



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO
POSGRADO DE HIDROCIENCIAS**

**GERMINACIÓN DE DIFERENTES CULTIVOS EN
CONDICIONES DE SALINIDAD CUANTITATIVA Y
CUALITATIVA**

SARA LUCÍA GONZÁLEZ ROMERO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO.

2009

AUNQUE SIENTAS EL CANSANCIO; UN ERROR TE LASTIME;
UNA TRAICIÓN TE HIERA; UNA ILUSIÓN SE APAQUE; SE
IGNOREN TUS ESFUERZOS; LA INGRATITUD SEA LA PAGA;
LA INCOMPREENSIÓN CORTE TU RISA Y TODO PAREZCA
NADA.

¡VUELVE A EMPEZAR!

SOLO ALCANZAREMOS LA CIMA DE LA MONTAÑA
SI NOS DECIDIMOS A ENFRENTAR LOS RIESGOS
DEL CAMINO.

TORRES

UN RÍO PUEDE ALCANZAR SU META PORQUE HA
APRENDIDO A SORTEAR LOS OBSTACULOS

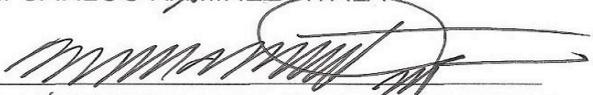
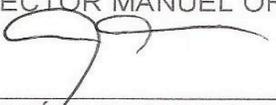
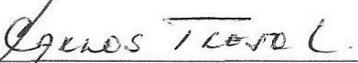
SABIDURIA ORIENTAL

La presente tesis titulada: **Germinación de Diferentes cultivos en condiciones de salinidad cuantitativa y cualitativa**. Realizada por la alumna: **Sara Lucía González Romero** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO	 _____ DR. CARLOS RAMÍREZ AYALA
ASESOR	 _____ DR. HÉCTOR MANUEL ORTEGA ESCOBAR
ASESOR	 _____ DR. ADRIÁN R. QUERO CARRILLO
ASESOR	 _____ DR. CARLOS TREJO LÓPEZ
ASESORA	 _____ DRA. NORMA E. GARCÍA CALDERÓN

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Septiembre de 2009.

GERMINACIÓN DE DIFERENTES CULTIVOS EN CONDICIONES DE SALINIDAD CUANTITATIVA Y CUALITATIVA.

Sara Lucía González Romero, Dra.

Colegio de postgraduados, 2009

El presente estudio se llevó a cabo en dos fases. La primera fue con el propósito de evaluar, en la etapa de germinación de algunos cultivos, la tolerancia a la salinidad en siete niveles de conductividad eléctrica (CE) constante para cada sal. En la segunda fase se evaluó la tolerancia del pasto Banderita a temperatura constante y en soluciones isosmóticas. Los resultados obtenidos en la primera fase mostraron que las sales con predominio de Cl^- generaron una CE mayor, y un potencial osmótico ($\Psi\pi$) menor, en comparación a sales con superioridad de SO_4^{2-} y HCO_3^- . Las sales que registraron $\Psi\pi$ menor tuvieron pH ligeramente ácido y las de potencial mayor el pH fue neutro. Estadísticamente, las sales que tuvieron el ión HCO_3^- como anión acompañante, afectaron más el porcentaje de germinación y crecimiento de los siete cultivos probados, seguidos por los iones de Cl^- y, por último, los SO_4^{2-} fueron menos agresivos al brote de plántulas. En los cultivos de alfalfa, pasto Banderita, frijol y remolacha, la mezcla de sales favoreció la germinación y crecimiento; no así, en los cultivos restantes (avena, maíz y pasto Ballico), donde las sales puras fueron estadísticamente iguales a las sales geoquímicas. El tiempo, porcentaje de germinación y crecimiento, tuvieron una relación lineal con la concentración de sal ya que se vieron afectados al incrementar la concentración salina y la CE, lo que provocó su retraso o inhibición. Al incrementar la concentración de las sales, durante la segunda fase, la influencia de los iones sobre la CE y el $\Psi\pi$ no fue tácita. El efecto de la salinidad sobre la germinación varió considerablemente con la temperatura, el porcentaje de germinación fue mayor, en todos los tratamientos en cámara de germinación (20 °C) respecto a la temperatura ambiente, esto permitió que las semillas toleraran niveles mayores de concentración salina. El porcentaje de germinación del pasto Banderita sometido a soluciones isosmóticas, sufrió una reducción debido a los $\Psi\pi$ bajos. La sal con germinación mayor fue el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; y la de germinación menor fue el NaHCO_3 . En las sales geoquímicas, la salinidad clorhídrica presentó la germinación mayor y en la salinidad sulfático-sódica hubo un brote menor de plántulas. El crecimiento vegetativo de la radícula fue altamente afectado por las sales en comparación a la parte aérea y ambas partes desarrollaron más en las sales geoquímicas.

Palabras Clave: Salinidad cualitativa y cuantitativa, germinación, temperatura y pasto Banderita

GERMINATION FOR SOME CROPS UNDER CONDITIONS OF QUANTITATIVE AND QUALITATIVE SALINITY.

Sara Lucía González Romero, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2009

The present study was carried out in two phases. The first with the purpose to evaluate germination for some crops under seven levels of electric conductivity constant for different salts. In the second phase salts tolerance was evaluated for Sideoats grama under a constant temperature and seven levels of isosmotic solutions. The first phase showed that salts with prevalence of Cl^- generated a bigger CE, and smaller osmotic potential, in comparison to the salts with elevated concentrations of SO_4^{2-} and HCO_3^- . The salts that registered smaller $\Psi\pi$ showed a slightly acid pH and those with higher potential, pH values were neutral. Statistically, salts composed of HCO_3^- as the companion anion affected germination percentages and plantlet growth for all tested crops, followed by Cl^- and SO_4^{2-} ions, respectively, the later were the less aggressive for plantlet growth. For alfalfa, sideoats grama, beans and beet salts mixture favored both germination and growth in opposition to the remaining evaluated crops (oat, corn and Ballico) showing pure salts as statistically similar to geochemical salts. The velocity of germination, germination percentage, and growth showed a linear relationship with the salt concentration due to the fact that these were affected when increasing saline concentration; similarly, CE promoted delay or inhibition of the germination. For the second phase, when increasing salts concentration it was not so clear to define which ions influence more in the CE and the $\Psi\pi$. The effect of salinity on the germination varied considerably with temperature, germination percentage was higher for all treatments in 20 °C germination camera compared to room temperature, allowing seeds tolerated higher levels of salt concentration. sideoats grama germination percentage when subjected to isosmotic solutions, suffered a delay or inhibition due to the potential. The salt with higher germination levels was the $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; and lower germination percentage was observed with NaHCO_3 . In the geochemicals salts higher germination levels were registered for hydrochloric salinity, and the lowest levels were observed using sulfatic sodium salinity. The vegetative growth of the root was highly affected by salts in comparison to the aereal part, and both plant parts developed better using geochemical salts.

Words Key: Qualitative and quantitative salinity, germination, temperature and sideoats grama

DEDICATORIA

A mis padres:

Ezequiel: por inculcarme el espíritu de superación en aquellas tardes en que me enseñabas matemáticas.

Sara: por tu cariño y apoyo, por haber estado a mi lado en un momento que jamás creí que viviría, por no dejarme sola, cuando más te necesite.

A mis hermanos

Javier, Lupe, Eloisa, José Luis y Cris. A los pequeños de la familia Aarón y Ana: por su alegría, por su sinceridad y sus oraciones para que pasara el TOFEL.

A mis cuñadas

Lupe y Blanca. Por su cariño, comprensión y apoyo.

A mis primos

Juanis, Vero, Riquis, Laura, Meche, Polo y Pablo: Por los momentos que pasamos juntos deseándoles que logren todos sus proyectos de vida. A Jafet que donde quiera que este Dios le indique su verdadero camino.

GRACIAS POR EL APOYO QUE ME HAN BRINDADO

AGRADECIMIENTOS.

A Dios; por estar presente en cada momento de mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Colegio de Postgraduados; por su ayuda económica para realizar mis estudios de postgrado, y por contribuir en mi formación académica

Al Dr. Carlos Ramírez Ayala; por su disposición en la revisión y corrección de este trabajo, por sus consejos y enseñanzas para afrontar la vida.

Al Dr. Manuel Ortega Escobar; por la sus asesorías en la ejecución del presente trabajo, y experiencias compartidas.

Al Dr. Adrian Quero Carrillo; por sus palabras de aliento en los momentos críticos de mi estancia en el colegio, por su apoyo incondicional y sugerencias para mejorar el trabajo, por su ejemplo de profesionalismo y por ser una excelente persona.

Al Dr Carlos Trejo López; por su colaboración en la revisión de este escrito.

Al Dr. Adrian y al personal del laboratorio de semillas y al personal del laboratorio de salinidad, Don Cruz, por las facilidades otorgadas en el uso de sus instalaciones, para llevar a cabo esta investigación.

Al Dr: Edgar V. Gutiérrez Castorena. Por su apoyo incondicional, amistad y por el tiempo dedicado para enseñarme inglés, y haber sido una luz en momentos de oscuridad en el colegio.

Al Dr. Edgar Sánchez Bernal. Por la asesoría brindada.

A las Srias. Amalia Sosa, Ana Luisa Portillo y Sandra Aguilar por su amistad, cariño, por sus palabras de aliento y apoyo brindado incondicionalmente.

A Sria. Blanca Estela por el apoyo brindado en la impresión de artículos.

Al personal de servicios académicos, Lucy, Gris, Lic. Padilla, Lucy, personal de la biblioteca y a todas las personas que me brindaron su apoyo, amistad y cariño haciendo de mi estancia en el colegio un lugar agradable.

Al M.C. Gonzalo Pozas Cárdenas, por creer en mí, por su amistad, cariño y motivación a jamás darme por vencida antes de llegar a la meta.

A la Sra. Lety Posadas por ser un instrumento de Dios y darme una nueva oportunidad de vida, por su amistad y cariño.

A la Dra. Lidia Huertas por el tiempo que compartimos y porque sin usted no hubiese continuado con mis estudios de doctorado.

A la Sra. Juanita Gutiérrez, por sus consejos, cariño, y por recibirme siempre con los brazos abiertos en si vivero, confiar en mí y ser un ejemplo de mujer emprendedora.

A las Familias. González Vargas y Romero Cuenca: Por el apoyo que me han brindado, siempre motivándome a continuar.

A mis amigas incondicionales: Angeles Corona, Patricia Hernández, Alicia Vargas, Arely García, Claudia Moreno, Rosa Ríos y Gregoria por compartir alegrías tristezas, y hacer de la amistad un verdadero tesoro.

A mis amigos: Gerardo Rojas, Charly Reyes, Pepe Toño Serrano, Nacho de Dios, Omar Franco y J. Luis Vidal. Por ayudarme a superar las pruebas, enfrentándome a los retos y motivarme siempre a seguir adelante.

A todas las personas que han brindado su apoyo y una palabra que me motivo a seguir adelante, recordando que los retos son para superarlos.

Sinceramente

Gracias

CONTENIDO

	PAG.
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPITULO 1. GERMINACIÓN DE DIFERENTES CULTIVOS.....	3
1.1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.2. OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	5
1.3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
1.3.1 Los suelos salinos en el mundo.....	6
1.3.2 Suelos afectados por sales en México.....	6
1.3.3 Salinidad y salinización de los suelos.....	8
1.3.4 Origen de las sales solubles.....	10
1.3.5 Acumulación de sales.....	13
1.3.6 Solubilidad de las sales.....	14
1.3.7 Principales sales de los suelos salinos.....	15
1.3.8 Determinación de las sales en el suelo.....	19
1.3.9 Clasificación de suelos salinos.....	19
1.3.10 Recuperación de los suelos.....	23
1.3.11 Relación de las plantas con las sales solubles del suelo.....	24
1.3.12 Efecto de las sales solubles sobre los cultivos.....	25
1.3.13 Efecto de las sales sobre el desarrollo vegetativo.....	28
1.3.14 Efectos fisiológicos de la salinidad sobre las plantas.....	30
1.3.15 Efecto de los iones en el metabolismo de las plantas.....	32
1.3.16 Tolerancia de los cultivos a elementos tóxicos y sodio intercambiable.....	37
1.3.17 Criterios de evaluación de la tolerancia.....	38
1.3.18 Germinación	41
1.3.19 Efecto de las sales sobre la germinación.....	42

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
CAPITULO II GERMINACIÓN DEL PASTO BANDERITA.....	120
2.1 INTRODUCCION.....	120
2.2 OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	122
2.3 REVISIÓN DE LITERATURA.....	123
2.3.1 Efecto de las sales en el desarrollo de la planta.....	123
2.3.2 Daño primario por sales, diferenciación del daño secundario....	123
2.3.3 Daño primario indirecto por sales.....	124
2.3.4 Ajuste osmótico.....	124
2.3.5 El concepto de potencial osmótico.....	126
2.3.6 Potencial osmótico de las soluciones salinas.....	128
2.3.7 Potencial hídrico y sus componentes.....	128
2.3.8 Tolerancia a presión osmótica.....	129
2.3.9 Efectos osmóticos.....	130
2.3.10 El pasto Banderita.....	132
2.3.10.1 Origen.....	132
2.3.10.2 Características.....	132
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	134
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	138
CONCLUSIONES GENERALES.....	170
RECOMENDACIONES GENERALES.....	171
LITERATURA CITADA.....	172
ANEXOS.....	184

LISTA DE CUADROS

	PAG.
Cuadro 1 Secuencia de extracción de iones durante la meteorización...	12
Cuadro 2 Categorías de emigración de los elementos.....	12
Cuadro 3 Clasificación de los suelos por salinidad.....	21
Cuadro 4 Tolerancia relativa a la salinidad de varios cultivos en la germinación.....	44
Cuadro 5 Concentración de sales puras, pH, CE y $\Psi\pi$	52
Cuadro 6 Concentración de sales geoquímicas, pH, CE y $\Psi\pi$	53
Cuadro 7 Modelo lineal resultante de la concentración, presión osmótica y CE para cada tipo de sal.....	56
Cuadro 8 Modelo lineal resultante de la concentración, presión osmótica y CE para cada sal geoquímica.....	61
Cuadro 9 Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita en sales puras.....	65
Cuadro 10 Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita en sales geoquímicas.....	67
Cuadro 11 Porcentaje de germinación absoluta de Alfalfa.....	71
Cuadro 12 Porcentaje de germinación absoluta de Avena.....	73
Cuadro 13 Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita.....	76
Cuadro 14 Porcentaje de germinación absoluta de Frijol.....	78
Cuadro 15 Porcentaje de germinación absoluta de maíz.....	80
Cuadro 16 Porcentaje de germinación absoluta de pasto Ballico.....	83
Cuadro 17 Porcentaje de germinación absoluta de remolacha.....	85
Cuadro 18 Porcentaje de germinación absoluta a los 15 días en sales puras.....	90

Cuadro 19 Porcentaje de germinación absoluta a los 15 días, con diferentes tipos y concentraciones de salinidad geoquímica.....	92
Cuadro 20 Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días de alfalfa.....	96
Cuadro 21 Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días de avena.....	98
Cuadro 22 Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días de pasto Banderita.....	101
Cuadro 23 Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días de frijol.....	103
Cuadro 24 Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días de maíz.....	105
Cuadro 25 Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días de pasto Ballico.....	107
Cuadro 26 Crecimiento vegetativo a los 15 días, de remolacha.....	109
Cuadro 27 Crecimiento de radícula (mm) a los 15 días, con diferentes tipos y concentraciones salinas puras, a temperatura ambiente.....	113
Cuadro 28 Crecimiento de parte aérea (mm) a los 15 días, con diferentes tipos y concentraciones salinas puras, a temperatura ambiente.....	114
Cuadro 29 Crecimiento de radícula (mm) a los 15 días, con diferentes tipos y concentraciones salinas geoquímicas, a temperatura ambiente...	116
Cuadro 30 Crecimiento de parte aérea (mm) a los 15 días, con diferentes tipos y concentraciones salinas geoquímicas, a temperatura ambiente.....	117
Cuadro 31 Concentración de sales puras, pH, CE y $\Psi\pi$	139
Cuadro 32 Concentración de sales geoquímicas, pH, CE y $\Psi\pi$	140
Cuadro 33 Modelo lineal resultante de la concentración, presión osmótica y CE para cada sal pura.....	143
Cuadro 34 Modelo lineal resultante de la concentración, presión osmótica y CE para cada sal geoquímica.....	147

Cuadro 35 Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita <i>B. curtipendula</i> (Michx.) Torr a 20°C. Experimento 1.....	152
Cuadro 36 Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita <i>B. curtipendula</i> (Michx.) Torr a 20°C. Experimento 2.....	154
Cuadro 37 Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita <i>B. curtipendula</i> (Michx.) Torr. a temperatura ambiente y a 20°C. Experimentos 1 y 2.....	158
Cuadro 38 Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, de pasto Banderita <i>B. curtipendula</i> (Michx.) Torr. a 20°C. Experimentos 1.....	162
Cuadro 39 Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, de pasto Banderita <i>B. curtipendula</i> (Michx.) Torr a 20°C. Experimentos 2.....	164
Cuadro 40 Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, de pasto Banderita <i>B. curtipendula</i> (Michx.) Torr en las sales puras, a temperatura ambiente y a 20°C. Experimentos 1 y 2.....	166
Cuadro 41 Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, de pasto Banderita <i>B. curtipendula</i> (Michx.) Torr. en las sales geoquímicas, a temperatura ambiente y a 20°C. Experimentos 1 y 2.....	167

LISTA DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1 Relación de la solubilidad de las sales con la temperatura.....	15
Figura 2 Relación del rendimiento con la conductividad eléctrica.....	39
Figura 3 Sensibilidad de los cultivos frente a la conductividad eléctrica...	40
Figura 4 Relación de la concentración de cada sal, con la CE.....	55
Figura 5 Relación de la concentración de cada sal, con la CE.....	55
Figura 6 Relación de la presión osmótica, con la CE.....	56
Figura 7 Relación de la concentración de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.....	57
Figura 8 Relación de la concentración de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.....	58
Figura 9 Relación de la presión osmótica de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.....	58
Figura 10 Relación de la concentración de cada sal geoquímica, con la conductividad eléctrica.....	59
Figura 11 Relación de la concentración de cada sal geoquímica, con la conductividad eléctrica.....	60
Figura 12 Relación de la presión osmótica de cada sal geoquímica, con la conductividad eléctrica.....	60
Figura 13 Relación de la concentración de las cinco sales geoquímicas, con la conductividad eléctrica.....	62
Figura 14 Relación de la concentración de las cinco sales geoquímicas, con la conductividad eléctrica.....	62
Figura 15 Relación de la presión osmótica de las cinco sales geoquímicas, con la conductividad eléctrica.....	63
Figura 16 Relación de la concentración de NaCl, con la CE.....	135

Figura 17 Relación de la presión osmótica del NaCl, con la CE.....	136
Figura 18 Relación de la concentración de cada sal, con la CE.....	141
Figura 19 Relación de la concentración de cada sal con la CE.....	142
Figura 20 Relación de la presión osmótica con la CE.....	142
Figura 21 Relación de la concentración de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.....	144
Figura 22 Relación de la concentración de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.....	144
Figura 23 Relación de la presión osmótica de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.....	145
Figura 24 Relación de la concentración de cada sal geoquímica, con la conductividad eléctrica.....	146
Figura 25 Relación de la concentración de cada sal geoquímica, con la conductividad eléctrica.....	146
Figura 26 Relación de la presión osmótica de cada sal geoquímica, con la conductividad eléctrica.....	147
Figura 27 Relación de la concentración de las cinco sales geoquímicas, con la conductividad eléctrica, para las cinco sales geoquímicas.....	148
Figura 28 Relación de la concentración de las cinco sales geoquímicas, con la conductividad eléctrica.....	149
Figura 29 Relación de la presión osmótica de las cinco sales geoquímicas, con la conductividad eléctrica,.....	149

INTRODUCCIÓN GENERAL

La contaminación debido a sal soluble en los suelos, ha causado problemas durante toda la historia de la humanidad, principalmente en las regiones áridas del mundo; en las cuales, millones de hectáreas están afectadas por salinidad y mayores superficies, cada año, se vuelven menos productivas. La agricultura intensiva y su expansión a zonas áridas significan más irrigación, con agua que aumenta el contenido de sal.

En México, predominan los suelos salinos y sódicos debido a las condiciones ambientales y a la actividad agrícola que actualmente se está incrementando en algunas áreas, por el uso de aguas residuales. Existen áreas en donde el problema se ha acentuado: Valle de Tehuacán, Laguna del Carmen, Xochimilco, Valle de Chalco, ex Lago de Texcoco, Santa María Tonanitla, Lago de Xaltocan, Valle del Mezquital, Cuitzeo, Obrajuelo, Rio Verde, Laguna de Mairan y Mexicali, entre otras. (Fernández, 1972; Ortega, 1991; Velázquez *et al.*, 2002)

Todos los suelos contienen sales solubles, algunas de las cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas. Salinidad puede ser definida como la concentración excesiva de sales solubles en el suelo, que limitan el crecimiento de las plantas. Esta limitación es mayor a medida que aumenta la concentración de sales hasta provocar la muerte de la planta (Maas y Nieman, 1978). La principal sal que participa en la salinización es el cloruro de sodio (NaCl). También se pueden encontrar algunos suelos yesíferos y muy pocos suelos alcalinos, los cuales ocurren frecuentemente en combinación con los salinos. Los ácido sulfáticos se presentan en marismas costeras de la República Mexicana. (Szabolcs, 1994).

En el proceso de salinización, el intemperismo químico de los minerales es la fuente primaria de aniones (CO_3^- , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^-) y cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) que originan suelos salinos. El contenido de sales de las rocas y del terreno, como en los depósitos sedimentarios, puede ser resultado de acumulación, cuando el área fue una porción del lecho oceánico o el fondo de un lago salino. Por otra parte, los factores secundarios incluyen prácticas inadecuadas de riego y la aplicación intensiva de fertilizantes. Las sales de elevada solubilidad son nocivas para cultivos y las poco solubles precipitan antes de alcanzar niveles perjudiciales, su solubilidad varía con la

temperatura (Kovda, 1980; Richards, 1988). Las sales solubles se determinan midiendo la conductividad eléctrica (dS m^{-1}) del extracto de saturación del suelo, lo que permite determinar la tolerancia de los cultivos; sin embargo, esta técnica, no toma en cuenta la composición cualitativa de las soluciones salinas (Sánchez, 2008).

El impacto de la salinidad sobre la agricultura está siendo resentida en áreas irrigadas, en las cuales las concentraciones de sales se elevan durante repetidos ciclos del uso del agua. La conservación de los suelos, así como su recuperación cuando están afectados por sales, es de gran importancia para la producción agrícola. En la práctica, regularmente los métodos químicos de mayor uso son: aplicación del ácido sulfúrico y yeso agrícola; sin embargo, resultan costosos.

La tolerancia de las plantas a la salinidad varía notablemente entre las diferentes especies. Ésto ha llevado a la división general de las plantas en grupos distintos: a) Glicofitas, aquellas que toleran solamente concentración baja de sales; b) Halófitas, que toleran relativamente concentraciones altas. Entre estos límites existe un espectro amplio en cuanto a la salinidad, pero la delimitación no es brusca, ya que la tolerancia o sensibilidad a la salinidad es un parámetro que varía gradualmente entre especies (Maas y Hoffman, 1977).

CAPITULO 1. GERMINACIÓN DE DIFERENTES CULTIVOS EN CONDICIONES DE SALINIDAD CUALITATIVA Y CUANTITATIVA

1.1 INTRODUCCIÓN

La salinidad induce cambios en la anatomía, morfología y fisiología de las plantas, los cuales a menudo se consideran como adaptaciones que incrementan las oportunidades de éstas para sobrevivir al estrés salino, aunque también son signos del daño y alteración de su estructura y fisiología. Se ha demostrado que la salinidad afecta la tasa de germinación, ramificación y tamaño de hojas (Mayer y Poljakoff, 1975; Richards, 1988).

La germinación es una etapa crucial en el ciclo de vida de las plantas, varios factores ambientales como temperatura, salinidad, luz y humedad del suelo simultáneamente, influyen en la germinación de las semillas (Huang *et al.*, 2003; Zia y Khan, 2004; El-Keblawy y Al-Rawai, 2005; 2006). La salinidad del suelo puede afectar la germinación de las semillas en dos formas: 1. Disminuyendo la facilidad de imbibición, y 2. Facilitando la entrada de iones en cantidades tóxicas (Ayers y Hayward, 1948; Ayers, 1952; Bernstein, 1961).

La tolerancia a la salinidad durante la germinación es crítica para el establecimiento de plantas en suelos salinos y regiones áridas. (Khan y Gulzar, 2003). Ésta depende de tres atributos: 1. La capacidad a incrementar la presión osmótica de el fluido de los tejidos para compensar los incrementos de presión osmótica del substrato. 2. La capacidad de regular la entrada de iones para provocar el incremento en presión osmótica y aun evitar la acumulación excesiva de iones y 3. La inherente habilidad del protoplasma a resistir efectos nocivos de la acumulación de iones (Hayward y Wadleigh, 1949). La variabilidad de la respuesta se amplía más entre especies y variedades (Ayers y Hayward, 1948).

