla a activar diversos procesos metabólicos involucrados en la germinación, seguido de un proceso de deshidratación, el cual debe ocurrir antes de que se produzca la emergencia de la radícula (Dutta, 2018).

De acuerdo con Bewley (1997) cuando una semilla es expuesta a un medio líquido, atraviesa por diversas fases antes de que se lleve a cabo la germinación. En ese sentido, Bray (1995), sugirió 3 fases distintas:

Fase I (imbibición): la diferencia de potenciales hídricos entre la semilla y el medio acuoso genera la absorción elevada de agua por la semilla. Durante esta fase se produce la síntesis de proteínas, provenientes de ARNm y ADN existentes dentro del material genético de la semilla.

Fase II (activación metabólica): como su nombre lo indica, durante esta fase se desarrollan distintos procesos metabólicos y de reparación, cuando continúa la síntesis de proteínas, ahora provenientes de la traducción de nuevos ARNm, así como la síntesis de nuevas mitocondrias. Se producen procesos de reparación de ADN y se activan los sistemas de defensa antioxidante.

Fase III (crecimiento): esta última fase está asociada con el inicio del crecimiento producido por la recuperación de la capacidad de absorción de agua, lo que genera la elongación celular y que finaliza con la proyección de la radícula.

Bajo ese contexto, los tratamientos de pre-germinación permiten el desarrollo de la fase I y detienen el proceso de germinación antes de que culmine la fase II. La aplicación de estos tratamientos contribuye al incremento de la germinación y mayor sobrevivencia con plántulas de mayor vigor, bajo condiciones óptimas y de estrés (Taylor *et al.*, 1998). Lo anterior permite mantener sus beneficios, aún después de producirse la deshidratación de la semilla (McDonald, 2000).

Dentro de los tratamientos de pre-germinación existen diversas clasificaciones basadas en las características del medio líquido en el que se pretenden imbibir las semillas, las cuales se muestran en la Tabla 8 (Dutta, 2018).

Tabla 8. Clasificación de tratamientos de pre-germinación.

Tratamiento de pre-germinación	Método	Referencia
Hidropriming	Implica el uso de agua como tratamiento para la imbibición de las semillas. Es considerado el tratamiento de pre-germinación más sencillo y tradicional.	Ferreira <i>et al.</i> (2011)
Osmopriming	Consiste en la aplicación de soluciones osmóticas como medio de imbibición. El polietilenglicol (PEG) es una de las soluciones más utilizadas en este método.	Ruan <i>et al.</i> (2002)
Halopriming	Uso de soluciones salinas como tratamiento de pre-germinación.	Fredj <i>et al.</i> (2013)
Thermopriming	Manipulación de distintas temperaturas como tratamiento.	Dutta (2018)
Solid matrix priming	Utilización de matrices sólidas. El uso de arena es utilizado como matriz en este tipo de tratamientos.	Hu <i>et al.</i> (2005)
Hormopriming	Aplicación de hormonas como tratamiento de pre-germinación (Ácido giberélico, auxinas, brasinoesteroides, entre otros).	Benincasa <i>et al.</i> (2013) Bejandi <i>et al.</i> (2009) Zhang <i>et al.</i> (2007)
Biopriming	Imbibición de semillas en compuestos biológicos (extractos de algas, lixiviados de lombriz, Trichoderma, entre otros).	Hernández-Herrera <i>et al.</i> (2019) Benazzouk <i>et al.</i> (2018) Rahman <i>et al.</i> (2015)

De acuerdo con Maiti y Pramanik (2013), los tratamientos de pre-germinación son ecotecnologías de fácil implementación, que representan bajos riesgos ecológicos, además de ser económicamente viables por su bajo costo. Dichas características permiten el establecimiento de una agricultura sustentable y viable para su uso en países en vías de desarrollo.

3. JUSTIFICACIÓN

La acentuada escasez de recursos hídricos y la salinización de suelos destinados a la agricultura ha generado la necesidad de buscar alternativas de sistemas productivos que se centren en la optimización del agua y en el uso de cultivos que inherentemente posean tolerancia a la salinidad, particularmente en zonas áridas y semiáridas (Ventura y Sagi 2013; Riadh *et al.*, 2010). En ese contexto, el fomento por el uso de agua de mar y agua residual proveniente de cultivos marinos en actividades agrícolas ha tomado relevancia (Buhmann *et al.*, 2013). Asimismo, el uso de especies de plantas halófitas surge como alternativa dentro de las que sobresale *Salicornia bigelovii* (Torr) (Glenn *et al.*, 2013). Sin embargo, el uso de esta planta utilizando agua con altos niveles de salinidad plantea retos en las etapas de germinación y el establecimiento de las plántulas (Troyo-Diéguéz y Breceda-Solis, 1993). En virtud de que *Salicornia* es susceptible a la salinidad en ambas etapas fenológicas, ello se traduce en bajos porcentajes de germinación y altos niveles de mortalidad, a pesar de considerarse una de las plantas halófitas con mayor tolerancia a la salinidad en su etapa adulta (Rueda-Puente *et al.*, 2017).

Para el esquema de manejo, los fertilizantes orgánicos además de ser una fuente de nutrientes han mostrado atributos para atenuar algunos efectos del estrés salino en diversos cultivos mediante su aplicación en dilución con otras fuentes de riego o mediante tratamientos de pre-germinación (Bennazouk *et al.*, 2019). Ante la escasa información respecto al uso de este tipo de fertilizantes como agentes atenuantes del estrés salino y el desarrollo fenológico de plantas halófitas, el presente estudio propone la evaluación del efecto de dos fertilizantes orgánicos en un cultivo de *Salicornia bigelovii* a lo largo de un ciclo de un cultivo, desde una perspectiva fisiológica que permita aportar información para el desarrollo de planes de manejo agronómico para su cultivo sostenible.

4. HIPÓTESIS

La aplicación de fertilizantes orgánicos genera cambios fisiológicos, que atenuarán los efectos provocados por el estrés salino originado por efluentes de cultivos marinos en *Salicornia bigelovii* (Torr.).

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos como agentes atenuantes del estrés salino en la fisiología de *Salicornia bigelovii* (Torr.), causado por efluentes de cultivos marinos.

5.2 Objetivos particulares

1: Evaluar el efecto de lixiviados de lombriz sobre variables de relaciones hídricas, índices de germinación y morfometría durante la germinación y plántula de *S. bigelovii* (Torr.), bajo tratamientos de efluentes de cultivos marinos.

2: Evaluar el efecto de lixiviados de frass de larva de mosca soldado sobre variables de relaciones hídricas, índices de germinación y morfometría durante la germinación y plántula de *S. bigelovii* (Torr.), bajo tratamientos de efluentes de cultivos marinos.

3: Determinar el efecto de tratamientos de pre-germinación con fertilizantes orgánicos sobre variables de relaciones hídricas, índices de germinación y morfometría durante la germinación y plántula de *S. bigelovii* (Torr.), con efluentes de cultivos marinos.

4: Evaluar el efecto de preparados de té de lombricomposta y frass de larva de mosca soldado como vía directa en la etapa de desarrollo vegetativo de *Salicornia bigelovii* (Torr.), sobre variables fisiológicas, bajo tratamientos de efluentes de cultivos marinos.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Experimento I: Evaluación de la aplicación por vía directa de fertilizantes orgánicos en etapa de germinación y plántula

6.1.1 Área de estudio

El experimento se llevó a cabo durante el período otoño-invierno (diciembre-febrero) del 2020 y 2021, en el laboratorio de Fisiotecnia Vegetal de las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), ubicado al norte de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México con las coordenadas 24° 08' 10.03" N y 110° 25' 35.31" O.

6.1.2 Material vegetal

Se utilizaron semillas de *Salicornia bigelovii* (Torr.), que fueron extraídas de plantas maduras de poblaciones silvestres ubicadas en el Comitán, Baja California Sur, con coordenadas 24°1' N y 110°2' O. Una vez realizada la recolección de las plantas (Fig. 3a), fueron trasladadas al campo agrícola experimental del CIBNOR en noviembre del 2020, donde se dejaron secar al sol directo durante 72 horas (Fig. 3b). Posteriormente, fueron trasladadas al laboratorio de Fisiotecnia Vegetal del CIBNOR, donde las semillas se extrajeron de la planta madura mediante maceración (Fig. 3c), para posteriormente separar las semillas de los fragmentos vegetales mediante inmersión en agua destilada (Fig. 3c), para posteriormente separar las semillas de los fragmentos vegetales por medio de inmersión en agua destilada (Fig. 3d), donde la fracción depositada en el fondo fue recolectada y el resto desechado. Las semillas de mayor tamaño se seleccionaron manualmente, con el criterio de color uniforme y sin daños aparentes. Las semillas seleccionadas fueron desinfectadas mediante inmersión en hipoclorito de sodio (3%) durante 30" y lavadas con agua destilada en 3 ocasiones (ISTA, 2010).



Figura 3. a: Recolección de plantas maduras de *S. bigelovii* (Torr.); b: exposición al sol de plantas maduras de *S. bigelovii*; c: separación de las semillas del material vegetal; d: separación de semillas maduras del material vegetal.

6.1.3 Establecimiento y condiciones experimentales

El experimento se realizó bajo condiciones controladas utilizando una cámara de germinación (Lumistell, modelo IES-OS, serie 1409-99-01) a una temperatura constante de 25 ± 1 °C, humedad relativa del 80%, fotoperiodo de 16 horas luz y 8 de oscuridad. Se utilizaron cajas Petri previamente esterilizadas con alcohol al 90%, a las cuales se les colocaron círculos de papel filtro (Whatman no. 4). En cada caja Petri fueron colocadas 100 semillas (Fig. 4).



Figura 4. Cajas Petri con semillas de *S. bigelovii* (Torr.) colocadas en cámara de germinación.

6.1.4 Diseño experimental y nomenclatura de tratamientos

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con dos factores de variación: fuente de riego, como factor A y fertilización orgánica, factor B. El factor A constó de 4 niveles, constituidos por agua de mar al 100% (AM), agua residual de un cultivo de jurel de castilla (*Seriola rivoliana*) al 100% (AR), agua corriente del campo agrícola experimental del CIBNOR

(AC) y un control positivo con agua destilada (AD). El factor B constó de 3 niveles, compuestos por una dilución de lixiviados de lombriz (Lx), otro con una dilución de lixiviados de frass (F) y un control negativo sin el aporte de ninguno de los lixiviados descritos previamente. Con ambos factores se generaron 12 tratamientos, con 3 repeticiones y 36 unidades experimentales (Tabla 9 y 10).

Tabla 9. Descripción de diseño experimental.

Factor A: fuente de riego	Factor B: fertilización orgánica	Número de repeticiones
	-	3
Agua destilada	Lixiviados de lombriz	3
	Lixiviados de frass	3
	-	3
Agua corriente del campo experimental	Lixiviados de lombriz	3
	Lixiviados de frass	3
	-	3
Agua de mar	Lixiviados de lombriz	3
	Lixiviados de frass	3
	-	3
Agua residual de jurel	Lixiviados de lombriz	3
	Lixiviados de frass	3

Tabla 10. Descripción y nomenclatura de tratamientos.

Tratamiento	Nomenclatura
Semillas en agua destilada	AD
Semillas en dilución: agua destilada/lixiviados de lombriz	ADLvc
Semillas en dilución: agua destilada/lixiviados de frass	ADF
Semillas en agua corriente	AC
Semillas en dilución: agua corriente/lixiviados de lombriz	ACLvc
Semillas en dilución: agua corriente/lixiviados de frass	ACF
Semillas en agua de mar	AM
Semillas en dilución: agua de mar/lixiviados de lombriz	AMLvc
Semillas en dilución: agua de mar/lixiviados de frass	AMF
Semillas en agua residual de jurel	AR
Semillas en dilución: agua residual de jurel /lixiviados de lombriz	ARLvc
Semillas en dilución: agua a residual de jurel /lixiviados de frass	ARF

6.1.5 Origen y obtención de tratamientos

Los tratamientos del factor A (fuente de riego), consistieron en agua de mar recolectada en la zona costera de las instalaciones del CIBNOR. Agua residual de un cultivo de jurel (*Seriola rivoliana*), proveniente del área de acuacultura de las instalaciones del mismo Centro de Investigaciones Biológicas. Por último, un tratamiento utilizado como control, constituido por agua destilada.

Con respecto a los tratamientos del factor B (fertilización orgánica), la lombricomposta utilizada para la extracción de los lixiviados se obtuvo de un cultivo de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*), alimentadas con estiércol bovino. El frass en fase sólida fue donado por la Universidad Autónoma de Querétaro, el cual fue producido a partir de la alimentación de larvas de mosca soldado (*Hermetia illucens*) con residuos orgánicos provenientes de la central de abastos de la localidad de Amazcala, ubicada en el estado de Querétaro, México. Para la extracción de los lixiviados de ambos fertilizantes orgánicos se utilizó la metodología propuesta modificada por Bidabadi *et al.* (2017), donde se utilizaron 2 cubetas de 20 L de capacidad. Una de las cubetas fue perforada en 5 puntos concéntricos en su base con una broca para metal de ½". La cubeta perforada se colocó dentro de la cubeta sin perforar. Posteriormente, 30 kg de frass sólido y de lombricomposta se colocaron individualmente en el interior de la cubeta perforada. A continuación, se añadieron 15 L de agua destilada, en intervalos de 3 L cada 20 minutos.

6.1.6 Análisis de los tratamientos

Previo al inicio de los experimentos, se realizó el análisis de las características químicas de los tratamientos; las variables evaluadas se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Análisis químicos de los tratamientos utilizados en el experimento.

Variable	Unidades
Potencial de hidrógeno (pH)	-
Conductividad eléctrica (C.E.)	mS/m
Potasio total (K ⁺)	
Fósforo total (P)	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L
Amonio (NH ₄)	
Magnesio (Mg ₂ ⁺)	
Calcio (Ca ₂ ⁺)	

6.1.7 Variables de respuesta del Experimento I

6.1.7.1 Índices de germinación

6.1.7.1.1 Porcentaje total de germinación

Una vez realizada la siembra se realizó el conteo de las semillas germinadas diariamente, definiendo la presencia de la radícula como parámetro para considerar una semilla germinada (Fig. 5). Se determinó el porcentaje total de germinación a los 25 días después de la siembra (DDS), cuando el conteo diario de semillas germinadas se mantuvo sin cambio durante 5 días.

El porcentaje total de germinación se calculó mediante la fórmula propuesta por Al-Mударis (1998) la cual establece lo siguiente:

$$PG = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Número de semillas}} \times 100 \quad (1)$$



Figura 5. Proyección de la radícula de *S. bigelovii* (Torr.)

6.1.7.1.2 Índice de tasa de germinación

El índice de tasa de germinación (ITG) fue calculada a partir de la ecuación propuesta por Maguire (1962), la cual se describe a continuación:

$$ITG = \frac{N_1}{T_1} + \frac{N_2}{T_2} + \dots + \frac{N_x}{T_x} \quad (2)$$

Dónde: “n” representa el número de semillas germinadas con relación a “t” que indica el tiempo (días).

6.1.7.1.3 Tiempo medio de germinación

El tiempo medio de germinación (TMG) fue determinado mediante la fórmula de Orchard (1977), en la que se establece lo siguiente:

$$TMG = \frac{\sum(N \times D)}{\sum N} \quad (3)$$

Dónde: “N” indica el número de semillas germinadas el día “D”.

6.1.7.2 Variables de relaciones hídricas

6.1.7.2.1 Potencial hídrico

A los 45 DDS se tomaron muestras compuestas (Fig. 6) al azar de plántulas de *Salicornia* para determinar el potencial hídrico (Ψ_w) con un potenciómetro de punto de rocío Dewpoint PotentiaMeter modelo WP4-T en el laboratorio de fisiotecnia vegetal del CIBNOR. Los valores obtenidos fueron registrados en megapascales (MPa).



Figura 6. Muestra compuesta de plántulas de *S. bigelovii* para la determinación de potencial hídrico.

6.1.7.2.2 Contenido relativo de agua

La variable contenido relativo de agua (CRA) se calculó con la fórmula propuesta por Yamasaki y Diellenburg (1999):

$$CRA = \frac{P_f - P_s}{P_t - P_s} \times 100 \quad (4)$$

Dónde: P_f , P_s , P_t , indican peso fresco, peso seco y peso turgente, respectivamente.

Los pesos se midieron utilizando una balanza analítica Mettler Toledo, modelo AG204. El peso fresco (P_f) se registró 50 DDS, posteriormente se colocaron las muestras en inmersión con agua destilada en cajas Petri; 24 horas después se registró nuevamente el peso para obtener el peso turgente (P_t).

Finalmente, las muestras se colocaron en un horno de flujo laminar Shal-Lab, modelo FX-55 a 55 °C durante 48 horas para registrar el peso seco (P_s).

Debido a que la balanza analítica utilizada en el presente experimento carecía de la sensibilidad suficiente para detectar el peso seco de una sola plántula, se utilizaron muestras compuestas por 3 plántulas para obtener un dato promedio.

6.1.7.2.3 Potencial osmótico

Para cuantificar el potencial osmótico (Ψ_s) se tomaron muestras de plántulas de *S. bigelovii* a los 45 DDS, las cuales se mantuvieron en un ultracongelador a -20 °C. Posteriormente se descongelaron, fueron centrifugadas a 1200 x g durante 25 minutos a 4 °C para extraer las células de la savia. Finalmente, el potencial osmótico fue determinado con un osmómetro de presión de vapor Wescor, modelo VAPRO. Las unidades de lectura se transformaron a MPa, utilizando la ecuación propuesta por Van't Hoff (Salisbury y Ross, 1992):

$$\Psi_s = -C_x R T \quad (5)$$

Dónde, C representa la molaridad de la solución (mol del soluto $\text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}$); R, la constante universal de gases ($0.0831 \text{ kg MPa mol}^{-1} \text{K}^{-1}$); T indica la temperatura absoluta (K).

6.1.7.3 Variables morfométricas

6.1.7.3.1 Biomasa fresca y seca total

Primero se pesó y registró la biomasa fresca total de plántulas de *Salicornia* a los 60 DDS, posteriormente las muestras se colocaron individualmente en bolsas de papel y se introdujeron en un horno de flujo laminar Shal-Lab, modelo FX-55 a 55 °C durante 48 horas hasta su completa deshidratación para registrar la biomasa seca total.

De la misma manera que la variable CRA se utilizaron muestras compuestas por 3 plántulas para obtener un dato promedio. Se utilizó una balanza analítica Mettler Toledo, modelo AG204 para la cuantificación de ambas variables, las cuales fueron registradas en gramos (g^{-1}).

6.2 Experimento II: Evaluación de la aplicación de fertilizantes orgánicos a través de tratamientos de pre-germinación en etapa de germinación y plántula

6.2.1 Área de estudio

El experimento se llevó a cabo durante el período otoño-invierno (diciembre-febrero) del 2020 y 2021, en el laboratorio de Fisiotecnia Vegetal de las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), ubicado al norte de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México con las coordenadas 24° 08' 10.03" N y 110° 25' 35.31" O.

6.2.2 Material vegetal

Se utilizaron semillas de *Salicornia bigelovii* (Torr.), que fueron extraídas de plantas maduras de poblaciones silvestres ubicadas en el Comitán, Baja California Sur, con coordenadas 24°1' N y 110°2' O. Una vez realizada la recolección de las plantas, fueron trasladadas al campo agrícola experimental del CIBNOR en noviembre del 2020, donde se dejaron secar al sol directo durante 72 horas. Posteriormente, fueron trasladadas al laboratorio de Fisiotecnia Vegetal del CIBNOR en donde se extrajeron las semillas de la planta madura mediante maceración, para posteriormente separar las semillas de los fragmentos vegetales mediante inmersión en agua destilada, en dónde, la fracción depositada en el fondo fue recolectada y el resto desechado. Se seleccionaron manualmente las semillas de mayor tamaño, color uniforme y sin daños

aparentes. Las semillas seleccionadas fueron desinfectadas mediante inmersión en hipoclorito de sodio (3%) durante 30" y lavadas con agua destilada en 3 ocasiones (ISTA, 2010).

6.2.3 Establecimiento y condiciones experimentales

El experimento se realizó en una cámara de germinación (Lumistell, modelo IES-OS, serie 1409-99-01), a una temperatura constante de 25 ± 1 °C, humedad relativa del 80%, fotoperiodo de 16 horas luz y 8 de oscuridad. Se utilizaron cajas Petri previamente esterilizadas con alcohol al 90%, a las cuales se les colocaron círculos de papel filtro (Whatman no. 4). En cada caja Petri fueron colocadas 100 semillas (Fig. 7).

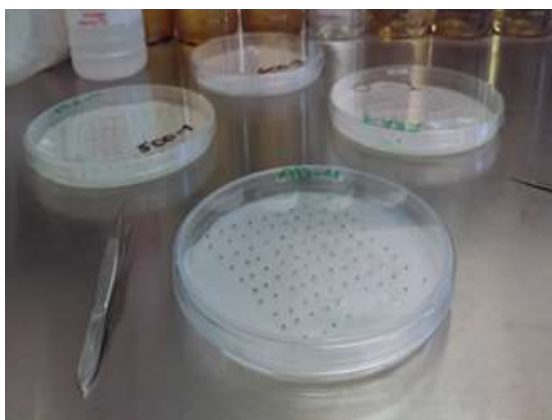


Figura 7. Cajas Petri con semillas de *S. bigelovii* preparadas para evaluación de índices de germinación.