Existen tres efectos principales del estrés salino que afectan a las plantas: a) osmótico, b) nutricional y c) tóxico. El primero está dado por una disminución del potencial osmótico del suelo que origina menor disponibilidad de agua para la planta. Alteraciones nutricionales por estrés salino pueden ser consideradas cuando el vegetal

tiene problemas para absorber iones esenciales en presencia de cantidades elevadas de sales solubles. El efecto tóxico está dado principalmente, por ciertos iones como Cl^- y Na^+ .

Debido a la importancia económica que reviste el estudio de las plantas cultivadas en relación con su tolerancia a la salinidad, se ha tratado de encontrar plantas tolerantes a las sales. Hay estudios de mejoramiento genético para obtener plantas que produzcan cosechas económicamente factibles en suelos con problemas de salinización. Actualmente, se ha considerado la posibilidad de utilizar la etapa de germinación como un indicador de la tolerancia en otras etapas y, dado que tiene una duración menor, podría ser fácil determinar la tolerancia de los cultivos a las sales, sin embargo, casi todas las investigaciones sobre salinidad han sido hechas usando NaCl .

1.2 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

GENERAL

Estudiar la respuesta a la salinidad cualitativa y cuantitativa de los cultivos: alfalfa, avena, pasto Banderita, frijol, maíz, pasto Ballico anual y remolacha en la etapa de germinación, considerando los tipos de salinidad que se presentan en los valles de zonas áridas y semiáridas de México.

ESPECIFICO

Evaluar el efecto de la salinidad cualitativa y cuantitativa sobre el crecimiento de la radícula y la parte aérea de las diversas especies consideradas.

HIPÓTESIS

La salinidad afecta en forma diferencial a la germinación, así como el crecimiento de radícula y parte aérea dependiendo de la concentración y del tipo de sal presente en la solución.

1.3 REVISIÓN DE LITERATURA

1.3.1 Los suelos salinos en el mundo

Los suelos afectados por sales constantemente aumentan en el mundo, ocupando un 10% del total de la superficie terrestre (8.97 millones de km²), cambiando diferencialmente sus propiedades morfológicas, químicas y biológicas, además de una fertilidad baja y dificultades para el uso agrícola. En las zonas áridas y semiáridas predominan suelos salinos y sódicos, también hay magnésicos, yesíferos o sulfáticos y ácido-sulfáticos (Szabolcs, 1994).

1.3.2 Suelos afectados por sales en México

En México, predominan los salinos y sódicos debido a las condiciones ambientales, se distribuyen ampliamente en valles cercanos a las costas, estuarios ribereños, en zonas áridas y semiáridas (Chena, 1966), y zonas ensalitradas en los terrenos bajos que aparentemente cubren la mayor superficie agrícola, el problema se deriva de un mal manejo del agua de riego, donde los suelos presentan drenaje deficiente, evaporación alta y calidad del agua mala debido al uso de aguas residuales. La superficie afectada por la salinidad es el 10 % del área irrigada, y de ésta, aproximadamente el 65 % se localiza en la parte norte del país. (Fernández, 1972).

El problema se localiza fundamentalmente en las zonas áridas sin embargo, también hay suelos salinos en regiones húmedas. Los lugares donde se observa el problema de la salinidad en forma más palpable, son cuencas cerradas que, a través de miles de años, han ido acumulando paulatinamente sales en el perfil del suelo, como es el caso del ex Lago de Texcoco. Dentro de las zonas costeras del país, los sedimentos marinos posiblemente son el problema más importante, puesto que todas estas planicies que se han cultivado, ya sea de temporal o de riego, tienen contenido de sales alto (Fernández, 1972).

La principal sal que participa en la salinización es el Cloruro de Sodio (NaCl). También se pueden encontrar algunos suelos yesíferos y muy pocos suelos alcalinos, los cuales ocurren frecuentemente en combinación con los salinos. Los ácido sulfáticos se presentan en marismas costeras de la República Mexicana (Szabolcs, 1994).

Ortega (1991) señala que los estudios de geoquímica del paisaje de las zonas áridas y semiáridas, valles costeros y valles irrigados por los distritos de riego de México, han permitido determinar que los suelos afectados por sales se localizan en las siguientes zonas:

1. **Zona noroeste:** presenta suelos salinos con predominio de sales de NaCl y Na₂SO₄, la salinización primaria obedece a la geomorfología, geoquímica y condiciones climáticas e hidrológicas de la región; la salinización secundaria se debe al riego con aguas de concentración salina elevada en las que predomina la química del ión Na⁺ de manera que en esta zona se encuentran suelos salinos y salino sódicos. Comprende zonas áridas y semiáridas de Baja California, Sonora, Sinaloa, en esta última prevalecen los salinos clorhídricos y sulfático clorhídricos.

2. **Zona Norte:** Presenta la formación de suelos salinos con predominio de sales de cloruros y sulfatos, la salinización se ha incrementado por efecto de la irrigación agrícola. Comprende zonas áridas y semiáridas de Chihuahua, Durango y Zacatecas.

3. **Zona noreste y altiplano:** En las zonas semiáridas del sur de Nuevo León, Tamaulipas y norte de San Luis potosí, los suelos yesíferos o sulfáticos son abundantes, ello debido a las características geomorfológicas y geoquímicas de la región, las sales predominantes son CaSiO₃, CaCO₃, CaSO₄, NaCl y Na₂SO₄, éstas se pueden encontrar asociadas con suelos salinos.

4. **Zona del bajo:** Comprende Guanajuato, Michoacán y Querétaro, predominando suelos de salinidad sulfático-clorhídrica, cuya superficie se ha incrementado por efecto de la irrigación, también se encuentran terrenos sódicos como consecuencia de la desecación de lagos salinos, como el de Cuitzeo en Michoacán en el que prevalece la sal Na₂CO₃.

5. **Zona centro:** Comprende: México, Tlaxcala, Puebla y la parte sur de Hidalgo. Localizándose suelos salino sódicos y sódicos en Tlaxcala (Laguna del Carmen) y sódicos en ex Lago de Texcoco, Méx.; superficies de salinidad sulfática y sulfático-clorhídrica en Puebla y de salinidad clorhídrico sulfática en Hidalgo; en esta última entidad se forman terrenos con tendencia a la sodicidad en el valle del Mezquital,

debido al riego con aguas residuales procedentes de la ciudad de México (Velázquez *et al.*, 2002).

6. **Zona sur:** Valles centrales de Oaxaca se han localizado suelos salinos y sódicos, éstos últimos derivados de procesos artesianos, ejemplo los sódicos de Hierve el Agua, Oaxaca.

7. **Zona costera:** Colima y Nayarit presentan suelos ácido sulfáticos.

1.3.3 Salinidad y salinización de los suelos.

La salinidad es un fenómeno natural muy extendido sobre la tierra y la evolución de los organismos vivientes ha resultado en numerosas especies que muestran mecanismos de adaptación para crecer en ambientes salinos. La mayoría de las plantas son relativamente sensibles a las sales; en particular, casi todas las plantas cultivadas no toleran en forma permanentemente condiciones salinas (Gorham, *et al.*, 1985).

La salinización es un estado de enriquecimiento del suelo con sales más solubles que el sulfato de calcio, por lo general se trata de cloruros y sulfatos de sodio y magnesio. Ésto provoca valores muy altos de la presión osmótica en el agua del suelo, con evidentes repercusiones sobre la vegetación, interfiriendo en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y otras plantas no especializadas (Porta *et al.*, 2003).

En el proceso de salinización, las sales presentes en los suelos proceden de la intemperización de rocas y minerales que constituyen la corteza terrestre; de estos elementos, los que participan en las sales de los suelos salinos son: Ca, Mg, Na, K, Cl, S, C, N, B e I y con menor frecuencia Cu y Zn. El intemperismo químico de minerales es la fuente primaria de aniones ($\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- , Cl^- y $\text{SO}_4^{=}$) y cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) que originan tierras salinas. Por otra parte, los factores secundarios incluyen: prácticas inadecuadas de riego y la aplicación intensiva de fertilizantes. La concentración de sales de la solución del suelo, fluctúa constantemente debido a cambios en el suplemento de agua, drenaje y evapotranspiración; además, la salinidad no sólo es causada por el NaCl, sino también por Na_2SO_4 , NaHCO_3 y Na_2CO_3 y las relaciones de estas sales con cationes como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Kovda, 1980; Pizarro, 1985; Richards, 1988).

La meteorización de las rocas por si sola, rara vez ha ocasionado que se acumulen grandes cantidades de sal en un lugar, los lavados con agua de lluvia eliminan sales de la zona. La salinización de suelos se presenta generalmente en cuencas endorreicas sin drenaje, localizadas en zonas áridas y semiáridas, en donde las condiciones climáticas se caracterizan por una evaporación excesiva del agua del suelo y una baja precipitación pluvial; en estas condiciones, las sales que migran producto del intemperismo, se acumulan en las capas superficiales y quedan sujetas a cambios de concentración en función de los regímenes de humedad del suelo.

Las aguas cargadas por sales procedentes de la meteorización de la corteza terrestre también se acumulan subterráneamente, originando mantos freáticos salinos, superficialmente, dando lugar a charcas, lagunas, lagos, etc. Debido a que, con frecuencia, las depresiones tienen mal drenaje natural por sus condiciones topográficas y porque en las áreas bajas suelen acumularse arcillas arrastradas por agua de escorrentía. La evaporación y transpiración consumen grandes cantidades de agua, pero no afectan prácticamente a las sales disueltas, por lo que aumenta la concentración salina en éstas. En áreas donde predominan los factores salinizantes (evaporación y transpiración) frente a los lavados, las aguas freáticas irán paulatinamente mineralizándose. Por tal razón la mayor parte de las áreas salinas están situadas en regiones de clima árido (Kovda, 1980).

Cuando las aguas freáticas salinizadas se encuentran próximas a la superficie del terreno (menos de 3 m), éste puede salinizarse como consecuencia del aporte capilar de las sales procedentes del agua freática, que se acumulan en los horizontes superiores. Las sales así acumuladas pueden permanecer en la solución del suelo, en cuyo caso su efecto principal es dificultar el desarrollo del cultivo. Por otro lado, cuando el contenido de Na^+ es elevado en relación con los demás cationes, este elemento puede ser adsorbido por el complejo de cambio en cantidades excesivas. En este caso las partículas arcillosas pueden dispersarse, el suelo pierde su estructura y se hace impermeable.

La naturaleza de las sales acumuladas depende del origen de las aguas. En áreas continentales suelen predominar los carbonatos, sulfatos y cloruros. En las llanuras

costeras, la sal predominante es el NaCl. En los deltas se acumulan aguas continentales y marinas. A veces el carbonato sódico se forma en su propio sitio, a partir del CO₂ de la atmósfera del suelo y del Na⁺ contenido en éste (Kovda, 1980; Richards, 1988; Porta *et al.*, 2003).

Los cationes y aniones que forman sales solubles vienen de minerales disueltos al meteorizarse. Si la precipitación del área es muy baja para lixiviación, generalmente menos de 38 cm anualmente, la mayoría o todas las sales solubles permanecen en el suelo. Cuando el agua se evapora de la superficie del suelo, las sales se mueven hacia arriba pero quedan en el suelo. Nuevas aguas traen más sales disueltas, que se añaden a la acumulación anterior. Una precipitación alta, en suelos salinos permeables remueve las sales solubles por lavado, la mayoría de éstos se presentan en regiones áridas y terrenos pobremente drenados de regiones subhúmedas.

1.3.4 Origen de las sales solubles

Según Kovda *et al.* (1973) el origen de las sales en los suelos tiene explicación en eventos geomorfológicos ocurridos en distintas épocas geológicas tales como:

1. Los fenómenos volcánicos que al arrojar ácidos sulfúrico, clorhídrico, carbónico y boratos, favorecen su reacción química con los minerales de las rocas. La intemperización rompe los enlaces existentes entre los elementos formándose nuevos enlaces y compuestos minerales arcillosos, así como compuestos más sencillos entre los que se encuentran las sales.

2. Las transgresiones marinas que sedimentaron y formaron grandes depósitos salinos en los continentes, tanto en suelos como en acuíferos subterráneos, procesos de sedimentación en los que el ácido clorhídrico desempeñó un papel esencial al extraer las bases de los minerales de la corteza terrestre.

Inicialmente, en el mar predominaba NH₄Cl, pero las aportaciones de sales de Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ han ido ocasionando la formación de los correspondientes cloruros. Las sales de amonio se han ido descomponiendo, liberando N₂ gaseoso que pasa a la atmósfera.

La migración y acumulación de iones que forman suelos afectados por sales son de diferente intensidad debido a los procesos de intemperización que tienen lugar en la corteza terrestre, ello se debe a condiciones geomorfológicas, climáticas, hidrológicas y de vegetación en que se desarrolla cada tipo de suelo, así como a las características geoquímicas de cada ión (Polynov ,1956, citado por Pizarro, 1985).

La eficiencia con la cual se remplazan los iones unos a otros está determinada por factores como: a) la concentración relativa o número de iones, b) el número de cargas sobre los iones, y c) la velocidad del movimiento o actividad de los diferentes iones. Al considerar algunos de los cationes más comunes de los suelos, la serie de reemplazamiento es usualmente $Al > Ca > Mg > K > Na$.

La capacidad de intercambio de cationes (CIC) es una expresión del número de sitios de adsorción de cationes por unidad de peso del suelo. Se define como la suma total de cationes intercambiables adsorbidos, expresados en miliequivalentes por 100 g de suelo secado en el horno. Un equivalente es aquella cantidad químicamente igual a un gramo de hidrógeno (Pizarro, 1985; Porta *et al.*, 2003).

Durante el intemperismo, los iones tienen cierta secuencia de extracción, rapidez en su migración y capacidad de acumularse en depresiones sin escorrentía en forma de masas salinas, lo que se relaciona con su coeficiente energético iónico, radio iónico, su valencia y la dureza de la red cristalina de los compuestos. Según Fersman (Cuadro 1), la secuencia de extracción, su velocidad de emigración y su capacidad de acumularse en las depresiones en forma de sales, son inversamente proporcionales al coeficiente de energía de esos iones (Pizarro, 1985).

Cuadro 1. Secuencia de extracción de iones durante la meteorización (según Fersman; Pizarro, 1985).

Aniones	Coefficiente de energía	Cationes	Coefficiente de energía
Cl y Br	0.23	Na	0.45
NO ₃	0.18	K	0.36
SO ₄	0.66	Ca	1.75
CO ₃	0.78	Mg	2.10
SiO ₃	2.75	Fe	5.15
		Al	4.25

Por tanto, los cloruros, nitratos, sulfatos y carbonatos de iones alcalinos y alcalinotérreos, son las sales que con más facilidad han de formarse como consecuencia de la meteorización de la corteza terrestre. En cambio, la precipitación ocurre en orden inverso. Por esa razón el NaCl permanece más tiempo en las soluciones.

Polynov y Kovda (Cuadro 2) clasifican los elementos en cinco categorías según su capacidad de emigración (Pizarro, 1985).

Cuadro 2. Categorías de emigración de los elementos.

Categoría	Elementos
1. Prácticamente no lavables	Si (cuarzo)
2. Poco lavables	Fe, Al, Si
3. Lavables	Si, P, Mn
4. Bastante lavables	Ca, Na, K, Mg, Cu, Co, Zn
5. Muy lavables	Cl, Br, I, S, C, B

Los elementos de las categorías 4 y 5 son los que forman parte de las sales que salinizan el suelo: NaCl, Na₂SO₄, MgCl₂, MgSO₄, CaSO₄, Na₂CO₃, NaHCO₃, MgCO₃. Estas sales se acumulan en las depresiones o son conducidas al mar.

1.3.5 Acumulación de sales

La formación de suelos salinos y la mineralización progresiva de las aguas salinas depende de los principales factores: Litológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos y antropológicos, a través de los ciclos de salinización que son: (Kovda, 1973).

1. Ciclos continentales: La formación de los suelos salinos en los continentes se debe a la movilización, redistribución y acumulación de cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonato sódico, condicionados por la aridez, la humedad del suelo, posición geomorfológica y drenaje deficiente.

a. Acumulación primaria: Los componentes solubles de los suelos salinos proceden de la meteorización de rocas. Los elementos liberados se acumulan “*in situ*”.

b. Las sales son movilizadas y redistribuidas por el agua de escorrentía superficial o por la percolación.

2. Ciclos marinos: las sales proceden de capas freáticas salinas poco profundas, del agua de inundación por efecto de las mareas o por los aportes de sales transportadas por el viento. Afecta a las llanuras a lo largo de las costas, bahías y marismas, pueden presentar acumulación de sales principalmente cloruro sódico. Los suelos salinos “solonchak” se desarrollan en estas áreas.

3. Ciclos deltáicos: Los deltas han sido áreas de gran importancia para la humanidad, por la fertilidad natural de sus suelos, presentes en las zonas de riego de regiones áridas, semiáridas y de estepas. Involucran el movimiento, redistribución y acumulación de sales en las áreas continentales debido a la acción fluvial, asociado con el flujo de las aguas freáticas y de sales que ingresan de los mares. Son comunes los suelos “solonetz o sódicos y los “solonchak” en los que predominan las sales de cloruro o sulfato de sodio, magnesio y calcio.

4. Ciclos artesianos: Originados por el movimiento y evaporación de las aguas freáticas profundas a través de fallas tectónicas y fracturas, que ascienden a la superficie por diferencias de presión.

5. Ciclos antropogénicos: Se deben a las actividades agrícolas mal realizadas como uso de fertilizantes inadecuados, riego con aguas residuales y por actividades industriales y mineras.

1.3.6 Solubilidad de las sales

Cuanto mayor es la concentración salina de la solución del suelo, mayor es su efecto perjudicial sobre los cultivos. Las sales más nocivas son las que tienen elevada solubilidad, ya que dan lugar a soluciones salinas muy concentradas; en cambio, las poco solubles precipitan antes de alcanzar los niveles perjudiciales. En general, la solubilidad disminuye cuando lo hace la temperatura (Figura. 1). Es importante conocer este hecho pues afecta a los lavados, que pierden efectividad en las épocas frías (Kovda, 1973; Pizarro, 1985; Richards, 1988).

Los iones que se precipitarán serán aquellos como el calcio, magnesio, carbonato, bicarbonato y sulfato. Se estima que el 30% del total de las sales pueden precipitarse. En soluciones complejas, en general, la presencia de las sales con iones comunes disminuye la solubilidad de las sales. En cambio, cuando los iones son diferentes, suele aumentar el nivel de solubilidad de la sal menos soluble (Figura 1). Por ejemplo, la solubilidad del yeso, que es de 2.07 g L^{-1} en ausencia de NaCl, y se eleva a 7.09 g L^{-1} cuando hay 358 g L^{-1} de NaCl.

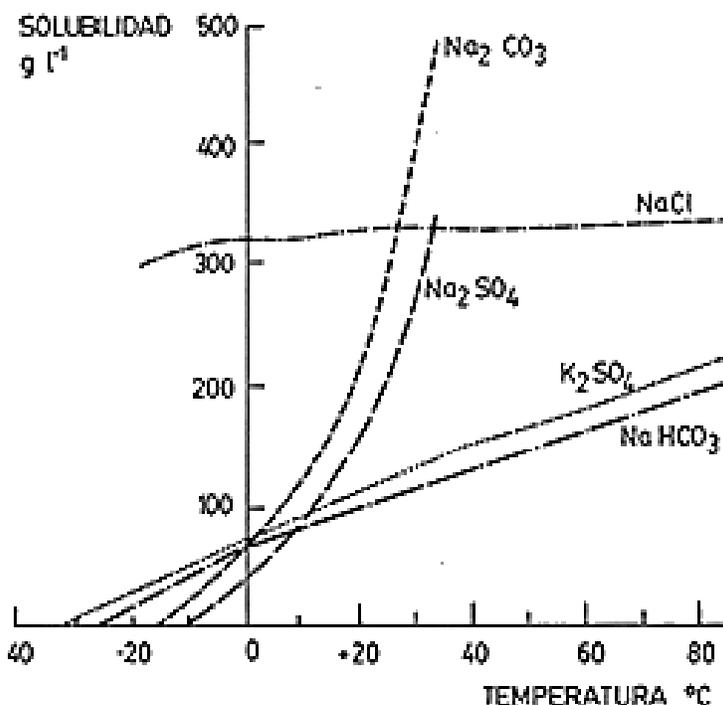


Figura 1 Relación de la solubilidad de las sales con la temperatura (Kovda, 1973)

1.3.7 Principales sales de los suelos salinos

La mayoría de las sales solubles en los suelos, están compuestas de los cationes sodio (Na^+), Calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) y los aniones cloro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-). Generalmente, se presentan pequeñas cantidades de potasio (K^+) amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}), así como de otros iones. Las sales más importantes en relación con los suelos salinos son:

1. Sulfatos. Las sales de ácido sulfúrico son encontradas en todos los tipos de suelo, y aguas freáticas de estepas y desiertos, son producto del intemperismo de minerales volcánicos y sedimentarios; se acumulan en cantidades considerables; el valor agronómico del mejoramiento de los terrenos afectados por estas sales varía en función del catión acompañante y son:

- a) Sulfato de magnesio: componente típico de las tierras salinas, existiendo también en aguas freáticas y lagos salinos. Debido a su elevada solubilidad (262 g

L^{-1}), es una de las sales más perjudiciales. Nunca se acumula en los suelos en forma pura, sino en combinación con otras sales muy solubles.

b) Sulfato sódico: es también un componente típico de suelos salinos, aguas freáticas y lagos salinizados. Su toxicidad es dos o tres veces menor que la del sulfato de magnesio. Su solubilidad (280 g L^{-1}) varía con la temperatura. Este hecho es importante, pues afecta a los precipitados y lavados de esta sal. En la estación cálida, el Na_2SO_4 sube por capilaridad a la superficie del suelo junto con las demás sales solubles. Cuando baja la temperatura disminuye su solubilidad y precipita en forma de mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) que no es lavada por la lluvia, a diferencia de las otras sales. En la siguiente estación cálida, la mirabilita se deshidrata, formando un polvo blancuzco de tenardita (Na_2SO_4). Cuando de nuevo descende la temperatura, se forman otra vez grandes cristales transparentes de mirabilita, que separan las partículas del suelo y dan a la superficie una apariencia esponjosa.

Los suelos con abundancia de Na_2SO_4 acumulan esta sal en la superficie, que se hace fofa, y tiene con frecuencia una delgada costra que es fácilmente rota y que evita que el suelo sea arrastrado por el viento. Son conocidos como “Solonchak esponjosos”.

c) Sulfato de calcio (yeso): es una sal no perjudicial para las plantas desde el punto de vista fisiológico, esto es debido a su baja solubilidad (1.9 g L^{-1}), ésta aumenta con la temperatura. Se encuentra en grandes cantidades en suelos yesíferos de zonas áridas y semiáridas en forma precipitada por la evaporación del agua de las lagunas de origen marino y aguas subterráneas; en concentraciones altas forma un sistema salino junto con silicato y carbonato de calcio que al reaccionar con el cloruro de sodio produce sulfato de sodio, esta sal al hidratarse provoca que, aún con un contenido alto de humedad en el suelo, el agua no esté disponible para las plantas; igualmente crea un ambiente anaerobio.

2. Cloruros. Junto con los sulfatos son los compuestos más importantes que provocan la formación de suelos salinos. Los cloruros son altamente solubles y excesivamente tóxicos para las plantas:

a. *Cloruro sódico*: junto con los sulfatos de sodio y magnesio, es la sal más frecuente en los suelos salinos. Su toxicidad para las plantas es excepcionalmente alta, así como su solubilidad, que es de 318 g L^{-1} y que no varía con la temperatura. Su toxicidad es tan elevada que incluso con 0.1 % de NaCl las plantas se resienten. De 2 a 5 %, los suelos se vuelven improductivos. El lavado de NaCl es muy fácil en suelos con yeso, que es caso común. En ausencia de yeso, el lavado puede ser más difícil, pues el sodio puede tomar forma intercambiable. El cloruro de sodio se presenta como el mineral natural halita. El sodio y el cloro existen en el cristal como iones que se atraen entre sí. En las caras del cristal los iones de sodio y de cloro atraen agua. La adsorción de las moléculas de agua desaloja al sodio y al cloro del cristal y aumenta grandemente la solubilidad de estos elementos. El mineral se disuelve fácilmente en el agua y con facilidad se lixivia de los suelos. Esto se relaciona con la ausencia general de halita en los terrenos de las regiones húmedas.

b. *Cloruro de calcio*: es poco común en los suelos debido a su reacción con el carbonato y sulfato de sodio.

c. *Cloruro de magnesio*: debido a su elevada solubilidad (353 g L^{-1}) es una de las sales más perjudiciales para las plantas; se encuentra en los suelos salinos, aguas freáticas y lagos salinizados; a veces se forma como consecuencia de la reacción entre soluciones que contienen NaCl, que ascienden capilarmente y se ponen en contacto con el complejo de cambio conteniendo Mg^{2+} . El cloruro de magnesio es muy higroscópico, al igual que el cloruro cálcico, que muchas veces se encuentra junto con aquél. Absorben vapor de agua de la atmósfera, que disuelve los cristales de estas sales, formando una solución salina muy concentrada. Por esta razón, estos suelos, que en la nomenclatura rusa se denominan Solonchak húmedos, conservan superficialmente la humedad mucho tiempo después de una lluvia. Presentan un color más oscuro que el de los suelos vecinos, lo que puede dar lugar a que se consideren suelos sódicos negros. Sin embargo, son suelos sin alcalinidad, con buena estructura, debido, a la pequeña proporción de Na^+ respecto a Ca^{2+} y Mg^{2+} .

d. *Cloruro de potasio*: su presencia en los suelos es mínima debido al consumo de potasio por las plantas y microorganismos y a su fijación por las arcillas del suelo.