6.2.4 Diseño experimental y nomenclatura de tratamientos

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con dos factores de variación: fuente de riego, como factor A y aplicación de tratamientos de pre-germinación, factor B. El factor A constó de 4 niveles, constituidos por agua de mar al 100% (AM), agua residual de un cultivo de jurel de castilla (*Seriola rivoliana*) al 100% (AR), agua corriente del campo agrícola experimental del CIBNOR (AC) y un control positivo con agua destilada (AD). El factor B estuvo compuesto por 3 niveles de variación, dónde, primero se colocaron semillas de salicornia en inmersión en lixiviados de lombriz y lixiviados de frass (Fig. 8a, b) durante 30".

Posteriormente se extrajeron las semillas y se colocaron sobre papel secante hasta su deshidratación total a temperatura ambiente, de acuerdo con Bennazouk et al. (2019). Posteriormente se colocaron dentro de cajas Petri, las cuales fueron humedecidas con las

fuentes de riego del factor A., con lo cual se generaron 12 tratamientos, con 3 repeticiones y 36 unidades experimentales (Tabla 12 y 13).



Figura 8. a: Semillas de *S. bigelovii* (Torr.), bajo tratamientos de pre-germinación con lixiviados de lombriz; b: Aplicación de lixiviados de frass en semillas de *S. bigelovii* (Torr.) como tratamiento de pre-germinación

Tabla 12. Descripción de diseño experimental.

Factor A: fuente de riego	Factor B: pre-germinación	Número de repeticiones
	-	3
Agua destilada	Lixiviados de lombriz ¹	3
	Lixiviados de frass ¹	3
	-	3
Agua corriente del campo experimental	Lixiviados de lombriz ¹	3
	Lixiviados de frass ¹	3
	-	3
Agua de mar	Lixiviados de lombriz ¹	3
	Lixiviados de frass ¹	3
	-	3
Agua residual de jurel	Lixiviados de lombriz ¹	3
	Lixiviados de frass ¹	3

¹: El tiempo de inmersión de las semillas de *S. bigelovii* (Torr.) fue de 30" en cada uno de los fertilizantes orgánicos.

Tabla 13. Descripción y nomenclatura de tratamientos.

Tratamiento	Nomenclatura
Semillas en agua destilada	AD
Semillas en agua destilada pre-germinadas con lixiviados de lombriz	ADpLvc
Semillas en agua destilada pre-germinadas con lixiviados de frass	ADpF
Semillas en agua corriente	AC
Semillas en agua corriente pre-germinadas con lixiviados de lombriz	ACpLvc
Semillas en agua corriente pre-germinadas con lixiviados de frass	ACpF
Semillas en agua de mar	AM
Semillas en agua de mar pre-germinadas con lixiviados de lombriz	AMpLvc
Semillas en agua de mar pre-germinadas con lixiviados de frass	AMpF
Semillas en agua residual de jurel	AR
Semillas en agua residual de jurel pre-germinadas con lixiviados de lombriz	ARpLvc
Semillas en agua residual de jurel pre-germinadas con lixiviados de frass	ARpF

6.2.5 Origen y obtención de tratamientos de fertilización

Los fertilizantes orgánicos utilizados en el presente experimento provinieron de las mismas fuentes empleadas en el experimento anterior (experimento I), de lombricomposta y frass sólido de larva de mosca soldado. A su vez, la metodología propuesta por Bidabadi *et al.* (2017) fue replicada para extraer los lixiviados de lombricomposta y frass, con las modificaciones descritas en el apartado 6.1.5.

6.2.6 Análisis de los tratamientos

Previo al inicio de los experimentos, se realizó el análisis de las características químicas de los tratamientos, las variables evaluadas se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Análisis químicos de los tratamientos utilizados en el experimento.

Variable	Unidades
Potencial de hidrógeno (pH)	-
Conductividad eléctrica (C.E.)	mS/m
Potasio total (K ⁺)	mg/L
Fósforo total (P)	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	
Nitratos (NO ₃ ⁻)	
Amonio (NH ₄)	
Magnesio (Mg ₂ ⁺)	
Calcio (Ca ₂ ⁺)	

6.2.7 Variables de respuesta del Experimento II

6.2.7.1 Índices de germinación

6.2.7.1.1 Porcentaje total de germinación

Posterior a la siembra, se realizó el conteo de las semillas germinadas diariamente; la presencia de la radícula se estableció como parámetro para considerar una semilla germinada (Fig. 9) 25 días después de la siembra (DDS); el porcentaje total de germinación se determinó cuando el conteo diario de semillas germinadas se mantuvo sin cambio durante 5 días.

El porcentaje total de germinación se calculó con la fórmula propuesta por Al-Mudaris (1998):

$$PG = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Número de semillas}} \times 100 \quad (6)$$



Figura 9. Proyección de la radícula de *S. bigelovii* (Torr.).

6.2.7.1.2 Índice de tasa de germinación

La variable índice de tasa de germinación (ITG) fue calculada a partir de la ecuación propuesta por Maguire (1962):

$$ITG = \frac{N_1}{T_1} + \frac{N_2}{T_2} + \dots + \frac{N_x}{T_x} \quad (7)$$

Dónde: “n” representa el número de semillas germinadas con relación a “t” que indica el tiempo (días).

6.2.7.1.3 Tiempo medio de germinación

La variable tiempo medio de germinación (TMG) fue determinado mediante la fórmula de Orchard (1977):

$$TMG = \frac{\sum(N \times D)}{\sum N} \quad (8)$$

Dónde: “N” indica el número de semillas germinadas el día “D”.

6.1.7.2 Variables de relaciones hídricas

6.2.7.2.1 Potencial hídrico

A los 45 DDS se tomaron muestras compuestas al azar de plántulas de *Salicornia* para determinar el potencial hídrico (Ψ_w) con un potenciómetro de punto de rocío Dewpoint PotentiaMeter modelo WP4-T, en el laboratorio de fisiotecnia vegetal del CIBNOR. Los valores obtenidos fueron registrados en megapascales (MPa).



Figura 10. Muestra compuesta de plántulas de *S. bigelovii* para la determinación de potencial hídrico.

6.2.7.2.2 Contenido relativo de agua

El contenido relativo de agua (CRA) fue calculado con la fórmula propuesta por Yamasaki y Diellenburg (1999):

$$CRA = \frac{P_f - P_s}{P_t - P_s} \times 100 \quad (9)$$

Dónde: P_f , P_s , P_t , indican peso fresco, peso seco y peso turgente, respectivamente.

Los pesos fueron registrados utilizando una balanza analítica Mettler Toledo, modelo AG204. El peso fresco (P_f) se registró a los 50 DDS; posteriormente las muestras se colocaron en inmersión con agua destilada en cajas Petri; 24 horas después se registró nuevamente el peso para obtener el peso turgente (P_t). Finalmente se colocaron las muestras en un horno de flujo laminar Shal-Lab, modelo FX-55 a 55 °C durante 48 horas para registrar el peso seco (P_s).

Debido a que la balanza analítica utilizada en el presente experimento carecía de la sensibilidad suficiente para detectar el peso seco de una sola plántula se utilizaron muestras compuestas por 3 plántulas para obtener un dato promedio.

6.2.7.2.3 Potencial osmótico

Para cuantificar el potencial osmótico (Ψ_s) se tomaron muestras de plántulas de *S. bigelovii* (Torr.) a los 45 DDS, las cuales se mantuvieron en un ultracongelador a -20 °C. Posteriormente se descongelaron y fueron centrifugadas a 1200 x g durante 25 minutos a 4 °C para extraer las células de la savia. Finalmente, el potencial osmótico fue determinado con un osmómetro de presión de vapor Wescor, modelo VAPRO. Se realizó la transformación de unidades a MPa, utilizando la ecuación propuesta por Van't Hoff (Salisbury y Ross, 1992):

$$\Psi_s = -CxRxT \quad (10)$$

Dónde: C representa la molaridad de la solución (mol del soluto kg⁻¹ H₂O); R, la constante universal de gases (0.0831 kg MPa mol⁻¹ K⁻¹); T indica la temperatura absoluta (K).

6.1.7.3 Variables morfométricas

6.1.7.3.1 Biomasa fresca y seca total

La variable biomasa fresca total de plántulas de *Salicornia* se registró a los 60 DDS, posteriormente las muestras se colocaron individualmente en bolsas de papel y se introdujeron en un horno de flujo laminar Shal-Lab, modelo FX-55 a 55 °C durante 48 horas hasta su completa deshidratación para registrar la biomasa seca total.

De la misma manera que la variable CRA se utilizaron muestras compuestas por 3 plántulas para obtener un dato promedio. Se utilizó una balanza analítica Mettler Toledo, modelo AG204 para la cuantificación de las variables y ambas fueron registradas en gramos (g^{-1}).

6.3 Experimento III: Aplicación fertilizantes orgánicos en dilución con distintas fuentes de riego durante la etapa de plántula y desarrollo vegetativo de *Salicornia bigelovii* (Torr.)

6.3.1 Área de estudio

El experimento se llevó a cabo durante el período primavera-verano (mayo-agosto) del 2022, en el campo agrícola experimental de las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), ubicado al norte de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México con las coordenadas 24° 08' 10.03" N y 110° 25' 35.31" O.

6.3.2 Material vegetal

Se utilizaron semillas de *Salicornia bigelovii* (Torr.), extraídas en el mes de noviembre de 2021, provenientes de plantas maduras de poblaciones silvestres ubicadas en el Comitán, Baja California Sur, con coordenadas 24°1' N y 110°2' O.

6.3.3 Establecimiento y condiciones experimentales

El experimento se llevó a cabo en mesas de 2.8 x 1.4 x 0.8 (largo, ancho y alto) (Fig. 11 izquierda). Se colocaron tablas de 30 cm de altura en el perímetro de las mesas y una tabla central para crear una división entre cada mesa, con el objetivo de que cada división contenga los distintos tratamientos de riego y fertilización (se manejan dos tratamientos diferentes por mesa) (Fig. 11 centro). A continuación, las mesas fueron forradas con una geomembrana HDPE de .75 mm (Fig. 11 derecha). Se utilizaron 5 mesas para realizar el experimento.



Figura 11. izquierda: mesas utilizadas para el experimento; centro: mesas con las tablas fijadas en el perímetro; derecha: revestimiento de las mesas con geomembrana.

Las mesas se levantaron de la parte trasera para crear una inclinación del 1%; posteriormente se realizó un orificio en el extremo inferior de cada una de las divisiones de las mesas (2 orificios por mesa) utilizando una broca para madera de $\frac{1}{2}$ ". A continuación, en cada uno de los orificios se insertó una manguera de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 1 m de longitud, la cual a su vez fue insertada en el extremo opuesto a una bomba sumergible de 45W marca EVANS modelo AQUA-45.

Las bombas se conectaron individualmente a un temporizador de 8 eventos STEREN modelo TEMP-08E para realizar los riegos de manera automatizada. Los horarios, duración y frecuencia de los riegos se describen posteriormente. Cada bomba se introdujo en un tanque de 200 L; se utilizaron los tanques como reservorios para los distintos tratamientos de riego empleados en el experimento que serán descritos posteriormente. Se usaron 2 tanques por mesa, que fueron colocados en la parte inferior de las mismas (Fig.12).



Figura 12. Establecimiento de mesas simuladoras de marismas automatizadas para el experimento III

El funcionamiento del sistema descrito anteriormente permitió que, al activarse las bombas sumergibles, el agua ingresara a través de la manguera hasta provocar la inundación del medio;

el agua volviera a los reservorios siguiendo el mismo camino por el que ingresó. Es decir, por la pendiente de la mesa, una vez se apagaban las bombas sumergibles. Este sistema de riego se desarrolló con la finalidad de maximizar el uso del agua y de replicar el efecto de las mareas a las cuales se ven sometidas las poblaciones silvestres de *S. bigelovii* en su medio natural.

Alrededor del área experimental se colocó una estación meteorológica WatchDog Serie 2000 con el objetivo de monitorear la fluctuación de la temperatura ambiental durante la realización del experimento.

6.3.4 Siembra y germinación de las semillas

La siembra se realizó durante la segunda semana de mayo de 2022. Las semillas fueron esparcidas al voleo dentro de jabas de plástico rellenas con 15 L de arena proveniente de la zona costera colindante con el CIBNOR. Entre la arena y la jaba se colocaron trozos de malla de invernadero antiáfidos con el objetivo de evitar el lavado de la arena con cada evento de riego. Debido a que la siembra se realizó fuera de la temporada en la cual el proceso de germinación ocurre de manera natural (es decir, entre los meses de diciembre y enero), se colocó una malla sobre la zona de siembra con un porcentaje de sombreo del ~70% para disminuir el riesgo de daño en las plántulas y minimizar la mortalidad generada por radiación o temperatura (Fig. 13).



Figura 13: Área de siembra de semillas de *S. bigelovii* (Torr.)

Como se mencionó en el apartado anterior, el riego se realizó por inundación y se utilizó únicamente agua dulce proveniente del campo agrícola experimental del CIBNOR durante todo el proceso de germinación y en todo el período de plántula previo al trasplante. Los riegos se

efectuaron diariamente, durante 25' distribuidos en 5 eventos con una duración de 5' cada uno, con el objetivo de mantener la humedad en el sustrato el mayor tiempo posible durante el día y de esta manera favorecer el proceso de germinación (Fig. 14). El horario de los riegos realizados se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Horario de los eventos de riego durante la etapa de germinación de semillas de *S. bigelovii* (Torr.)

Evento de riego	Horario ¹
1	09:30-09:35
2	12:30-12:35
3	14:00-14:05
4	16:00-16:05
5	18:00-18:05

¹: El horario de los riegos se restringió a las horas de luz debido a la presencia de fauna que en ocasiones desconectaban el sistema durante la noche, comprometiendo su correcto funcionamiento del sistema y la sobrevivencia de las plántulas.



Figura 14. Germinación de semillas de *S. bigelovii* (Torr.) en condiciones de campo

6.3.5 Trasplante y proceso de aclimatación al incremento de salinidad

El trasplante se realizó en la segunda quincena de junio del 2022, a los 36 DDS cuando las plántulas alcanzaron entre 7-10 cm de longitud (Fig. 15).



Figura 15. Trasplante de plántulas de *S. bigelovii* (Torr.) en condiciones de campo

Una vez realizado el trasplante, se mantuvo el programa de riego aplicado durante la siembra por 15 días, utilizando agua dulce del campo agrícola. Transcurrido este período de tiempo, se incrementó de manera paulatina la salinidad mediante diluciones de agua dulce con agua de mar y agua dulce con agua residual de un cultivo de jurel de castilla (*Seriola rivoliana*) en dos grupos de plántulas (Tabla 16), mientras que otro grupo de plántulas se mantuvo bajo riego con agua dulce.

Tabla 16. Período de aclimatación con diluciones de agua de mar y residual en plántulas de *S. bigelovii* (Torr.)

Incremento de la salinidad	Período de aclimatación ¹
Dilución 50:50% agua dulce/agua de mar y 50:50% agua dulce/agua residual	7
Dilución 25:75% agua dulce/agua de mar y 25:75% agua dulce/agua residual	7
100% agua de mar y agua residual	7

Notas: ¹El período de aclimatación se expresa en días

Una vez concluido el proceso de aclimatación y el incremento de la salinidad en el riego de las plántulas que serían sometidas a las fuentes riego con agua de mar y residual, la malla sombra fue retirada y se procedió a establecer el diseño experimental.

6.3.6 Diseño experimental y nomenclatura de tratamientos

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con dos factores de variación: fuente de riego, como factor A y fertilización orgánica, factor B. El factor A constó de 3 niveles, constituidos por agua de mar al 100% (AM), agua residual de un cultivo de jurel de castilla (*Seriola rivoliana*) al 100% (AR) y un grupo control irrigado con agua corriente del campo agrícola experimental del CIBNOR (AC). El factor B constó de 3 niveles, compuestos por una dilución de té de lombricomposta (TLvc), otro con una dilución de té de frass de larva de mosca soldado (TF) y un control negativo sin el aporte de ninguno de los téis descritos. Con ellos se generaron 9 tratamientos, con 3 repeticiones (Tabla 17 y 18).

Tabla 17. Descripción de diseño experimental.

Factor A: fuente de riego	Factor B: fertilización orgánica	Número de repeticiones
A1. Agua corriente del campo experimental	-	A1 sola: 3
	B1. Té de lombricomposta	A1B1: 3
	B2. Té de frass	A2B2: 3
A2. Agua de mar	-	A2 sola: 3
	B1. Té de lombricomposta	A2B1: 3
	B2. Té de frass	A2B2: 3
A3. Agua residual de jurel	-	A3 sola: 3
	B1. Té de lombricomposta	A3B1: 3
	B2. Té de frass	A3B2: 3

Tabla 18. Descripción y nomenclatura de tratamientos.

Tratamiento	Nomenclatura
Semillas en agua corriente	AC
Semillas en dilución: agua corriente/té de lombricomposta	ACTLvc
Semillas en dilución: agua corriente/té de frass	ACTF
Semillas en agua de mar	AM
Semillas en dilución: agua de mar/té de lombricomposta	AMTLvc
Semillas en dilución: agua de mar/té de frass	AMTF
Semillas en agua residual de jurel	AR
Semillas en dilución: agua residual de jurel /té de lombricomposta	ARTLvc
Semillas en dilución: agua a residual de jurel /té de frass	ARTF

Cada jaba de plástico constituyó una repetición y dentro de cada jaba se establecieron 15 plántulas de *S. bigelovii* (Fig. 16).



Figura 16. Distribución de plántulas de *S. bigelovii* bajo condiciones de campo abierto

6.3.7 Origen y producción de fertilizantes orgánicos

Se utilizó lombricomposta proveniente de un cultivo de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) alimentadas con estiércol bovino y el frass en fase sólida fue donado por la Universidad Autónoma de Querétaro, el cual fue producido a partir de la alimentación de larvas de mosca soldado (*Hermetia illucens*) con residuos orgánicos provenientes de la central de abastos de la localidad de Amazcala, ubicada en el estado de Querétaro, México. Ambos fertilizantes orgánicos fueron utilizados como materia prima para la producción de los té, para lo cual se siguió la metodología propuesta por Kim et al. (2015), con modificaciones donde se colocaron 5 kg de lombricomposta y frass en fase sólida en sacos hechos con secciones de malla antiáfidos. Los sacos fueron colocados individualmente en el interior de un recipiente de 100 L de capacidad; a continuación, se vertieron 50 L de agua dulce proveniente del campo agrícola experimental del CIBNOR. Posteriormente, el té fue oxigenado activamente introduciendo 2 mangueras de $\frac{1}{4}$ " de diámetro en cada recipiente, las cuales fueron colocadas en el fondo y conectadas en su extremo opuesto a una bomba de aire VIVOSUN de 55W. El proceso de oxigenación se realizó a temperatura ambiente durante 48 horas (Fig. 17 izquierda). Finalmente, el té fue filtrado con una bolsa de malla de 800 micras y almacenado en un refrigerador en recipientes de 4 L (Fig. 17 derecha).



Figura 17. Proceso de producción y almacenamiento de té de lombricomposta y frass de larva de mosca soldado.

6.3.7.1 Análisis de tratamientos

Previo al inicio de los experimentos, se realizó el análisis de las características químicas de los tratamientos, las variables evaluadas se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Análisis químicos de los tratamientos utilizados en el experimento.

Variable	Unidades
Potencial de hidrógeno (pH)	-
Conductividad eléctrica (C.E.)	mS/m
Potasio total (K^+)	
Fósforo total (P)	
Sulfatos (SO_4^{2-})	
Nitratos (NO_3^-)	mg/L
Amonio (NH_4)	
Magnesio (Mg_2^+)	
Calcio (Ca_2^+)	

Los tratamientos evaluados fueron las diferentes fuentes de riego: (A1) agua dulce del campo agrícola, (A2) agua de mar, y (A3) agua residual. Los fertilizantes orgánicos: té de lombricomposta y té de frass. Así como las diluciones entre fertilizantes orgánicos y fuentes de riego.

6.3.7.2 Aplicación de fertilizantes orgánicos

La aplicación de los téis (té de lombricomposta y té de frass), se realizó en dilución al 10% con las fuentes de riego (agua dulce, agua de mar y agua residual). La primera aplicación se realizó 7 días después de haber completado el proceso de aclimatación de las plantas. Se realizaron 3 aplicaciones de fertilización a lo largo del tiempo de experimentación con un intervalo de 14 días entre cada una (Tabla 20).

Tabla 20. Evento y fechas de fertilización.

Evento de fertilización	Fecha
1	26 julio 2022
2	9 agosto 2022
3	23 agosto 2022

6.3.8 Manejo del sistema de riego

Los niveles de conductividad eléctrica (C.E.) y potencial de hidrógeno (pH) de los tratamientos fueron monitoreadas a lo largo del período de experimentación con un conductímetro portátil Thermo Scientific modelo Orion Star A222. El monitoreo se realizó diariamente en el mismo horario (12:00 horas). Se decidió establecer intervalos de C.E. (Tabla 21) debido a que se observó una alta variabilidad en este parámetro, particularmente en los tratamientos con agua de mar y residual. Los valores de C.E. se controlaron mediante diluciones con agua dulce del campo agrícola cada vez que los valores mayores de C.E. eran superados. Cabe mencionar, que la aplicación de fertilizantes orgánicos no afectó de manera significativa los intervalos de C.E. establecidos.

Tabla 21. Intervalos de C.E. en los tratamientos de riego

Fuente de riego	Intervalo de C.E. ¹
Agua corriente	1-4
Agua de mar	51-55
Agua residual	51-55

Notas: ¹Valores de C.E. expresados en dS/m

6.3.9 Variables de respuesta del Experimento III

6.3.9.1 Variables de relaciones hídricas

6.3.9.1.1 Potencial hídrico

El potencial hídrico (Ψ_w) fue cuantificado al finalizar el período de experimentación a los 58 días después del trasplante (DDT). Se utilizaron ramificaciones apicales del tallo para el registro de esta variable, utilizando un potenciómetro de punto de rocío Dewpoint PotentiaMeter modelo WP4-T, en el laboratorio de fisiotecnia vegetal del CIBNOR. Los valores obtenidos fueron registrados en megapascales (MPa).

6.3.9.1.2 Potencial osmótico

Para cuantificar el potencial osmótico (Ψ_s) se tomaron muestras de las ramificaciones apicales de *S. bigelovii* (Torr.), las cuales se mantuvieron en un ultracongelador a -20 °C. Posteriormente se descongelaron, fueron centrifugadas a 1200 x g durante 25 minutos a 4 °C para extraer las células de la savia. Finalmente, el potencial osmótico fue determinado con un osmómetro de presión de vapor Wescor, modelo VAPRO. Se realizó la transformación de unidades a MPa, utilizando la ecuación propuesta por Van't Hoff (Salisbury y Ross, 1992):

$$\Psi_s = -C_x R_x T \quad (11)$$

Dónde: C representa la molaridad de la solución (mol del soluto kg⁻¹ H₂O); R, la constante universal de gases (0.0831 kg MPa mol⁻¹ K⁻¹); T indica la temperatura absoluta (K).

6.3.9.1.3 Contenido Relativo de Agua

El contenido relativo de agua (CRA) fue cuantificado utilizando la tercera ramificación hacia abajo desde la parte apical, y se calculó empleando la fórmula propuesta por Yamasaki y Diellenburg (1999):

$$CRA = \frac{P_f - P_s}{P_t - P_s} \times 100 \quad (12)$$

Dónde: P_f , P_s , P_t , indican peso fresco, peso seco y peso turgente, respectivamente.

Los pesos fueron registrados utilizando una balanza analítica Mettler Toledo, modelo AG204. El peso fresco (P_f) fue registrado, posteriormente se colocaron las muestras en inmersión con agua destilada en cajas Petri; 24 horas después se registró nuevamente el peso para obtener el peso turgente (P_t). Finalmente se colocaron las muestras en un horno de flujo laminar Shal-Lab, modelo FX-55 a 55 °C durante 48 horas para registrar el peso seco (P_s).

6.3.9.2 Variables bioquímicas

6.3.9.2.1 Contenido de clorofila

Debido a la forma filiforme de las ramificaciones de *S. bigelovii* (Torr.), la cuantificación del contenido de clorofila “a”, “b” y total se realizó utilizando la metodología propuesta por Rodríguez-Álvarez *et al.* (2022). Se emplearon muestras de la tercera ramificación a partir de la parte apical y se pesaron 0.1 g de biomasa fresca, la cual se colocó en inmersión en 5 ml de acetona al 80% (v/v) durante 72 horas en completa oscuridad. La cantidad de biomasa que se utilizó para el presente análisis fue equivalente a utilizar una tercera parte de tejido vegetal obtenido con un sacabocado cuando se utilizan tejidos vegetales con hojas lanceoladas. Transcurridas las 72 horas, se realizaron las lecturas en un espectrofotómetro de UV/Visible (Pye Unicam SP6-550, UK). Posteriormente se realizaron los cálculos del contenido de clorofilas usando la ecuación propuesta por Strain y Svec (1996):

$$Chl\ a \left(\frac{mg}{ml} \right) = 11.64x(A663) - 2.16x(A645) \quad (13)$$

$$Chl\ b \left(\frac{mg}{ml} \right) = 20.97x(A645) - 3.94x(A663) \quad (14)$$

$$Chl\ total \left(\frac{mg}{ml} \right) = 6.45x(A665) - 17.71x(A649) \quad (15)$$

A663, A645, A665 y A649 representan los valores de la absorbancia leídos a 663, 645, 665 y 649 nm de longitud de onda, respectivamente.

6.3.9.2.2 Contenido mineral

La cuantificación del contenido mineral en plantas adultas de *S. bigelovii* (Torr.) se realizó al finalizar el período de experimentación, utilizando un espectrofotómetro de plasma de

acoplamiento inductivo (ICP) de emisión óptica (Horiba® modelo Ultima 2) en el Laboratorio de Espectrofotometría de Absorción Atómica de las instalaciones del CIBNOR.

Previo a la cuantificación se realizó la preparación de las muestras, utilizando las terceras ramificaciones a partir de la zona apical, las cuales fueron deshidratadas en un horno de flujo laminar (Terlab® modelo TE-H80DM), durante 48 horas a 70 °C. A continuación, las muestras fueron pulverizadas con mortero hasta que se consiguió una consistencia fina y homogénea. Se pesaron 0.5 g de la muestra pulverizada en una balanza analítica (Mettler Toledo ML204) (Fig. 18 izquierda). Posteriormente, las muestras fueron sometidas a digestión al someterla a una mezcla de 6 mL de ácido nítrico y 2 mL de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en plancha caliente a 180 °C (Fig. 18 derecha). Posteriormente, fueron aforadas a 50 mL con agua desionizada y finalmente filtradas con papel Whatman No. 4. El filtrado se utilizó para la cuantificación de minerales que se muestra en la Tabla 22. Se utilizaron 3 muestras por cada tratamiento.



Figura 18. Proceso de pesado de muestras deshidratadas de *S. bigelovii* (izquierda); Proceso de digestión de muestras de tejido vegetal de *S. bigelovii* en plancha caliente (derecha).

Tabla 22. Minerales cuantificados en plantas adultas de *Salicornia bigelovii*.

Mineral	Símbolo
Calcio	Ca ²⁺
Potasio	K ⁺
Magnesio	Mg
Sodio	Na ⁺

6.3.9.2.3 Variables morfométricas

Se consideraron 13 variables morfométricas, las cuales fueron evaluadas a la conclusión del tiempo de experimentación, es decir, a los 76 DDT, 43 días después de la aplicación del riego al 100% con agua de mar y agua residual, y 36 días después del primer evento de fertilización. Las variables morfométricas se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Variables morfométricas evaluadas en plantas adultas de *Salicornia bigelovii*

Variable	Nomenclatura
Altura de la planta ¹	AP
Cobertura vegetal ¹	CV
Grosor del tallo ²	GT
Longitud de raíz ¹	LR
Número de ramificaciones secundarias	RS
Biomasa fresca y seca total ³	BF-T/BS-T
Biomasa fresca y seca de la parte aérea ³	BF-PA/BS-PA
Biomasa fresca y seca de raíz ³	BF-R/BS-R
Biomasa fresca y seca total del experimento ³	BF-E/BS-E

1: variables registradas en cm; 2; variables mm; variables registradas en g

Las variables morfométricas se evaluaron siguiendo la metodología propuesta por Rodríguez-Álvarez et al. (2022); la AP se midió a partir del nivel del suelo hasta la parte apical de cada planta utilizando una regla graduada de 100 cm. La CV se midió considerando la sección media de la parte aérea haciendo un plano horizontal y utilizando una regla graduada de 30 cm (Fig. 19 derecha). En el caso del GT se utilizó un vernier digital (GENERAL® modelo 142); las lecturas se hicieron a 2 cm de altura a partir del nivel del suelo (Fig. 19 izquierda). La LR se cuantificó utilizando una regla graduada de 30 cm. Se consideraron RS todas aquellas que parten del tallo principal hasta la ramificación apical.

Respecto a la BF-PA y BF-R, cada planta fue separada en su componente de PA y de R, las cuales fueron pesadas individualmente en una balanza analítica (Mettler Toledo ML204) en el laboratorio de fisiotecnia vegetal del CIBNOR. A través de la suma de los pesos registrados entre la BF-PA y BF-R se obtuvo el valor de la BF-T. Posteriormente, cada componente fue colocado de manera individual en bolsas de cartón e introducidos en un horno de flujo laminar (Terlab® modelo TE-H80DM), durante 48 horas a 70 °C hasta su completa deshidratación. Después se

registró el peso de la BS-PA y BS-R utilizando una balanza analítica (Mettler Toledo ML204). La BS-T se obtuvo siguiendo el mismo procedimiento que en la variable BF-T. Finalmente, siguiendo la metodología descrita previamente se registró la BF-E y BS-E, empleando todas las plantas utilizadas durante el experimento.

Las variables morfométricas enlistas previamente fueron registradas a partir del primer evento de fertilización, el cual fue considerado como el tiempo cero (T-0). Este primer evento se cuantificó 40 días después del trasplante y 7 días después de la aplicación del riego al 100% con agua de mar y agua residual.



Figura 19. Proceso de medición de cobertura vegetal (CV) en plantas adultas de *S. bigelovii* (izquierda); Proceso de medición de grosor del tallo (GT) en planta de *S. bigelovii* (derecha).

6.4 Análisis estadísticos

Se realizaron pruebas de normalidad, homocedasticidad e independencia de medias para verificar la distribución normal de los datos. Cuando se cumplió lo anterior, las diferencias entre tratamientos se determinaron mediante análisis de varianza factoriales y pruebas de comparación múltiple de Tukey HSD, con niveles de significación de 0.05 y 0.01. Los datos fueron procesados con el programa estadístico STATISTICA 10.0.

7. RESULTADOS

7.1 Resultados de los experimentos I y II

7.1.1 Caracterización de variables fisicoquímicas de los tratamientos de riego y fertilización

En la Tabla 24 es posible observar la formación de dos grupos tomando como referencia los valores registrados de conductividad eléctrica (C.E.). Uno constituido por los tratamientos AD, ADLvc, ADF, AC, ACLvc y ACF entre los cuales los valores registrados oscilaron entre 0.8 dS/m en el tratamiento AD donde se registró el menor valor en este grupo y 1.96 dS/m para ACLvc, el cual fue el de mayor C.E. en este grupo. Asimismo, el segundo grupo estaría compuesto por AM, AMLvc, AMF, AR, ARLvc y ARF, donde el tratamiento con los mayores valores en esta variable fue AM con 57.7 dS/m, mientras que el tratamiento ARLvc presentó el valor promedio menor con 53 dS/m. Los valores de C.E. reflejados por los dos fertilizantes orgánicos mostraron valores distintos entre ellos, donde los valores mayores se registraron en los lixiviados de lombriz con 10.3 dS/m, mientras que los lixiviados de frass de larva de mosca soldado registraron 7.3 dS/m. A diferencia de la disparidad registrada en la C.E. entre tratamientos, los valores de pH fueron similares cercanos a la neutralidad en todos los tratamientos, aún con la adición de ambos fertilizantes orgánicos con excepción del tratamiento control con AD, el cual presentó los niveles menores de esta variable con 5.19 (Tabla 24).

Los valores de contenido de potasio (K^+) fueron mayores en los lixiviados de lombriz (Lvc) en comparación con los lixiviados de frass de larva de mosca soldado (F) (Tabla 24). Lo anterior se vio reflejado cuando los Lvc fueron añadidos en dilución con las fuentes de riego (ADLvc, ACLvc, AMLvc y ARLvc), ya que presentaron niveles mayores de este elemento en comparación con los tratamientos en dilución con F (ADF, ACF, AMF y ARF). Asimismo, los lixiviados de F presentaron mayor contenido de fósforo (P) con respecto a los lixiviados de Lvc. En ese sentido, los tratamientos a los que se le añadieron los lixiviados de F (ADF, ACF, AMF y ARF) presentaron mayores valores en este elemento en comparación con los tratamientos con la dilución de Lvc (ADLvc, ACLvc, AMLvc y ARLvc) (Tabla 24). Con respecto a contenido de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), los valores mayores se registraron en todos los tratamientos a los que se añadieron los lixiviados de F en el riego (ADF, ACF, AMF y ARF), en comparación con los tratamientos con adición de Lvc (ADLvc, ACLvc, AMLvc y ARLvc). Las fuentes de nitrógeno evaluadas fueron

nitratos (NO_3^-) y amonio (NH_4). El tratamiento AR fue el único sin la presencia de NO_3^- (Tabla 24). Asimismo, los Lvc presentaron los niveles menores de NO_3^- , en comparación con los lixiviados de F. Sin embargo, ambos fertilizantes orgánicos presentaron valores elevados de NH_4 .

Tabla 24. Caracterización de tratamientos de fuente de riego y fertilización.

Tratamiento	pH	C.E.	K^+	P	NO_3^-	NH_4	Mg^{2+}	Ca^{2+}	SO_4^{2-}
		dS/m				mg/L			
AD	5.19	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ADLvc	7.14	0.8	1430 ⁵	0.6	ND	259.5	5.3	76.7	39.7
ADF	7.6	0.47	1243 ⁵	50.6 ⁷	112.3	80	10.3	75	30
AC	7.4	0.55	4.3	0.4	8.5	12.8	640 ⁶	283.3	45
ACLvc	7.5	1.96	1450 ⁵	0.5	3.7	188.3	137.6	105	95
ACF	7.5	0.97	1170 ⁵	121.4 ⁷	24.5	75.7	20	131.7	52.3
AM	7.6	57.4	5300 ³	0.2	ND	0.1	5.6	169	2600 ³
AMLvc	7.5	57.7	5800 ³	0.6	0.2	159.6	10.3	161.3	53.7
AMF	7.2	55.5	6000 ³	122 ⁷	22.8	94.6 ⁸	1192 ⁴	13165 ³	3250 ³
AR	7.3	54.8	2300 ⁴	0.1	ND	126.6 ⁸	1340 ⁴	269	1514 ⁴
ARLvc	7.3	53	2800 ⁴	0.8	4.2	145.4 ⁷	61.3	241.7	68.3
ARF	7.1	54.5	2066 ⁴	106 ⁷	19.5	77.3	73	201.7	1694 ⁴
Lixiviados Frass	7.3	7.3	2600 ²	18740 ²	657 ⁵	1534 ⁴	20.3	3434 ⁴	370 ⁵
Lixiviados Lombriz	7	10.3	48350 ¹	11.5 ⁶	1.2	1094 ⁴	7.6	276.6 ⁷	466.5 ⁶

pH: potencial de hidrógeno; dS/m: decisiemens por metro; K^+ : potasio total; P: fósforo total; NO_3^- : nitratos totales; NH_4 : amonio; Ca^{2+} : calcio; SO_4^{2-} : sulfatos. Superíndice indica dilución (v:v) de la dilución inicial: ¹.2%; ².5%; ³ 2%; ⁴ 5%; ⁵ 10%; ⁶ 20%; ⁷ 50%; ⁸ 80%

7.1.2 Experimento I y II: Índices de germinación

7.1.2.1 Porcentaje total de germinación

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas en la variable porcentaje total de germinación (PG) ($F_{19,40}=51.684$; $p=.0000$), en donde, reflejando que los valores más altos se registraron con ACpF (76%), ADpLvc (74%), ADpF (73%), ACF (71%), ADLvc (70%) y ADF (66%). En contraste, los tratamientos con los valores menores se registraron con AMpF (26%), ARpF (24%), AR (23%), AM (20%) y ARpLvc (16%). Además, se observó que los tratamientos con las fuentes de riego AD y AC, independientemente de la aplicación de los fertilizantes orgánicos (Lvc y F) mediante su dilución en las fuentes de riego o con tratamientos

de pregerminación, mostraron valores mayores comparados con los tratamientos sometidos a las fuentes de riego AM y AR. En la Tabla 25 se observa que el PG incrementa en todos los tratamientos con la aplicación de ambos fertilizantes orgánicos (Lvc y F) cuando son comparados con el mismo tratamiento de riego sin la aplicación de ellos, independientemente de si los fertilizantes orgánicos fueron aplicados a través de dilución con las fuentes de riego o mediante tratamientos de pre-germinación. En el mismo orden de ideas, el mayor incremento en el PG se observó entre ACpF y AC con una diferencia del 28%, seguido de ADpLvc y AD con 24%. Dicha tendencia se mantuvo en los tratamientos expuestos a la fuente de riego AM, sin embargo, el tratamiento ARpLvc fue la excepción al registrarse una disminución de 7% en la germinación en comparación con el tratamiento AR y de 4% con el tratamiento AM (Tabla 25).

Tabla 25. Prueba de Tukey HSD ($p \leq 0.05$) de diferentes índices de germinación de semillas de *Salicornia bigelovii* Torr.

Tratamiento	PG (%)	ITG (% / día)	TMG (días)
AD	50.6 ^{cde}	13.3 ^{bcd}	3.0 ^{cb}
ADLvc	70.0 ^{ab}	18.4 ^a	2.6 ^c
ADF	66.0 ^{abc}	13.6 ^{bcd}	3.0 ^{cb}
ADpLvc	74.6 ^{ab}	16.3 ^{abc}	3.0 ^{cb}
ADpF	73.3 ^{ab}	15.1 ^{abcd}	3.0 ^{cb}
AC	48.6 ^{de}	10.9 ^d	3.3 ^{cb}
ACLvc	60.0 ^{bcd}	14.7 ^{abcd}	2.6 ^c
ACF	71.3 ^{ab}	17.0 ^{ab}	2.3 ^c
ACpLvc	59.3 ^{bcd}	12.7 ^{cd}	3.0 ^{cb}
ACpF	76.6 ^a	14.2 ^{abcd}	3.3 ^{cb}
AM	20.0 ^{hi}	2.0 ^e	5.3 ^a
AMLvc	30.6 ^{fghi}	3.4 ^e	6.0 ^a
AMF	32.6 ^{fgh}	4.5 ^e	4.6 ^{ab}
AMpLvc	32.6 ^{fgh}	3.2 ^e	5.6 ^a
AMpF	26.0 ^{ghi}	2.5 ^e	5.3 ^a
AR	23.3 ^{ghi}	1.9 ^e	6.3 ^a
ARLvc	38.0 ^{efg}	5.7 ^e	4.6 ^{ab}
ARF	42.0 ^{ef}	4.9 ^e	5.3 ^a
ARpLvc	16.0 ⁱ	1.8 ^e	6.0 ^a
ARpF	24.0 ^{ghi}	2.4 ^e	5.3 ^a

Literales diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).

7.1.2.2 Índice de tasa de germinación

Respecto a los resultados obtenidos en la variable índice de tasa de germinación (ITG), el análisis de varianza ($F_{19,40}=59.492$; $p=.0000$) mostró que los mayores valores de ITG se presentaron en los tratamientos con fuentes de riego AD y AC cuando se aplicaron los fertilizantes orgánicos (Lvc y F) en dilución o como tratamientos de pre-germinación (Tabla 25). En contraste, las semillas que fueron sometidas a las fuentes de riego con valores mayores de C.E., es decir, AM y AR (Tabla 25) presentaron los valores menores de ITG. Por lo anterior, la adición de los fertilizantes orgánicos en dilución y tratamiento de pre-germinación no generaron un incremento estadísticamente significativo comparados con AM y AR. En relación con la variable ITG se añadió la Fig. 19, ilustra la germinación diaria a través del tiempo de experimentación. Se aprecia que el mayor número de semillas germinadas se registró en los primeros 7 días de experimentación en el caso de los tratamientos sometidos a las fuentes de riego AD y AC, independientemente de la aplicación de ambos fertilizantes orgánicos. Sin embargo, los valores promedio máximos de germinación se registraron con fertilización orgánica, donde el promedio máximo fue de 9 semillas germinadas en el día 4 para ACpLvc y ACF, mientras que 8 en el día 4 y 5 con ADpLvc y ADF, respectivamente. En contraste, los valores promedio máximos de germinación para las semillas sometidas a las fuentes de riego AM y AR fueron menores y requirieron mayor tiempo.

La Fig. 20 muestra que los promedios máximos se presentaron con AMpLvc y AMpF 9 días después de haber iniciado el experimento con 3 semillas germinadas. A su vez, AM, ARpLvc y ARF registraron el primer evento de germinación 3 días después de la siembra.

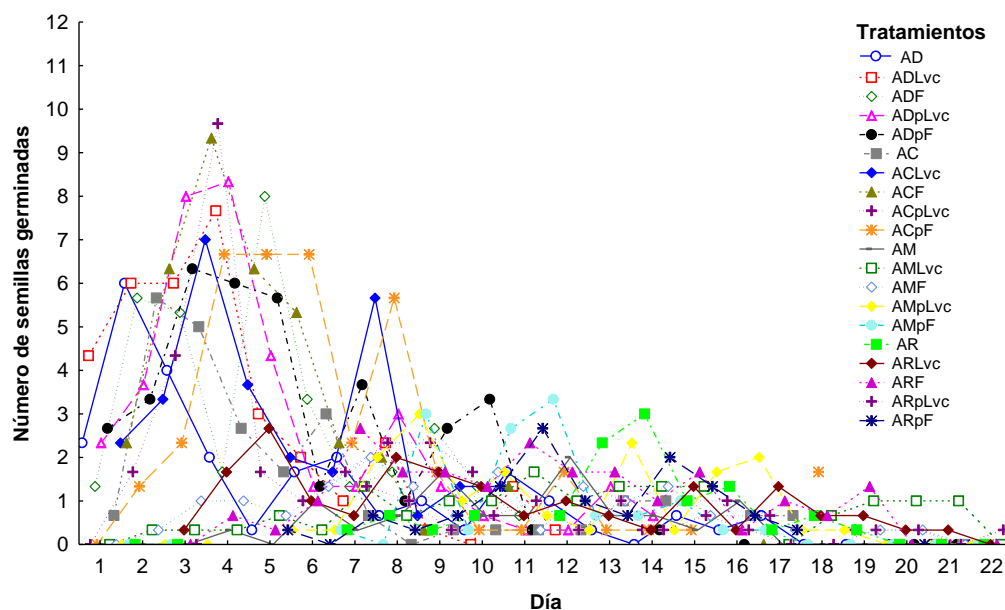


Figura 20. Germinación de semillas de *Salicornia bigelovii* sometidas a distintos tratamientos de fuente de riego y fertilizantes de origen natural.