3. Carbonatos. Las sales de ácido carbónico se encuentran ampliamente en suelos, subsuelos y aguas freáticas de desiertos, semi-desiertos y estepas. Su efecto depende de la concentración en el terreno, grado de solubilidad, toxicidad para las plantas y de la disminución de los valores de potencial osmótico que producen en la solución del suelo y al interior del vegetal, alterando el régimen hídrico, estas sales son:

a) *Carbonato sódico*: se encuentra con frecuencia en suelos y aguas freáticas en distintas concentraciones, en algunos suelos se acumula en grandes cantidades; su solubilidad es muy elevada, variando con la temperatura. No son frecuentes grandes depósitos de Na_2CO_3 , porque en los suelos desérticos y semidesérticos abunda el yeso, con el que reacciona. Los suelos con cantidades considerables de carbonato y bicarbonato sódico son salino-alcálinos. La hidrólisis provoca como resultado una fuerte alcalinidad en el medio, de hasta $\text{pH} = 12$. Por su solubilidad y alcalinidad elevadas es muy tóxico para las plantas. En los suelos incluso en cantidades de 0.05 a 0.1 % ocasiona la degradación de las arcillas con pérdida de la estructura del suelo, disminución de la permeabilidad etc. El contenido de Na_2CO_3 en los suelos puede llegar al 5 %. El bicarbonato sódico es menos alcalino que el carbonato, debido a que el ácido carbónico neutraliza en parte su efecto. La solubilidad del bicarbonato es también menor a la del carbonato.

b) *Carbonato de calcio*: es una sal muy poco soluble (0.0131 g L^{-1}) y móvil por lo que no es nociva para las plantas, sin embargo, su acumulación impide el desarrollo de las raíces y puede alterar la adsorción nutritiva de las plantas. Cuando las aguas freáticas calcáreas se aproximan a la superficie y se exponen a la evaporación y transpiración. La presencia de ciertas sales “alcalinas blancas”, principalmente de calcio, tienen a contrarrestar en algún grado los efectos perjudiciales del sodio adsorbido y del carbonato de sodio. La acción general de las sales neutras es flocular los coloides y, por lo tanto, preservar la estructura normal del suelo.

c) *Carbonato de magnesio*: es tóxica para las plantas, dependiendo de su solubilidad.

d) *Carbonato de potasio*: existe en el suelo en cantidades mínimas (Richards, 1988; Kovda, 1973; Pizarro, 1985; Szabolcs, 1994).

1.3.8 Determinación de las sales en el suelo

Las sales solubles en los suelos se determinan por varios métodos como: residuo seco, cuantificación química y conductividad eléctrica. El procedimiento de residuo seco, determina la cantidad de sales por medio de la evaporación, consiste en tomar una muestra del extracto de saturación, se pesa, se evapora y se repite el pesado, por lo que se puede calcular la cantidad de sales expresada en peso por 100 g de suelo, este procedimiento realiza una medición y no una estimación de las sales. La cuantificación química se basa en la determinación de los cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ , y aniones: $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- , Cl^- y $\text{SO}_4^{=}$ (Vázquez, 1984).

Cuando se investiga la salinidad del suelo con relación al desarrollo de las plantas, se recomienda utilizar la conductividad eléctrica (CE), ésta se realiza a partir de extractos acuosos obtenidos de muestras de suelo llevadas a capacidad de saturación en el laboratorio, en ellos se mide la CE (mmhos cm^{-1} o dS m^{-1}) a $25\text{ }^\circ\text{C}$ ya que ésta es proporcional a la concentración de sales (Sánchez, 2008), y a la **presión osmótica (PO)** de la solución, que es la que determina el comportamiento vegetal. Richards (1988), menciona una relación empírica $\text{PO} = 0.36 \times \text{CE}$. Sin embargo, Kovda (1973), indica que en la CE no da información acerca de la composición de la mezcla de sales, puesto que diferentes mezclas con la misma CE pueden tener una influencia muy diferente en el desarrollo de cultivos, además no se toman en cuenta relaciones aniónicas y catiónicas de la solución del suelo.

1.3.9 Clasificación de suelos salinos

Los suelos afectados por las sales han sido descritos e inclusive con nombres de color como álcali blanco, álcali negro, manchas lisas y nieve de verano. Estos nombres vienen de las apariencias que estos suelos tienen en la superficie, y no al aumento de las concentraciones que limitan el crecimiento de las plantas. Los suelos se clasifican con base a 2 criterios: 1) al contenido total de sales solubles y 2) al porcentaje de sodio

intercambiable; como los iones de agua, conducen una corriente eléctrica, la CE es un método simple y rápido de estimar la cantidad total de sales solubles en un suelo.

El porcentaje de sodio intercambiable de un suelo, es el porcentaje de los iones intercambiables de sodio, del total de cationes intercambiables. Los suelos adsorben sodio del agua salada que pasa a través de ellos, en los lugares de intercambio; este efecto puede tener lugar tanto en suelos salinos como en sódicos. Si los lugares de intercambio son ocupados por iones de sodio en proporción alta, las tierras pueden llegar a ser muy alcalinas, con pH de 8.5 a 10.5 y los agregados del suelo, deseables para el desarrollo de la planta, se desintegran y dispersan. El porcentaje de sodio intercambiable requiere una medida de laboratorio de todos los cationes intercambiables y un cálculo del porcentaje de los de sodio. En las regiones húmedas el lavado fácilmente separa el sodio debido a la débil atracción de este metal con los sitios de intercambio catiónico.

El sodio intercambiable en los suelos sódicos causa una defloculación de coloides y, por lo tanto, una destrucción de las unidades estructurales del mismo. Esta condición de defloculación vuelve el suelo más o menos impermeable y retarda la entrada del agua de riego o de lluvia e impide el drenaje. En suelos de textura fina, la penetración de raíces puede ser restringida por la densidad de la zona defloculada. La aireación se ve muy reducida, causando condiciones anaeróbicas de las que resulta la formación de compuestos de reducción que son tóxicos para las plantas (Levy, 1999).

Si el pH de los suelos es alto, los coloides orgánicos se dispersan, formando charcos negros, como de petróleo y que, al secarse éste queda con costras negras en su superficie. El término pH es definido como el logaritmo del inverso de la actividad de los iones H^+ en solución (Biggar y Spurlock, 1983). La influencia general más importante del pH en el crecimiento de las plantas es su efecto en la disponibilidad de los nutrimentos (Black, 1967).

Las sales solubles se pueden acumular en forma natural en los suelos y como resultado de la adición de agua de irrigación. El uso excesivo de sales solubles en los fertilizantes produce suelos salinos (Cuadro 3). El principal fertilizante potásico KCl, produce por hidrólisis, tanto una base fuerte, KOH, como un ácido fuerte, HCl; los cuales, son casi

iguales en su capacidad para formar H^+ y OH^- . Los suelos salinos tienden a tener un pH aproximadamente de 6, cerca de 7, debido a la hidrólisis de las sales solubles (Porta *et al.*, 2003).

Cuadro 3. Clasificación de los suelos por salinidad

Categoría de suelos	CEs a 25 °C (dS m ¹)	PSI (%)	pH
Normales	< 4	< 15	6.5 – 7.0
Salinos	> 4	< 15	< 8.5
Sódicos	< 4	> 15	8.5 - 10
Salino-Sódicos	> 4	> 15	< 8.5

Se considera como **suelo salino**, aquel en que las sales solubles son suficientemente elevadas para inhibir el crecimiento de muchos cultivos. Las características químicas de los suelos salinos quedan determinadas principalmente por el tipo y cantidad de sales presentes. Los iones principales son cloruro, sulfato y, a veces, nitrato; pueden estar presentes pequeñas cantidades de bicarbonatos, pero los carbonatos solubles están, por lo regular ausentes, el sulfato de calcio y los carbonatos de calcio y magnesio, también se encuentran presentes. Los cationes son calcio, sodio, magnesio y de menor importancia el potasio; pero el sodio rara vez llega a constituir más de la mitad de los cationes solubles y no es adsorbido en cantidad apreciable sobre la fracción coloidal del suelo. Frecuentemente, se acumulan costras blancas sobre la superficie del suelo y dentro de éste, se encuentran acumulaciones de sal. Anteriormente eran llamados álcali blanco.

Comúnmente en suelos salinos, el calcio forma carbonatos o sulfatos insolubles, los cuales lo reducen en la solución suelo-agua, a concentraciones bajas en proporción a las concentraciones de sodio; las sales de sodio en los suelos son más solubles que las de calcio.

Los impactos de la salinización son: baja germinación, limitación en el número de cultivos, toxicidad por efecto de ión específico, problemas en la absorción de nutrientes, efecto osmótico y degradación de los canales de riego, se encuentran principalmente en zonas de clima árido y semiárido (Chena, 1966; Richards, 1988; Porta *et al.*, 2003).

Suelo **sódico no salino**. Un contenido alto de sal en el agua mantiene floculados los suelos sódicos. El sodio hidroliza a partir de los coloides y se pueden formar pequeñas cantidades de carbonato de sodio. La materia orgánica del suelo se dispersa fuertemente y se distribuye sobre la superficie de las partículas, dándoles un color oscuro; de aquí se derivó el término “álcali negro” que se usó por primera vez para designar estos suelos. Se encuentran en pequeñas áreas irregulares en regiones de precipitación pluvial baja y se les llama “manchas lustrosas”. Se desarrollan, comúnmente como resultado del riego. Debido al estado disperso de los coloides, estos suelos son difíciles de labrar y son de baja permeabilidad al agua. La solución del suelo de éstos contiene sólo pequeñas cantidades de calcio y magnesio, pero cantidades grandes de sodio. Los aniones incluyen sulfatos, cloruros, bicarbonatos y, generalmente, pequeñas cantidades de carbonato. En algunas áreas también está presente una cantidad apreciable de sales de potasio.

Impactos de la sodificación. Debido al porcentaje elevado de sodio adsorbido y concentración baja de sales en la solución del suelo, éstas actúan en el mismo sentido de dispersar los coloides, fácilmente se deteriora su estructura superficial: las arcillas se dispersan y son arrastradas por el agua, acumulándose a pocos centímetros de profundidad lo que crea una capa pesada de estructura prismática o columnar, con tendencia al sellado y encostramiento, poco permeable y asfixiante, se disminuye la conductividad hidráulica, lo que dificulta el drenaje, aireación y desarrollo radical. La capa superior presenta textura gruesa y quebradiza. La materia orgánica puede dispersarse y disolverse, depositándose en la superficie. El sodio puede crear problemas de toxicidad (Chena, 1966; Richards, 1988; Pizarro, 1985; Porta *et al.*, 2003).

Un suelo **salino sódico** se caracteriza por su concentración alta de sales solubles, difieren de los suelos salinos en el porcentaje de sodio intercambiable. Mientras la gran cantidad de sales solubles permanece en el suelo, el contenido alto de sodio en los

coloides no causa problemas. Si las sales solubles son temporalmente lixiviadas hacia abajo, el pH sube a más de 8.5. El movimiento de las sales solubles hacia arriba, hasta la superficie del suelo, puede bajar el pH y restaurar los coloides de su condición floculada. El manejo de este grupo de suelos es un problema hasta que se elimina el exceso de sales solubles y el sodio intercambiable de la zona de crecimiento radical. A menos que esté presente el sulfato de calcio o alguna otra fuente de calcio soluble, el drenado y lavado de estos suelos los transformará en suelos sódicos no salinos.

El agua de las corrientes subterráneas en las regiones áridas contiene, generalmente, cantidades considerables de sales solubles. El grado de acumulación de las sales puede ser determinado por: 1) el grado del movimiento capilar del agua hacia la superficie, 2) el contenido de sales del agua subterránea y 3) la velocidad de evaporación. Mientras más cercano esté el nivel freático a la superficie, más rápida será la acumulación de sales, si otros factores permanecen constantes.

Impactos: el sodio causa la dispersión de los coloides y se desarrolla una estructura desfavorable para la labranza, la entrada de agua y el desarrollo de las raíces (Chena, 1966; Richards, 1988; Porta *et al.*, 2003).

En condiciones de aridez las sales solubles y el sodio intercambiable pueden acumularse en cantidades suficientes. Los suelos salinos contienen suficiente sal soluble como para impedir el crecimiento de las plantas y los suelos sódicos contienen suficiente sodio intercambiable para producir este mismo efecto y alterar las propiedades del suelo.

1.3.10 Recuperación de los suelos

La conservación de los suelos, así como su recuperación cuando están afectados por sales, son de gran importancia para la producción agrícola. En la práctica, regularmente los métodos de mayor uso son los químicos, como es la aplicación de ácido sulfúrico (H_2SO_4), yeso agrícola ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) y técnicas de lavado; con el fin de lixiviar las sales fuera de la zona radicular mantener una disponibilidad suficiente de agua en la zona radical y así mejorar las condiciones para que se desarrollen las plantas. Sin embargo, estos métodos resultan costosos.

Debido a lo anterior, el estudio de los procesos de ensalitramiento, incluyendo su identificación, caracterización, control, combate y “adaptación de cultivos al mismo”, es muy importante. Una de las alternativas para solucionar el problema en los últimos años, ha sido la búsqueda de cultivos tolerantes a salinidad en distintos sustratos o medios de crecimiento. Aunque generalmente se considera que la salinidad es un factor incompatible con la vida de las plantas, esto no necesariamente es así, ya que las especies vegetales durante su proceso evolutivo se han adaptado a diferentes condiciones ecológicas, modificando sus características morfológicas y fisiológicas, en respuesta a factores adversos para su desarrollo en un hábitat determinado.

1.3.11 Relación de las plantas con las sales solubles del suelo

De acuerdo a su reacción con la salinidad, las plantas pueden dividirse en dos grupos básicos: halófitas y glicófitas (Aceves, 1979; Poljakoff y Lerner, 1994).

1. Las **halófitas** (planta salada): El término halófitas es usado específicamente para clasificar plantas que se desarrollan en presencia de concentraciones altas de sodio (Levitt, 1980). Éstas se desarrollan en hábitats salinos a los cuales se ha adaptado su ontogénesis, debido a las características y propiedades desarrolladas durante su proceso evolutivo en respuesta a las condiciones prevalecientes. Debido a su gran capacidad de acumulación de sales, las halófitas tienen una presión osmótica muy elevada en su jugo celular, mayor que la fuerza de succión del suelo. Pueden soportar presiones osmóticas de la solución del suelo disminuyendo su propio potencial osmótico. Existen cuatro grupos diferentes de plantas: euhalófitas, crinohalófitas, glicohalófitas y localhalófitas.

- a. **Euhalófitas** son plantas que acumulan sales en sus tejidos y son las más tolerantes a las sales.
- b. **Crinohalófitas** tienen glándulas excretoras que les permiten eliminar sales.
- c. **Glicohalófitas** son plantas con raíces selectivas a las sales, que dejan pasar sólo cierta cantidad y tipo de iones.

- d. **Locahalófitas** son plantas que localizan sales en estructuras especiales controlando su distribución dentro de los tejidos.

Las características fisiológicas más importantes que permiten a las halófitas vivir en hábitats salinos son: capacidad para desarrollar presiones osmóticas altas en el jugo celular, contrarrestando la presión osmótica de las soluciones del suelo; su capacidad de acumular gran cantidad de sales en el jugo de sus tejidos y de regular dicha acumulación; además, protoplasma resistente a la acumulación de sodio y mecanismos para eliminar las sales directamente.

2. Las **glicófitas** (planta dulce): plantas que no pueden desarrollarse en presencia de concentraciones altas de sodio (Levitt, 1980). Se desarrollan en hábitats no salinos y su desarrollo depende de su habilidad de adaptación a la salinidad durante su crecimiento individual.

Tal (1985) señala que la salinidad puede ser el factor edáfico limitante más importante en la distribución del hábitat natural de plantas.

1.3.12 Efecto de las sales solubles sobre los cultivos

Las sales solubles en los suelos se determinan a partir de la conductividad eléctrica, esta forma de evaluar las soluciones solubles ha resultado idónea para determinar la tolerancia de cultivos agrícolas a la salinidad, aunque no toma en cuenta la composición cualitativa de las soluciones salinas. El ensalitramiento de los suelos produce condiciones extremadamente desfavorables para el desarrollo de las plantas (Aceves, 1979; Sánchez, 2008).

Ayers y Westcot (1987), definen que existe un problema de salinidad cuando las sales se acumulan en la zona radical a una concentración que ocasiona pérdidas en la producción. Estas sales provienen por lo general de las sales contenidas en las aguas de riego. Si la absorción de agua por las raíces se reduce mucho, las plantas disminuyen su crecimiento y llegan a presentar síntomas de sequía, tales como marchitamiento o coloración verdeazulada oscura y, algunas veces, hojas cerosas de mayor espesor. Estos síntomas varían con los estados fenológicos de los cultivos, siendo más notable durante las primeras etapas del crecimiento. Ciertos iones presentes en el suelo o en el agua, presentan concentraciones suficientemente altas

que provocan daños en la planta al ser absorbidos por ésta y acumularse en sus tejidos, los daños se manifiestan como quemaduras al borde de las hojas y clorosis en el área intervenal de las mismas.

Martínez *et al.* (1987), Indican que los síntomas más comunes, en la mayoría de las especies, son la reducción de altura de planta, disminución de la producción y retraso en su ritmo de crecimiento; en el caso de la cebada, también se produce reducción en el número de tallos y hojas, otros efectos causados por la salinidad son: la disminución del tamaño de estomas y el aumento en el número de éstos y el oscurecimiento del color verde de las hojas.

Es conocido que especies y variedades tienen diferente habilidad para tolerar sales. Uno de los mecanismos de las plantas para soportar ambientes salinos y el déficit hídrico es el ajuste osmótico, éste implica la acumulación en el citoplasma de sustancias compatibles con enzimas y afecta el metabolismo celular; dichas sustancias son principalmente orgánicas, entre ellas destacan la glicibetaína, prolina y en algunas especies, alcoholes como el sorbitol, además de bajo potencial osmótico interno para mantener un gradiente y tomar el agua, involucrando toma de iones y cambios en el balance entre iones orgánicos e inorgánicos en la savia celular (Poljakoff y Lerner, 1994).

Las sales generalmente afectan el crecimiento de las plantas por su efecto osmótico, al tener que obtener agua de un suelo que tiene un potencial osmótico menor y tolerar concentraciones potencialmente tóxicas de iones de sodio, carbonato y cloro. Concentraciones altas de sal aumentan las fuerzas de succión, sosteniendo el agua en el suelo, haciendo más difícil la extracción para las raíces. Durante un período seco, la sal en la solución del suelo puede estar tan concentrada que mata a las plantas, sacándoles el agua (exósmosis). Las plantas empiezan a ser afectadas cuando el contenido de sales en el suelo excede al 1 %. Sin embargo, algunos cultivos son capaces de tolerar hasta 10 veces más esa concentración de sales, ya sea en la germinación o durante su desarrollo (Richards, 1992).

La presencia de sales disueltas en la solución del suelo exige esfuerzo mayor, por parte de las plantas, para absorber el agua a través de sus raíces. Cuanto mayor es la

concentración salina del agua del suelo, mayor es la presión que las plantas han de superar y puede llegar un momento en que la absorción de agua se detiene. Este esfuerzo se traduce en que parte de la energía de origen metabólico de que dispone la planta se dirige a la absorción de agua en detrimento de otras funciones que también requieren energía, como crecimiento, floración, etc. (Salisbury y Ross, 1985).

La salinidad afecta muchos aspectos del metabolismo de las plantas, induce cambios en su anatomía, morfología y fisiología, los cuales a menudo se consideran como adaptaciones que incrementan las oportunidades de las plantas para sobrevivir al estrés salino, aunque también son signos del daño y alteración de su estructura y fisiología. Se ha demostrado que la salinidad afecta la etapa y tasa de germinación, talla, ramificación y tamaño de las hojas (Mayer y Poljakoff, 1975).

Los efectos de los suelos salinos consisten en una disminución del rendimiento de los cultivos por el efecto osmótico de las sales disueltas. Según la naturaleza de estas sales pueden presentarse problemas de toxicidad, debido a que tienen muy poco sodio adsorbido y al efecto floculante de las sales disueltas. El efecto de las sales solubles sobre las plantas se puede dividir en dos tipos: 1) específicos, debidos a iones perjudiciales para la especie, los cuales pueden ser tóxicos, tanto en pequeñas como en elevadas concentraciones y 2) generales, ocasionados por el aumento de la presión osmótica de la solución que rodea a las raíces, reduciendo marcadamente el poder de la planta para absorber agua y nutrientes; ya que la energía que tienen que gastar las plantas para tal efecto, aumenta a medida que se acrecienta la presión osmótica de la solución en que crecen.

Concentraciones altas de sales neutras, como el cloruro de sodio y sulfato de sodio, pueden interferir en la absorción de agua del suelo, que se verá reducida por la presencia de éstas. El daño causado a las plantas puede ser ocasionado también por las sales solubles. La entrada de los iones nutritivos dentro de los pelos radicales está influenciada por la naturaleza y concentración de otros iones presentes. Las sales pueden, por lo tanto, causar dificultades nutricionales en los cultivos. Debido a su inhabilidad para absorber nutrimentos necesarios del suelo (Meyer *et al.*, 1960; Pizarro, 1985).

1.3.13 Efecto de las sales sobre el desarrollo vegetativo

Cuando las plantas se desarrollan en condiciones de salinidad, uno de los síntomas característicos es la inhibición del crecimiento. Para explicar los diferentes aspectos de los efectos de las sales solubles del suelo sobre los cultivos, se han propuesto las siguientes teorías (Porta *et al.*, 2003):

1. Teoría de la disponibilidad de agua: las sales del suelo disminuyen la energía libre del agua (hay más solutos), las cuales aumentan la presión osmótica de la solución del suelo, lo que a su vez reduce la disponibilidad de ésta para las plantas; por lo que éstas sufren por deficiencia de agua, afectando su crecimiento.
2. Teoría de la inhibición osmótica o ajuste osmótico: el crecimiento de las plantas en condiciones de salinidad, es seriamente afectado, debido a que la planta se ve precisada a realizar un ajuste osmótico para mantener un gradiente favorable en sus células, que le permite extraer agua del suelo. Al hacer ese ajuste la planta consume energía, la cual, en condiciones de no salinidad se usaría en el crecimiento. El ajuste osmótico consiste en aumentar la concentración del jugo celular a un grado tal que sea mayor que la concentración de la solución del suelo.
3. Teoría de la toxicidad específica: considera que los efectos tóxicos de las sales sobre las plantas, se realizan vía el metabolismo, por cambios causados en la actividad metabólica que producen la acumulación de sustancias intermedias potencialmente tóxicas, que no se encuentran en plantas que crecen en condiciones de no salinidad.

Las plantas bajo condiciones de salinidad no crecen debido a que las sales afectan la división y crecimiento celular y producen engrosamiento prematuro de las paredes celulares. El daño depende del tiempo que la planta está expuesta a las sales y su tolerancia, que se puede definir como el grado al cual las plantas pueden desarrollarse bajo condiciones de salinidad, sin que se afecte la división y crecimiento celular y, por tanto, sin que se afecte su producción de cosecha (Aceves, 1979; Evangelou, 1994).

Las sales pueden afectar el desarrollo de las plantas por dos mecanismos: por efectos directos sobre su metabolismo, causando daño por toxicidad, o por aumento en la tensión también llamados efectos indirectos, que además producen desbalances nutrimentales (Lagerweff y Eagle, 1961).

1. **Efectos directos:** El daño a las células es causado por la variación en la concentración relativa de iones, al mantener una presión osmótica constante; otros efectos específicos se relacionan con toxicidad por elementos traza e involucra dos mecanismos: a) por acción directa sobre la membrana plasmática externa o b) daño al protoplasma después de penetrar a través de la membrana. La toxicidad se incrementa al aumentar la absorción de iones en tanto que los efectos osmóticos son contrarrestados por dicha absorción. Los iones que con más frecuencia ocasionan toxicidad son el sodio, cloro y boro (Levitt, 1980).

2. **Efectos secundarios:**

a. Estrés osmótico: la ósmosis es un tipo especial de difusión que involucra el movimiento del agua a través de una membrana diferencialmente permeable desde un área de concentración alta a una de concentración baja; es decir, el agua se moverá de un punto con potencial hídrico elevado a un punto con potencial hídrico más bajo (Salisbury y Ross, 1985). La planta extrae agua del suelo ejerciendo una fuerza de absorción mayor a la cual el agua es retenida en el suelo. Si la planta no puede realizar un ajuste interno suficiente que le permita ejercer la fuerza adecuada, entonces no será capaz de extraer el agua suficiente y puede sufrir estrés por agua (Mass y Neiman, 1978; Evangelou, 1994).