7.1.2.3 Tiempo medio de germinación

Para la variable tiempo medio de germinación (TMG) el análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas ($F_{19,40}=13.507$; $p=.0000$), donde las semillas expuestas a los tratamientos de fuente de riego AD y AC reflejaron los valores menores, en comparación con las semillas de los tratamientos de riego AM, especialmente con AR; en el que se observaron los valores mayores (6.3 días). La disminución en el TMG con la aplicación de los fertilizantes orgánicos (Lvc y F) mediante dilución o a través de tratamientos de pre-germinación no fue homogénea en todos los tratamientos, a diferencia de las variables PG y ITG.

7.1.3 Experimento I y II: Relaciones hídricas

7.1.3.1 Potencial hídrico

Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para el potencial hídrico (Ψ_w) ($F_{19,40}=117.99$; $p=.0000$) (Figura 21), donde los tratamientos sometidos a las fuentes de riego AM y AR presentaron valores más negativos, oscilando entre -8 MPa para AMpLvc y AMF, hasta -10 MPa en AMpF, AR y ARLvc. En contraste, todos los tratamientos con AD y AC presentaron valores mayores a -3 MPa, siendo ADLvc el más afectado, mientras que AD reflejó el valor más

positivo (-1 MPa). La diferencia entre los tratamientos de los valores menores registrados (AMpF, AR y ARLvc) fue de 9 MPa en comparación con el tratamiento AD.

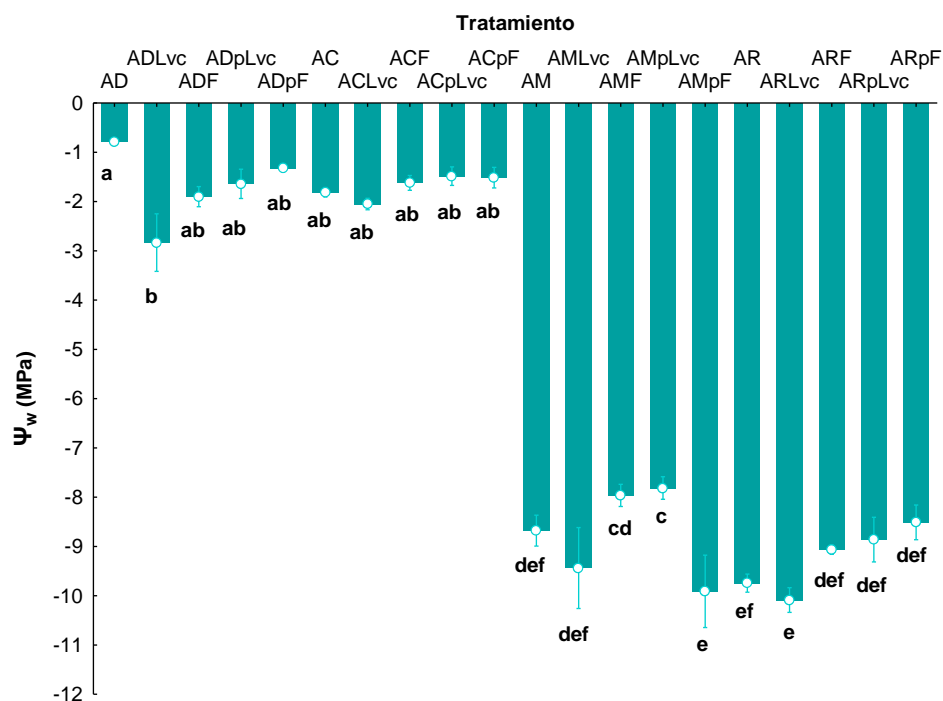


Figura 21. Valores de potencial hídrico en plántulas de *Salicornia bigelovii* bajo distintas fuentes de riego y fertilización orgánica. Literales diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).

7.1.3.2 Contenido Relativo de Agua

El análisis de varianza no mostró diferencias estadísticamente significativas para la variable contenido relativo de agua (CRA), a diferencia de lo obtenido en la variable Ψ_w . En la Fig. 22 se observa que el CRA se mantuvo entre 80% y 97% para ADF y AM respectivamente, los cuales reflejan el porcentaje menor y mayor.

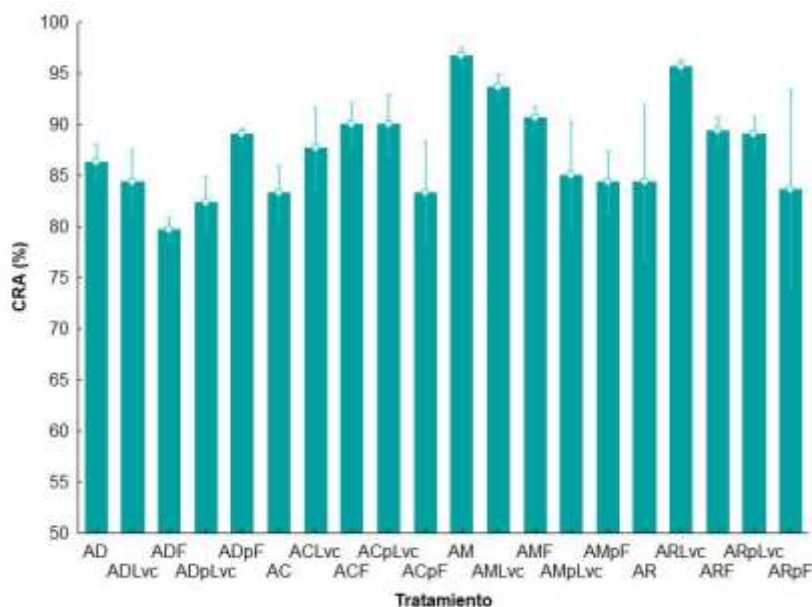


Figura 22. Valores de Contenido Relativo de Agua (CRA) en plántulas de *Salicornia bigelovii* bajo distintas fuentes de riego y fertilización orgánica. Literales diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).

7.1.3.3 Potencial osmótico

De acuerdo con el análisis de varianza aplicado en la variable potencial osmótico (Ψ_s) se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($F_{19,40}=78.252$; $p=.0000$). Con los resultados obtenidos, se identificaron dos grupos constituidos por los tratamientos en los que las fuentes de riego fueron AD y AC, y el otro, los que estuvieron irrigados con las fuentes AM y AR, donde los valores más positivos se presentaron en el grupo conformado por los tratamientos AD y AC, mientras que los más negativos por el grupo de los tratamientos AM y AR (Fig. 23). Las plántulas sometidas al tratamiento AD presentaron los valores más positivos con -2.5 MPa, mientras que las plántulas sometidas al tratamiento AR, con una diferencia de ~ 6.5 MPa mostraron los mayores valores con -9 MPa (Fig. 23).

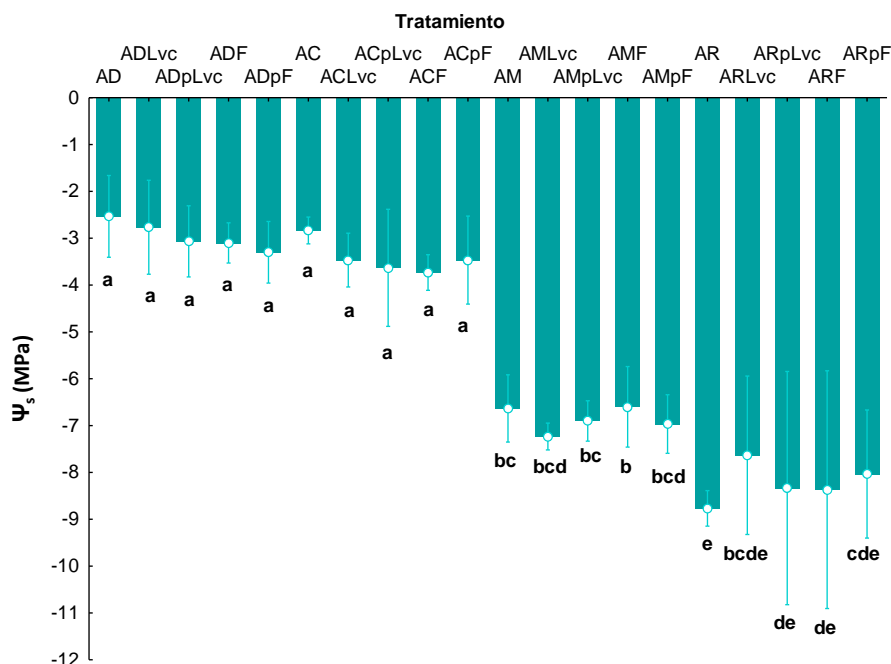


Figura 23. Valores de potencial osmótico de plántulas de *Salicornia bigelovii* (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos. Literales diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).

7.1.4 Experimento I y II: Morfometría

7.1.4.1 Biomasa fresca y seca total

De acuerdo con el análisis de varianza, se presentaron diferencias estadísticamente significativas en las variables biomasa fresca ($F_{19,40}=13.507$; $p=.0000$) y seca totales. En la Fig. 24 (izquierda) se aprecia que los valores mayores obtenidos en la variable biomasa fresca se registró en los tratamientos en los que las fuentes de riego reflejaron los valores menores de C.E. (Tabla 24), es decir, las plántulas irrigadas con agua destilada (AD) y agua corriente del campo agrícola experimental del CIBNOR (AC). Además, la adición de ambos fertilizantes orgánicos (Lvc y F) independientemente de si fue en dilución con la fuente de riego o mediante tratamiento de pre-germinación, incrementó la biomasa fresca de todos los tratamientos. En ese sentido, en el caso del tratamiento agua destilada con la dilución de los lixiviados de frass (ADF) se presentó un incremento del 100% en comparación con las plántulas sometidas al tratamiento de agua destilada (AD). Respuesta similar se observó en los tratamientos ACLvc y ACF cuando se comparan con las plántulas que estuvieron irrigadas con el tratamiento AC.

La prueba de comparación de medias Tukey HSD ($p \leq 0.05$) mostró los valores mayores en la biomasa fresca obtenida con AD y AC, en comparación con AM y AR. Sin embargo, cuando los tratamientos AM y AR se diluyeron con ambos fertilizantes orgánicos (Lvc y F), es decir, los tratamientos AMLvc, AMF, ARLvc y ARF los valores de biomasa fresca fueron similares a los de AD y AC.

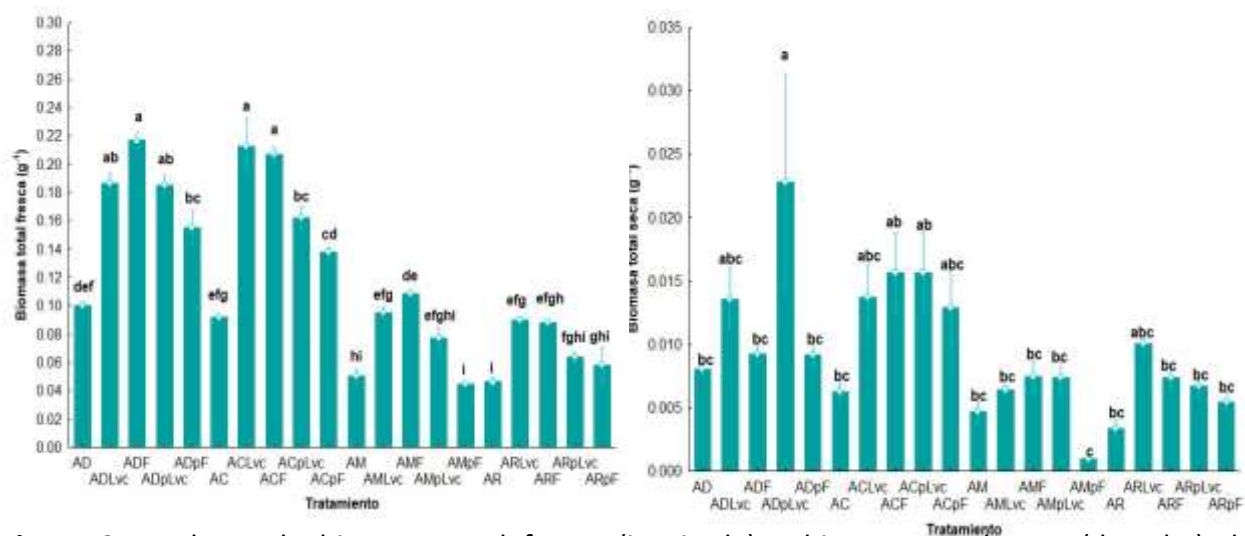


Figura 24. Valores de biomasa total fresca (izquierda) y biomasa total seca (derecha) de plántulas de *Salicornia bigelovii* (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos. Literales diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).

7.2 Resultados del experimento III

7.2.1 Caracterización de variables fisicoquímicas de los tratamientos de riego y fertilización

De acuerdo con los resultados del análisis de variables fisicoquímicas de los tratamientos, se observó que los valores de pH fueron similares en los tratamientos AC, AM y AR, los cuales se ubicaron en el intervalo entre 7.8 y 7.2 (Tabla 26). En ese sentido, los valores menores de esta variable se registraron para el té de frass (Tabla 26), el cual registró valores de pH de 5, en contraste, el té de lombricomposta reflejó los valores mayores en esta variable con 8.7. Sin embargo, los valores de pH de los fertilizantes orgánicos no se modificaron cuando se diluyeron con las fuentes de riego AC, AM y AR, es decir, con en los tratamientos ACTLvc, ACTF, AMTLvc, AMTF, ARTLvc y ARTF, toda vez que todos ellos se ubicaron en valores cercanos al valor neutro de 7.

Los valores de C.E. oscilaron entre 53.8 y 55.4 dS/m para los tratamientos con fuentes de riego AM y AR, incluyendo su dilución con los téis de frass y lombricomposta (AMTLvc, AMTF, ARTLvc y ARTF), mientras que los valores de C.E. variaron entre 1.7, 1.9 y 2.6 dS/m en los tratamientos AC, ACTLvc y ACTF, respectivamente. Los valores de esta variable en ambos fertilizantes orgánicos (té de lombricomposta y té de frass), se ubicaron entre 3.3 y 3.4 dS/m (Tabla 26).

Respecto a los valores registrados en el contenido de potasio (K^+) los valores mayores se observaron con los tratamientos AMTF (219 g/L), AMTLvc (215 g/L) y AM (211 g/L), respectivamente, mientras que los valores menores fueron registrados en los tratamientos ACTLvc (59.6 mg/L), ACTF (68.1 mg/L) y AC (3.9 mg/L) (Tabla 26).

Los tratamientos que registraron los valores mayores en el contenido de fósforo (P) fueron ACTF (33.8 mg/L) y AMTF (25.9 mg/L). Asimismo, AC (0.6 mg/l) y AMTLvc (0.1 mg/l) presentaron los valores menores de este mineral (Tabla 26).

En el presente experimento se evaluaron nitratos (NO_3^-) y amonio (NH_4) como fuentes nitrogenadas (Tabla 26). Los valores mayores registrados de NO_3^- fueron obtenidos en los tratamientos en donde se diluyó el té de lombricomposta, es decir, ACTLvc (382.1 mg/L), AMTLvc (221.3 mg/L) y ARTLvc (186.5 mg/L). A su vez, los valores mayores obtenidos para NH_4 se registraron en todos los tratamientos en los cuales la fuente principal de riego fue el agua residual, es decir, los tratamientos AR (142.38 g/L), ARTLvc (140.2 g/L) y ARTF (133.5 g/L).

Al igual que en el contenido de NH_4 , los tratamientos registraron los valores mayores en el contenido de magnesio (Mg^{2+}) fueron los tratamientos en los que el agua residual fue la fuente de riego, es decir, AR (24.5 g/L), ARTLvc (21.8 g/L) y ARTF (20.2 g/L) (Tabla 26).

A su vez, los mayores niveles de calcio (Ca^{2+}) se registraron en los tratamientos AR (286 mg/L) y AC (280.1 mg/L), mientras que los de valores menores fueron AMTF (105.6 mg/L) y AM (169 mg/L), respectivamente (Tabla 26).

Finalmente, el mayor contenido en sulfatos (SO_4^{2-}) fue reflejado por los tratamientos donde el AM fue el medio principal de riego, es decir, AM (1284 g/L), AMTLvc (115.2 g/L) y AMTF (108.6 g/L), mientras que los tratamientos en donde el agua corriente fue el medio de riego se

presentaron los valores menores, es decir, AC (42.6 mg/L), ACTLvc (51.2 mg/L) y ACTF (64.3 mg/L), respectivamente (Tabla 26).

Tabla 26. Caracterización de tratamientos de fuente de riego y fertilización.

Tratamiento	pH	C.E.	K ⁺	P	NO ₃ ⁻	NH ₄	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻
		dS/m				mg/L			
AC	7.2	1.7	3.9	0.6	4.8	11.2	27.8	280.1	42.6
ACTLvc	7.4	1.9	59.6	1.7	382.1	14.8	77	276.3	51.2
ACTF	7.1	2.6	68.1	33.8	29.7	44.1	104.2	196.5	64.3
AM	7.8	55.4	211*	0.2	0.8	0.1	5.6	169	128.4*
AMTLvc	7.4	53.8	215*	0.1	221.3	5.8	29.8	185.3	115.2*
AMTF	7.6	54.1	219*	25.9	37.2	46.2	32.1	105.6	108.6*
AR	7.3	54.8	40.2*	0.8	35.8	142.8*	24.5*	286	30.7*
ARTLvc	7.8	54	44.6*	1	186.5	140.2*	21.8*	244.1	31.8*
ARTF	6.9	54.8	41.1*	14.9	32.1	133.5*	20.2*	183	30.4*
Té de frass	5.0	3.4	156.7	65.3	50.5	75	96.7	125	85.3
Té de lombricomposta	8.7	3.3	178.3	2.1	625	13.1	75.3	218.3	76.7

pH: potencial de hidrógeno; dS/m: decisiemens por metro; K⁺: potasio total; P: fósforo total; NO₃⁻: nitratos totales; NH₄: amonio; Ca²⁺: calcio; SO₄²⁻: sulfatos. *: indica g/L

7.2.2 Relaciones hídricas

7.2.2.1 Potencial hídrico

El análisis de varianza aplicado en la variable potencial hídrico (Ψ_w) mostró diferencias estadísticamente significativas ($F_{8,27}=85.92$; $p=0.000$). En la Fig. 25 se muestra que los valores menores fueron registrados con ACTLvc (-2.22 MPa), seguido por ACTF (-2.29 MPa) y AC (-3.66 MPa). Los valores obtenidos de Ψ_w en el resto de los tratamientos (AM, AMTLvc, AMTF, AR, ARTLvc y ARTF) oscilaron entre -5.77 MPa (ARTF) y -7.58 MPa (AR). En este sentido, se presentó una diferencia de 5.36 MPa entre el tratamiento con los valores menores (ACTLvc) y el de valores mayores (AR) de Ψ_w (Fig. 25).

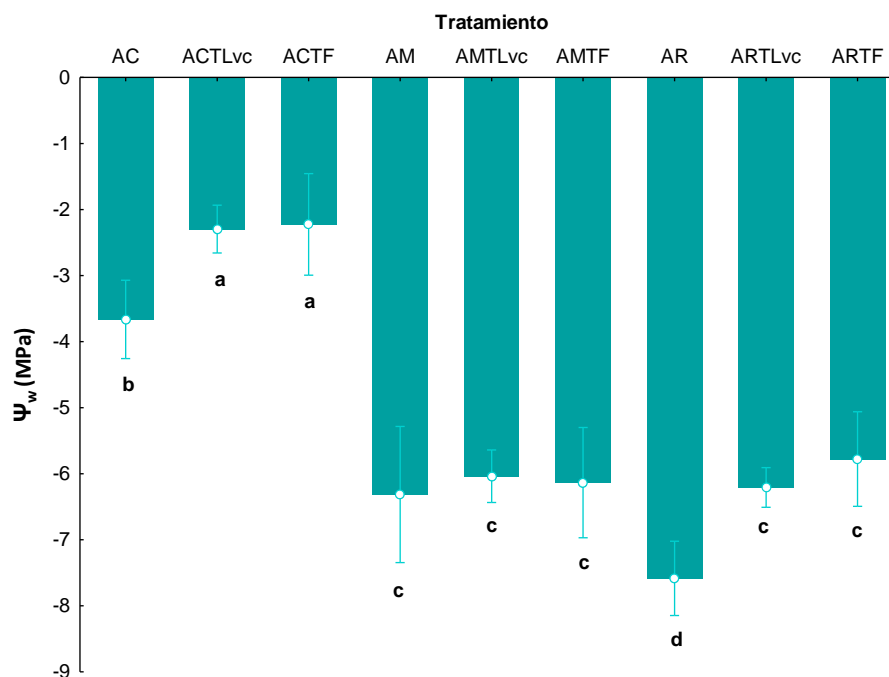


Figura 25. Valores de potencial hídrico de plantas maduras de *Salicornia bigelovii* (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos. Literales diferentes denotan diferencias estadísticas Tukey HSD ($p \leq 0.05$).

7.2.2.2 Potencial osmótico

La variable potencial osmótico (Ψ_s) mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), donde al igual que en la variable Ψ_w los valores mayores se registraron en los tratamientos ACTF (-8.53 MPa), ACTLvc (-8.83 MPa) y AC (-10.16 MPa), respectivamente. Asimismo, los valores menores fueron registrados con los tratamientos ARTF (-15.93 MPa) y ARTLvc (-16.16 MPa), presentándose una diferencia de 7.63 MPa entre el tratamiento ACTF y ARTLvc (Fig. 26).

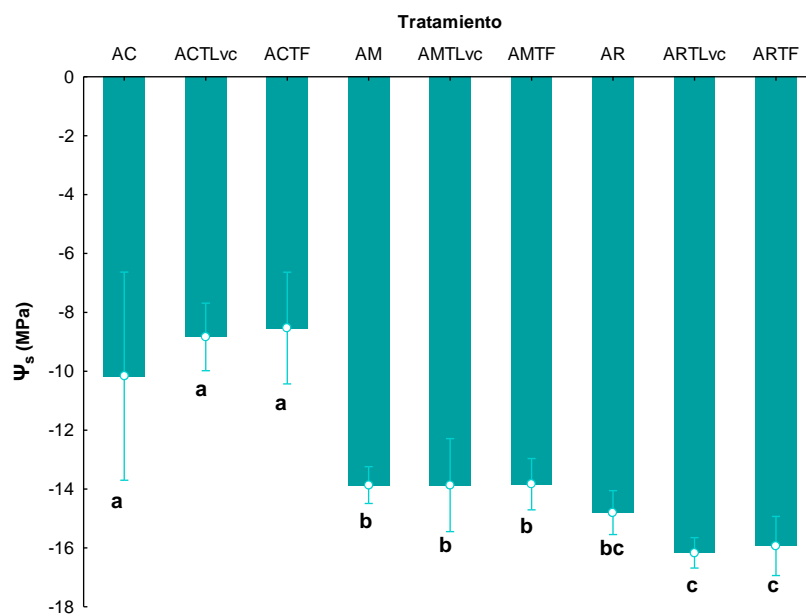


Figura 26. Valores de potencial osmótico de plantas maduras de *Salicornia bigelovii* (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos. Literales diferentes denotan diferencias estadísticas Tukey HSD ($p \leq 0.05$).

7.2.2.3 Contenido Relativo de Agua

El análisis de varianza aplicado en la variable contenido relativo de agua (CRA) no mostró diferencias estadísticamente significativas ($F_{8,18}=4.2581$; $p=.0051$). Los resultados obtenidos para dicha variable mostraron que el CRA osciló entre 65.6 % (tratamiento AC) y 82 % (tratamiento AR), es decir, existió un incremento de 16.4% entre el tratamiento con los valores mayores registrados de CRA (AR) y el de valores menores (AC) (Fig. 27).

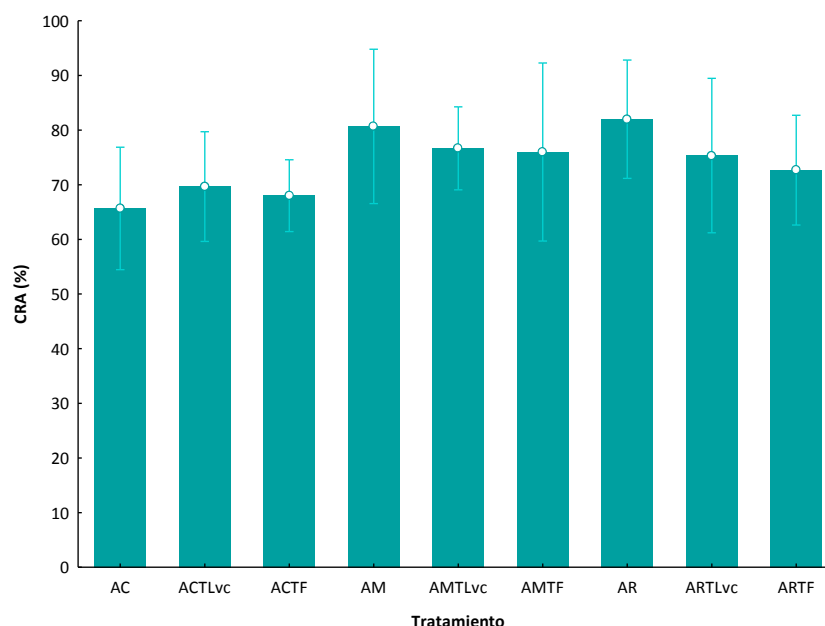


Figura 27. Valores de Contenido Relativo de Agua de plantas maduras de *Salicornia bigelovii* (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos. Literales diferentes denotan diferencias estadísticas Tukey HSD ($p \leq 0.05$).

7.2.3 Variables bioquímicas

7.2.3.1 Pigmentos fotosintéticos

Los pigmentos fotosintéticos evaluados fueron el contenido de clorofila a (Chl a), contenido de clorofila b (Chl b) y el contenido de clorofila total (Chl total). Se observaron diferencias estadísticamente significativas en Chl a ($F_{8,72}=6.1447$; $p=.00001$), Chl b ($F_{8,72}=6.5316$; $p=.00000$) y Chl total ($F_{8,72}=6.0172$; $p=.00001$). Los valores mayores y menores de Chl a se presentaron en ACTLvc ($14.42 \mu\text{g cm}^2$) y AR ($7.16 \mu\text{g cm}^2$), respectivamente. Los valores obtenidos del contenido de Chl a en AR representó el 49% comparado con ACTLvc (Tabla 27). En relación con el contenido de Chl b, la tendencia observada en el contenido de Chl a se mantuvo; los valores mayores se observaron con ACTLvc ($6.07 \mu\text{g cm}^2$), mientras que AR presentó los valores menores ($2.49 \mu\text{g cm}^2$), 41 % menos que con ACTLvc (Tabla 27). Los mayores valores en la variable Chl total nuevamente se presentaron con ACTLvc ($20.49 \mu\text{g cm}^2$), mientras que el tratamiento AR presentó los valores menores ($9.65 \mu\text{g cm}^2$), lo cual representó el 47% de la media observada con ACTLvc.

Tabla 27. Contenido de pigmentos fotosintéticos en plantas adultas de *Salicornia bigelovii* sometidas a distintas fuentes de riego y fertilización orgánica.

Tratamiento	Chl a	Chl b	Chl total
	$\mu\text{g cm}^2$		
AC	13.27 a	5.15 ab	18.42 ab
ACTLvc	14.42 a	6.07 a	20.49 a
ACTF	11.84 ab	4.88 abc	16.76 abcd
AM	7.62 b	3.43 bcd	11.05 cd
AMTLvc	9.31 ab	3.49 bcd	12.8 bcd
AMTF	9.42 ab	3.00 cd	12.42 bcd
AR	7.16 b	2.49 d	9.65 d
ARTLvc	14.23 a	4.45abcd	18.69 ab
ARTF	13.84 a	4.14 abcd	17.99 abc

Literales diferentes denotan diferencias estadísticas Tukey HSD ($p \leq 0.05$)

7.2.4 Contenido mineral

La variable indicadora sobre contenido mineral en tejido foliar presentó diferencias estadísticamente significativas en todos los tratamientos y los minerales cuantificados (Tabla 28). El contenido foliar de potasio (K^+) ($F_{8,18}=259.86$; $p=.00000$) mostró los niveles mayores en las plantas con los tratamientos con niveles menores de C.E., es decir, AC, ACTLvc y ACTF. Según la prueba post hoc Tukey HSD ($p=0.05$), ACTLvc mostró los niveles mayores de este mineral (53.99 mg/g^{-1}), reflejando 26.8% y 27.6% más contenido de K^+ que AC y ACTF, respectivamente. Los tratamientos con los niveles menores de K^+ foliar fueron AM (14.92 mg/g^{-1}) y AR (15.96 mg/g^{-1}), mostrando 72.3% y 70.4% menos contenido de dicho catión, comparados con ACTLvc (Tabla 28). Con respecto al contenido foliar de magnesio (Mg^{2+}) ($F_{8,18}=346.66$; $p=.0000$), los tratamientos que mostraron niveles mayores de este mineral fueron AMTF (12.84 mg/g^{-1}), AR (13.24 mg/g^{-1}) y ARTLvc (13.14 mg/g^{-1}). El tratamiento AR mostró la mayor concentración de magnesio en el tejido foliar, con 34% más que AM (8.73 mg/g^{-1}), el cual mostró los niveles menores de este mineral (Tabla 28). Respecto al contenido foliar de calcio (Ca^{2+}) ($F_{8,18}=3.4837$; $p=.01326$), los tratamientos con los valores mayores fueron ARTLvc (5.51 mg/g^{-1}) y ACTLvc (5.46 mg/g^{-1}), mostrando un incremento de 36.6% y 36% con respecto a AR (3.49 mg/g^{-1}), el cual reflejó los valores menores en dicha variable (Tabla 28). Finalmente, el contenido foliar de sodio (Na^+) ($F_{8,18}=1705.5$; $p=.0000$) mostró los valores mayores en los tratamientos de riego con niveles mayores de C.E., ARTLvc (100.72 mg/g^{-1}), ARTF (95.79 mg/g^{-1}), AMTF (88.03 mg/g^{-1}),

AMTLvc (85.12 mg/g⁻¹), AR (81.9 mg/g⁻¹) y AM (83.34 mg/g⁻¹). El tratamiento ACTLvc (47.93 mg/g⁻¹) mostró la concentración más baja de Na⁺ en el tejido foliar con 52.4% por debajo del tratamiento ARTLvc (Tabla 28).

Tabla 28. Caracterización de tratamientos de fuente de riego y fertilización.

Tratamiento	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺ /Na ⁺	Ca ²⁺ /Na ⁺
	mg/g ⁻¹					
AC	39.52 b	10.8 cd	4.54 ab	65.46 f	0.60 b	0.06 b
ACTLvc	53.99 a	10.25 e	5.46 a	47.93 h	1.12 a	0.11 a
ACTF	39.05 b	11.12 c	4.48 ab	63.25 g	0.61 b	0.07 b
AM	14.92 d	8.73 f	3.99 ab	83.34 de	0.17 c	0.04 c
AMTLvc	20.25 c	10.4 de	4.39 ab	85.12 d	0.23 c	0.05 bc
AMTF	21.35 c	11.84 bc	4.97 ab	88.03 c	0.24 c	0.05 bc
AR	15.96 d	13.24 a	3.49 b	81.9 e	0.18 c	0.04 c
ARTLvc	20.87 c	13.14 a	5.51 a	100.72 a	0.19 c	0.05 bc
ARTF	17.86 cd	12.39 b	4.58 ab	95.79 b	0.20 c	0.04 c

Literales diferentes denotan diferencias estadísticas Tukey HSD ($p \leq 0.05$)

7.2.5 Variables morfométricas

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas en todas las variables morfométricas, donde se observa como tendencia la disminución de las medias en los tratamientos con mayores valores de C.E. de las fuentes de riego (AM, AMTLvc, AMTF, AR, ARTLvc y ARTF). Los resultados para la variable altura de la planta (AP) ($F_{8,99}=44.478$; $p=.0000$) mostraron que los tratamientos con la fuente de riego AC mostraron los mayores valores (AC, ACTLvc y ACTF). La AP incrementó con la adición de ambos fertilizantes orgánicos, es decir, se registró un incremento de 12.7% en el tratamiento ACTF con respecto al tratamiento AC y de 28.5% en el tratamiento ACTLvc en relación con el tratamiento AC (Tabla 29). El efecto de la aplicación de los fertilizantes orgánicos se mantiene en dicha variable con los tratamientos AM, AMTLvc y AMTF, donde las plantas sometidas a los tratamientos AMTF y AMTLvc incrementaron 19.8% y 6.5% respecto a AM, respectivamente (Tabla 29). La tendencia fue similar cuando se analizan los tratamientos con AR, es decir, las plantas irrigadas con los tratamientos ARTLvc y ARTF incrementaron su altura 28.3% y 25%, respecto al tratamiento AR (Tabla 29).

La variable cobertura vegetal (CV) ($F_{8,99}=34.236$; $p=.0000$) mostró valores mayores en los tratamientos ACTLvc y ACTF, en contraste, AR y AMTF presentaron los valores menores para esta variable. En el caso del tratamiento AR, el decremento fue de 48% respecto a ACTLvc y 35.8% en comparación con ACTF (Tabla 29).

Respecto al grosor del tallo (GT) ($F_{8,99}=31.084$; $p=.0000$), el tratamiento ACTLvc nuevamente fue el mayor (2.27 cm^{-1}), es decir, 69% mayor en comparación con AR (0.7 cm^{-1}), el cual mostró los valores más bajos entre tratamientos (Tabla 29). Se observó una diferencia de 57.8% entre el tratamiento ACTLvc y AR, ambos registraron los valores mayores y menores para la variable longitud de raíz (LR) ($F_{8,99}=18.848$; $p=.0000$), respectivamente. El tratamiento ACTLvc incrementó la LR en 18.2% y 19%, en comparación con los tratamientos ACTF y AC, respectivamente.

Respecto a la variable número de ramificaciones secundarias (RS) ($F_{8,99}=36.346$; $p=.0000$), se observó el incremento en el RS en los tratamientos con los valores menores de C.E. como fuente de riego (AC, ACTLvc y ACTF). Sin embargo, la prueba de comparación de medias Tukey HSD ($p=0.05$) no mostró diferencias estadísticas entre ellos.

Tabla 29. Variables morfométricas de tratamientos de fuente de riego y fertilización.

Tratamiento	AP ¹	CV ¹	GT ¹	LR ¹	RS ²
AC	16.69 c	3.17 b	1.44 c	13.27 ab	13.91 a
ACTLvc	23.32 a	5.87 a	2.27 a	16.4 a	17.58 a
ACTF	19.1 b	4.79 a	1.84 b	13.41 ab	16.5 a
AM	13.14 f	2.2 bc	1.16 c	8.6 cd	7.83 b
AMTLvc	14.05 de	1.91 c	1.1 c	8.36 cd	5 cd
AMTF	16.37 c	1.73 c	1.15 c	11.46 bc	9.08 b
AR	11.85 f	1.18 c	0.7 d	6.91 d	2.58 d
ARTLvc	16.55 c	2.17 bc	1.43 c	8.47 cd	9.16 b
ARTF	15.8 cd	1.95 c	1.26 c	10.04 cd	9.5 b

AP= altura de la planta, CV= cobertura vegetal, GT= grosor del tallo, LR= longitud de raíz, RS= raíces secundarias; 1:cm; 2: unidades

En relación con los resultados del análisis de varianza aplicado en las variables de producción de biomasa (Tabla 30), se observaron los valores mayores en los tratamientos con AC como fuente principal de irrigación, es decir, los tratamientos AC, ACTLvc y ACTF. Además, entre este grupo

de tratamientos destacó el tratamiento ACTLvc, el cual mostró los valores mayores en todas las variables (Tabla 30). Para biomasa fresca de la parte aérea (BF-PA) ($F_{8,99}=42.601$; $p=.0000$) y biomasa seca de la parte aérea (BS-PA) ($F_{8,99}=40.966$; $p=.0000$) se registraron disminuciones en 91.1% en AR, al ser comparado con ACTLvc, ambos reflejaron el valor menor y mayor en ambas variables, respectivamente. La tendencia descrita previamente se mantuvo al observar los resultados para las variables biomasa fresca de raíz (BF-R) ($F_{8,99}=31.497$; $p=.0000$) y biomasa seca de raíz (BS-R) ($F_{8,99}=27.693$; $p=.0000$), donde el tratamiento ACTLvc mostró valores 69% mayores con BF-R y 93% mayores con BS-R, en comparación con el tratamiento AR (Tabla 30). Lo anterior se confirma con las variables biomasa fresca total (BF-T) ($F_{8,99}=45.964$; $p=.0000$) y biomasa seca total (BS-T) ($F_{8,99}=40.885$; $p=.0000$), donde el tratamiento ACTLvc incrementó la BF-T y BS-T en 92% en comparación con las plantas tratadas con AR (Tabla 30).

Tabla 30. Variables de producción de biomasa tratamientos de fuente de riego y fertilización.

Tratamiento	BF-PA	BS-PA	BF-R	BS-R	BF-T	BS-T
	g^{-1}					
AC	2.57 c	0.31 c	1.44 c	1.12 b	5.18 bc	1.43 b
ACTLvc	7.65 a	0.99 a	2.27 a	1.61 a	12.16 a	2.61 a
ACTF	4.2 b	0.54 b	1.84 b	0.71 bc	6.4 b	1.29 b
AM	1.55 cd	0.2 cd	1.16 c	0.26 d	2.21 d	0.46 c
AMTLvc	1.37 cd	0.18 cd	1.1 c	0.18 d	1.9 d	0.36 c
AMTF	1.7 cd	0.23 cd	1.15 c	0.29 cd	2.44 d	0.53 c
AR	0.67 d	0.08 d	0.7 d	0.11 d	0.91 d	0.2 c
ARTLvc	1.89 cd	0.29 c	1.43 c	0.29 cd	2.66 d	0.59 c
ARTF	2.12 cd	0.27 cd	1.26 c	0.34 cd	2.99 cd	0.61 c

Biomasa fresca de la parte aérea (BF-PA), biomasa seca de la parte aérea (BS-PA), biomasa fresca de la raíz (BF-R), biomasa seca de la raíz (BS-R), biomasa fresca tallo (BF-T), biomasa seca tallo (BS-T).

Con respecto a la biomasa fresca total (BF-E) y la biomasa seca total (BS-E), los valores mayores para ambas variables se registraron con ACTLvc (Fig. 28). En este sentido, ACTLvc mostró un incremento de 45% y 55% en la producción de BF-E, con respecto a los tratamientos ACTF y AC, respectivamente, mientras que la producción de BS-E fue de 46% y 50% en relación con ambos tratamientos (ACTF y AC). Ambos fertilizantes orgánicos en dilución con la fuente de riego AR incrementaron 71% con respecto al tratamiento ARTF y 66% respecto a ARTLvc, mientras que para la variable BS-E el incremento registrado fue de 71% comparado con ARTF y 68% en

relación con ARTLvc (Fig. 28), por su parte, el tratamiento AMTF aumentó la producción de BF-E y BS-E en comparación con AM, 15% y 13%, respectivamente. A diferencia de los tratamientos anteriores en los que la aplicación de fertilizantes orgánicos incrementó los valores de ambas variables (BF-E y BS-E), AMTLvc decreció 1.3% en la variable BF-E y 1.9% en BS-E, en comparación con el tratamiento AM (Fig. 28).

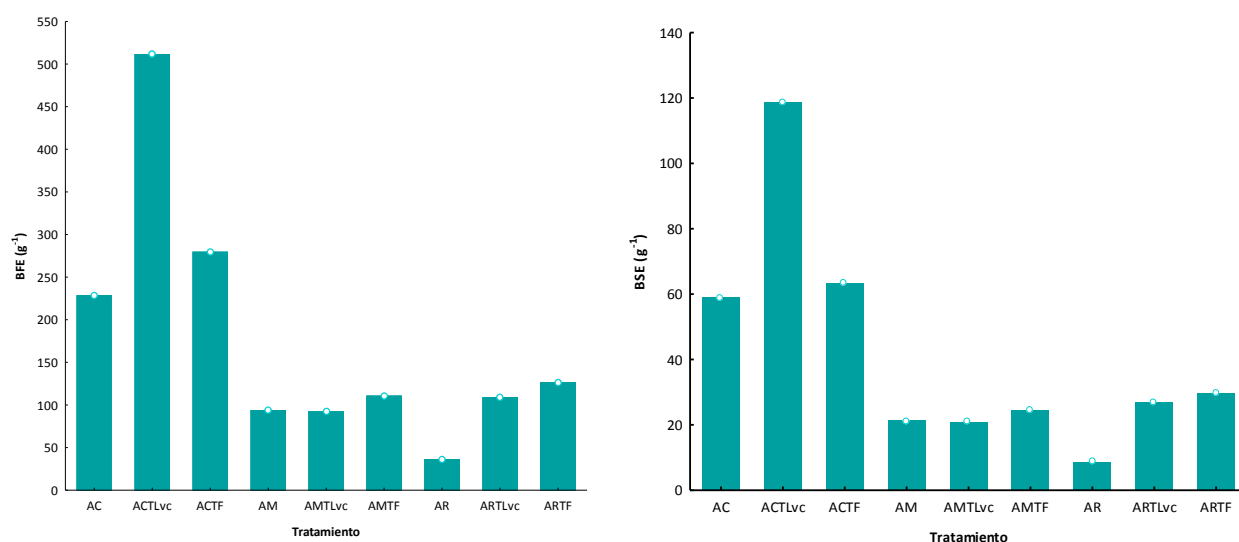


Figura 28. Valores de biomasa fresca total del experimento (BF-E) y la biomasa seca total del experimento (BS-E) de plantas maduras de *Salicornia bigelovii* (Torr.) sometidas a tratamientos de distintas fuentes de riego y fertilizantes orgánicos.