Existe una relación directa e inseparable entre las sales y el estrés por agua. Levitt (1980), señala que cuando las sales son adicionadas al agua, el potencial osmótico disminuye y se presenta, en las plantas, el estrés por ósmosis; por consiguiente, la planta o partes de ella cambian de un medio poco salino a un medio más salino y son inmediatamente sujeto de una deshidratación osmótica; en el caso en que las células estén sumergidas en dicho medio salino la deshidratación osmótica es rápida y decrecen en volumen y en potencial hídrico, lo cual, muchas veces, es la primer respuesta el “shock” osmótico.

El momento en que las hojas de las plantas superiores muestran disminución de potencial osmótico, es cuando las raíces están en contacto con las sales. Esta deshidratación puede ser causa inmediata de daños ocasionando una disminución

del crecimiento de la planta y la raíz dado la concentración alta de sales ya sea de NaCl, CaCl₂ o Na₂SO₄.

b. Estrés por deficiencias: la disminución en el crecimiento debido a las salinidad también puede ser explicado por la supresión en la absorción de nutrientes, ya que estos compiten con el NaCl por ser absorbidos (Levitt, 1980).

1.3.14 Efectos fisiológicos de la salinidad sobre las plantas

Mass y Hoffman (1977), mencionan que el efecto más común de la salinidad, es un retraso general del crecimiento de la planta; ya que a medida que la concentración de sales aumenta, arriba de un nivel límite, la velocidad del crecimiento y el tamaño de la mayoría de las especies decrecen progresivamente.

La condición hídrica de la planta influye severamente en la fotosíntesis. A medida que el agua en las hojas se reduce, ya sea por estrés hídrico u osmótico, la tasa de fotosíntesis neta se reduce, debido a que las hojas cierran sus estomas, lo que impide la entrada de CO₂. El exceso de iones se define en los siguientes términos: “como la condición en que concentraciones altas de iones internos produce una reducción del crecimiento”. Muchas diferencias en la concentración de iones ocurren entre especies. Levitt (1980) indica que las sales sódicas provocan castigo salino mayor que otras sales, particularmente el NaCl.

1. Estrés por sales

a. Estrés por sales de Na⁺: muchas veces, el estrés por sales en la naturaleza es debido a la sal de sodio, particularmente el NaCl. Los límites de resistencia varían con las condiciones del medio ambiente y con la etapa de desarrollo. Las semillas son mucho más resistentes a la salinidad durante la germinación que en las demás etapas del desarrollo (Ayers, 1952). El sodio intercambiable en concentraciones mayores del 15 %, ejerce su mayor efecto en el crecimiento de las plantas, por la dispersión del suelo, los coloides dispersos hacen de éste poco permeable o impermeable y forman costras superficiales duras cuando se seca. Los poros de la capa superior se llenan con las partículas dispersas y es reducido el intercambio de aire y agua hacia dentro y afuera del

suelo. Las capas endurecidas pueden inhibir completamente la emergencia de las plántulas cuando el deterioro estructural es severo (Levy, 1999).

b. Estrés por sales de Ca^{2+} : el agua rica en calcio induce la disminución en la extracción de Na^+ pero no la de K^+ . A concentraciones bajas de Ca^{2+} el daño de las plantas es más severo, aparentemente ocasionado por el transporte masivo de Na^+ al interior de las hojas. En contraste con la disminución de la permeabilidad a cationes monovalentes, el Ca^{2+} acrecienta la extracción activa de algunos iones particularmente K^+ y PO_4^{3-} (Levitt, 1980).

Los suelos calcáreos pueden dañar, destruir o simplemente inhibir el crecimiento de algunas especies, estas son llamadas plantas calcífugas; las plantas que son capaces de crecer y desarrollarse en suelos calcáreos son llamadas calcícolas.

Los suelos calcáreos tienen cantidades altas de HCO_3^- en forma de calcio, las raíces de las plantas calcífugas que se desarrollan en estos suelos son fuertemente inhibidas, contrariamente a raíces de las plantas calcícolas que se desarrollan en los mismos sitios.

El calcio puede por consiguiente, dañar a las plantas primordialmente por su ión acompañante HCO_3^- . Cuando cantidades grandes de Ca^{2+} son extraídas por las plantas, éstas usualmente lo precipitan en la savia de las células en forma de malatos o citratos (Levitt, 1980).

Interacción Na^+ / Ca^{2+}

El incremento en la permeabilidad de la membrana se debe a una relación alta de Na/Ca , la causa principal de dicha respuesta, son las concentraciones bajas de Ca^{2+} en ausencia de NaCl . Alternativamente, se puede argumentar que concentraciones bajas de Ca^{2+} pueden incrementar la permeabilidad de la membrana, principalmente al transporte de Na^+ y Cl^- , los cuales penetran juntos sólo cuando la concentración externa es alta (Lahaye y Epstein, 1971).

La reacción altamente sódica debida a la presencia de carbonato de sodio y la gran cantidad de sodio adsorbido, limita la asimilación de nutrimentos, especialmente hierro, manganeso, zinc y fósforo. Así mismo, la solución del suelo alcalino tiene una acción corrosiva sobre la corteza de raíces y tallos.

1.3.15 Efecto de los iones en el metabolismo de las plantas

Existen en las plantas dos mecanismos generales para resistir a las sales: evasión y tolerancia.

1. **Evasión a las sales:** Consiste en evitar la acumulación de sales mediante diversas estrategias que son:

a. Reabsorción desde el xilema y retranslocación: el transporte de sustancias vía xilema es determinado por la transpiración, por lo que es necesario regular la selectividad en el transporte. En halófitas la entrada de Na^+ y Cl^- a las raíces o su liberación a la savia del xilema, es estrictamente regulada bajo condiciones de salinidad y transpiración, alta para evitar el exceso de estos iones a las partes aéreas.

b. Compartimentalización dentro de la planta: los iones pueden ser extruidos de las raíces o retenidos en vacuolas corticales, si éstos fluyen hacia el xilema, pueden ser reabsorbidos en alguna parte de la planta.

c. Exclusión: es un mecanismo pasivo, en algunas especies la resistencia a las sales depende de mantener la impermeabilidad a éstas cuando la concentración externa es alta. La exclusión de sales por las células permite un balance normal en presencia de concentraciones altas de cationes monovalentes ocasionado una absorción preferencial de Ca^{2+} en la membrana plasmática.

d. Extrusión: La extrusión activa está relacionada con la explotación o “bombeo” de sales desde los órganos aéreos; no solo confiere a la planta el evitar el estrés primario causado por Na^+ , sino también el estrés secundario que induce una deficiencia de K^+ , dado que la concentración de NaCl se eleva incluso a 500 mM, lo que interfiere en la absorción de K^+ . En algunas halófitas, este mecanismo se localiza en glándulas salinas, las cuales se encargan de coleccionar y excretar las sales de las células.

e. Suculencia: en términos morfológicos, se refiere al engrosamiento y carnosidad de los órganos en la planta. En términos anatómicos los tejidos suculentos son usualmente, un poco más homogéneos y consisten en células

largas isodiamétricas. Las células tienen una gran vacuola central alargada y el citoplasma ocupa solamente una porción del volumen total de la célula. La típica inducción de succulencia producida por sales, consiste en un gran crecimiento de las células de las hojas; en igual forma, un decremento en la tasa de crecimiento, pero incremento en succulencia, puede no ser contradictorio, ya que la salinidad permite disminuir la división celular, mientras que incrementa la expansión de la célula.

1) Dilución: debido al crecimiento de las plantas, el agua es igualmente absorbida en cantidades suficientes para prevenir un incremento de la concentración de sales. Una tasa vigorosa de crecimiento permite diluir el efecto de la entrada o acumulación de iones, en igual forma como pueden ser disminuidas por el incremento en las concentraciones. Algunas plantas resistentes a la salinidad no excretan las sales; sin embargo, crecen a niveles de concentración constantes que van de 150 a 560 meq L⁻¹.

Los mecanismos de evasión de sales incluyen: germinación retrasada, la maduración hasta que existan condiciones favorables, exclusión de sal dentro de la zona radical, crecimiento preferencial de las raíces dentro de aéreas no salinas, secreción por órganos especializados tales como las glándulas de sal y el almacenamiento de sales en hojas maduras.

2. **Tolerancia a las sales:** tolerancia significa “sobrellevar, aguantar o soportar”. La tolerancia de un cultivo a las sales, puede medirse con base a la capacidad productiva de éste en un nivel de salinidad dado. También se ha definido como el rendimiento relativo de un cultivo en un suelo salino, comparado con el rendimiento que produce bajo condiciones de no salinidad, cuando permanecen los demás factores del rendimiento constantes. El concepto de estrés está íntimamente asociado con el de tolerancia al estrés. Acimatación puede ser distinguido de adaptación, el cual, usualmente se refiere a un nivel de resistencia genéticamente determinado, adquirido por procesos de selección sobre muchas generaciones (Black, 1967; Aceves, 1979; Taiz y Zeiger, 2002).

La tolerancia a las sales es un carácter poligénico, heredable, que involucra respuestas al estrés iónico y osmótico a nivel celular (Cheeseman, 1988; Foolad y Jones, 1992; Saleki *et al.*, 1993). La mayoría de las plantas son más sensibles a la salinidad durante la germinación y emergencia que durante los estadios de crecimiento y desarrollo posteriores (Ayers y Hayward, 1948; Ayers, 1952).

La tolerancia a la salinidad puede definirse con base a distintos enfoques. Bernstein (1963), define tolerancia como el grado con que una planta es capaz de ajustar su potencial osmótico con un sacrificio mínimo de crecimiento y Levit (1980), asocia la tolerancia con la ausencia de efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas que acumulan sales en sus tejidos.

Maas (1986), considera que la tolerancia se puede analizar desde tres puntos de vista: (1) aptitud para sobrevivir en condiciones salinas, (2) rendimiento absoluto en condiciones salinas y (3) rendimiento en condiciones salinas, relativo al obtenido en condiciones no salinas. El enfoque (1) puede ser útil en programas de mejora genética, pero su interés económico es irrelevante. Por el contrario, el enfoque (2) puede ser el más apropiado para el agricultor por ser el que proporciona un rendimiento económico mayor, pero limita las comparaciones entre cultivos o variedades porque las producciones no se expresan en términos equivalentes y por depender del ambiente en que se desarrollen los cultivos. Finalmente, el enfoque (3) es el comúnmente utilizado para expresar tolerancia a salinidad, aunque tiende a sobreestimar la tolerancia del material menos productivo en condiciones no salinas y no refleja, necesariamente, la máxima productividad en condiciones salinas. A pesar de estas limitaciones, este último enfoque es el adoptado para generar las tablas de tolerancia de los cultivos a la salinidad (Maas y Hoffman, 1977; van Genuchten, 1983; Maas, 1990), ya que permite comparar cultivos cuyas producciones se expresan en unidades diferentes y, en principio, es menos sensible a las variables espacio y tiempo.

La tolerancia de los cultivos a la salinidad se basa en la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (Maas y Hoffman, 1977). La respuesta de un cultivo a la salinidad está determinada por factores ambientales, genotipo, interacción genotipo-ambiente, deriva ontogenética, estrés salino y estadio del desarrollo. La variabilidad de

la respuesta se amplía más entre especies y variedades (Ayers y Hayward, 1948; Johnson, 1981; Staples, 1984; Foolad y Jones, 1992).

Todos los trabajos sobre resistencia a la salinidad enfatizan la importancia que tiene el evitar las sales. El mecanismo de tolerancia está basado en soportar a las sales mediante diversas estrategias que son:

a) Osmoregulación: dado que la membrana celular es altamente permeable al agua, no es posible para las células que viven en un medio acuoso evitar el estrés osmótico debido a la solución circundante. La primera respuesta a la salinidad es, una disminución de la turgencia y, si ésta es muy severa, se pierde la habilidad de crecimiento. La tolerancia al estrés por ósmosis puede ser de dos tipos: 1) evitar la deshidratación y 2) tolerar la deshidratación.

1 Evitar la deshidratación, mediante el crecimiento preferencial de raíces dentro de áreas no salinas, la compartimentalización de la sal interna y el almacenamiento de las sales en las hojas adultas, de esta manera, permite la rehidratación de las células, devolviendo la turgencia a las mismas y reiniciando el crecimiento celular.

2 La tolerancia a la deshidratación permite a las plantas sobrevivir a niveles de turgencia muy bajos, sin embargo, esto mantiene a las células en un estado de no crecimiento. Esto es posible solamente como resultado de un incremento del contenido de sales en la célula, conocido como osmoregulación o ajuste osmótico (Levitt, 1980).

La acumulación de solutos varía con la especie. Cuando la planta es expuesta al estrés por sales, se puede efectuar la osmoregulación debido a: 1) acumulación de sales o iones salinos, 2) síntesis de solutos orgánicos. Si la osmoregulación se debe solamente a la acumulación de solutos orgánicos, esto permite evitar el estrés, ya que se asocia con la exclusión o extrusión de sales. Si la osmoregulación es debida a la acumulación de sales, esto puede conducir a una tolerancia de toxicidad producida por la acumulación de iones salinos. Este proceso, también es llamado compensación osmótica o ajuste osmótico, su

objetivo es mantener la turgencia celular para compensar el estrés osmótico externo.

La sensibilidad a las sales en las plantas no halófitas puede resultar de: 1) Incapacidad en la osmorregulación, la cual, puede resultar de una absorción insuficiente de iones o de la carencia de síntesis de solutos orgánicos que son usados en la osmorregulación, 2) Daños causados por iones inorgánicos que son absorbidos por la célula y no son distribuidos en los compartimentos celulares.

b) Acumulación de iones: en muchas plantas, especialmente halófitas obligadas, se realiza la osmoregulación en respuesta a un severo estrés por sales, ésto no solamente se logra por la acumulación de iones inorgánicos provenientes del medio externo, sino también por retranslocación de iones en el interior de la planta.

c) Acumulación de solutos orgánicos: a concentraciones bajas de NaCl se sintetizan lactatos, aminoácidos y carbohidratos, pero si las concentraciones son altas, lo que se sintetiza es glicerol, acompañado de asimilación elevada de CO₂ hasta un 90 %. El valor adaptativo que tiene el glicerol, es mayor que el de los iones inorgánicos para organismos que habitan en medios salinos.

1. En el citoplasma. La acumulación de solutos orgánicos en el citoplasma puede tener las siguientes ventajas: a) contribuyen al balance osmótico cuando los electrolitos son más bajos en el citoplasma que en las vacuolas. b) tienen un efecto protector sobre las enzimas en presencia de concentraciones altas de electrolitos en el citoplasma.

d) Glicibetaina. Alivia el efecto inhibitor de la concentración alta de iones, sin embargo, esta última resulta ser un sustrato inhibitor cuando se presenta en concentraciones altas (más de 500 mM) en ausencia de NaCl. En ciertas halófitas, es la causa principal de la adaptación a la salinidad. Las no halófitas incrementan su contenido de glicinebetaina cuando crecen en concentraciones altas de NaCl.

e) Prolina. incrementa la solubilidad de las proteínas, se asocia con la acción de mantener el crecimiento.

En vista de los diferentes tipos de daños por sales, lo siguiente resume las posibilidades teóricas de resistencia y tolerancia a las sales

1. El proceso para evitar las sales es por la exclusión y por lo tanto, una baja permeabilidad a las sales.
2. La extrusión es activada por un bombeo de iones.
3. La dilución depende de una elasticidad alta de la célula en su pared celular.
4. Los procesos de osmoregulación, ayudan a la célula a mantener la turgencia, son más evolucionados en la tolerancia de las sales.

Los cultivos anuales son más tolerantes aunque pueden llegar a dañarse a concentraciones altas. Los iones cloro, sodio y boro, a menudo complican y complementan los problemas de salinidad. Los efectos de las sales sobre las plantas varían con el tipo de cultivo, concentración y composición de las sales existentes en las soluciones de los suelos (Ayers y Wetcot, 1987).

Las plantas tienen marcada diferencia en su tolerancia a las sales solubles, del mismo modo, las sales difieren grandemente en sus efectos sobre las plantas. Indudablemente, otras condiciones tales como la temperatura, la humedad disponible, el contenido de materia orgánica, la textura del suelo y el suministro de nutrimentos influyen sobre la tolerancia de las plantas (Strogonov, 1964; Salisbury y Ross, 1985).

1.3.16 Tolerancia de los cultivos a elementos tóxicos y sodio intercambiable

Existen en el suelo ciertos elementos que, a concentraciones relativamente bajas, son tóxicos para las plantas. Entre los más frecuentes se tiene al boro, cloro y sodio; pero en algunos casos, puede haber litio y selenio. El cloruro contribuye más al ajuste osmótico que el sulfato debido a que es más fácilmente absorbido.

Los efectos directos del sodio están ligados únicamente con el sodio intercambiable, el cual, al rebasar ciertas concentraciones, es tóxico para las plantas; ésto se debe a que cuando, en un suelo se rebasa un cierto porcentaje de sodio intercambiable, el suelo se vuelve impermeable al aire y al agua, se incrementa el pH de su solución a niveles tales que se tienen problemas de nutrición para las plantas, ya que muchos elementos se precipitan, tales como el Ca^{2+} y Mg^{2+} . Otros elementos pasan a formas químicas menos

asimilables y estas condiciones son limitantes para el desarrollo de las plantas (Evangelou, 1994).

Los iones que frecuentemente se encuentran en exceso en suelos salinos incluyen los cloruros, sulfatos, bicarbonatos, sodio, calcio y magnesio y con frecuencia se presentan cantidades excesivas de potasio y nitratos. Sin embargo, los iones tóxicos más comunes son el cloruro y el sodio.

1. Toxicidad por sodio: el sodio presenta un efecto más letal que el ión cloruro. Jansen y Chang (1987), determinaron que la concentración del sodio en la planta aumenta linealmente con el incremento en la salinidad, siendo ésta, a su vez, una fracción de la actividad del ión en la solución del suelo; el rendimiento de materia seca fue inversamente relacionado con la concentración del sodio en el tejido, aunque la relación estuvo determinada por el tipo de salinidad presente.

El Na^+ es presumiblemente bombeado activamente por medio del tonoplasto a las vacuolas, para mantenerlo a niveles bajos en el citoplasma. El aumento en el contenido de Na^+ , generalmente, altera el balance nutricional y la regulación osmótica y causa una toxicidad específica por iones. Es el balance iónico en un medio de crecimiento, más que el contenido absoluto de Na^+ , el que determina la tolerancia a la salinidad por las plantas; un aumento de sodio generalmente, hace disminuir el contenido de K^+ , sugiriendo un antagonismo entre Na^+ y K^+ . De igual forma, niveles altos de Na^+ , reducen la actividad del Ca^{2+} en solución y pueden desplazar a este elemento desde el plasmalema de las células radicales (Alam, 1994).

2. Toxicidad por cloruros: el Cl^- es un micronutriente que recientemente se ha caracterizado como esencial para el desarrollo de las plantas superiores. Sin embargo, existen evidencias de la toxicidad específica de este ión, sobre todo, en frutales como durazno, nogal, cítricos, aguacate y vid (Aceves, 1979).

1.3.17 Criterios de evaluación de la tolerancia

La tolerancia de los cultivos a la salinidad se basa en la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo. Mass y Hoffman (1977) encuentran que existe una relación lineal entre la salinidad del suelo y la disminución del rendimiento de los cultivos (Figura 2). La linealidad no se mantiene para salinidades muy elevadas, que

corresponden a valores que superan los límites aceptables desde el punto de vista económico. El rendimiento relativo se puede calcular con la siguiente fórmula.

$$Y = 100 - b (CEs - a)$$

Donde:

Y = es la producción del cultivo en % con respecto al máximo,

CEs = es la conductividad eléctrica del extracto de saturación en $dS\ m^{-1}$

a y b = son dos parámetros cuyos valores son constantes para cada cultivo. Esta ecuación puede representarse gráficamente.

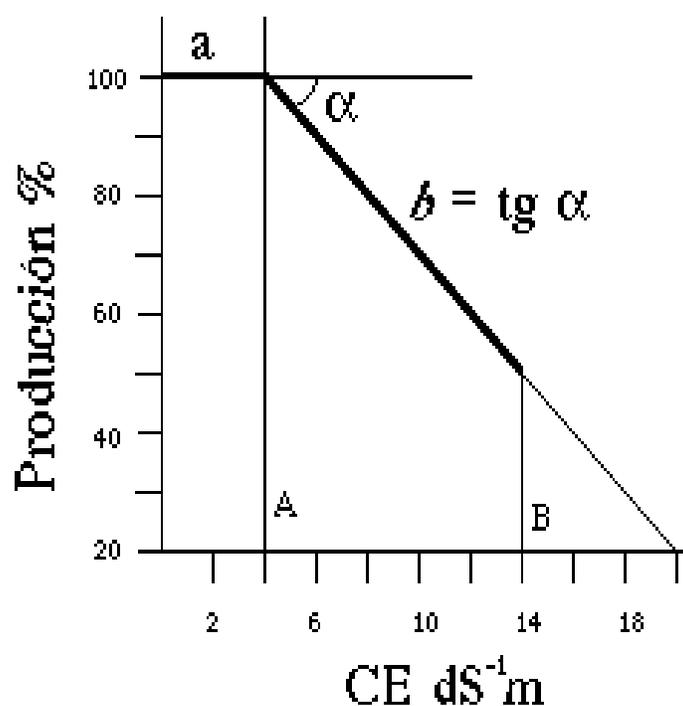


Figura 2 Relación del rendimiento con la conductividad eléctrica (Mass y Hoffman, 1977).

Donde:

"a" representa el máximo de conductividad para la cual la producción es del 100 %, definiéndose como el umbral de salinidad para cada cultivo.

"b" se puede considerar como el % de disminución de rendimiento por unidad de CEs que supere el valor de "a" (expresa la sensibilidad del cultivo a los aumentos de salinidad).

La relación entre Y y C_{es} , deducida a partir de un análisis de mínimos cuadrados, se puede representar gráficamente obteniéndose cinco grupos de cultivos de diferente sensibilidad frente a la conductividad eléctrica (Figura 3).

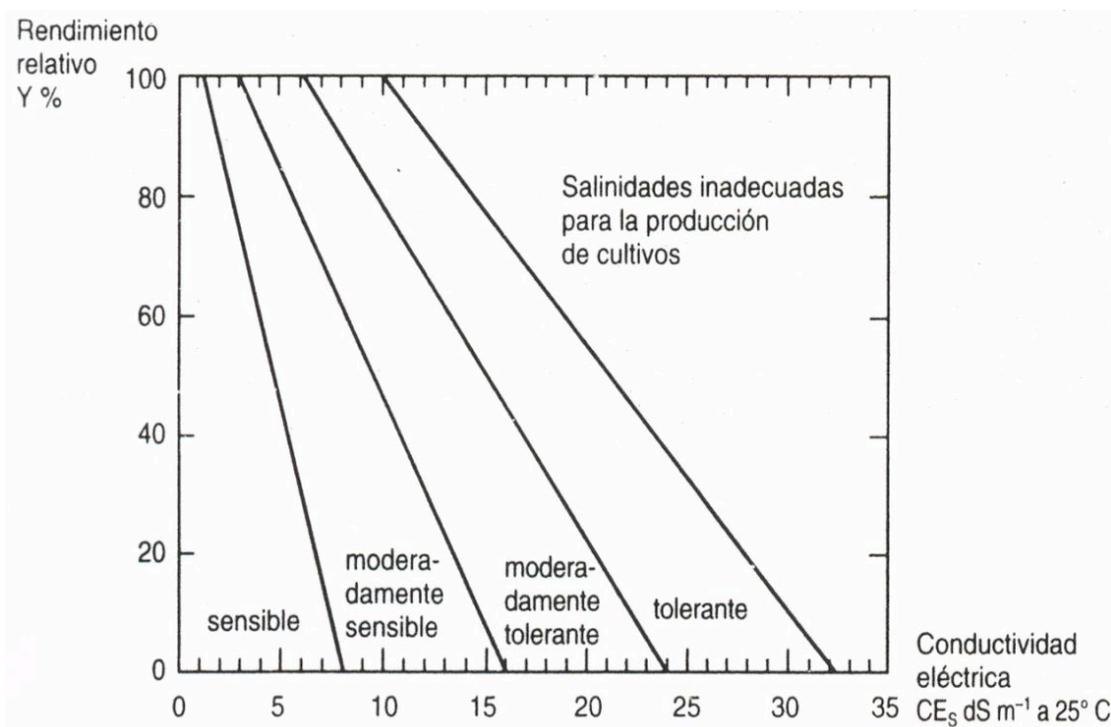


Figura 3 Sensibilidad de los cultivos frente a la conductividad eléctrica (Mass y Hoffman, 1977).

La acumulación excesiva de sales solubles en la zona radical de los cultivos, es un factor limitante de la producción en la agricultura de riego. El establecimiento de un cultivo comprende tres fases: germinación, emergencia y desarrollo postemergente. La germinación, emergencia y el estadio de plántula, son los periodos más críticos en el establecimiento de un cultivo, aún para aquellos más tolerantes y son consecuencia de una salinidad alta en la capa superficial del suelo. Ciertas especies son muy tolerantes a las sales durante las últimas etapas de su desarrollo, pero no así durante la germinación (Richards, 1988).