7.2.6 Consumo de agua y monitoreo de condiciones ambientales

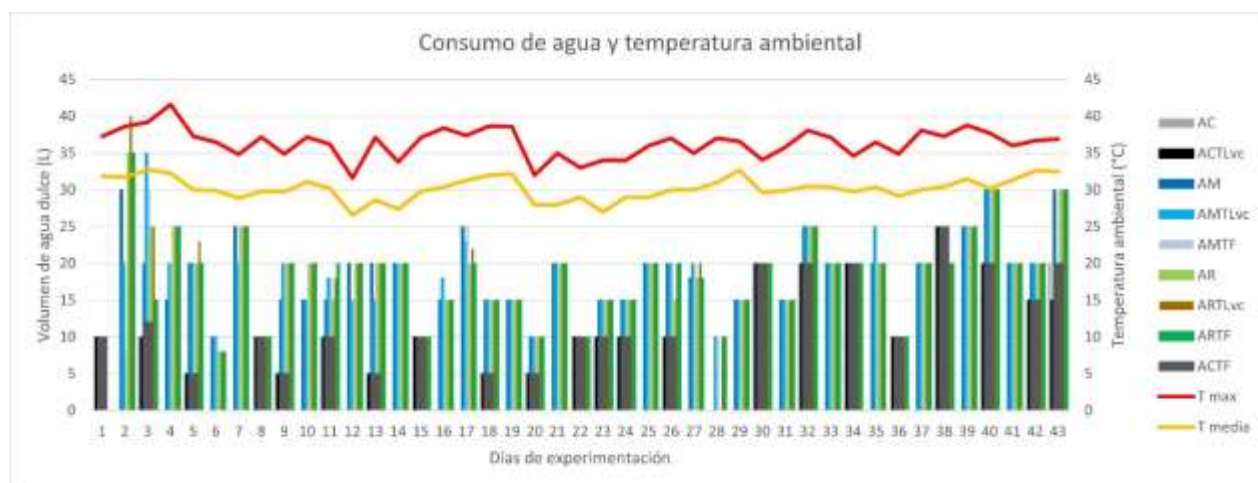
Con respecto al consumo total de agua dulce (CTAD) utilizada durante el período de experimentación, es posible observar que AC fue el tratamiento de menor volumen utilizado (215 L), mientras que ARTLvc fue el de mayor demanda de agua dulce (801 L) (Tabla 31). En ese sentido, ARTLvc requirió 372% mayor volumen de agua dulce en comparación con AC (Tabla 31). Al comparar el CTAD entre los tratamientos es posible observar que AC requirió 20% menos agua dulce que ACTF y 17% menos que ACTLvc; AM consumió 7 y 8% menos volumen de agua dulce que AMTF y AMTLvc, respectivamente; AR requirió 7 y 9% menos que ARTF y ARTLvc, respectivamente (Tabla 31).

Tabla 31. Consumo de agua dulce de los tratamientos

Tratamiento	Volumen de agua dulce ¹
AC	215
ACTLvc	260
ACTF	267
AM	713
AMTLvc	774
AMTF	766
AR	731
ARTLvc	801
ARTF	781

1: El volumen es expresado en litros (L) y representa la cantidad de agua dulce utilizada durante el período de experimentación en 2 m² de superficie.

En la Fig. 29 se observa la oscilación de la temperatura ambiental y el consumo de agua dulce de los tratamientos a lo largo de los días de experimentación, donde, se observa que las temperaturas mínimas registradas se mantuvieron entre 26 y 32 °C y las temperaturas máximas registradas oscilaron entre 31 y 41 °C (Fig. 29). Además, el consumo de agua dulce incrementó en respuesta al incremento de la temperatura ambiental (Fig. 29).

**Figura 29.** Temperatura ambiental y consumo de agua dulce de los tratamientos

8. DISCUSIÓN

8.1 Efecto de los tratamientos de riego y fertilización orgánica en la etapa de germinación y plántula

8.1.1 Índices de germinación

Los resultados sugieren que los índices de germinación obedecieron a la concentración salina (expresada en unidades de C.E.) de los tratamientos y fertilización orgánica.

Respecto a la variable porcentaje total de germinación (PG), resultados similares fueron reportados en semillas de *Salicornia bigelovii* (Troyo-Diéguez y Breceda-Solis, 1992), *Salicornia rubra* (Khan *et al.*, 2002) y *Salicornia europaea* (Orlovsky *et al.*, 2016) sometidas a distintas soluciones de cloruro de sodio. En dichos estudios, a mayor concentración de cloruro de sodio, menores valores de PG fueron registrados.

Según los resultados alcanzados, es evidente el efecto que ambos fertilizantes orgánicos ejercieron en el incremento del PG (Tabla 25). Resultados similares fueron reportados por Benazzouk *et al.* (2015) en semillas de *Brassica napus* sometidas a estrés salino por cloruro de sodio y tratados con lixiviados de lombriz. Dichos investigadores aducen parte de sus resultados a la presencia de fitohormonas como auxinas en los lixiviados de lombriz, los cuales contribuyeron a disminuir los efectos negativos del estrés salino. En este sentido, la presencia de auxinas, giberelinas, citoquininas y brasinoesteroides se han reportado en lixiviados de lombriz (Aremu *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2014). Mientras que Green (2023) reportó la presencia de ácido indolacético, ácido jasmónico y ácido abscísico en lixiviados de frass de larva de mosca soldado. A pesar de que el uso de lixiviados de frass de larva de mosca soldado no se ha reportado como mitigador del estrés salino, los resultados obtenidos reflejan efectos similares a aquellos reportados para lixiviados de lombriz.

Entre las variables complementarias al PG para determinar la viabilidad y vigor de un determinado lote de semillas, destacan el índice de tasa de germinación (ITG) y el tiempo medio de germinación (TMG). El ITG indica el porcentaje de germinación diario a lo largo de un período de germinación, mientras que el TMG es un indicador indirecto que refleja el momento (días), en el que se produjeron más eventos de germinación simultáneamente (Kader, 2005). La

germinación es una de las etapas más críticas en el desarrollo vegetal; una germinación lenta puede exponer a las semillas a condiciones adversas que comprometan el desempeño de un cultivo (Osburn y Schroth, 1989; Gelmond, 1978). En este sentido, los valores menores registrados para ambas variables se mostraron en las semillas que fueron sometidas a las fuentes de riego AM y AR (Tabla 25). Dichos resultados al parecer obedecen a la mayor concentración iónica presente en ambas fuentes de riego (AM y AR), generando mayor competencia con las moléculas de agua disponibles para ser absorbidas y por consiguiente disminuyendo la capacidad de las semillas para hidratarse (Wang *et al.*, 2015).

La hidratación es un factor determinante para el proceso de germinación (Pimienta-Barrios *et al.*, 2008), ya que a partir de ella se activan diversos procesos metabólicos que van desde la síntesis de proteínas, hasta la transformación de reservas de almidón en azúcares simples que servirán como fuentes de energía, entre otros (Dutta, 2018). Los valores mayores para ambas variables (ITG y TMG) se observaron en las semillas expuestas a las fuentes de riego AD y AC con la adición de los fertilizantes orgánicos; además de una menor presencia de iones en la solución, otros investigadores sugieren la existencia de otro factor. Bajo ese orden de ideas, Arancon *et al.* (2012) reportaron que la adición de lixiviados de lombriz favorece la producción de giberelinas, las cuales a su vez inducen la síntesis de α -amilasa, enzima encargada de la hidrólisis de las reservas de almidón concentradas en el endospermo, brindando la energía necesaria para realizar el proceso de germinación (Hisashi y Francisco, 2005; Singh *et al.*, 2014). En ese sentido, la ruptura y/o movilización de las reservas energéticas dentro de la semilla podrían ser favorecidas por la presencia de ambos fertilizantes orgánicos, reflejando valores menores para la TMG y valores mayores en el ITG.

8.1.2 Relaciones hídricas

La presión osmótica y el contenido mineral de una solución están relacionadas y tienen repercusiones en la capacidad de las raíces para absorber agua de su medio. Es decir, a mayor concentración de iones (minerales) en una solución, la presión osmótica aumenta. Esto conduce a que la planta requiera invertir energía metabólica para lograr absorber el agua de la solución y dependiendo de la intensidad y/o duración puede conducir a la planta a desarrollar distintos niveles de estrés hídrico (Argentel *et al.*, 2006). En este contexto, el potencial hídrico (Ψ_w) es

una variable comúnmente utilizada para conocer el nivel de estrés hídrico al que se ve sometida una planta, donde valores menores de Ψ_w reflejan niveles mayores de estrés hídrico (Duarte y Souza, 2016). Por lo anterior, los tratamientos con mayores niveles de estrés hídrico en la presente investigación estuvieron constituidos por los tratamientos AM y AR, lo cual responde al alto contenido mineral expresado en unidades de C.E., en ambos tratamientos.

A su vez, el contenido relativo de agua (CRA) es una variable que refleja la capacidad de un tejido vegetal para mantener el agua a nivel celular. Reducciones en esta variable conlleva consecuencias en la estabilidad de las membranas celulares y, por lo tanto, exagera la pérdida de electrolitos en las células (Argentel *et al.*, 2006; Nazarideljou y Heidari, 2014). En este sentido, los resultados demostraron que en las plántulas de *S. bigelovii* con los niveles mayores de estrés hídrico, fueron las que estuvieron sometidas a los tratamientos con mayor concentración salina (AM y AR) (Fig. 21), sin embargo, fueron capaces de mantener niveles similares de CRA en comparación con las plántulas sometidas a los tratamientos con menores niveles de C.E. (AD y AC) (Fig. 22). Los resultados se explican de manera asociada a los resultados obtenidos para la variable potencial osmótico (Ψ_s), toda vez que el Ψ_s refleja la capacidad que tiene una planta para acumular osmolitos dentro de sus células (Aghaleh *et al.*, 2009; Chinsamy *et al.*, 2013). Al igual que el Ψ_w , valores menores de Ψ_s indican mayor acumulación de osmolitos a nivel celular. Por lo anterior, los resultados obtenidos mostraron una mayor concentración de osmolitos en los tratamientos que fueron sometidos a las fuentes de riego con mayores valores de C.E. (AM y AR) (Fig. 23). Resultados similares fueron reportados en *Salicornia europaea* (Mogahieb *et al.*, 2004) y *Salicornia persica* (Aghaleh *et al.*, 2009) bajo tratamientos con cloruro de sodio. Dichos investigadores reportaron que el incremento en los valores de Ψ_s estuvo relacionado al incremento en la concentración de cloruro de sodio de las fuentes de riego. Además, destacaron que dichos resultados responden principalmente a la acumulación de sodio en el interior de la vacuola celular. Lo anterior permitió la protección de enzimas sensibles a la presencia de ese ion en el citoplasma, sin embargo, simultáneamente permitió desarrollar el ajuste osmótico celular. El ajuste osmótico, es una estrategia que utilizan algunas especies de plantas ante escenarios de estrés hídrico o salino, donde la planta incrementa su Ψ_s a partir de la acumulación de iones o mediante la síntesis de osmolitos compatibles dentro de la vacuola celular. Lo anterior disminuye el Ψ_w de la célula con respecto

al Ψ_w del medio exterior, favoreciendo la absorción de agua (Argentel *et al.*, 2006; Aghaleh *et al.*, 2009).

8.1.3 Morfometría

El uso de fertilizantes orgánicos es una práctica común como fuentes únicas o complementarias en sistemas de producción agrícola. Entre la variedad de fertilizantes orgánicos existentes, los lixiviados de lombriz han sido utilizados bajo condiciones no salinas en tomate (Arthur *et al.*, 2012), lechuga (Arancon *et al.*, 2012) y plátano (Aremu *et al.*, 2012), entre otros. Asimismo, existen reportes del uso de lixiviados de frass de larva de mosca soldado en cultivos de lechuga (Green *et al.*, 2023) y caña de azúcar (Pakpahan *et al.*, 2020). Sin embargo, bajo condiciones de salinidad las publicaciones existentes sobre lixiviados de lombriz son escasas (Benazzouk *et al.*, 2019; Aremu *et al.*, 2014; Chinsamy *et al.*, 2013); a su vez, el uso de lixiviados de frass de larva de mosca soldado, se asume que no ha sido reportado al no existir referencias bibliográficas. En ese sentido, los resultados para las variables biomasa fresca total (BF-T) y biomasa seca total (BS-T) mostraron efectos significativos relacionados a la concentración salina de los tratamientos de riego y a la fertilización orgánica (Fig. 24).

Según los resultados de BF-T y BS-T con la fuente de riego, es posible que la presión osmótica sea determinante para ambas variables, en virtud de que la mayor concentración iónica registrada con los tratamientos AM y AR (expresada en unidades de C.E.), comparada con la menor concentración iónica en el resto de las fuentes de riego (AD y AC), limita la absorción de agua por los tejidos radiculares, lo cual refleja efectos en el crecimiento (Mahajan y Tuteja, 2005; Soares *et al.*, 2016). Además, el estrés salino genera también estrés hídrico colateral, como se muestra en la Fig. 21, lo cual también afecta la absorción de los nutrientes que se encuentran diluidos en las soluciones de riego, creando desbalances nutrimentales que repercuten en el desarrollo de las plantas (Hasegawa *et al.*, 2000; Rodríguez-Ledesma *et al.*, 2019). En ese sentido, Aghaleh *et al.* (2009) sometieron plántulas de *S. europaea* y *S. persica* a gradientes de cloruro de sodio (NaCl) y reportaron valores mayores de BF-T y BS-T en concentraciones menores a 200 mM de NaCl, mientras que a concentraciones mayores de 200 mM los valores de ambas variables disminuyeron, obteniendo los valores menores con la solución salina más cercana a la de agua de mar (600 mM NaCl). Con relación al efecto de los

fertilizantes orgánicos, se observaron valores mayores para las variables de biomasa BF-T y BS-T (Fig. 24), con la aplicación de los fertilizantes al ser comparados con el mismo tratamiento de riego sin su aplicación. En este sentido, según Chinsamy *et al.* (2013), el uso de lixiviados de lombriz favorece la formación intracelular de hormonas de crecimiento vegetal como auxinas, citoquininas y ácido abscísico, las cuales desempeñan roles importantes en el crecimiento vegetal, contribuyendo a disminuir los efectos negativos producidos por el estrés salino. De manera colateral, los lixiviados de lombriz son una fuente importante de nutrientes, particularmente de formas asimilables de nitrógeno (Arthur, 2012). Bajo este orden de ideas, Kudo y Fujiyama (2010) reportaron que la aportación de fuentes nitrogenadas ejerce un efecto importante para el óptimo desarrollo de *S. bigelovii*. Ambos investigadores evaluaron el efecto del estrés salino en la asimilación de dos fuentes de nitrógeno: NO_3^- y NH_4 ; reportaron que, aunque *S. bigelovii* es capaz de utilizar ambas formas de nitrógeno, el NH_4 fue más favorable en los tratamientos de mayor salinidad, ya que en altas concentraciones salinas la absorción de NO_3^- es inhibida por el Cl^- . De acuerdo con los resultados reflejados por los tratamientos (Tabla 24), el NH_4 fue la forma principal de nitrógeno que aportaron ambos fertilizantes orgánicos utilizados en la presente investigación. Lo anterior permite sugerir que parte de los resultados obtenidos en las variables BF-T y BS-T responden al aporte nutrimental de este nutriente.

8.2 Efecto de los tratamientos de riego y fertilización orgánica en la etapa de desarrollo vegetativo

8.2.1 Relaciones hídricas

De acuerdo con los resultados obtenidos para las variables de relaciones hídricas evaluadas (Ψ_w , Ψ_s y CRA), se sugiere que durante la etapa de desarrollo vegetativo *S. bigelovii* mantiene la estrategia de ajuste osmótico, descrita anteriormente, durante la etapa de plántula. Dichos resultados coinciden con lo reportado para plantas en etapa adulta de *Salicornia europaea* (Mogahieb *et al.*, 2004), quienes sugirieron que el ajuste osmótico realizado por esta especie se logra a partir de la acumulación de iones inorgánicos, principalmente constituidos por sodio (Na^+) en el interior de la vacuola celular y que existe una relación directa entre el nivel de acumulación de dicho ion, con el incremento de salinidad en el medio donde se desarrolla la planta. De acuerdo con Parks *et al.* (2002), el proceso de secuestro de iones Na^+ es sumamente

eficiente, lo cual se logra por medio de vesículas localizadas en la membrana vacuolar, en las que se desarrollan bombas de protones específicas para el ion mencionado (Na^+/H^+). La actividad de las citadas bombas de protones depende del sodio y es independiente del potencial eléctrico. Finalmente, los mencionados investigadores reportaron que la afinidad por el transportador de Na^+ fue casi 3 veces mayor en plantas sometidas a niveles altos de salinidad en comparación con plantas cultivadas en soluciones con niveles bajos de salinidad. Además, la acumulación de Na^+ fue acompañada con la síntesis de osmolitos compatibles como prolina y glicina-betaína, ambos osmolitos compatibles representan una importante respuesta adaptativa ante escenario de estrés hídrico y salino (Rhodes y Hanson, 1993).

8.2.2 Pigmentos fotosintéticos

La clorofila está compuesta por una familia de moléculas relacionadas entre sí, denominadas clorofila a, b, c y d (Higdon, 2004). Este conjunto de pigmentos fotosintéticos son los encargados de transformar la energía lumínica en energía química. La clorofila a (Chl a) está encargada de absorber el espectro lumínico, entre el verde-azul, mientras que la clorofila b (Chl b) absorbe las ondas del espectro lumínico verde-amarillo (Banu, 2015).

Los resultados de Tabla 27 sugieren que el contenido Chl a, contenido Chl b y contenido de clorofila total (Chl total) estuvieron relacionados con la concentración salina y la fertilización orgánica. En este sentido, los valores promedio menores fueron registrados con los tratamientos de riego AM y AR. Por otro lado, los valores promedio mayores para todas las variables de clorofila evaluadas se registraron con ambos fertilizantes orgánicos al ser comparados con el mismo tratamiento de riego sin dichos fertilizantes. Lo anterior confirma resultados similares reportados para *S. bigelovii* (Ayala y O'leary, 1995), *S. persica* y *S. europaea* (Aghlaeh *et al.*, 2009), sometidas a gradientes de salinidad por NaCl.

La destrucción de clorofilas bajo condiciones de estrés salino es una consecuencia común debida a los efectos adversos que provoca en la estabilidad de las membranas celulares de los tilacoides (Taffouo *et al.*, 2010; El-Tarabily *et al.*, 2020), lo cual está asociado a la formación de especies reactivas de oxígeno (ERO's) (Aghaleh *et al.*, 2009) y también al incremento en la actividad de la enzima clorofilasa (Chinsamy *et al.*, 2013). En contraparte, ante la presencia de

ambos fertilizantes orgánicos, los niveles de Chl a, Chl b y Chl total incrementaron en comparación con los tratamientos en los que se usan las mismas fuentes de riego sin dichos fertilizantes (Tabla x). Resultados similares fueron reportados con el uso de lixiviados de lombriz en cultivos de tomate (Chinsamy *et al.*, 2013), hinojo (Beyk-Khormizi *et al.*, 2022). En consecuencia, los resultados sugieren que la adición de fertilizantes orgánicos al parecer contribuye a disminuir los efectos sobre los pigmentos fotosintéticos derivados del estrés salino, disminuyendo la actividad de las clorofilasas.

8.2.3 Contenido mineral

De acuerdo con los resultados de la prueba de Tukey HSD ($p < 0.05$) para el contenido mineral foliar, la concentración de potasio (K^+) disminuyó en respuesta a la concentración salina. Es decir, los valores fueron menores en AM, AMTLvc, AR y ARTF, en comparación con AC, ATLvc y ACTF (Tabla 28), a pesar de que dichos tratamientos mostraron los mayores niveles de este catión de acuerdo con el análisis de tratamientos (Tabla 26). A su vez, los mismos tratamientos reflejaron la mayor concentración foliar de sodio (Na^+) y una baja relación K^+/Na^+ (Tabla 28). Lo anterior, se puede deber a que ambos iones son antagónicos por lo que compiten al ser absorbidos por la planta (Grattan y Grieve, 1999). Estos resultados coinciden con lo reportado en plantas adultas de *Salicornia europaea*, al ser expuestas a altos niveles de salinidad (Orlovsky *et al.*, 2016). Parks *et al.* (2002), reportaron la presencia de transportadores de Na^+ en vesículas ubicadas en la vacuola celular de plantas de *Salicornia bigelovii*, las cuales incrementan su afinidad y eficiencia en el secuestro de iones Na^+ a medida que la planta se encuentra en ambientes de mayores niveles de salinidad.

El magnesio (Mg^{2+}) es un elemento que forma parte de la estructura de la clorofila y participa en distintos procesos fisiológicos como la respiración y la fotosíntesis, por lo tanto, su disminución en el contenido foliar tiene repercusiones que comprometen el crecimiento y óptimo desarrollo en las plantas (Rivelli *et al.*, 2010). Bajo este contexto, Ayala y O'leary (1995), sometieron a plantas adultas de *S. bigelovii* a un gradiente de salinidad por NaCl y reportaron la disminución en el contenido foliar de Mg^{2+} a medida que incrementaron los niveles de salinidad, además de la presencia de clorosis en el tejido foliar, síntoma de la deficiencia de dicho mineral. Lo anterior contrasta con los resultados de la presente investigación, ya que en las inspecciones en campo

no se observaron signos de clorosis en las plantas tratadas con las fuentes de riego de mayor salinidad (AM, AMTLvc, AR y ARTF). Además, los valores mayores de Mg^{2+} foliar se registraron en los tratamientos AR, ARTLvc y ARTF, respectivamente, lo que podría responder al contenido de dicho mineral en las fuentes de riego con AR, ya que presentaron los niveles mayores de Mg^{2+} de acuerdo con el análisis de tratamientos (Tabla 26).