1.3.18 Germinación

La semilla consta esencialmente de un embrión (formado por un eje embrionario y uno, dos o varios cotiledones), una provisión de reservas nutritivas, que pueden almacenarse en un tejido especializado (albumen o endospermo) o en el propio embrión, y una cubierta seminal que recubre y protege a ambos (Meyer *et al.*, 1960).

Germinación: proceso que comienza con la rehidratación de los diferentes tejidos que constituyen la semilla y terminan con el inicio del crecimiento de la radícula. Es la reanudación del crecimiento activo del embrión y comprende los siguientes eventos: imbibición y absorción de agua, hidratación de los tejidos, absorción de O₂, activación de enzimas y digestión y transporte de moléculas hidrolizadas al eje embrionario, incremento en la respiración y asimilación; iniciación de la división y elongación celular y emergencia de la radícula.

Es la recuperación de la actividad biológica por parte de la semilla. Se considera que una semilla ha germinado cuando su radícula atraviesa la cubierta seminal, originando una plántula capaz de convertirse a su vez, bajo condiciones externas favorables, en una planta autótrofa. En el caso de embriones desnudos, la germinación vendría indicada por el inicio de la elongación de la radícula.

La germinación es, el resultado de una serie de acontecimientos metabólicos que van sucediéndose de forma escalonada. Normalmente se distinguen en el proceso de germinación tres fases sucesivas.

1. Hidratación: intensa absorción de agua por la semilla, va acompañada de un aumento proporcional en la actividad respiratoria.
2. Germinación: tienen lugar profundas transformaciones metabólicas que preparan el camino para la fase siguiente, aquí se reduce la absorción de agua.
3. Crecimiento: representa la última etapa del proceso de germinación y corresponde con la iniciación en la semilla de cambios morfológicos visibles; en concreto, la elongación de la radícula. Hay un constante incremento de la absorción de agua y de la actividad respiratoria.

1.3.19 Efecto de las sales sobre la germinación

La germinación y el crecimiento de las plántulas son críticos en las primeras etapas de desarrollo en ambientes salinos. La habilidad para germinar y establecerse es un factor limitante en la producción de los cultivos. La germinación puede afectarse por dos vías: 1) la cantidad de sales puede ser tal que aumenta la presión osmótica hasta el punto en que la absorción de agua se impida; 2) ciertos constituyentes de las sales pueden ser tóxicos al embrión o la plántula. La toxicidad se refleja en una reducción en la emergencia y se acompaña frecuentemente de anomalías en el crecimiento y desarrollo de las plántulas (Hayward y Wadleigh, 1949). Estos efectos pueden retardar, bajar o inhibir completamente la germinación, dependiendo del nivel de sal en el medio de crecimiento (Ayers y Hayward, 1948).

La germinación es una transición crítica entre la tolerancia a la sequía y los periodos extremos de estrés y, junto a la etapa de plántula constituyen las fases más vulnerables en desarrollo de la planta (Ungar, 1991).

Las sales actúan en forma tóxica antes que como estímulo de la germinación de la semilla. La acción tóxica del catión o del anión, puede superar al efecto producido sobre la presión osmótica. Además, al bajar los potenciales hídricos (ψ) en el suelo, las sales bajan la tasa y la germinación total (Bradford, 1995). Algunas sales como el sulfato de sodio, sulfato de magnesio, cloruro de sodio y bicarbonato de sodio actúan reduciendo la germinación por estrés osmótico más que por toxicidad de iones específicos (Ungar, 1978).

En la literatura se ha considerado la emergencia de la radícula y coleoptilo de la cubierta de la semilla, como un criterio para la germinación. Con este criterio se ha considerado que la germinación ha ocurrido después de un día de la plantación. Desde el punto de vista agronómico la germinación se considera realizada cuando las plantas afloran a la superficie del suelo, lo cual a veces no ocurre en aéreas con sales, en las cuales las semillas producen raíces y parte del coleoptilo y éste nunca aparece en la superficie.

Existen tres etapas en el proceso de germinación en las cuales las sales pueden tener influencia: heterotrófica, de transición y autotrófica (Aceves, 1979).

1. Heterotrófica: ocurre desde la imbibición de las semillas hasta la iniciación de la fotosíntesis y durante ésta, la plántula se alimenta de las reservas del endospermo.
2. Transición: se inicia el desarrollo de la plántula, la cual se alimenta de compuestos orgánicos complejos obtenidos del remanente del endospermo y productos fotosintetizados.
3. Autotrófica: la plántula ha consumido el endospermo y su alimentación depende completamente de los productos fotosintetizados por ella misma.

Las semillas son sensibles a la salinidad en las fases heterotrófica y autotrófica; en la primera, puede inhibirse la imbibición de agua, por las sales, ya que el embrión no dispone de agua debido a la presión osmótica elevada del medio o bien, puede morir por el efecto tóxico de ciertos iones. En la segunda, la planta tiene que obtener nutrientes del suelo conjuntamente con sales que pueden ocasionar su muerte.

Niveles moderados de sales en el suelo generalmente, retardan la germinación sin afectar el porcentaje de la misma, pero concentraciones elevadas retardan la germinación y además afectan notablemente el porcentaje de emergencia, dependiendo del cultivo. La salinidad edáfica afecta la germinación al dificultar la adsorción de agua y favorecer la entrada de iones en cantidades tóxicas (Ayers, 1952).

Las sales son más dañinas para las plantas jóvenes, pero, no necesariamente para la germinación, aunque concentraciones altas, que pueden estar a la profundidad de la siembra, reducen la germinación varios días o la inhiben completamente. Como las sales solubles se mueven con el agua, la evaporación moverá sales a la superficie del suelo donde se acumulan, haciéndose visibles como costras o polvo.

Que una semilla tenga capacidad para germinar y producir una plántula bajo condiciones de estrés salino es indicativo de un potencial genético para la tolerancia a la sal, al menos en esta etapa del ciclo de vida (Bernstein y Ayers, 1953).

La tolerancia de los cultivos a la concentración de sales durante la germinación, depende de la especie y de la concentración y tipo de sales. Según Ungar (1996), la tolerancia de la semilla a la salinidad debería ser interpretada a dos niveles: La

habilidad de la semilla a germinar en concentraciones altas de sales y la habilidad de recuperación de la germinación, después de estar expuesta a salinidad alta.

El factor salinidad interacciona con otros factores del medio, incrementando o aminorando el efecto nocivo de las sales sobre diferentes etapas: germinación, establecimiento de plántulas o planta madura. La humedad del suelo, salinidad, luz y temperatura son parámetros que varían en forma dinámica y afectan fuertemente la germinación y establecimiento de las plantas (El-Keblawy y Al-Rawai, 2006). El Cuadro 4 muestra la tolerancia de algunos cultivos a las sales en la germinación.

Cuadro 4. Tolerancia relativa a la salinidad de varios cultivos en la germinación (Ayers y Westcot, 1987)

Cultivo	50 % de reducción en la emergencia. CEe = dS m ⁻¹
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	16 - 27
Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>)	15.5
Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)	6 - 12.5
Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	13
Cártamo (<i>Carthamus tinctorius</i>)	12.3
Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	14 - 16
Remolacha roja (<i>Beta vulgaris</i>)	13.8
Alfalfa (<i>Mendicago sativa</i>)	8.2 – 13.4
Tomate (<i>Lycopersicon lycopersicum</i>)	7.6
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	18
Col (<i>Brassica oleracea capitata</i>)	13
Melón (<i>Cucumis melo</i>)	10.4
Maíz (<i>Zea mays</i>)	21 - 24
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	11.4
Cebolla (<i>Allium cepa</i>)	5.6 – 7.5
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	8.0

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se utilizaron cariósides desnudos (sin apéndices accesorios: gluma, lema ó palea) de: avena (*Avena sativa* L.) variedad Chihuahua, pasto Banderita (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.), pasto Ballico (*Lolium perenne* L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad cuf 101, frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad flor de mayo, maíz (*Zea mays* L.) híbrido SB102, y remolacha (*Beta vulgaris* L.) variedad Eckendorf. La investigación se llevó a cabo en condiciones de laboratorio en la etapa fenológica de germinación.

El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de salinidad del Posgrado de Hidrociencias, y en condiciones ambientales no controladas, dentro de las instalaciones del Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Estado de México, a una latitud de 19° 29', a una longitud de 98° 54', y altitud de 2.240 m. s. n. m. Clima templado subhúmedo, con precipitación media anual de 700 mm, régimen de lluvias en verano y temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C (Navejas, 1995).

Las semillas se sometieron a pruebas de germinación en 11 soluciones salinas divididas en: sales puras (1. NaCl, 2. NaHCO₃, 3. Na₂SO₄, 4. MgSO₄, 5. CaCl₂·2H₂O y 6. MgCl₂·6H₂O) y tipos de salinidad geoquímica: (7. Clorhídrica, 8. Sulfático-clorhídrica, 9. Clorhídrico-sulfática, 10. Sulfática y 11. Sulfático-sódica); cuyas concentraciones variaron de acuerdo con las gráficas de tolerancia de los cultivos de Mass y Hoffman, (1977) del porcentaje de rendimiento relativo (Y), con respecto a la concentración de las soluciones salinas CE (X), los cuales disminuyen el rendimiento de: 0.0 (T₁), 0.0 umbral (T₂), 25 (T₃), 50 (T₄) 75 (T₅), 100 (T₆) y 50 % más (T₇), considerado como valor extremo, resultando siete niveles de salinidad cuya CE teóricas son: T₁= 2, T₂= 4, T₃= 8, T₄= 11.7, T₅= 15, T₆= 19 y T₇= 28 dS m⁻¹, más un testigo con agua destilada. La cantidad de sal en los tratamientos, se calculó mediante la aplicación de las fórmulas siguientes.

$$\text{ppm} = 640 (\text{CE})$$

Donde:

ppm = es la concentración de las sales en solución (partes por millón).

CE = es la conductividad eléctrica del extracto de saturación (dS m^{-1} a 25°C).

$$\text{meq L}^{-1} = 10 (\text{CE})$$

Donde:

meq L^{-1} = es la concentración de las sales en solución, en miliequivalentes por litro.

Para fines de cálculo se consideró que 0.640 g de sal genera una conductividad eléctrica de 1.0 dS m^{-1}

En el caso de la mezcla de sales, se utilizó la metodología publicada en el manual de análisis químico de Arinushkina (Kovda, 1947), para determinar la proporción de los solutos. Dicha metodología establece que para cada tipo de sal, las relaciones aniónicas no deben exceder un cierto valor límite; así, para la salinidad clorhídrica, la relación entre el Cl^- y el SO_4^{2-} debe ser mayor de 2; para la salinidad sulfático-clorhídrica, debe oscilar entre 1 y 2; para la salinidad clorhídrico-sulfática, entre 0.2 y 1.0; para la salinidad sulfática, debe ser menor que 0.2; y, en el caso de la salinidad sulfático-sódica, la relación entre HCO_3^- y $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ debe ser igual a 2. Tomando en consideración lo anterior, se determinaron las siguientes relaciones: Salinidad clorhídrica = 2.5, salinidad sulfático-clorhídrica = 1.5, salinidad clorhídrico-sulfática = 0.6 y salinidad sulfática = 0.15, y para la salinidad sulfático-sódica la relación fue de 2.0.

La cantidad total de solutos requerida para preparar las soluciones de los tratamientos con mezclas de sales, se determinó también con la aplicación de las fórmulas anteriores; posteriormente, se calculó la proporción de cada sal empleada como fuente para la preparación de las mezclas, el procedimiento fue el siguiente:

Las fuentes de sales fueron NaCl y MgSO_4 , con una concentración total de 0.64 g L^{-1} , para generar una conductividad eléctrica teórica, en el extracto de saturación, de 1.0 dS m^{-1} .

El NaCl tiene un peso molecular de 58.44 g y el Cl^- un peso atómico de 35.45 g, que representa el 60.66 % del peso molecular y 17.44 meq L^{-1} del NaCl .

El MgSO_4 tiene un peso molecular de 120.37 g y el SO_4^{2-} un peso atómico de 96.06 g, que representa el 79.8 % del peso molecular y 16.61 meq L^{-1} del MgSO_4 .

El procedimiento para calcular la concentración de cada sal fue considerando su peso molecular, así entonces, tenemos para la salinidad clorhídrica, las siguientes ecuaciones.

$$(17.11 A / 16.61 B) = 2.5^*$$

$$A + B = 0.64 \text{ g L}^{-1}$$

Donde:

A = representa a la sal Cl^-

B = la de los SO_4^{2-}

17.11 = meq L^{-1} del NaCl

16.61 = meq L^{-1} de MgSO_4

* = Relación que varió dependiendo del tipo de sal

La resolución de las ecuaciones anteriores permitió obtener la cantidad de cada sal para preparar la solución. Así, se tiene que, para generar una conductividad eléctrica teórica, en el extracto de saturación, de 1.0 dS m^{-1} , se requieren: 0.453 g L^{-1} de NaCl y 0.187 g L^{-1} de MgSO_4 . El procedimiento se aplicó para todas las mezclas de sales, variando la relación aniónica entre las sales empleadas, manteniéndose el mismo porcentaje del anión de cada sal. Así, se tiene que, para la sal sulfático clorhídrica se requieren 0.379 g L^{-1} de NaCl y 0.261 g L^{-1} de MgSO_4 ; para la clorhídrico sulfática, el requerimiento fue de 0.236 g L^{-1} de NaCl y 0.404 g L^{-1} de MgSO_4 , en el caso de la sulfática la cantidad requerida fue de 0.081 g L^{-1} de NaCl y 0.559 g L^{-1} de MgSO_4 .

Para la salinidad sulfático-sódica, las fuentes fueron NaHCO_3 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, a una concentración total de 0.64 g L^{-1} . También, como en el caso anterior, se consideraron los pesos moleculares de cada sal; así entonces, tenemos:

$$(11.91 C / 21.0 A + 14.08 B) = 2.0$$

$$A + B + C = 0.64 \text{ g L}^{-1}$$

Donde:

A = representa a la sal Cl^-

B = la de los $\text{SO}_4^{=}$

C = la de los HCO_3^-

21.0 = meq L^{-1} del MgCl_2

14.08 = meq L^{-1} de Na_2SO_4

11.91 = meq L^{-1} de NaHCO_3

En consecuencia, las cantidades aplicadas fueron 0.067 g L^{-1} de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, y 0.100 g L^{-1} de Na_2SO_4 , y 473 g L^{-1} de NaHCO_3 , que generan una conductividad eléctrica teórica en el extracto de saturación, de 1.0 dS m^{-1} .

Conforme a lo anterior se prepararon siete niveles de cada sal: $T_1=1.28$ $T_2=2.56$, $T_3=5.12$ $T_4=7.36$, $T_5=9.28$, $T_6=12.16$ y $T_7=17.92$ g L^{-1} .

El Diseño Experimental utilizado fue bloques completos aleatorios, con un arreglo factorial de 11 soluciones salinas, siete niveles de sal, más un testigo y tres repeticiones por nivel, con un total de 234 unidades experimentales. Por repetición, se colocaron 10 semillas sobre papel filtro (Ahlstrom No. 61, 87 mm de diámetro) en cajas Petri de plástico (84 mm de diámetro y 17 mm de altura), desinfectados con hipoclorito de sodio al 5.25 %, con cinco mL de diferente concentración y solución salina, en condiciones ambientales no controladas con temperaturas que oscilaron entre 15 y 21 °C para sales puras y 19 y 24 °C para las sales geoquímicas, en laboratorio durante 15 días, en completa obscuridad, las cajas petri cubrieron con una franela y se colocaron dentro cajas .

A las soluciones se les determinó las siguientes variables: conductividad eléctrica (CE), con un conductímetro marca Wheaststone; pH, con un potenciómetro marca Beckman; y potencial osmótico ($\Psi_\pi = \text{MPa}$), con un osmómetro de presión de vapor marca Wescor 5520.

Para la medición del $\Psi\pi$ se utilizó el osmómetro, la lectura se registró en mmol Kg^{-1} . Los valores así obtenidos fueron transformados a MPa con la igualdad propuesta por Van't Hoff:

$$\Psi\pi = -CRT$$

Donde:

$\Psi\pi$ = Potencial osmótico

C= Concentración de la solución en moles de soluto por kg de agua.

R = Constante general de los gases ($0.00831 \text{ kg MPa mol}^{-1} \text{ k}^{-1}$)

T = temperatura absoluta en grados Kelvin.

La variable de respuesta vegetal incluyó: porcentaje de germinación absoluta $G_a = (a/b) \cdot 100$ donde a = total de semillas germinadas en concentración salina y b = total de semillas para germinación, evaluado mediante el conteo directo del número de radículas emergidas a los 3, 6, 9, 12 y 15 d. después de la primera semilla germinada, la germinación fue considerada cuando la radícula alcanzó dos mm de longitud. El porcentaje de germinación se obtuvo al relacionar el número de semillas germinadas y el número de semillas colocadas inicialmente. La longitud de la raíz y parte aérea se midieron cada tercer día con un vernier.

Se realizó un análisis de regresión para cada tipo de salinidad calibrándose un modelo lineal ajustado por el origen, empleando la técnica del análisis de regresión; el cual relacionó la conductividad eléctrica de cada solución con su concentración y con su presión osmótica.

El modelo lineal sin ordenada al origen, en su forma general tiene la estructura siguiente:

$$Y = B_1 + X$$

Donde:

Y = representa la concentración de la solución en mg L^{-1} , meq L^{-1} y la presión osmótica en atm.

B_1 = es la pendiente de la recta, o sea, el número de unidades en (mg L^{-1} , meq L^{-1} o atm) que aumenta la solución (Y), por cada unidad de conductividad eléctrica en dS m^{-1} , que aumenta la misma solución salina.

X = es la conductividad eléctrica de la solución salina en dS m^{-1}

El ajuste de este modelo se realizó relacionando primero CE en dS m^{-1} con la concentración de las soluciones de los tratamientos, en ppm o mg L^{-1} ; enseguida, con la concentración en meq L^{-1} y, finalmente, con la presión osmótica (π) en atm, empleándose el método de mínimos cuadrados.

Los datos de germinación se transformaron al arco seno antes del análisis estadístico, para asegurar distribución normal de los datos (Steel y Torrie, 1980), se determinaron las diferencias significativas con la prueba de Tukey, con un nivel de confianza de 0.05, en todas las sales y a las mismas concentraciones, utilizando el paquete estadístico SAS V8 para determinar el efecto de la salinidad y la concentración sobre la germinación.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las sales

La conductividad eléctrica (CE) estima el contenido de sales en la solución del suelo; este parámetro guarda relación con el rendimiento relativo de algunos cultivos agrícolas y puede utilizarse para estimar el efecto de la salinidad en el desarrollo de las plantas. Sin embargo, es necesario recordar que cada una de las sales tiene diferente solubilidad y en función de esta propiedad se presenta su efecto.

El Cuadro 5 muestra los valores de CE, pH, $\Psi\pi$ y concentración aplicada de las soluciones puras a las que fueron expuestas las semillas de alfalfa, avena, pasto Banderita, frijol, maíz, pasto Ballico y remolacha. Para la CE el orden fue el siguiente: $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} > \text{NaCl} > \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaHCO}_3 > \text{MgSO}_4$, siendo la sal $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ la que registro el valor mayor de CE y la sal MgSO_4 el menor. Para $\Psi\pi$ el orden fue: $\text{MgSO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaHCO}_3 > \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} > \text{NaCl}$, siendo el MgSO_4 en que registró el valor mayor de potencial osmótico y el NaCl el menor.

Para las sales geoquímicas, en el Cuadro 6; se presentan los valores de CE, pH, $\Psi\pi$ y concentración aplicada de las soluciones, el orden de la CE fue: clorhídrica > sulfático-clorhídrica > sulfático-sódica > clorhídrico-sulfática > sulfática, siendo la sal clorhídrica la de mayor y la sulfática la de CE menor. En el caso del $\Psi\pi$ el orden fue: sulfática > clorhídrico-sulfática > sulfático-sódica > sulfático-clorhídrica > clorhídrica, donde la sulfática registró el valor mayor de potencial y la clorhídrica el menor.

Cuadro 5. Concentración de sales puras, pH, C.E. y $\Psi\pi$.

Sal	Nivel	Concentración		pH	CE sol. [†] dS m ⁻¹	$\Psi\pi$ MPa
		mg L ⁻¹	meq L ⁻¹			
Testigo	0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
(1) NaCl	1	1280	43.80	6.8	2.41	-0.11
	2	2560	87.60	7.0	4.69	-0.18
	3	5120	175.19	6.8	8.88	-0.35
	4	7360	251.84	6.5	11.80	-0.53
	5	9280	317.54	6.4	14.21	-0.69
	6	12160	416.08	6.3	19.00	-0.95
	7	17920	613.17	6.2	26.50	-1.39
(2) NaHCO ₃	1	1280	30.48	8.4	1.24	-0.10
	2	2560	60.95	8.0	2.39	-0.12
	3	5120	121.90	8.1	4.59	-0.22
	4	7360	175.24	8.1	6.22	-0.28
	5	9280	220.95	8.2	7.99	-0.41
	6	12160	289.52	8.2	9.85	-0.56
	7	17920	426.67	8.3	13.39	-0.86
(3) Na ₂ SO ₄	1	1280	36.04	7.6	1.77	-0.09
	2	2560	72.08	6.9	3.55	-0.12
	3	5120	144.16	6.6	5.05	-0.20
	4	7360	207.24	7.5	8.81	-0.26
	5	9280	261.30	6.4	10.03	-0.39
	6	12160	342.39	7.2	11.16	-0.46
	7	17920	504.58	6.9	17.33	-0.68
(4) MgSO ₄	1	1280	42.67	6.9	0.92	-0.05
	2	2560	85.33	7.1	1.54	-0.06
	3	5120	170.67	7.0	1.71	-0.07
	4	7360	245.33	6.9	2.42	-0.09
	5	9280	309.33	7.1	3.85	-0.13
	6	12160	405.33	7.6	4.11	-0.14
	7	17920	597.33	6.7	7.08	-0.19
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O	1	1700	46.13	6.5	2.41	-0.07
	2	3390	92.27	6.0	4.16	-0.12
	3	6780	184.53	6.0	8.22	-0.24
	4	9750	265.26	6.0	11.19	-0.36
	5	12290	334.46	6.1	12.98	-0.45
	6	16100	438.26	6.1	17.11	-0.60
	7	23730	645.86	6.1	22.38	-0.93
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O	1	2730	53.78	8.3	2.86	-0.12
	2	5460	107.56	8.2	4.94	-0.18
	3	10930	215.12	7.9	9.34	-0.33
	4	15710	309.23	7.9	12.08	-0.44
	5	19810	389.90	7.8	14.83	-0.63
	6	25960	510.90	7.7	18.67	-0.82
	7	38250	752.91	7.6	25.27	-1.23

† Conductividad eléctrica de la solución.

Cuadro 6. Concentración de sales geoquímicas, pH, C.E. y $\Psi\pi$.

Sal	Nivel	Concentración		pH	CE sol.†	$\Psi\pi$
		mg L ⁻¹	meq L ⁻¹		dS m ⁻¹	MPa
Testigo	0	0.00	0.00	0.0	0.00	-0.00
(7)	1	1280	43.43	6.6	2.01	-0.10
Clorhídrica	2	2560	86.86	6.5	4.12	-0.14
Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ = 2.5	3	5120	173.72	6.6	7.08	-0.25
	4	7360	249.72	6.7	9.40	-0.43
	5	9280	314.87	6.7	11.21	-0.53
	6	12160	412.59	6.7	14.09	-0.76
	7	17920	608.02	6.8	20.84	-1.00
(8)	1	1280	43.28	7.6	1.76	-0.10
Sulfático	2	2560	86.57	8.1	3.30	-0.15
Clorhídrica	3	5120	173.14	7.8	6.32	-0.26
Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ = 1.5	4	7360	248.89	7.7	8.24	-0.50
	5	9280	313.81	7.5	10.44	-0.53
	6	12160	411.20	7.4	12.63	-0.63
	7	17920	605.99	7.4	17.03	-0.93
(9)	1	1280	43.00	7.2	1.60	-0.14
Clorhídrico	2	2560	86.01	7.1	2.95	-0.16
Sulfática	3	5120	172.01	7.0	5.30	-0.21
Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ = 0.6	4	7360	247.27	7.0	7.05	-0.29
	5	9280	311.77	6.9	8.30	-0.34
	6	12160	408.53	6.9	9.40	-0.44
	7	17920	602.05	6.8	12.92	-0.63
(10)	1	1280	42.70	7.4	1.17	-0.09
Sulfática	2	2560	85.40	7.3	2.06	-0.11
Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ = 0.15	3	5120	170.79	7.2	3.53	-0.15
	4	7360	245.52	7.3	4.98	-0.16
	5	9280	309.56	7.1	5.87	-0.18
	6	12160	405.63	7.0	7.07	-0.23
	7	17920	597.78	7.0	9.42	-0.35
(11)	1	1700	33.79	8.6	1.75	-0.10
Sulfático	2	3390	67.57	7.9	2.88	-0.14
Sódica	3	6780	135.14	8.2	5.54	-0.25
HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻ = 2.0	4	9750	194.27	8.3	7.58	-0.40
	5	12290	244.94	8.3	9.32	-0.44
	6	16100	320.96	8.1	11.06	-0.60
	7	23730	473.00	8.2	14.58	-0.86

† Conductividad eléctrica de la solución.

Los datos anteriores permiten apreciar que, al incrementar la concentración de sal, aumenta la CE, pero disminuye el $\Psi\pi$, ésto indica que hay una relación directa entre la CE y la concentración salina, además, depende del tipo de sal, pues a concentraciones iguales, cada sal genera una CE y $\Psi\pi$ distinto. Resultados similares encontró Sánchez (2008), y la diferencia obedece a la migración de iones en la solución, concentración total iónica, radio iónico, valencia, peso molecular, grado de ionización y coeficiente osmótico de cada soluto (Keenan *et al.*, 1990).

En los cuadros anteriores también se puede observar que las sales con predominio de Cl^- generan una CE, mayor, y un potencial osmótico menor, en comparación a las sales con superioridad de SO_4^{2-} y HCO_3^- , ésto tiene explicación con las características geoquímicas del ión Cl^- (coeficiente energético iónico, valencia, radio de hidratación etc.), que le dan movilidad mayor en su migración y, por tanto, valores mayores de conductividad eléctrica que las sales que tiene al sulfato como anión acompañante, debido a su movilidad menor. En el caso de las sales con el ión acompañante HCO_3^- , éste fue el que determinó que la concentración de electrolitos sea menor y, por tanto, su CE registrara valores pequeños (Ortega y García, 1984).

En el caso del pH, las sales oscilaron entre neutras, ligeramente ácidas, como el NaCl y la clorhídrica; y, por otra parte, alcalinas como NaHCO_3 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, y sulfático sódica. Las sales que registraron $\Psi\pi$ menor tuvieron pH ligeramente ácido y para las de potencial mayor éste fue neutro.

Con los datos expresados en dS m^{-1} se elaboraron gráficas de regresión lineal (Figuras 4; 5 y 6) en las que se relacionó este parámetro, considerado como variable independiente, con la concentración y, similarmente, la presión osmótica (PO) de cada una de las soluciones como variables dependientes. Con esta relación, es posible conocer a partir de la CE de una solución extraída del suelo, la concentración en mg L^{-1} , meq L^{-1} y la presión osmótica generada por la sal y relacionarlos al crecimiento de las plantas.

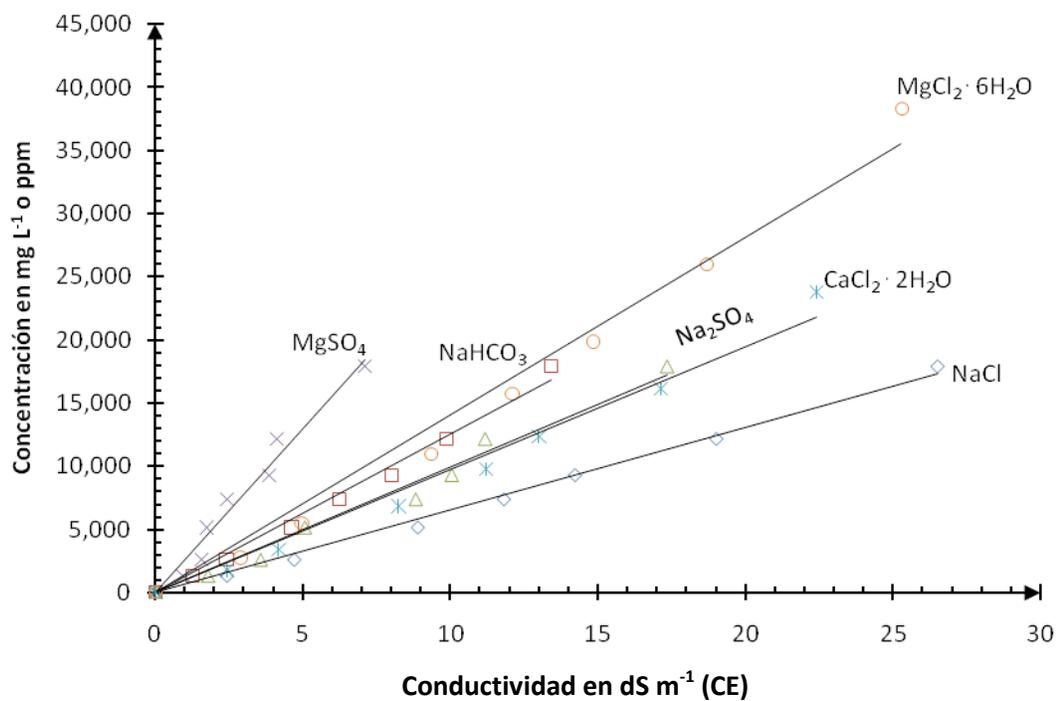


Figura 4 Relación de la concentración de cada sal, con la conductividad eléctrica.

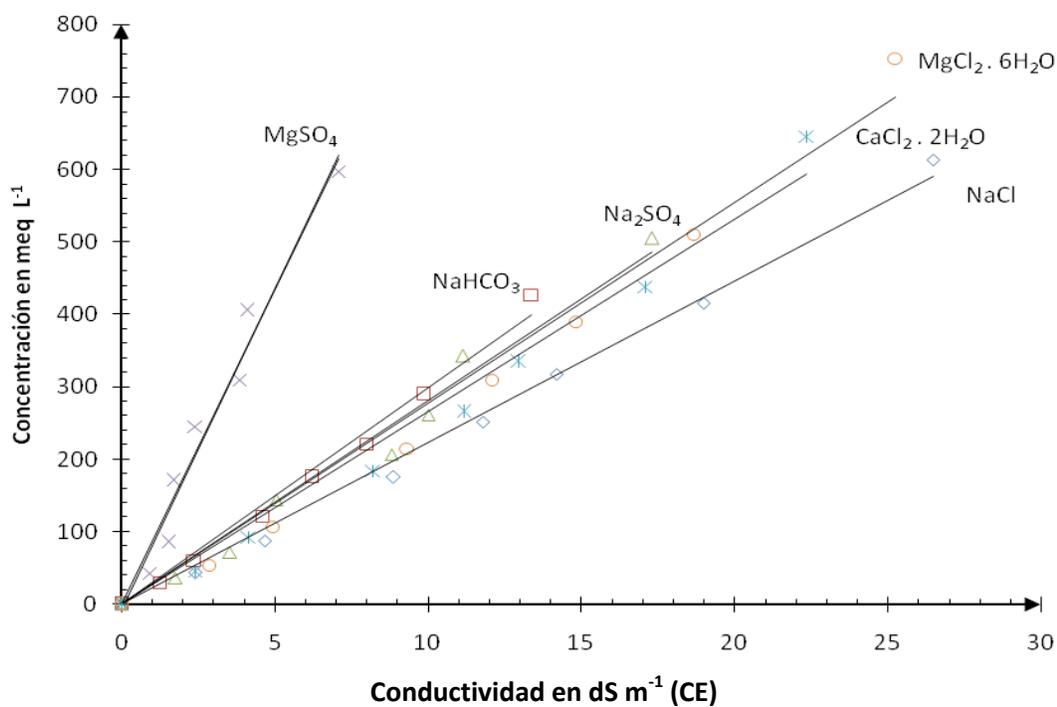


Figura 5 Relación de la concentración de cada sal, con la conductividad eléctrica.

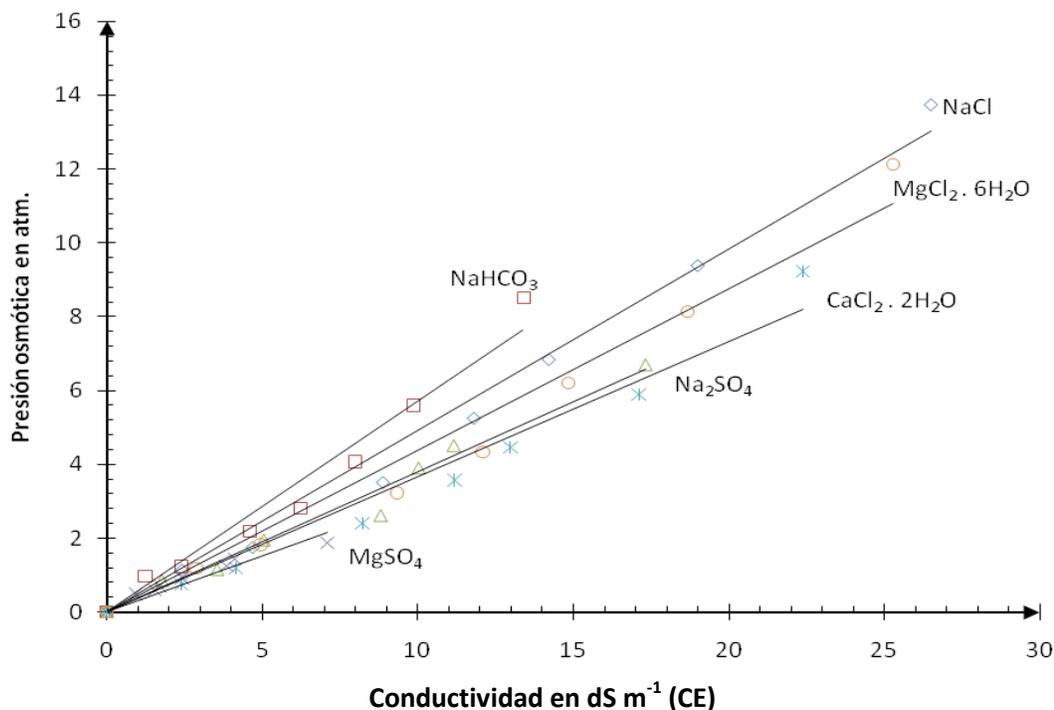


Figura 6 Relación de la presión osmótica, con la conductividad eléctrica.

Cuadro 7. Modelo lineal resultante de la concentración, presión osmótica y CE para cada tipo de sal.

sal	Y = mg L ⁻¹	R ²	Y=meq L ⁻¹	R ²	Y = atm	R ²
1 NaCl	651.9(CE)	0.994	14.28(CE)	0.994	0.491(CE)	0.987
2 NaHCO ₃	1254(CE)	0.989	19.87(CE)	0.989	0.571(CE)	0.966
3 Na ₂ SO ₄	995.4(CE)	0.979	18.02(CE)	0.979	0.378(CE)	0.979
4 MgSO ₄	2603(CE)	0.969	26.76(CE)	0.969	0.305(CE)	0.901
5 CaCl ₂ · 2H ₂ O	975.4(CE)	0.982	16.34(CE)	0.982	0.366(CE)	0.968
6 MgCl ₂ · 6H ₂ O	1406(CE)	0.983	17.08(CE)	0.983	0.438(CE)	0.973

Con base a las gráficas anteriores y a los datos del modelo lineal (Cuadro 7, se observa que las sales presentan concentraciones y PO diferentes cuando la conductividad eléctrica es la misma; así, tenemos que se requiere menor cantidad, tanto en mg L⁻¹, como en meq L⁻¹, de NaCl, en comparación con MgSO₄, para obtener la misma CE. Sin

embargo, en la Figura. 6, se observa que el MgSO_4 , genera una presión osmótica menor a la misma CE, en comparación con NaCl y NaHCO_3 , siendo éste último, el que registró la presión osmótica mayor. También se aprecia que a mayor CE, se incrementa la presión osmótica. Esto coincide con lo reportado por Richards (1988) quién indicó que la relación entre la CE y la PO es directamente proporcional y depende del tipo de sal presente en la solución.

Las Figuras 7, 8 y 9 muestran los modelos promedio de las seis sales puras. En cada una de ellas se observa que la R^2 tiene valores inferiores a los obtenidos con los modelos derivados anteriormente por cada sal, debido a que son de menor capacidad predictiva. Así es más conveniente calibrar el modelo $Y = B_1 + X$ por tipo de sal y no por grupo de sales.

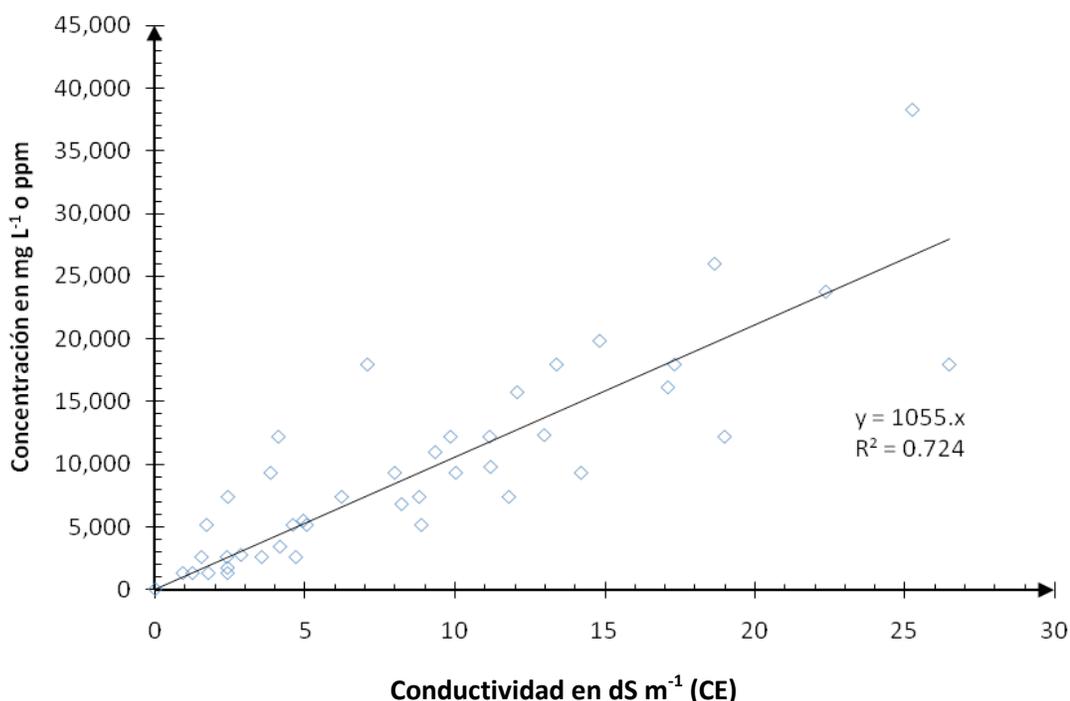


Figura 7 Relación de la concentración de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.

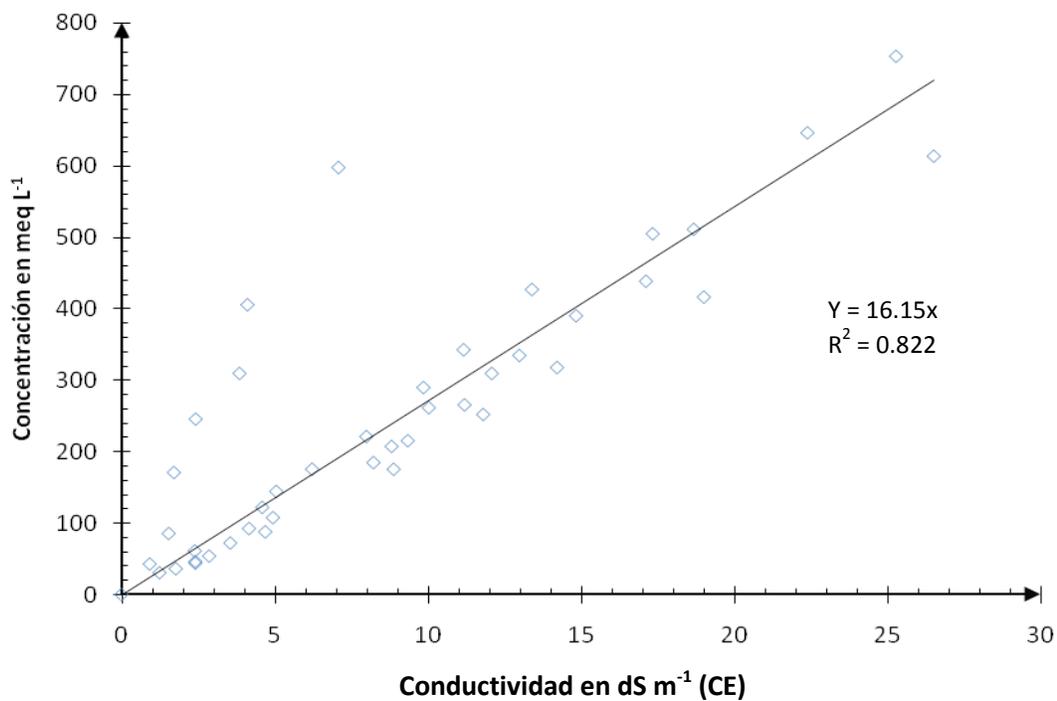


Figura 8 Relación de la concentración de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.

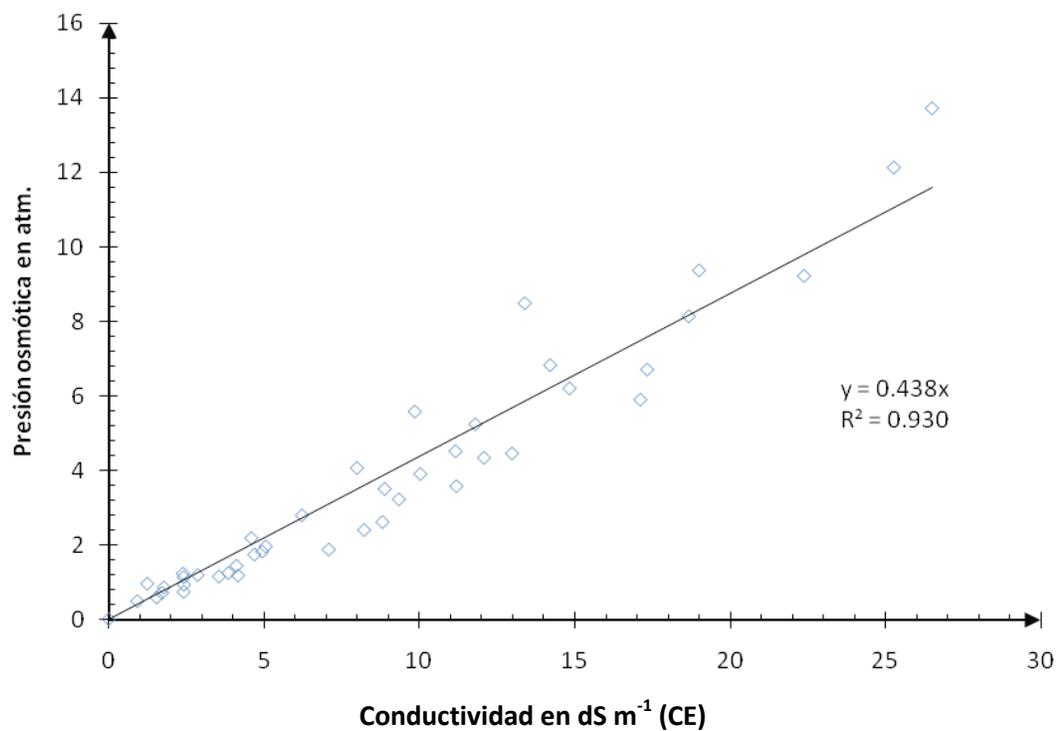


Figura 9 Relación de la presión osmótica de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.

Para el caso de las sales geoquímicas, también se elaboraron curvas de regresión lineal (Figuras. 10; 11 y 12) en las que se relacionó la CE, considerándola como variable independiente, con la concentración y la PO de cada una de las soluciones como variables dependientes, obteniendo los siguientes resultados.

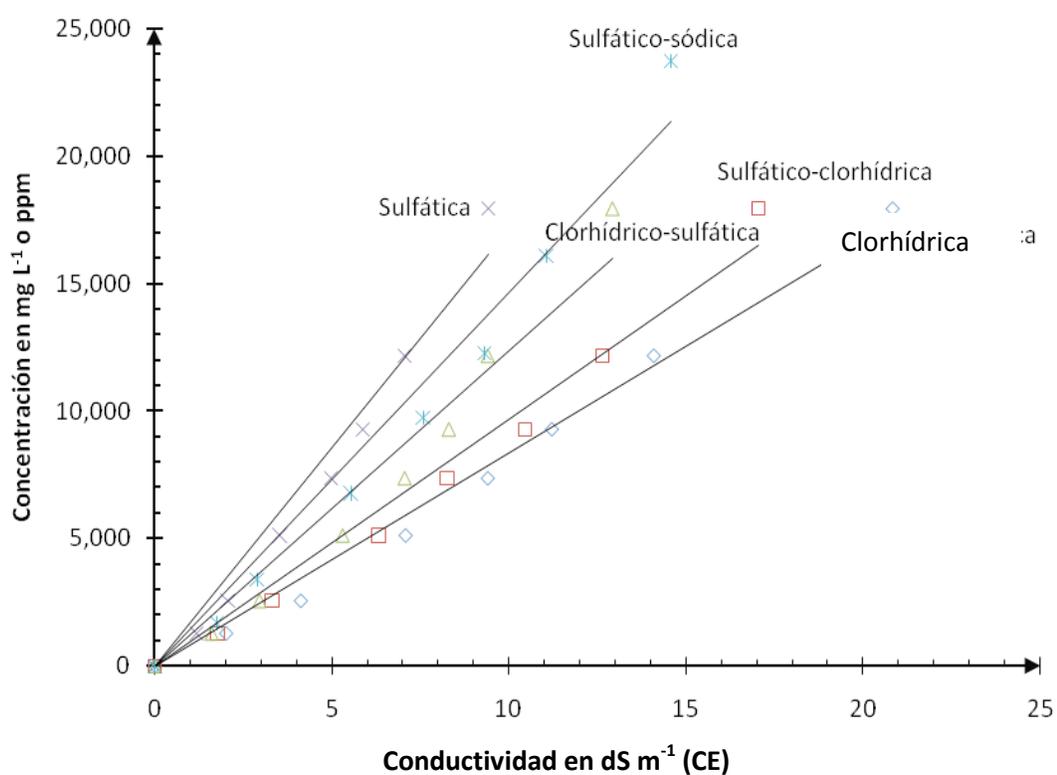


Figura 10 Relación de la concentración de cada sal geoquímica, con la conductividad eléctrica.

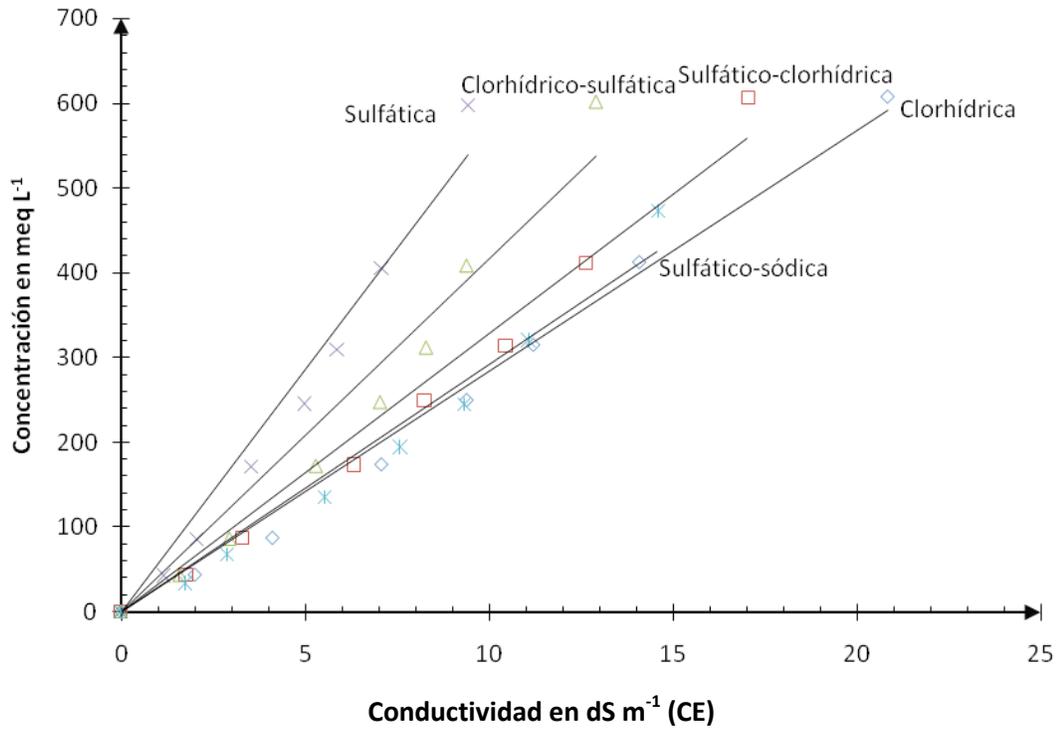


Figura 11 Relación de la concentración de cada sal geoquímica, con la conductividad eléctrica.