El calcio (Ca^{2+}) es un elemento fundamental en el desarrollo vegetal que desempeña funciones clave en la estabilidad de las membranas celulares, regula la selección y el transporte de iones (Marschner, 2012). Respecto a la prueba post hoc Tukey HSD ($p < 0.05$) para el contenido foliar de Ca^{2+} , no se observaron contenidos similares de este elemento en todos los tratamientos, sin embargo, la relación Ca^{2+}/Na^{+} disminuyó en los tratamientos de mayor salinidad (AM, AMTLvc, AMTF, AR, ARTLvc y ARTF). Moghaieb et al. (2004) reportaron resultados similares en la relación Ca^{2+}/Na^{+} en el tejido foliar de plantas adultas de *S. europaea* expuestas a gradientes de salinidad por NaCl.

8.2.4 Morfometría

Los resultados para las variables morfométricas evaluadas mostraron los valores promedio menores en las plantas sometidas a los tratamientos con la mayor concentración salina (AM y AR) (Tabla 30). Dichos resultados coinciden con lo reportado por Ayala & O'leary (1995) y Rodríguez-Álvarez et al. (2022) en plantas maduras de *Salicornia bigelovii*. En este sentido, las plantas de *S. bigelovii* mostraron efectos negativos a niveles de concentración salina mayores, al compararse con las medias, reflejando valores mayores, observadas con los tratamientos de riego con menores niveles de C.E. Las medias de las variables altura de planta (AP), grosor del tallo (GT) y longitud de raíz (LR) están relacionadas con la capacidad de la planta para realizar de manera normal el proceso de división y elongación celular (Rodríguez-Álvarez et al., 2022). Respecto a la biomasa fresca total (BF-T) y biomasa seca total (BS-T), se detecta un desbalance nutricional en las plantas de *Salicornia* producidas por el incremento en la presión osmótica ejercida por niveles altos de C.E. en las fuentes de riego AM y AR. Además, según los resultados obtenidos para las variables de pigmentos fotosintéticos, la disminución en los valores promedio de Chl a, Chl b y Chl totales, explica la disminución de la producción de BF-T, BS-T, AP y NR en los tratamientos con las fuentes de riego AM y AR; limitando su capacidad para

fotosintetizar y fijar carbono. Ante escenarios de estrés, la reducción en el crecimiento se asocia a la inhibición de la división y/o elongación celular que conducen a la modificación en la morfología de la planta. En ese sentido, las raíces suelen presentar menor sensibilidad al estrés hídrico, en este caso provocado por el estrés salino de las soluciones de riego, en comparación con la parte aérea (Munns y Tester, 2008). Por lo anterior, como parte de las estrategias desarrolladas por algunas plantas, destaca el incremento en la longitud de raíces en detrimento del crecimiento de la parte aérea, con el objetivo de ampliar el área de exploración de áreas con mayor disponibilidad de agua (Blum, 2005). Los resultados para las variables AP y LR, sugieren el desarrollo de este tipo de estrategias, al no ser afectados con la aplicación de los fertilizantes orgánicos.

Los resultados mostraron efectos positivos con la aplicación de ambos fertilizantes orgánicos, particularmente el tratamiento de agua corriente en dilución con té de lombricomposta (ACTLvc), el cual reflejó las medias mayores en todas las variables evaluadas (Tabla 29 y 30). El incremento en distintas variables morfométricas con la aplicación de té de lombricomposta se ha reportado en diversos cultivos bajo condiciones no salinas (Arancon *et al.*, 2019; Pant *et al.*, 2013; Arancon *et al.*, 2012; Fritz *et al.*, 2012). En condiciones salinas, el uso de lombricomposta y sus derivados (tés y lixiviados de lombriz) han mostrado efectos positivos mitigando los efectos dañinos sobre variables morfométricas, derivados de dicho factor abiótico (Bidabadi *et al.*, 2017; Aremu *et al.*, 2012), además de fungir como una fuente de nutrientes constituidos principalmente por nitrógeno y potasio (Arthur, 2012), como reflejan los resultados del presente estudio. Las sustancias húmicas también desempeñan una función clave, beneficiando el crecimiento al incrementar la disponibilidad de nutrientes debido a su alta capacidad de intercambio catiónico (Zandonadi y Busato, 2012), además, mejoran la permeabilidad celular favoreciendo la absorción de nutrientes por las plantas (Ermakov *et al.*, 2000), al incrementa la síntesis proteica y mejorando la acción de las enzimas encargadas del metabolismo del nitrógeno (Suthar, 2010).

9. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en la presente investigación refuerzan la información existente sobre la susceptibilidad de *Salicornia bigelovii* (Torr.), a fuentes con altos niveles de salinidad durante las etapas de germinación y desarrollo inicial de la plántula.
2. El uso de lixiviados de lombriz y de frass de larva de mosca soldado aplicados mediante tratamientos de pre-germinación o en dilución con la fuente de riego, mejoran la germinación y el establecimiento de plántulas de *Salicornia bigelovii* (Torr.) expuestas a agua de mar y agua residual de cultivo de jurel de castilla (*Seriola rivoliana*).
3. La aplicación de té de lombricomposta y de frass de larva de mosca soldado mejora el crecimiento durante la etapa de desarrollo vegetativo de *Salicornia bigelovii* (Torr.) al ser aplicado en dilución con agua de mar y agua residual de cultivo de jurel de castilla.
4. Los resultados referentes a relaciones hídricas de la presente investigación sugieren el desarrollo del ajuste osmótico como estrategia de protección ante el estrés salino durante las etapas fenológicas de plántula y desarrollo vegetativo.
5. Los resultados de la presente investigación refuerzan que *Salicornia bigelovii* es una halófito facultativa capaz de desarrollarse en ambientes salinos, sin embargo, mejora su rendimiento en medios con bajos niveles de salinidad.

10. LITERATURA CITADA

- Aghaleh, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H. y Razavi, K. (2009). Salt stress effects on growth, pigments, proteins and lipid peroxidation in *Salicornia persica* and *S. erupaea*. *Biologia Plantarum*, 53(2): 243-248.
- Aira, M., Monroy, F., Domínguez, J. y Mato, S. (2002). How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure. *European Journal of Soil Biology*, 38: 7-10. doi: **10.1016/S1164-5563(01)01116-5**
- Aira, M., Monroy, F., Domínguez, J. y S. Mato. (2008). Detritivorous earthworms directly modify the structure, thus altering the functioning of the microdecomposer food web. *Soil Biology*, 40: 2511-2516. doi: **10.1016/j.soilbio.2008.06.010**
- Alattar, M.A., Alattar, F.N. y Popa, R. (2016). Effects of microaerobic fermentation and black soldier fly larvae food scrap processing residues on the growth of corn plants (*Zea mays*). *Plant Science Today*, 3(1): 57-62. doi: **10.14719/pst.2016.3.1.179**
- Ancona-Méndez, L., Pech-Martínez, V. y Flores-Novelo, A. (2006). Perfil del mercado de la vermicomposta como abono para jardín en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 10(19): 1-15.
- Arancon, N., Pant, A., Radovich, T., Hue, N.V., Potter, J.K. y Converse, C.E. (2012). Seed germination and seedling growth of tomato and lettuce as affected by vermicompost water extracts (Teas). *HortScience*, 47(12): 1722-1728. doi: **10.21273/HORTSCI.47.12.1722**
- Arancon, N.Q., Owens, J.D. y Converse, C. (2019). The effects of vermicompost tea on the growth and yield of lettuce and tomato in a non-circulating hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition*, 42(19): 2447-2458. doi: [10.1080/01904167.2019.1655049](https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1655049)
- Aremu, A.O., Kulkarni, M.G., Bairu, M.W., Finnie, J.F. y van Staden, J. (2012). Growth stimulation effects of smoke-water and vermicompost leachate on greenhouse grown-tissue-cultured "Williams" bananas. *Plant Growth Regulation*, 66: 111-118. doi: [10.1007/s10725-011-9634-6](https://doi.org/10.1007/s10725-011-9634-6)
- Aremu, A.O., Masondo, N.A. y Van Staden, J. (2014). Physiological and phytochemical responses of three nutrient-stressed bulbous plants subjected to vermicompost leachate treatment. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36: 721-731. doi: [10.1007/s11738-013-1450-3](https://doi.org/10.1007/s11738-013-1450-3)
- Aremu, A.O., Stirk, W.A., Kulkarni, M.G., Tarkowská, D., Turecková, V., Gruz, J., Subrtová, M., Pencik, A., Novák, A., Dolezal, K., Strnad, M. y van Staden, J. (2015). Evidence of phytohormones and phenolic acids variability in garden-waste-derived vermicompost leachate, a well-known plant growth stimulant. *Plant Growth Regulation*, 75: 483-492. doi: **10.1007/s10725-014-0011-0**
- Argentel, L., González, L.M. y Aguilera, R. (2006). Comportamiento del contenido relativo de agua y la concentración de pigmentos fotosintéticos de variedades de trigo cultivadas en condiciones de salinidad. *Cultivos Tropicales*, 27(3): 49-53.
- Arthur, G.D., Aremu, A.O., Kulkarni, M.G. y van Staden, J. (2012). Vermicompost leachate alleviates deficiency of phosphorus and potassium in tomato seedlings. *HortScience*, 47(9): 1304-1307. doi: **10.21273/HORTSCI.47.9.1304**
- Ayala, F. y O'Leary, J. (1995). Growth and physiology of *Salicornia bigelovii* Torr. at suboptimal salinity. *Interational Journal of Plant Sciences*, 156: 197-205.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2ª ed. Interamericana-McGraw-Hill, Madrid. pp. 577-597.

- Banu, R.K.N. (2015). Extraction and estimation of chlorophyll from medicinal plants. *International Journal of Science and Research*, 4(11): 209-212.
- Barry, T. 2004. *Evaluation of the economic, social and biological feasibility of bioconverting food wastes with the black soldier fly (Hermetia illucens)*. PhD Dissertation. University of North Texas, Philosophy Department, Denton, Texas.
- Basurto-Sotelo, M., Núñez-Barríos, A., Pérez-Leal, R. y Hernández-Rodríguez, O.A. (2008). Fisiología del estrés ambiental en plantas. *Synthesis*, 48: 1-5.
- Bejandi, T.K., Sedghi, M., Sharifi, R.S., Namvar, A. y Molaei, P. (2009). Seed priming and sulfur effects on soybean cell membrane stability and yield in saline soil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 44(9): 1114-1117. doi: **10.1590/S0100-204X2009000900007**
- Beltrán-Burboa, C.E., Arce, M.E., Bianciotto, O., López-Ahumada, G.A., Vargas, J.M., Hernández-Montiel, L.G., Reyes-Pérez, J.J., Nieto-Garibay, A., Ruiz-Espinoza, F.H., Álvarez, F.A., Cisneros-Almazán, R., Wong-Corral, F.J., Borboa-Flores, J. y Rueda-Puente, E.O. (2017). *Salicornia bigelovii* (Torr.): Un sistema modelo para incorporarse como cultivo agrícola en zonas árido-desérticas. *Biotecnia*, 19(3): 46-50. doi: [10.18633/biotecnia.v19i0.413](https://doi.org/10.18633/biotecnia.v19i0.413)
- Benazzouk, S., Dobrev, P.I., Djazouli, Z.E., Motyka, V. y Lutts, S. (2019). Positive impact of vermicompost leachate on salt stress resistance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) at the seedling stage: a phytohormonal approach. *Plant Soil*, 446: 145-162. doi: **10.1007/s11104-019-04361-x**
- Benazzouk, S., Djazouli, Z.E. y Lutts, S. (2019). Vermicompost leachate as a promising agent for priming and rejuvenation of salt-treated germination seeds in *Brassica napus*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(11): 1344-1357. doi: **10.1080/00103624.2019.1614608**
- Benicasa, P., Pase, R., Quinet, M.S. y Lutts, S. (2013). Effect of salinity and priming on seedling growth in rapeseed (*Brassica napus* Del. var. oleifera). *Acta Scientiarum Agronomy*, 35(4): 479-486. doi: [10.4025/actasciagron.v35i4.17655](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i4.17655)
- Bewley, J.D. 1997. Seed germination and dormancy. *Plant Cell*, 9(7): 1055.
- Beyk-Khormizi, A., Abrishamchi, P., Ganjeali, A. y Parsa, M. (2016). Effect of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 39: 883-893. doi: **10.1080/01904167.2015.1109104**
- Beyk-Khormizi, A., Sarghein, A.H., Sarafranz-Ardakani, M.R., Moshtaghioun, S.M., Mousavi-Kouhi, S.M. y Ganjeali, A. (2023). Ameliorating effect of vermicompost on *Foeniculum vulgare* under saline condition. *Journal of Plant Nutrition*, 46(8): 1601-1615. doi: **10.1080/01904167.2022.2092513**
- Bianciotto, O., Aras Martín, F., Arce, M.E., Selzer, L., Ortega García, J., Paulo, G., Galindo Cárdenas, L.A., Robledo, A. y Rueda-Puente, E.O. (2021). Farming with drip sea water irrigation for *Salicornia* production in Tierra del Fuego, Argentina. *Biotecnia*, 23(1): 77-85. doi: **10.18633/biotecnia.v23i1.1351**
- Bidabadi, S.S., Dehghanipoodeh, S. y Wright, G.C. (2017). Vermicompost leachate reduces some negative effects of salt stress in pomegranate. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6: 255-263. doi: **10.1007/s40093-017-0173-7**
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water use efficiency and yield potential – are they compatible, dissonant or mutually exclusive. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56: 1159-1168. doi: **10.1071/AR05069**

- Bray, C.M. (1995). Biochemical processes during the osmopriming of seeds. En: *Seed development and germination*. Marcel Dekker, New York, pp. 767-789.
- Brown, J.J., Glenn, E.P., Fitzsimmons, K.M. y Smith, S.E. (1999). Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent. *Aquaculture*, 175: 255-268. doi: **10.1016/S0044-8486(99)00084-8**
- Buhmann, A. y Papenbrock, J. (2013). Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basic principles, current uses and future perspectives. *Environmental and Experimental Botany*, 92: 122-133. doi: **10.1016/j.envexpbot.2012.07.005**
- Buhmann, A.K., Waller, U., Wecker, B. y Papenbrock, J. (2015). Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. *Agricultural Water Management*, 149: 102-114. doi: **10.1016/j.agwat.2014.11.001**
- Chinsamy, M., Kulkarni, M.G. y van Staden, J. (2013). Garden-waste-vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. *Plant Growth Regulation*, 71: 41-47. doi: **10.1007/s10725-013-9807-6**
- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P. y Verstraete, W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for sustainable production. *Aquaculture*, 270: 1-14. doi: **10.1016/j.aquaculture.2007.05.006**
- Domínguez, J., Aira, M. y Gómez-Brandon, M. (2010). Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes. En: *Microbes at work: From wastes to resources*. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 93-114.
- Dood, K., Guppy, C., Lockwood, P. y Rochester, I. (2010). The effect of sodicity on cotton: plant response to solutions containing high sodium concentrations. *Plant Soil*, 330:239-249. doi: **10.1007/s11104-009-0196-6**
- Duarte, H.H.F. y Souza, E.R. (2016). Soil Water Potentials and *Capsicum annum* L. under Salinity. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 40: 1-11. doi: [10.1590/18069657rbc20150220](https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150220)
- Durak, A., Altuntas, O., Kutalmis Kutsal, I., Isik, R. y Karaat, F.E. (2017). The effects of vermicompost on yield and some growth parameters in lettuce. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 5(12): 1566-1570. doi: **10.24925/turjaf.v5i12.1566-1570.1461**
- Dutta, P. (2018). Seed priming: New vistas and contemporary perspectives. En: *Advances in seed priming*. Springer, Singapur, pp. 307-309.
- El-Tarabily, K.A., ElBafhdady, K.Z., AlKhajeh, A.S., Ayyash, M.M., Aljneibi, E.R., El-Keblawy, A. y AbuQamar, S.F. (2020). Polyamine-producing actinobacteria enhance biomass production and seed yield in (*Salicornia bigelovii*). *Biology and Fertility of Soils*, 56(4): 499-519. doi: **10.1007/s00374-020-01450-3**
- Ermakov, E.I., Ktitorova, I.N. y Skobeleva, O.V. (2000). Effect of humic acid in the mechanical properties of cell walls. *Russian Journal of Plant Physiology*, 47: 518-525
- Evans-Manyara, N. (2018). *Optimization of production of Black Soldier Fly Larvae (Hermetia illucens L.) for fish feed formulation*. PhD Dissertation. Jaramogi Oginga Odiga University of Science and Technology, School of Agricultural and Food Science, Bondo, Kenya.
- FAO. (2009). *Integrated mariculture: a global review*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical paper. 529: 183p.
- FAO (2014). *The state of world fisheries and aquaculture: opportunities and challenges*. FAO, Rome.

- Ferrerira, A.R., Silva-Mann, R., Ferreira, R.A. y de Souza-Brito, A. (2011). Water per-hydration as priming for *Moringa oleífera* Lam. Seeds under salt stress. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1): 201-207.
- Flowers, T.J., Galal, H.K. y Bromham, L. (2010). Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance. *Function of Plant Biology*, 37: 604-612. doi: **10.1071/FP09269**
- Flowers, T.J., Hajibagheri, M.A. y Clipson, N.J.W. (1986). Halophytes. *The Quarterly Review of Biology*, 6: 313-337.
- Flowers, T.J. y Colmer, T.D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179: 945-963.
- Fredj, M.B., Zhani, K., Hannachi, C. y Mehwachi, T. (2013). Effect of NaCl priming on seed germination of four coriander cultivars (*Coriandrum sativum*). *Euroasian Journal of Biosciences*, 7: 21-29. doi: **10.5053/ejobios.2013.7.0.3**
- Fritz, J.I., Franke-Whittle, I.H., Haindl, S., Insam, H. y Braun, R. (2012). Microbiological community analysis of vermicompost tea and its influence on the growth of vegetables and cereals. *Canadian Journal of Microbiology*, 58(7): 836-847. doi: **10.1139/w2012-061**
- García-Galindo, E., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Lucero-Vega, G., Murillo-Amador, B., Ruiz-Espinoza, F.H. y Fraga-Palomino, H.C. (2021). Germination of *Salicornia bigelovii* (Torr.) under shrimp culture effluents and the application of vermicompost leachate for mitigating salt stress. *Agronomy*, 424(11): 1-15. doi: **10.3390/agronomy11030424**
- Gelmond, H. (1978). Problems in crop physiology. En: *Seed germination*. Oxford y IBH Co., New Delhi, pp. 1-78.
- Ghaffari, H., Tadayon, M.R., Bahador, M. y Razmjoo, J. (2022). Biochemical and yield response of sugar beet to drought stress and foliar application of vermicompost tea. *Plant Stress*, 5 100087. doi: **10.1016/j.stress.2022.100087**
- Glenn, E., Hicks, N. y Riley, J. (1995). Seawater irrigation of halophytes for animal feed. *Environmental Research*, 221-234.
- Glenn, E. y O'Leary, W. (1984). Relationship between salt accumulation and water content of dicotyledonous halophytes. *Plant Cell and Environment*, 7:253-261. doi: **10.1111/1365-3040.ep11589448**
- Glenn, E.P., Brown, J.J. y O'leary, J.W. (1998). Irrigating crops with seawater. *Scientific American*, 279: 76-81.
- Glenn, E.P., O'leary, J.W., Watson, M.C., Thompson, T.L. y Kuehl, R.O. (1991). *Salicornia bigelovii* Torr.: An oilseed halophyte for seawater irrigation. *Science*, 251(4997): 1065-1067. doi: [10.1126/science.251.4997.1065](https://doi.org/10.1126/science.251.4997.1065)
- Glenn, E.P., Anday, T., Chaturvedi, R., Martinez-García, R., Pearlstein, S., Soliz, D., Nelson, S.G. y Felger, R.S. (2013). Three halophytes for saline-water agriculture: An oilseed, a forage, and a grain crop. *Environmental and Experimental Botany*, 92: 110-121. doi: **10.1016/j.envexpbot.2012.05.002**
- Graslund, S. y Bengtsson, B.E. (2001). Chemicals and biological products used in south-east Asian shrimp farming, and their potential impact on the environment: A review. *Science of the Total Environment*, 280: 93-131. doi: **10.1016/S0048-9697(01)00818-X**
- Grattan, S.R. y Grieve, C.M. (1999). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Science Horticulture*, 78: 127-157. doi: **10.1016/S0304-4238(98)00192-7**
- Green, T. (2023). A biochemical analysis of Black Soldier fly (*Hermetia illucens*) larval frass plant growth promoting activity. *Biochemistry*, 1-18. doi: [10.1101/2023.01.06.523026](https://doi.org/10.1101/2023.01.06.523026)