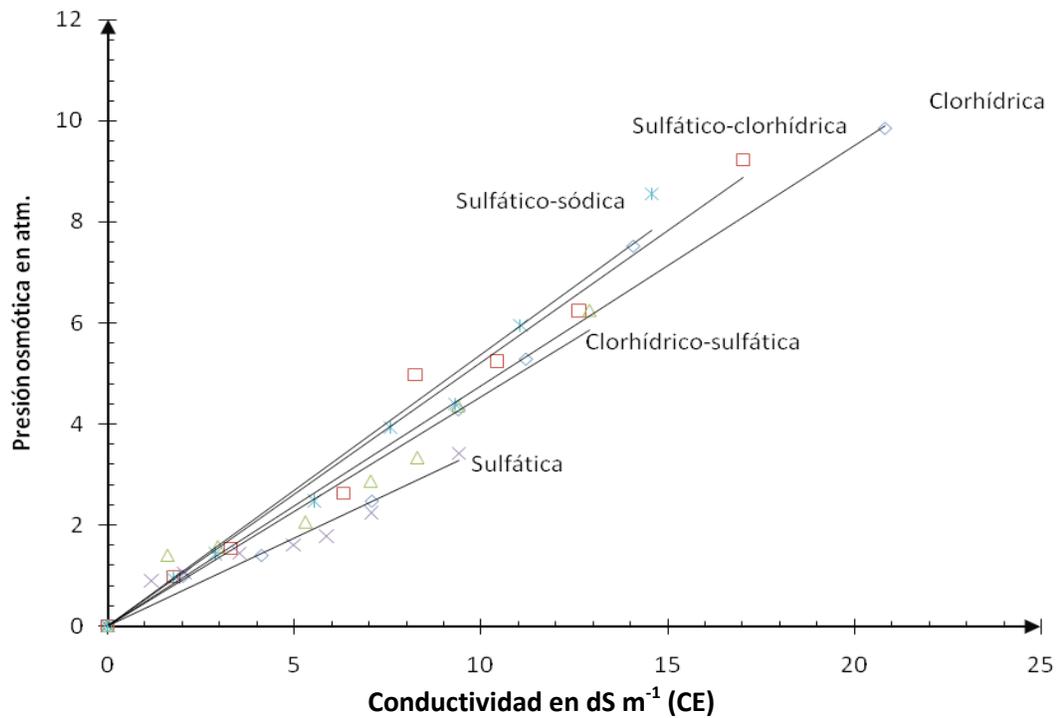


Figura 12 Relación de la presión osmótica de cada sal geoquímicas, con la conductividad eléctrica.

Cuadro 8. Modelo lineal resultante de la concentración, presión osmótica y CE para cada sal geoquímica.

sal	Y = mg L ⁻¹	R ²	Y=meq L ⁻¹	R ²	Y = atm	R ²
7 Clorhídrica	835.9(CE)	0.991	16.36(CE)	0.991	0.475(CE)	0.977
8 Sulfático-clorhídrica	969.1(CE)	0.981	17.77(CE)	0.981	0.521(CE)	0.981
9 Clorhídrico-sulfática	1237(CE)	0.958	18.58(CE)	0.958	0.452(CE)	0.959
10 Sulfática	1716(CE)	0.970	19.84(CE)	0.970	0.347(CE)	0.924
11 Sulfático-sódica	1463(CE)	0.972	15.16(CE)	0.972	0.537(CE)	0.978

Con las figuras anteriores y los datos del modelo lineal (Cuadro 8), se observa que las sales geoquímicas muestran el mismo comportamiento que las sales puras, ya que las concentraciones y PO son diferentes cuando la conductividad eléctrica es la misma; así, tenemos que se requiere menor cantidad, tanto en mg L⁻¹ como en meq L⁻¹ de salinidad Clorhídrica, en comparación con la salinidad sulfática, para obtener la misma CE. Sin embargo, en la Figura. 12 se observa que la salinidad sulfática genera una presión osmótica menor a CE igual, con respecto a la salinidad sulfático-sódica, siendo esta última, la que registró la presión osmótica mayor. También se aprecia que, a mayor CE, se incrementa la presión osmótica. Esto coincide con lo reportado por Richards (1988). Las Figuras 7; 8 y 9 muestran los modelos calibrados para las cinco sales geoquímicas.

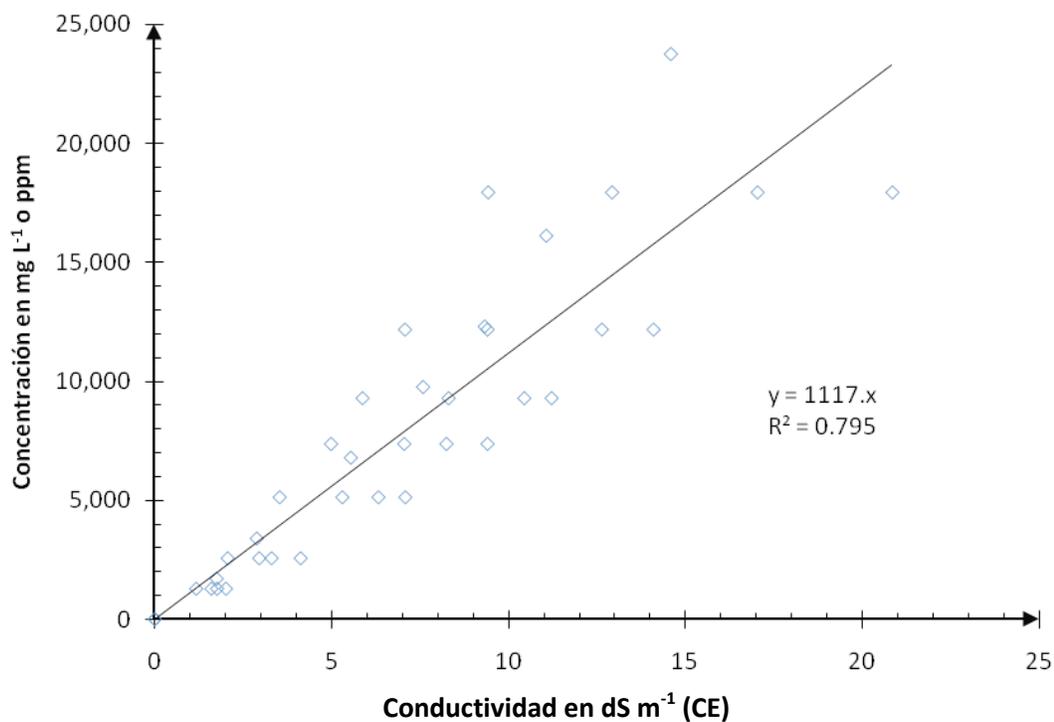


Figura 13 Relación de la concentración de las cinco sales geoquímicas, con la conductividad eléctrica.

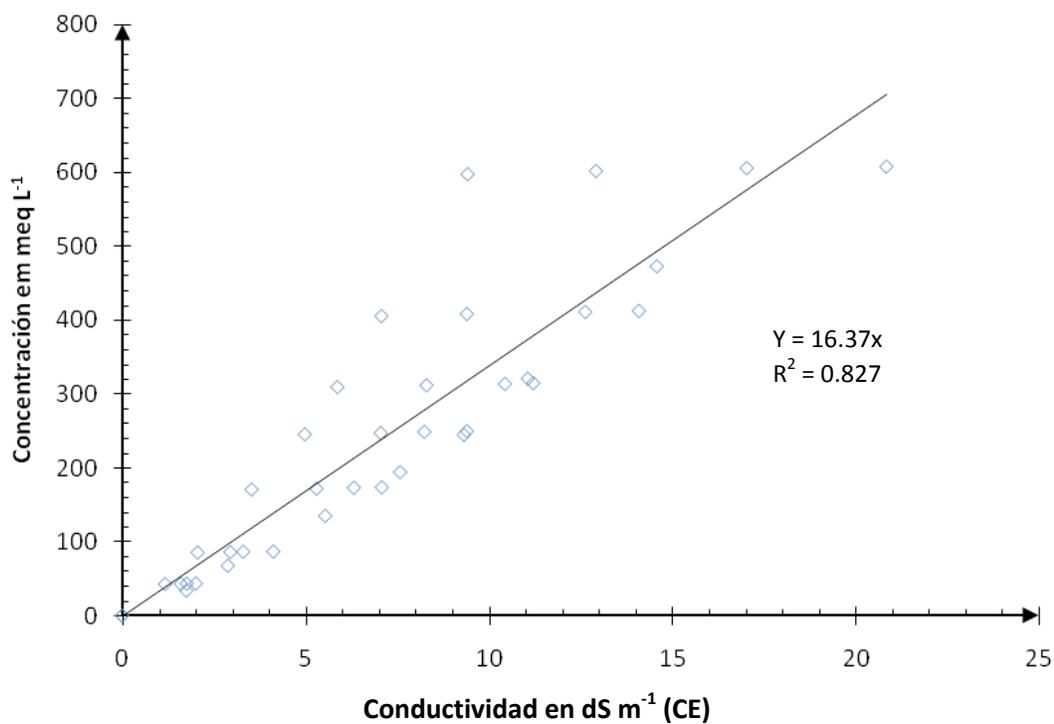


Figura 14 Relación de la concentración de las cinco sales geoquímicas, con la conductividad eléctrica.

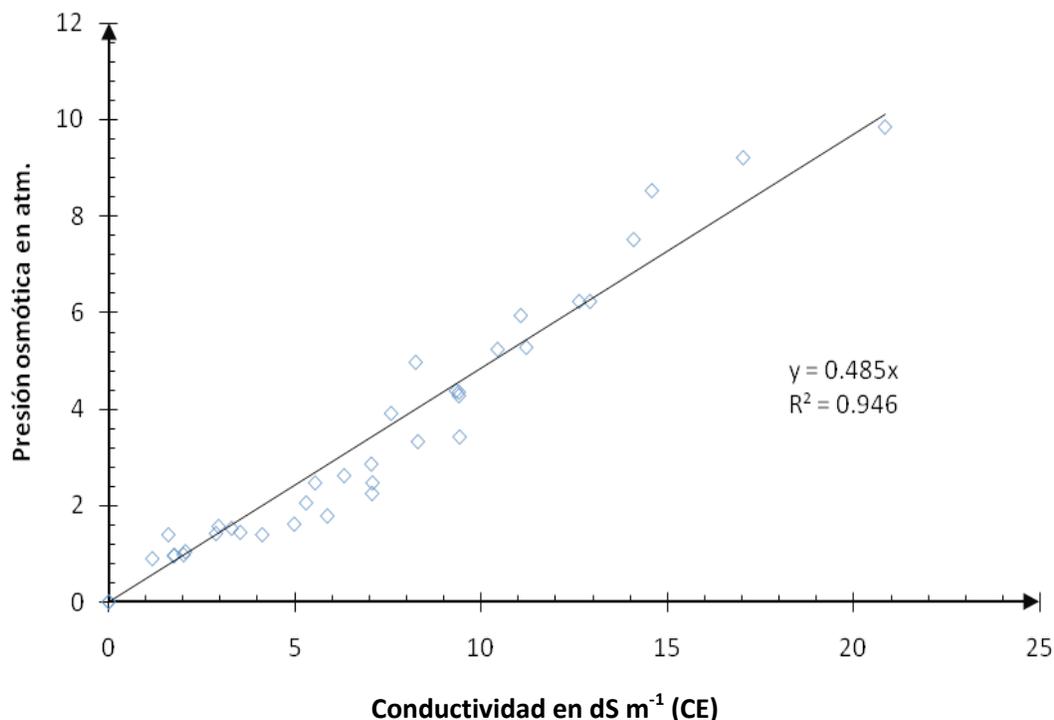


Figura 15 Relación de la presión osmótica de las cinco sales geoquímicas, con la conductividad eléctrica.

Para las sales geoquímicas, el valor de la R^2 se comportó igual que en el caso de las sales puras; por ello, es conveniente calibrar el modelo $Y = B_1 + X$ por tipo de sal geoquímica y no por grupo de sales. Resultados similares reportó Ramírez (1988).

Con base a lo anterior, es de esperarse que las sales NaCl, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, Clorhídrica y Sulfático-clorhídrica, tengan un efecto perjudicial más notorio sobre las semillas por las altas CE que generan. Sin embargo Munns (1993), indica que el daño principal que causan la sales que generan conductividades eléctricas altas en sus soluciones, están relacionados con los efectos osmóticos y se ven reflejados esencialmente, por una reducción en el crecimiento y rendimiento como una consecuencias de la menor disponibilidad de agua para la semilla o plántula. Con base a esta referencia, se espera que sean estas mismas sales, las que afecten a las semillas de los cultivos en estudio, pues generaron el menor potencial osmótico.

Pruebas preliminares de germinación

Debido a la escasa información sobre la tolerancia del pasto Banderita a la salinidad y al manejo que debe hacerse de estas semillas en la etapa de germinación antes de las pruebas. Major y Wright (1974), indican el uso de hipoclorito de sodio para evitar la proliferación de enfermedades fungosas, y, con base a esta referencia, se procedió hacer los siguientes experimentos.

1. Se colocaron semillas de pasto Banderita sobre papel filtro en cajas Petri perfectamente lavadas y se agregó 5 mL de cada solución salina. Es decir sin ningún tratamiento previo a semillas, papel filtro y cajas.
2. Las semillas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 5.25 %, durante 15 minutos, se enjuagaron con agua destilada y se secaron a la estufa a una temperatura de 12 °C. El papel filtro y cajas Petri también se desinfectaron y secaron a la estufa.
3. El papel y cajas se desinfectaron con hipoclorito de sodio, las semillas no recibieron tratamiento alguno.
4. El papel y cajas se desinfectaron con hipoclorito de sodio, las semillas se lavaron con jabón y se secaron a la estufa a una temperatura de 12 °C.

Los Cuadros 9 y 10, muestran los porcentajes de germinación del pasto Banderita, en todas las sales a las que fue sometido. Cada porcentaje es un valor promedio de tres repeticiones por nivel aplicado de sal. La prueba número uno, a pesar de que registró porcentaje de germinación elevado no permitió concluir el experimento hasta los 15 días, pues hubo contaminación por hongos a los 9 días de su establecimiento. En el experimento número dos las semillas se vieron afectadas por el hipoclorito de sodio, ya que fue la evaluación que registró porcentaje de germinación menor, sin embargo, si permitió concluir en buenas condiciones sanitarias el estudio hasta el tiempo establecido. La prueba número cuatro también presentó un porcentaje de germinación, bajo en comparación a la número tres, siendo esta última, la mejor opción para ser tratadas las semillas antes de su germinación, y ésta se tomo como referencia para el tratamiento de las semillas de los otros cultivos.

Cuadro 9. Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita en sales puras.

Sal	Nivel	prueba de germinación			
		1	2	3	4
Testigo	0	90.0	53.3	96.7	86.7
(1) NaCl	1	100.0	40.0	100.0	86.7
	2	90.0	33.3	60.0	43.7
	3	63.3	10.0	46.7	33.3
	4	40.0	16.7	16.7	10.0
	5	30.0	3.7	3.3	3.3
	6	16.7	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.0	0.0	0.0
(2) NaHCO ₃	1	80.0	6.7	50.0	33.3
	2	40.0	0.0	6.7	0.0
	3	6.7	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.0	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.0	0.0	0.0
(3) Na ₂ SO ₄	1	80.0	20.0	70.0	80.0
	2	73.3	23.3	60.0	23.3
	3	66.7	3.3	36.7	23.3
	4	60.0	3.3	10.0	13.3
	5	26.7	3.3	6.7	3.3
	6	20.0	0.0	3.3	0.0
	7	0.00	0.0	0.0	0.0
(4) MgSO ₄	1	80.0	30.0	43.3	66.7
	2	66.7	23.3	36.7	30.0
	3	66.7	23.3	33.3	26.7
	4	63.3	13.3	30.0	16.7
	5	40.0	3.3	23.3	3.3
	6	40.0	0.0	0.0	0.0
	7	26.7	0.0	0.0	0.0
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O	1	83.3	53.3	93.3	83.3
	2	73.3	43.3	50.0	73.3
	3	70.0	43.3	46.7	50.0
	4	66.7	36.7	43.3	26.7
	5	56.7	30.0	43.3	16.7
	6	36.7	26.7	40.0	13.3
	7	16.7	10.0	33.3	3.3
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O	1	76.7	16.7	73.3	70.0
	2	63.3	6.7	36.7	20.0
	3	30.0	3.3	6.7	6.7
	4	30.0	0.0	3.3	3.3
	5	13.3	0.0	3.3	0.0
	6	6.7	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.0	0.0	0.0

Cuando se evalúan los efectos de las sales sobre la germinación, es importante considerar que, en el suelo, es muy difícil encontrar las sales en estado aislado, sino que se presentan asociadas e interactuando entre sí para provocar un efecto determinado sobre los cultivos, debido a ello se consideraron salinidades cualitativas. Así, en el Cuadro 10, se observa que la mezcla de sales favorece la germinación, aun con la presencia del hipoclorito del sodio.

Major y Wright (1974), reportan un porcentaje de germinación de 18 % para semillas inactivas cubiertas, de pasto Banderita (1 año de edad, con glumas, lemas peleas y cariósides) y, el 96 %, para semillas activas, sometidas a 30 °C en 8 h. de luz y 20 °C en 16 h. oscuridad y desinfectadas con hipoclorito de sodio al 5.25 % durante 5 min.

Cuadro 10. Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita en sales geoquímicas

Sal	Nivel	prueba de germinación			
		1	2	3	4
Testigo	0	80.0	76.7	100.0	96.7
(7) Clorhídrica $Cl^-/SO_4^{2-} = 2.5$	1	96.7	70.0	100.0	90.0
	2	96.7	56.7	100.0	76.7
	3	93.3	50.0	100.0	73.3
	4	90.0	50.0	96.7	66.7
	5	73.3	50.0	96.7	53.3
	6	23.3	13.3	86.7	23.3
	7	6.7	0.0	83.3	3.3
(8) Sulfático Clorhídrica $Cl^-/SO_4^{2-} = 1.5$	1	96.7	86.7	90.0	90.0
	2	96.7	86.7	96.7	90.0
	3	93.3	83.3	100.0	86.7
	4	90.0	66.7	86.7	83.3
	5	66.7	56.7	86.7	66.7
	6	6.7	6.7	80.0	56.7
	7	3.3	6.7	80.0	46.7
(9) Clorhídrico Sulfática $Cl^-/SO_4^{2-} = 0.6$	1	70.0	63.3	100.0	96.7
	2	66.7	63.3	100.0	90.0
	3	63.3	63.3	100.0	83.3
	4	60.0	60.0	100.0	70.0
	5	60.0	46.7	86.7	63.3
	6	26.7	13.3	83.3	56.7
	7	16.7	3.3	80.0	43.3
(10) Sulfática $Cl^-/SO_4^{2-} = 0.15$	1	76.7	63.3	100.0	96.7
	2	66.7	53.7	100.0	93.3
	3	50.0	46.3	100.0	80.0
	4	46.7	33.3	93.3	60.0
	5	40.0	30.0	86.7	43.3
	6	23.7	26.7	86.7	36.7
	7	13.7	0.0	73.3	26.7
(11) Sulfático Sódica $HCO_3^-/Cl^-+SO_4^{2-} = 2.0$	1	73.3	43.3	86.7	73.3
	2	70.0	30.0	96.7	53.3
	3	63.3	3.3	66.7	16.7
	4	50.0	0.0	33.3	3.3
	5	50.0	0.0	20.0	0.0
	6	43.3	0.0	13.3	0.0
	7	23.3	0.0	10.0	0.0

Efecto del tipo de sal y su concentración en la germinación

En el Cuadro 11, se presenta el porcentaje de germinación de alfalfa, observando que el 100 % de brote de semillas, se registró a los tres días en el testigo y en el MgSO_4 en los tres niveles más bajos de salinidad; similarmente, lográndose dicho porcentaje en el nivel seis pero, hasta el sexto día. Para $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a los seis días en el primer nivel, llegando hasta el nivel cinco el día 12. Mientras que, en $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, a los seis días, en el nivel dos, hasta llegar al nivel cuatro el día nueve; sin embargo, el nivel uno solo alcanzó el 96.7 % de germinación lo que indica que un incremento en la concentración de esta sal, favoreció el porcentaje de germinación de este cultivo.

El 90 % de germinación se logró en los niveles: tres, para NaCl y Na_2SO_4 ; seis y cinco, para $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, respectivamente. Por otra parte, NaHCO_3 obtuvo el 70 % de germinación a los seis días únicamente en el primer nivel de concentración; es decir, el nivel más bajo; con solo 1.28 g L^{-1} .

Como puede observarse, este cultivo fue tolerante altas concentraciones de MgSO_4 , el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Sin embargo, el NaCl y Na_2SO_4 inhibieron la germinación al 100 %, en los dos niveles de mayor concentración; mientras que NaHCO_3 fue la sal que presentó el menor porcentaje de germinación, pues la inhibió desde el nivel tres, es decir, una concentración de 5.12 g L^{-1} .

En el caso de las sales geoquímicas, el 100 % de germinación se registró en el testigo a los tres días, igual que en las sales puras; en las salinidades clorhídrica y sulfático-clorhídrica, a los nueve días sólo en el nivel más bajo; mientras que, la clorhídrico-sulfática también fue a los nueve días en los dos niveles más bajos de concentración, llegando a dicho porcentaje al nivel tres (5.12 g L^{-1}), pero hasta el día 12. Para la sulfática, sólo el nivel dos (2.56 g L^{-1}), logró el 100 % de germinación a los nueve días; sin embargo, los tres niveles posteriores también obtuvieron dicho porcentaje, pero hasta el día 12, destacando que esta sal permitió un 96.7 % de germinación, hasta el máximo nivel de concentración salina (17.92 g L^{-1}).

La salinidad sulfático-sódica alcanzó un máximo de 93.3 % de germinación, solo en el segundo nivel de concentración (3.39 g L^{-1}) y, a partir del nivel cuatro (9.75 g L^{-1}), inhibió completamente la germinación de las semillas.

La sal MgSO_4 registró los porcentajes de germinación mayores; las sales geoquímicas fueron mejor a las sales puras; mientras que, NaHCO_3 afectó marcadamente la germinación. En cuanto a los niveles de salinidad, las concentraciones más bajas fueron las mejores para la germinación de alfalfa.

La alfalfa es una de las primeras plantas cultivadas exclusivamente para su uso como forraje y cuenta con una considerable cantidad de investigaciones de respuestas a estrés salino en la etapa de germinación, uno de los primeros estudios los hizo Stewar (1898) quien mostró que la alfalfa podría no germinar arriba de 0.5 % de NaCl (-0.28 MPa).

Otros investigadores han usado diferentes niveles de NaCl u otras sales tales como el manitol y polietilenglicol. El porcentaje de germinación se redujo en un 50 % después de siete días con NaCl a 175 mM (-0.58 MPa), Sin embargo, poblaciones utilizadas en zonas áridas mostraron un porcentaje de germinación alto.

En general, los experimentos han demostrado que el porcentaje de germinación de semillas de alfalfa se reduce bajo estrés salino a niveles mayores de 150 mM (-0.49 MPa) y muestran poca o nula germinación arriba de 300 a 500 mM NaCl (de -0.99 a -1.64 MPa; Smith, 1994).

Mass y Hoffman (1977), clasifican a la alfalfa como cultivo moderadamente sensible en conductividades eléctricas entre 2 y 7.9; dS m^{-1} . Sin embargo, estos valores afectan los rendimientos de forraje.

Por su parte, Ayers y Hayward (1948) mostraron que la alfalfa es sensible a la salinidad, durante la germinación, a conductividades eléctricas de 1.5, 4.5, 7.6, 10.5, 13.3 dS m^{-1} y un 50 % de reducción ocurrió a los 7.6 dS m^{-1} . También Esehie (1993), indica que es sensible en la etapa de germinación.

Smith y Dobrenz (1987), indican que la edad de la semilla de alfalfa influye en la tolerancia a la salinidad en la etapa de germinación y ésta, similarmente, se ve afectada al incrementar las concentraciones de NaCl .

Redman (1974), indicó que incrementos en la concentración de NaCl disminuyen la tasa y porcentaje total de germinación en alfalfa.

Uhvits (1946), concluyó que la germinación de alfalfa puede ser afectada por la salinidad a través de efectos osmóticos o toxicidad de iones específicos o ambos. Algunos iones de ciertas sales son tóxicos para el embrión y la plántula, sobre todo, a concentraciones altas, su toxicidad puede ser reflejada en una reducción de la germinación o, es frecuentemente, acompañado por anormalidades en el crecimiento y desarrollo de las semillas.