- Green, T.R. y Popa, R. (2012). Enhanced ammonia content in compost leachate processed by black soldier fly larvae. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 166:1381-1387. doi: **10.1007/s12010-011-9530-6**
- Guo, L., Wu, G., Li, C., Liu, W., Yu, X., Cheng, D. y Jiang, G. (2015). Vermicomposting with maize increases agricultural benefits by 304%. *Agronomy for Sustainable Development*, 35: 1149-1155. doi: **10.1007/s13593-015-0307-0**
- Gupta, R., Yadav, A. y Garg, V.K. (2014). Influence of vermicompost application in potting media on growth and flowering of marigold crop. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(1): 47. doi: **10.1007/s40093-014-0047-1**
- Gutiérrez-Miceli, F.A., Oliva-Llaven, M.A., Mendoza-Nazar, P., Ruíz-Sesma, B., Álvarez-Solís, J.D. y Dedooven, L. (2011). Optimization of vermicompost and worm-bed leachate for the organic cultivation of radish. *Journal of Plant Nutrition*, 34(11): 1642-1653. doi: **10.1080/01904167.2011.592561**
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K. y Bohnert, H.J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology*, 51:463-499. doi: **10.1146/annurev.arplant.51.1.463**
- Hernández-Herrera, R.M., Santacruz-Ruvalcaba, F. y Hernández-Carmona, G. (2019). Germination and seedling growth responses of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to seaweed extracts applied on seeds. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 10(1): 28-44.
- Hisashi, K.N. y Francisco, A.M. (2005). Effects of 6-methoxy-2-benzoxazoline on the germination and α -amylase activity in lettuce seeds. *Journal of Plant Physiology*, 162: 1304-1307. doi: **10.1016/j.jplph.2005.03.013**
- Hu, Z., Lee, J.W., Chandran, K., Kim, S. y Khanal, S.K. (2012). Nitrous oxide (N₂O) emission from aquaculture: a review. *Environmental Science and Technology*, 46(12): 6470-6480. doi: **10.1021/es300110x**
- ICBA (2015). *Salicornia for biosaline agriculture*. Disponible en: **https://www.biosaline.org/sites/default/files/Projectbrieffiles/Salicornia-Project_Brief-Final-2.pdf** [consulta: 10 marzo 2023].
- ICBA (2018). *ICBA achieves progress in breaking Salicornia yield ceiling*. Disponible en: **<https://www.biosaline.org/news/2018-05-10-6466>** [consulta: 10 marzo 2023].
- INAES (2018). *Acuicultura, historia y actualidad en México*. Disponible en: **<https://www.gob.mx/inaes/articulos/acuicultura-historia-y-actualidad-en-mexico?idiom=es>** [consulta: 8 enero 2022].
- Isca, V., Seca, A., Pinto, D. y Silva, A. (2014). An overview of *Salicornia* genus: The phytochemical and pharmacological profile. En: *Natural Products: Research Reviews Vol. 2*. Daya Publishing House, New Delhi, pp. 145-176.
- Islam, M.S. (2005). Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: Review and analysis towards model development. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 48-61. doi: **10.1016/j.marpolbul.2004.08.008**
- Ismail, H., Maksimovi, J.D., Maksimovi, V., Shabala, L., Zivanovi, B.D., Tian, Y., Jacobsen, S. y Shabala, S. (2016). Rutin, a flavonoid with antioxidant activity, improves plant salinity tolerance by regulating K⁺ retention and Na⁺ exclusion from leaf mesophyll in quinoa and broad beans. *Functional Plant Biology*, 43: 75-86. doi: **10.1071/FP15312**

- Kader, M.A. (2005). A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. *Journal & Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, 138: 65-75. doi: **10.1002/aps3.11366**
- Kadereit, G., Ball, P., Beer, S., Muncina, L., Sokoloff, D., Teege, P., Yaprak, A.E. y Freitag, H. (2007). A taxonomic nightmare comes true: phylogeny and biogeography of glassworts (*Salicornia* L., Chenopodiaceae). *Taxon*, 56: 1143:1170. doi: **10.2307/25065909**
- Kandari, L.S., Kulkarni, M.G. y van Staden, J. (2011). Vermicompost leachate improves seedling emergence and vigour of aged seeds of commercially grown *Eucalyptus* species. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 73(2): 117-122. doi: **10.2989/20702620.2011.610923**
- Khurmizi, A.B., Abrishamchi, P., Ganjeali, A. y Parsa, M. (2015). Effect of vericompost on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 39: 883-893. doi: **10.1080/01904167.2015.1109104**
- Kui, H., Fusheng, L., Yongfen, W., Xiaoyong, F. y Xuemin, Ch. (2014). Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable waste. *Bioresource Technology*, 170: 45-52. doi: **10.1016/j.biortech.2014.07.058**
- Lee, S.J., Jeong, E., Ki, A.Y., Oh, K.S., Kwon, J., Jeong, J. y Chung, N. (2016). Oxidative defense metabolites induced by salinity stress in roots of *Salicornia herbaceae*. *Journal of Plant Physiology*, 206: 133-142. doi: **10.1016/j.jplph.2016.08.015**
- López-Corona, B.E., Mondaca-Fernández, I., Gortáres-Moroyoqui, P., Meza-Montenegro, M.M. y Balderas-Cortés, J. de J. (2020). Ecofisiología y bioquímica de *Salicornia bigelovii* (Torr.) por efecto de quitosano-AIB bajo condiciones del desierto de Sonora. *Polibotánica*, 49: 75-92. doi: **10.18387/polibotanica.49.5**
- Lu, D., Zhang, M., Wang, S., Cai, J., Zhou, X. y Zhu, C. (2010). Nutritional characterization and changes in quality of *Salicornia bigelovii* Torr. during storage. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 43: 519-524. doi: **10.1016/j.lwt.2009.09.021**
- Lymbery, A.J., Doupe, R.G., Bennett, T. y Starcevich, M.R. (2006). Efficacy of a subsurface-flow wetland using the estuarine sedge *Juncus kraussii* to treat effluent from inland saline aquaculture. *Aquaculture Engineering*, 34: 1-7. doi: **10.1016/j.aquaeng.2005.03.004**
- Madueño-Molina, A., García-Paredes, D., Martínez-Hernández, J. y Rubio-Torres, C. (2006). Germinación y desarrollo de plántulas de frijolillo *Rhynchosia minima* (L) DC en condiciones de salinidad. *Ídem*, 24(1): 47-54.
- Mahmoud, A.H., Basmaeli, S.M., El-Shaikh, Y., Swelum, A.A. y Abouheif, M.A. (2016). Effect of halophyte *Salicornia bigelovii* Torr and graded levels of dietary crude protein on feed performance and carcass traits of camels. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45(11):704-708. doi: **10.1590/s1806-92902016001100009**
- Majahan, S. y Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444: 139-158. doi: **10.1016/j.abb.2005.10.018**
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd ed. Academic Press, London, UK.
- Martínez-Porchas, M. y Martínez-Cordova, L.R. (2012). World aquaculture; environmental impacts and troubleshooting alternatives. *The Scientific World Journal*, (4):389623. doi: **10.1100/2012/389623**
- McDonald, M.B. (2000). Seed priming. En: *Seed technology and its biological basis*. Sheffield Academic Press, Sheffield, U.K. pp. 287-325.

- McSorley, K.A., Rutter, A., Cumming, R. y Zeeb, B.A. (2016). Chloride accumulation vs chloride excretion: Phytoextraction potential of three halophytic grass species growing in a salinized landfill. *The Science of the Total Environment*, 572: 1132-1137. doi: **10.1016/j.scitotenv.2016.08.023**
- Mogahieb, R.E.A., Saneoka, H. y Fujita, K. (2004). Effect of salinity on osmotic adjustment, glycinebetaine accumulation and the betaine aldehyde dehydrogenase gene expression in two halophytic plants, *Salicornia europaea* and *Suaeda maritima*. *Plant Science*, 166: 1345-1349. doi: **10.1016/j.plantsci.2004.01.016**
- Mohammed-Kassem, A.S., Abd El-Rheem, Kh.M., Elsayy, A.M. y Essa, E.M. (2018). Effect of vermicompost supplemented by foliar application of silicate on marjoram plants grown in saline soil. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 8(4): 1029-1035. doi: **10.18517/ijaseit.8.4.5654**
- Montoliu-Vidal, A. (2010). *Respuestas fisiológicas de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótico. Aspectos comunes y específicos. Tesis doctoral*. Universitat Jaume I, Departament de Ciències Agràries i del Medi Natural, Castellón de la Plana, España.
- Moraditochae, M., Bozorgi, H.R. y Halajisani, N. (2011). Effects of vermicompost application and nitrogen fertilizer rates on fruit yield and several attributes of eggplant (*Solanum melogena* L.) in Iran. *World Applied Sciences Journal*, 15(2): 174-178. doi: [10.13170469](https://doi.org/10.13170469)
- Motta, U. (1999). Sistemas de riego aplicados a la producción de alimentos con agua de mar. I simposium internacional sobre financiamiento para modernización de áreas de riego. Hermosillo, Sonora, México. pp 5.
- Munns, R. y Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59:651-681. doi: **10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911**
- Nazarideljou, M.J. y Heidari, Z. (2014). Effects of vermicompost on growth parameters, water use efficiency and quality of zinnia bedding plants (*Zinnia elegance* 'Dreamland Red') under different irrigation regimes. *International Journal of Horticultural Science*, 1(2): 141-150. doi: **10.22059/ijhst.2014.52786**
- Nikalje, G.C., Srivastava, A.K., Pandey, G.K. y Suprasanna, P. (2017). Halophytes in biosaline agriculture: mechanism, utilization and value addition. *Land Degradation and Development*, 29(4). doi: **10.1002/ldr.2819**
- Osburn, R.M. y Schroth, M.N. (1898). Effect of osmopriming sugar beet seed on exudation and subsequent damping-off caused by *Phythium ultimum*. *Phytopathology*, 78: 1246-1250. doi: [10.1094/PDIS-10-20-2108-PDN](https://doi.org/10.1094/PDIS-10-20-2108-PDN).
- Ozturk, O.F., Shukla, M.K., Stringman, B. y Gard, C. (2019). Irrigation water salinity effects on germination and emergence of six halophytes. *Irrigation Drainage System Engineering*, 8(3):1-12. doi: **10.13140/RG.2.2.10313.34407**
- Pakpahan, K., Widowati, R. y Suryadinata, A. (2020). Black soldier fly liquid biofertilizer in Bunga Mayang sugarcane plantation: From experiment to policy implications. *Ecology & Environmental Sciences*, 5(2): 89-98. doi: [10.2573-2919](https://doi.org/10.2573-2919)
- Pant, A., Radovich, T.J.K., Hue, N.V. y Arancon, N.Q. (2013). Effects of vermicompost tea (Aqueous extract) on Pak Choi yield, quality and on soil biological properties. *Compost Science and Utilization*, 19(4): 279-292. doi: **10.1080/1065657X.2011.10737010**
- Parks, G.E., Dietric, M.A. y Schumaker, K.S. (2002). Increased vacuolar Na⁺/H⁺ exchange activity in *Salicornia bigelovii* Torr. in response to NaCl. *Journal of Experimental Botany*, 371(53): 1055-1065. doi: **10.1093/jexbot/53.371.1055**

- Pimienta-Barrios, E., Muñoz-Urias, A., Ramírez-Hernández, B.C. y Méndez-Morán, L. (2008). *Desarrollo vegetal*. 2ª ed. Ediciones de la Noche, Guadalajara, México.
- Rabhi, M., Talbi, O., Atia, A., Abdelly, C. y Smaoui, A. (2008). Selection of a halophyte that could be used in the bioreclamation of salt-affected soils in arid and semi-arid regions. *Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance*, 241-246. doi: **10.1007/978-3-7643-8554-5_22**
- Riadh, K., Wided, M., Koyro, H-W. y Chedly, A. (2010). Responses of halophytes to environmental stresses with special emphasis to salinity. *Advances in Botanical Research*, 53: 117–145. doi: **10.1016/S0065-2296(10)53004-0**
- Rindhe, S.N., Kumar-Chatli, M., Wagh, R.V., Kaur, A., Mehta, N., Kumar, P. y Malav, O.P. (2019). Black soldier fly: A new vista for waste management and animal feed. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(1): 1329-1342. doi: **10.20546/ijcmas.2019.801.142**
- Rivelli, A.R., De Maria, S., Pizza, S. y Gherbin, P. (2010). Growth and physiological response of hydroponically-grown sunflower as affected by salinity and magnesium levels. *Journal of Plant Nutrition*, 33: 1307-1323. doi: **10.1080/01904167.2010.484092**
- Rodríguez-Ledesma, N.D., Torres-Sevillano, C.N. y Chaman-Medina, M.E. (2019). Efecto del estrés salino en el crecimiento y contenido relativo de agua en las variedades IR-43 y amazonas de *Oryza sativa* “arroz” (Poaceae). *Arnaldoa*, 26(3): 931-942. doi: **10.22497/arnaldoa.263.26305**
- Ruan, S. Q. Xue y Tylkowska, K. (2002). Effects of seed priming on germination and health of rice (*Oryza sativa* L.) seeds. *Seed Science and Technology*, 30: 451-458. doi: **10.3329/agric.v16i1.37532**
- Rueda-Puente, E.O., Murillo-Amador, B., Ortega-García, J., Rangel-Preciado, P., Nieto-Garibay, A., Holguín-Peña, R.J., López-Ahumada, G.A., Rodríguez-Félix, F., Vargas-López, J.M. y Wong-Corral, F.J. (2017). Desarrollo natural de la halófito *Salicornia bigelovii* (Torr.) en zona costera del estado de Sonora. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20:1-9.
- Rueda-Puente, E.O., García-Hernández, J.L., Preciado-Rangel, P., Murillo-Amador, B., Tarazón-Herrera, M.A., Flores-Hernández, A., Holguin-Peña, J., Aybar, A.N., Barrón Hoyos, J.M., Weimers, D., Mwandemele, O., Kaaya, G., Mayoral, J.L., Troyo-Diéguéz, E. (2007). Germination of *Salicornia bigelovii* ecotypes under stressing conditions of temperature and salinity and ameliorative effects of plant growth-promoting bacteria. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193: 167-176. doi: **10.1111/j.1439-037X.2007.00254.x**
- Rueda-Puente, O.E., Beltrán-Morales, F.A., Ruíz-Espinoza, F.H., Valdez-Cepeda, R.D., García-Hernández, J.L., Ávila-Serrano, N.Y., Partida-Ruvalcaba, L. y Murillo-Amador, B. (2011). Opciones de manejo sostenible del suelo en zonas áridas: aprovechamiento de la halófito *Salicornia bigelovii* (Torr.) y uso de biofertilizantes en la agricultura moderna. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13: 157-167.
- Sallaku, G., Babaj, I., Kaciu, S y Balliu, A. (2009). The influence of vermicompost on plant growth characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under saline conditions. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 7(3y4): 869-872.
- Saslis-Lagoudakis, C.H., Hua, X., Bui, E., Moray, C. y Bromham, L. (2015). Predicting species tolerance to salinity and alkalinity using distribution data and geochemical modelling: a case of study using Australian grasses. *Annals of Botany*, 115: 343-351. doi: **10.1093/aob/mcu248**

- Schneider, O., Sereti, V., Eding, E.H y Verreh, J.A.J. (2005). Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquaculture Engineering*, 32: 379-401. doi: **10.1016/j.aquaeng.2004.09.001**
- Senesi, N., Plaza, C., Brunetti, G. y Polo, A. (2007). A comparative survey of recent results on humic-like fractions in organic amendments and effects on native soil humic substances. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(6): 1244-1262. doi: **10.1016/j.soilbio.2006.12.002**
- Setti, L., Francia, E., Pulvirenti, A., Gigliano, S., Zaccardelli, M., Pane, C., Caradonia, F., Bortolini, S., Maistrello, L. y Ronga, D. (2019). Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media. *Waste Management*, 95: 278-288. doi: **10.1016/j.wasman.2019.06.017**
- Singh, S., Kulkarni, M.G., Van Staden, J. (2014). Biochemical changes associated with gibberellic acid-like activity of smoke-water, karrikinolide and vermicompost leachate during seedling development of *Phaseolus vulgaris* L. *Seed Science and Research*, 24:63-70. doi: **10.1017/S0960258513000408**
- Soares, H.R.E., Farias de Franca E Silva, E., Ferreira Da Silva, R., Mendes de Lira, R. y Bezerra Revoredo, E. (2016). Mineral nutrition of crisphead lettuce grown in a hydroponic system with brackish water. *Revista Caatinga*, 29: 656-664. doi: **10.1590/1983-21252016v29n316rc**
- Sousa, W.T.Z., Neves-Panitz, C.M. y Magela-Thomaz, S. (2011). Performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands with and without the emergent macrophyte *Spartina alterniflora* treating mariculture effluent. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54(2): 405-413. doi: **10.1590/S1516-89132011000200024**
- Sphigel, M., Ben-Ezra, D., Shauli, L., Sagi, M., Ventura, L., Samocha, T. y Lee, J.J. (2013). Constructed wetland with *Salicornia* as a biofilter for mariculture effluents. *Aquaculture*, 412-413: 52-63. doi: **10.1016/j.aquaculture.2013.06.038**
- Su, L.L., Ta, Y.W., Pei, N.L. y Pui, Y.S.K. (2015). The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science and Food Agriculture*, 95: 1143-1156. doi: **10.1002/jsfa.6849**
- Suthar S. (2010). Evidence of plant hormone like substances in vermiwash: An ecologically safe option of synthetic chemicals for sustainable farming. *Ecological Engineering*, 36: 1089-1092. doi: **10.1016/j.ecoleng.2010.04.027**
- Taffouo, V.D., Nouck, A.H., Dibong, S.D. y Amougou, A. (2010). Effects of salinity stress on seedlings growth, mineral nutrients and total chlorophyll of some tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 9(33): 5366-5372.
- Tambussi, E.A. (2004). *Fotosíntesis, fotoprotección, productividad y estrés abiótico: algunos casos de estudio. Tesis doctoral*. Universitat de Barcelona, Departamento de Biología Vegetal, España.
- Tan, J.K.N., Lee, J.T.E., Chiam, Z., Song, S., Arora, S., Tong, Y.W. y Tan, H.T.W. (2021). Applications of food waste-derived black soldier fly larva frass as incorporated compost, side-dress fertilizer and frass-tea drench for soilless cultivation of leafy vegetables in biochar-based growing media. *Waste Management*, 130:155-166. doi: **10.1016/j.wasman.2021.05.025**
- Taylor, A.G., Allen, P.S., Bonnett, M.A., Bradford, K.J., Burris, J.S. y Mishra, M.K. (1998). Seed enhancements. *Seed Science and Research*, 8(2): 245-256.
- Tognetti, C., Laos, F., Mazzarino, M.J. y Hernández, M.T. (2005). Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost Science and Utilization*, 13: 6-13.

- Troyo-Diéguez, E. y Breceda-Solis-C AMB. (1992). Germinación de *Salicornia bigelovii* Torr. (Chenopodiaceae) bajo diferentes concentraciones de agua marina. *The Southwestern Naturalists*, 37: 22-27.
- Tyson, R.V., Treadwell, D.D. y Simonne, E.H. (2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponics. *HortTechnology*, 21(1): 1-13. doi: **10.21273/HORTTECH.21.1.6**
- Ungar, I. (1981). Growth and survival of the halophyte in succulent halophytes *Salicornia europaea* L. under saline field conditions. *Ohio Journal of Science*, 81: 109-113.
- Valladares, F., Vilagrosa, A., Peñuelas, J., Ogaya, R., Camarero, J., Corcuera, L., Sisó, S. y Gil-Pelegrín, E. (2014). Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. En: *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid, España, pp. 163-190.
- Ventura, Y. y Sagi, M. (2013). Halophyte crop cultivation: The case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. *Environmental and Experimental Botany*, 92: 144-153. doi: [10.1016/j.envexpbot.2012.07.010](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.010)
- Ventura, Y., Wuddineh, W.A., Myrzabayeva, M., Alikulov, Z., Khozin-Goldberg, I., Sphigel, M., Samocha, T.M. y Sagi, M. (2011). Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. *Science Horticulture*, 128: 189-196. doi: **10.1016/j.scienta.2011.02.001**
- Villa-Castorena, M., Catalán-Valencia, E.A., Inzunza-Ibarra, M.A. y Ulery, A.L. (2006). Absorción y translocación de sodio y cloro en plantas de chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas con estrés salino. *Fitotecnia Mexicana*, 29(1):79-88. doi: **10.35196/rfm.2006.1.79**
- Villegas-Cornelio, V.M. y Laines-Canepa, J.R. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2): 393-406. doi: **10.29312/remexca.v8i2.59**
- Wang, F., Xu, Y.G., Wang, S., Shi, W., Liu, R., Feng, G. y Song, J. (2015). Salinity affects production and salt tolerance of dimorphic seeds of *Suaeda salsa*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 95: 41-48. doi: **10.1016/j.plaphy.2015.07.005**
- Wang, X.X., Zhao, F., Zhang, G., Zhang, Y. y Zhang, L. (2017). Vermicompost improves tomato yield and quality and the biochemical properties of soils with different tomato planting history in a greenhouse study. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1978. doi: **10.3389/fpls.2017.01978**
- Xiao, Z., Liu, M., Jiang, L., Chen, X., Griffiths, B.S., Li, H. y Hu, F. (2017). Vermicompost increases defense against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in tomato plants. *Applied Soil Ecology*, 105: 177-186. doi: **10.1016/j.apsoil.2016.04.003**
- Xiong, L. y Zhu, J.K. (2002). Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. *Plant Cell Environment*, 25: 131-139. doi: [10.1046/j.1365-3040.2002.00782.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00782.x)
- Xu, L., Yan, D., Ren, X., Wei, Y., Zhou, J. y Zhao, H. (2016). Vermicompost improves the physiological and biochemical responses of blessed thistle (*Silybum marianum* Gaertn.) and peppermint (*Mentha haplocalyx* Briq) to salinity stress. *Industrial Crops and Products*, 94: 574-585. doi: **10.1016/j.indcrop.2016.09.023**
- Yan, K., Shao, H., Shao, C., Chen, P., Zhao, S., Brestic, M. y Chen, X. (2013). Physiological adaptative mechanisms of plants grown in saline soil and implications for sustainable saline agriculture in coastal zone. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35:2867-2878. doi: **10.1007/s11738-013-1325-7**

Yang, L., Zhao, F., Chang, Q., Li, T. y Li, F. (2015). Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. *Agricultural Water Management*, 160: 98-105. doi: **10.1016/j.agwat.2015.07.002**