Cuadro 11. Porcentaje de germinación absoluta de Alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Sal†	Nivel	días					‡	Sal†	días					‡
		3	6	9	12 ^s	15			3	6	9	12 ^s	15	
Testigo	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a	Testigo	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a
(1) NaCl DE	1	90.0	96.7	100.0	100.0	100.0	a	(7) Clorhídrica EF	66.7	76.7	100.0	100.0	b	
	2	90.0	93.3	93.3	93.3	93.3	b		73.3	83.3	83.3	83.3	c	
	3	83.3	90.0	90.0	90.0	90.0	b		40.0	40.0	46.7	46.7	d	
	4	63.3	66.7	66.7	66.7	66.7	c		23.3	26.7	26.7	26.7	de	
	5	23.3	30.0	33.3	33.3	33.3	d		16.7	16.7	23.3	26.7	de	
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	e		13.3	20.0	23.3	23.3	de	
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	e		13.3	13.3	13.3	13.3	e	
(2) NaHCO ₃ G	1	63.3	70.0	76.7	76.7	76.7	b	(8) Sulfático Clorhídrica D	76.7	80.0	100.0	100.0	ab	
	2	26.7	30.0	30.0	30.0	30.0	c		90.0	90.0	90.0	90.0	bc	
	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		66.7	73.3	83.3	90.0	c	
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		63.3	70.0	76.7	90.0	c	
	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		40.0	43.3	46.7	46.7	d	
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		33.3	36.7	36.7	36.7	d	
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		30.0	33.3	33.3	33.3	d	
(3) Na ₂ SO ₄ DE	1	83.3	93.3	93.3	93.3	93.3	b	(9) Clorhídrico Sulfática BC	90.0	96.7	100.0	100.0	ab	
	2	80.0	86.7	96.7	96.7	96.7	b		90.0	93.3	100.0	100.0	ab	
	3	90.0	93.3	93.3	93.3	93.3	b		90.0	93.3	96.7	100.0	b	
	4	46.7	53.3	56.7	56.7	56.7	c		90.0	93.3	96.7	96.7	b	
	5	10.0	16.7	16.7	16.7	16.7	d		73.3	76.7	83.3	93.3	c	
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	e		46.7	53.3	56.7	56.7	d	
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	e		40.0	40.0	46.7	46.7	d	
(4) MgSO ₄ A	1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a	(10) Sulfática BC	73.3	86.7	86.7	86.7	c	
	2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a		83.3	93.3	100.0	100.0	ab	
	3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a		73.3	80.0	96.7	100.0	bc	
	4	96.7	100.0	100.0	100.0	100.0	a		70.0	76.7	93.3	100.0	bc	
	5	96.7	100.0	100.0	100.0	100.0	a		63.3	73.3	90.0	100.0	bc	
	6	83.3	100.0	100.0	100.0	100.0	a		63.3	66.7	83.3	96.7	c	
	7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	b		56.7	66.7	80.0	96.7	c	
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O AB	1	96.7	100.0	100.0	100.0	100.0	a	(11) Sulfático sódica FG	80.0	80.0	80.0	80.0	c	
	2	93.3	93.3	100.0	100.0	100.0	a		93.3	93.3	93.3	93.3	b	
	3	90.0	96.7	100.0	100.0	100.0	a		33.3	40.0	40.0	40.0	d	
	4	73.3	83.3	100.0	100.0	100.0	ab		0.0	0.0	0.0	0.0	e	
	5	76.7	90.0	96.7	100.0	100.0	ab		0.0	0.0	0.0	0.0	e	
	6	73.3	83.3	90.0	96.7	96.7	b		0.0	0.0	0.0	0.0	e	
	7	63.3	70.0	70.0	70.0	70.0	c		0.0	0.0	0.0	0.0	e	
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O C	1	90.0	96.7	96.7	96.7	96.7	bc							
	2	93.3	100.0	100.0	100.0	100.0	ab							
	3	86.7	96.7	100.0	100.0	100.0	ab							
	4	73.3	90.0	100.0	100.0	100.0	abc							
	5	70.0	86.7	90.0	93.3	93.3	c							
	6	43.3	43.3	43.3	43.3	43.3	d							
	7	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	e							

† Prueba de medias entre tipo de sal, ‡ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($P > F = 0.0001$) dentro de la columna. ^s Se omitió el porcentaje de germinación del día 15 por ser igual al día 12.

El 100 % el porcentaje de germinación de avena (Cuadro 12), se presentó en el testigo a los seis días y en $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a los 12 días y solo en el nivel más bajo de concentración (1.70 g L^{-1}); MgSO_4 solo alcanzó el 83.3 % a los nueve días en los dos primeros niveles; las sales restantes, solo lograron el 70 % a los tres días. El $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuvo 100% de germinación solo en el primer nivel de sal (1.28 g L^{-1}); a los seis días NaCl en los dos niveles más bajos de concentración y a los nueve días. Para NaHCO_3 y Na_2SO_4 , en el primer nivel de concentración (1.28 g L^{-1}). Los niveles de mayor concentración inhibieron completamente el brote de semillas en NaCl , Na_2SO_4 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; mientras que, el NaHCO_3 impidió el 100 % de germinación desde el nivel cuatro equivalente a los 7.36 g L^{-1} .

En las sales geoquímicas se observó 100 % de germinación en el testigo, igual que en las sales puras, aunque a los 12 días; en las salinidades clorhídrica y clorhídrico-sulfática se logró el 90 % a los nueve días. Solo en el nivel más bajo de concentración (1.28 g L^{-1}), en el mismo nivel la sulfático-clorhídrica registró el 70 % a los tres días, la sulfática presentó 53.3 % a los nueve días y la sulfático sódica no alcanzó el 50 %. Los niveles de mayor concentración inhibieron 100 % la germinación solo en las salinidades clorhídrica y sulfático-sódica.

Las sales MgSO_4 y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ fueron iguales. Para este cultivo, las sales que afectaron fuertemente la germinación fueron NaHCO_3 , Na_2SO_4 , salinidad sulfática y sulfático-sódica, fueron iguales ($P > 0.05$).

Ayers y Wescot (1987); Mass y Hoffman (1977) reportaron que la avena es un cultivo altamente tolerante a la salinidad en la etapa de crecimiento vegetativo. Saini (1971), indica que en condiciones de suelo, los niveles de salinidad afectaron la germinación después de los 15 días y que se logro el 85 % de germinación de avena en una solución de NPK y NaCl a conductividades eléctricas de 2.5 a 20 dS m^{-1} , considerando a este cultivo como tolerante.

Cuadro 12. Porcentaje de germinación absoluta de Avena (*Avena sativa* L.)

Sal†	Nivel	días					¶	Sal†	días					¶
		3	6	9	12 ^s	¶			3	6	9	12 ^s	¶	
Testigo	0	66.7	100.0	100.0	100.0	a	Testigo	83.3	96.7	96.7	100.0	a		
(1) NaCl CD	1	46.7	73.3	73.3	73.3	b	(7) Clorhídrica BC	76.7	76.7	96.7	96.7	b		
	2	36.7	70.0	76.7	76.7	b		33.3	50.0	56.7	56.7	c		
	3	16.7	26.7	26.7	26.7	c		30.0	46.7	53.3	56.7	cd		
	4	6.7	20.0	23.3	23.3	c		26.7	46.7	46.7	46.7	cd		
	5	6.7	16.7	23.3	23.3	c		10.0	23.3	40.0	43.3	de		
	6	3.3	3.3	3.3	3.3	d		0.0	13.3	23.3	23.3	e		
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	e		0.0	0.0	0.0	0.0	f		
(2) NaHCO ₃ D	1	46.7	66.7	70.0	70.0	b	(8) Sulfático Clorhídrica B	70.0	70.0	70.0	70.0	b		
	2	16.7	23.3	26.7	36.7	c		60.0	60.0	60.0	60.0	bc		
	3	13.3	23.3	23.3	23.3	cd		23.3	60.0	60.0	60.0	c		
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	d		13.3	53.3	53.3	53.3	cd		
	5	0.0	0.0	0.0	0.0	d		6.7	50.0	50.0	50.0	cd		
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	d		3.3	36.7	40.0	40.0	d		
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	d		0.0	0.0	6.7	6.7	e		
(3) Na ₂ SO ₄ D	1	43.3	66.7	73.3	76.7	b	(9) Clorhídrico Sulfática BC	56.7	73.3	90.0	90.0	b		
	2	23.3	26.7	36.7	50.0	c		13.3	70.0	83.3	83.3	bc		
	3	16.7	30.0	33.3	36.7	cd		6.7	63.3	63.3	63.3	cd		
	4	10.0	30.0	36.7	36.7	cd		3.3	46.7	50.0	50.0	ed		
	5	3.3	13.3	23.3	23.3	de		0.0	33.3	33.3	33.3	ef		
	6	3.3	10.0	10.0	10.0	e		0.0	0.0	13.3	16.7	f		
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	f		0.0	0.0	13.3	13.3	f		
(4) MgSO ₄ A	1	43.3	76.7	83.3	83.3	b	(10) Sulfática D	0.0	30.0	53.3	53.3	b		
	2	36.7	73.3	83.3	83.3	b		0.0	30.0	26.7	46.7	bc		
	3	33.3	70.0	76.7	76.7	bc		0.0	20.0	36.7	36.7	bcd		
	4	26.7	63.3	73.3	73.3	bc		0.0	13.3	33.3	33.3	cde		
	5	23.3	56.7	70.0	70.0	c		0.0	13.3	30.0	30.0	cde		
	6	23.3	53.3	70.0	70.0	c		0.0	6.7	20.0	20.0	de		
	7	20.0	26.7	40.0	40.0	d		0.0	6.7	13.3	13.3	e		
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O A	1	30.0	86.7	96.7	100.0	ab	(11) Sulfático sódica D	46.7	46.7	46.7	46.7	b		
	2	0.0	83.3	86.7	86.7	bc		26.7	26.7	26.7	26.7	c		
	3	0.0	76.7	83.3	86.7	c		20.0	20.0	20.0	20.0	c		
	4	0.0	70.0	80.0	80.0	c		13.3	16.7	16.7	16.7	cd		
	5	0.0	40.0	40.0	40.0	d		6.7	13.3	16.7	16.7	cd		
	6	0.0	36.7	36.7	36.7	d		0.0	0.0	0.0	0.0	d		
	7	0.0	23.3	30.0	30.0	d		0.0	0.0	0.0	0.0	d		
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O D	1	70.0	76.7	76.7	76.7	b								
	2	10.0	56.7	60.0	60.0	c								
	3	3.3	26.7	30.0	43.3	cd								
	4	0.0	3.3	6.7	6.7	e								
	5	0.0	3.3	3.3	3.3	e								
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	f								
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	f								

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($P > F = 0.0001$) dentro de la columna. ^s Se omitió el porcentaje de germinación del día 15 por ser igual al día 12.

El porcentaje máximo de germinación de pasto Banderita en las sales puras fue del 96.7 % para el testigo a los 15 días y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ registró el 90 % a los 12 días; el 70 % se observó en Na_2SO_4 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, a los 15 días, NaHCO_3 fue de un 50 %, también a los 15 días y el MgSO_4 no alcanzó el 50 % de germinación. La única sal que permitió el brote de semillas aun a altas concentraciones fue $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ya que las demás inhibieron la germinación en los dos niveles más altos de concentración, y en el NaHCO_3 la inhibición fue desde el nivel tres, correspondiente a una concentración de 5.12 g L^{-1} (Cuadro 13).

En cuanto a la mezcla de sales, se observó 100 % de germinación el día seis, en el testigo; en la salinidad clorhídrico-sulfática, en los cuatro niveles más bajos de concentración y en la salinidad sulfático-clorhídrica sólo en el nivel tres (5.12 g L^{-1}), lo que indica que un incremento en la concentración de esta sal, favoreció el porcentaje de germinación de este cultivo; a los tres días, la salinidad sulfática, en los tres primeros niveles y la salinidad clorhídrica, los dos primeros niveles de concentración, resultaron en 100 % de germinación desde el día tres.

Se aprecia en todas las sales que, las concentraciones altas disminuyen el porcentaje de germinación, pero no lo inhiben, ya que en las sales clorhídrica, sulfático-clorhídrica y clorhídrico-sulfática se observó un 80 % de germinación en el máximo nivel de concentración; mientras que para la salinidad sulfática, al mismo nivel, solo se obtuvo el 73.3 %.

En este cultivo, se observa que, estadísticamente, la mezcla de sales fue mejor para la germinación, en comparación a las sales puras. Las salinidades clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfática no mostraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$), y NaCl fue similar a MgSO_4 . Mientras que, la sal de mayor efecto sobre el brote de semillas fue el NaHCO_3 .

Maas (1986); Marcum (1999), indican que el pasto Banderita es considerado como un cultivo sensible a la salinidad. Esqueda *et al.* (2005), reportan 86 % y rápida velocidad de germinación en sus primeras etapas de desarrollo y mayor desarrollo de la parte aérea en relación con la raíz, lo cual trae como consecuencia mayor transpiración y esfuerzo de la raíz para sostener la parte aérea.

Una rápida germinación puede ser un factor positivo o negativo en el establecimiento de la especie, dependiendo de la cantidad y distribución de la lluvia. Sin embargo, un problema común que enfrentan los pastizales en zonas áridas, caracterizados por breves periodos de humedad en el suelo, es que están sujetos a tasas altas de evaporación, los potenciales de agua en la superficie del suelo no son mantenidos arriba de -1.5 MPa, por extensos periodos en el verano (Simanton y Jordan, 1986).

Cuadro 13. Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita (*B. curtipendula* (Michx.) Torr.)

Sal†	Nivel	días					¶	Sal†	días				¶
		3	6	9	12	15			3	6	9	12 [§]	
Testigo	0	40.0	66.7	83.3	93.3	96.7	a	Testigo	96.7	100.0	100.0	100.0	a
(1) NaCl DE	1	26.7	50.0	93.3	96.7	100.0	a	(7) Clorhídrica A	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	2	0.0	33.3	46.7	56.7	60.0	b		100.0	100.0	100.0	100.0	a
	3	0.0	26.7	36.7	40.0	46.7	b		93.3	96.7	96.7	100.0	ab
	4	0.0	0.0	0.0	16.7	16.7	b		90.0	96.7	96.7	96.7	abc
	5	0.0	0.0	0.0	3.3	3.3	b		53.3	93.3	93.3	96.7	bcd
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	c		66.7	80.0	86.7	86.7	cd
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	c		60.0	83.3	83.3	83.3	d
(2) NaHCO ₃ G	1	0.0	36.7	43.3	46.7	50.0	b	(8) Sulfático Clorhídrica B	73.3	90.0	90.0	90.0	bc
	2	0.0	0.0	6.7	6.7	6.7	c		96.7	96.7	96.7	96.7	ab
	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		90.0	100.0	100.0	100.0	a
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		66.7	83.3	86.7	86.7	c
	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		60.0	80.0	86.7	86.7	c
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		43.3	73.3	73.3	80.0	c
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		43.3	70.0	80.0	80.0	c
(3) Na ₂ SO ₄ EF	1	0.0	50.0	53.3	60.0	70.0	b	(9) Clorhídrico Sulfática A	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	2	6.7	50.0	56.7	56.7	60.0	b		86.7	100.0	100.0	100.0	a
	3	0.0	20.0	36.7	36.7	36.7	bc		100.0	100.0	100.0	100.0	a
	4	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0	c		100.0	100.0	100.0	100.0	a
	5	0.0	3.3	6.7	6.7	6.7	c		76.7	86.7	86.7	86.7	b
	6	0.0	0.0	3.3	3.3	3.3	c		73.3	83.3	83.3	83.3	b
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		60.0	80.0	80.0	80.0	b
(4) MgSO ₄ DE	1	33.3	40.0	43.3	43.3	43.3	b	(10) Sulfática A	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	2	6.7	36.7	36.7	36.7	36.7	b		100.0	100.0	100.0	100.0	a
	3	0.0	33.3	33.3	33.3	33.3	b		100.0	100.0	100.0	100.0	a
	4	0.0	20.0	30.0	30.0	30.0	bc		93.3	93.3	93.3	93.3	b
	5	0.0	20.0	23.3	23.3	23.3	bc		60.0	86.7	86.7	86.7	c
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		60.0	86.7	86.7	86.7	c
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d		60.0	73.3	73.3	73.3	c
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O D	1	0.0	43.3	50.0	90.0	93.3	ab	(11) Sulfático sódica C	86.7	86.7	86.7	86.7	b
	2	3.3	36.7	50.0	50.0	50.0	ab		73.3	96.7	96.7	96.7	b
	3	0.0	36.7	46.7	46.7	46.7	ab		46.7	66.7	66.7	66.7	c
	4	0.0	33.3	43.3	43.3	43.3	b		30.0	30.0	33.3	33.3	d
	5	0.0	33.3	33.3	43.3	43.3	b		20.0	20.0	20.0	20.0	de
	6	0.0	26.7	26.7	36.7	40.0	b		13.3	13.3	13.3	13.3	de
	7	0.0	3.3	13.3	33.3	33.3	b		10.0	10.0	10.0	10.0	e
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O FG	1	0.0	46.7	56.7	63.3	73.3	b						
	2	0.0	20.0	23.3	36.7	36.7	bc						
	3	0.0	0.0	3.3	3.3	6.7	c						
	4	0.0	0.0	3.3	3.3	3.3	c						
	5	0.0	0.0	0.0	3.3	3.3	c						
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d						
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	d						

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($P > F = 0.0001$) dentro de la columna. § Se omitió el porcentaje de germinación del día 15 por ser igual al día 12.

Para frijol, el brote de semillas en el testigo de sales puras fue menor de 50 %; lográndose en la sal MgSO_4 este mismo porcentaje a los seis días y, alcanzando un máximo del 63.3 % en el nivel más bajo de concentración salina (1.28 g L^{-1}) a los 12 días; las sales NaCl y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ mostraron el 50 % de germinación a los 12 días. en el primer nivel de salinidad; la sal $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a partir del día seis hasta el día nueve obtuvo dicho porcentaje en los dos niveles más bajos de concentración. El NaHCO_3 y Na_2SO_4 no consiguieron este valor en el brote de semillas, ni a baja concentración. La inhibición de la germinación ocurrió a concentración alta para NaCl , NaHCO_3 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; mientras que en las otras tres sales puras, el porcentaje de germinación sólo disminuyó (Cuadro 14).

En las sales geoquímicas también en el testigo se registró un porcentaje de germinación bajo, logrando éste, únicamente 56.7 % a los 12d. La salinidad clorhídrico-sulfática presentó el brote de semillas mayor con un 86.7 % a los 12 días, en el primer nivel de concentración, es decir a 1.28 g L^{-1} y permitió mayor brote de semillas a concentraciones altas de dicha sal. La salinidad sulfática obtuvo un 70% a los nueve días en el nivel dos, por lo que un ligero incremento en la concentración de esta sal, favoreció el brote de semillas, algo similar ocurrió en la salinidad clorhídrica y sulfático-clorhídrica, en donde se alcanzó un máximo de 66.7 % a los 12 y nueve días, respectivamente, en esta última, en el nivel dos, y consiguiéndose el 50 % hasta el nivel tres a los días seis y 12. La salinidad sulfático-sódica mostró 53.3 % la germinación en el primer nivel (1.70 g L^{-1}) a los seis días y esta única sal a su máxima concentración, inhibió la germinación.

Para este cultivo la mejor sal fue la clorhídrico-sulfática ($P < 0.05$), mientras que, entre las salinidades clorhídrica, sulfático-clorhídrica y el MgSO_4 no hay diferencias ($P > 0.05$), así como entre $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y sulfático-sódica ($P > 0.05$), y, nuevamente, NaHCO_3 fue la que afectó más la germinación.

Mass y Hoffman (1977); Richards (1988) clasifican al frijol como sensible en conductividades eléctricas entre 1.0 y 19 dS m^{-1} , sobre el rendimiento de la semilla. Sin embargo Guerrier (1993), indica que el frijol es un cultivo tolerante durante la germinación.

Cuadro 14. Porcentaje de germinación absoluta de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Sal†	Nivel	días					¶	Sal†	días				¶
		3	6	9	12	15			3	6	9	12 [§]	
Testigo	0	26.7	36.7	36.7	36.7	36.7	abc	Testigo	23.3	33.3	36.7	56.7	bcd
(1) NaCl DE	1	26.7	40.0	46.7	53.3	53.3	a	(7) Clorhídrica C	23.3	26.7	30.0	43.3	bc
	2	36.7	40.0	40.0	40.0	40.0	ab		30.0	40.0	50.0	66.7	a
	3	20.0	23.3	23.3	30.0	36.7	cd		43.3	50.0	50.0	50.0	a
	4	16.7	26.7	33.3	33.3	33.3	cd		26.7	30.0	30.0	33.3	bc
	5	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	d		23.3	30.0	30.0	30.0	bcd
	6	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	d		20.0	30.0	30.0	30.0	cd
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	e		6.7	13.3	13.3	20.0	d
(2) NaHCO ₃ F	1	26.7	26.7	26.7	30.0	30.0	b	(8) Sulfático Clorhídrica C	40.0	46.7	50.0	53.3	ab
	2	16.7	20.0	20.0	26.7	26.7	c		30.0	53.3	66.7	66.7	a
	3	6.7	13.3	20.0	20.0	20.0	cd		30.0	33.3	33.3	50.0	bc
	4	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	d		26.7	26.7	33.3	33.3	c
	5	13.3	13.3	16.7	16.7	16.7	d		23.3	33.3	33.3	33.3	c
	6	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	d		23.3	30.0	30.0	30.0	c
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	e		6.7	6.7	6.7	6.7	d
(3) Na ₂ SO ₄ EF	1	20.0	26.7	26.7	30.0	30.0	b	(9) Clorhídrico Sulfática A	50.0	60.0	70.0	86.7	a
	2	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	b		46.7	63.3	73.3	73.3	ab
	3	20.0	26.7	30.0	30.0	30.0	b		46.7	56.7	63.3	66.7	bc
	4	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	b		40.0	43.3	53.3	60.0	cd
	5	13.3	20.0	20.0	20.0	20.0	c		30.0	46.7	53.3	56.7	d
	6	3.3	16.7	16.7	16.7	16.7	c		40.0	43.3	46.7	53.3	de
	7	3.3	6.7	6.7	6.7	6.7	d		30.0	30.0	33.3	43.3	b
(4) MgSO ₄ C	1	43.3	53.3	53.3	63.3	63.3	a	(10) Sulfática B	40.0	53.3	53.3	66.7	ab
	2	33.3	40.0	43.3	50.0	50.0	b		50.0	60.0	70.0	70.0	a
	3	36.7	40.0	40.0	46.7	46.7	b		33.3	40.0	50.0	53.3	bc
	4	16.7	33.3	33.3	46.7	46.7	bc		33.3	43.3	46.7	46.7	c
	5	13.3	20.0	33.3	40.0	40.0	c		16.7	40.0	46.7	46.7	cd
	6	20.0	26.7	33.3	36.7	36.7	c		43.3	43.3	43.3	43.3	c
	7	13.3	13.3	13.3	16.7	16.7	d		23.3	26.7	33.3	36.7	d
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O CD	1	23.3	50.0	53.3	53.3	53.3	a	(11) Sulfático sódica CD	46.7	53.3	53.3	56.7	a
	2	33.3	43.3	50.0	50.0	50.0	a		30.0	30.0	36.7	36.7	bc
	3	20.0	26.7	33.3	40.0	40.0	bc		26.7	30.0	36.7	36.7	bc
	4	30.0	33.3	33.3	36.7	36.7	b		26.7	30.0	33.3	36.7	bc
	5	13.3	30.0	30.0	30.0	30.0	cd		20.0	33.3	33.3	33.3	c
	6	13.3	20.0	23.3	23.3	23.3	de		13.3	16.7	20.0	20.0	d
	7	3.3	16.7	16.7	20.0	20.0	e		0.0	0.0	0.0	0.0	e
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O E	1	33.3	46.7	46.7	53.3	53.3	a						
	2	33.3	36.7	36.7	40.0	40.0	b						
	3	23.3	23.3	26.7	33.3	33.3	c						
	4	20.0	20.0	20.0	26.7	26.7	cd						
	5	10.0	13.3	13.3	23.3	23.3	de						
	6	10.0	10.0	13.3	16.7	16.7	e						
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	f						

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($P > F = 0.0001$) dentro de la columna. § Se omitió el porcentaje de germinación del día 15 por ser igual al día 12.

Para maíz, que la germinación máxima (96.7 %) se registró a los seis días en MgSO_4 sólo en el nivel más bajo de concentración salina (1.28 g L^{-1}); 93.3 % se obtuvo en el testigo a nueve días; 90 % de germinación, se presentó en Na_2SO_4 , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a los seis días y también en el primer nivel de salinidad: Se alcanzó 80 % para NaCl y NaHCO_3 a seis días en los dos niveles más bajos de salinidad. Sin embargo, aunque no se observó 100 % de germinación, este cultivo soportó concentraciones salinas altas, alcanzando arriba del 50 % de germinación a una concentración de 17.92 g L^{-1} el día tres en las sales Na_2SO_4 y MgSO_4 ; la sal NaCl obtuvo este porcentaje hasta el día 12; las sales: $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ el día nueve, a una concentración de 16.10 y 25.96 g L^{-1} respectivamente y NaHCO_3 a los tres días, a 9.28 g L^{-1} (Cuadro 15).

Para el caso de las sales cualitativas, el porcentaje de germinación máximo (96.7 %) se registró en el testigo y la salinidad sulfático-clorhídrica a los seis días, sin embargo, esta última, a partir del día tres en los dos niveles bajos de concentración mostró 93.3 %. Las salinidades clorhídrica y sulfática permitieron un brote de semillas arriba del 80 % en los tres primeros niveles de salinidad; la sulfático-sódica hasta el nivel cuadro (9.75 g L^{-1}) y la salinidad clorhídrico-sulfática, llegó a dicho porcentaje el día seis, en los dos primeros niveles de salinidad, permitiendo un 90 % el día 9 a la concentración de 1.28 g L^{-1} . Al igual que en las sales puras, este cultivo soportó concentraciones salinas altas. Así, tenemos arriba del 50 % de brote de semillas, desde el tercer día en todas las salinidades excepto en la salinidad clorhídrico-sulfática que sólo alcanzó un 40 % de germinación en la concentración máxima (17.92 g L^{-1}).

En este cultivo, la mejor sal fue la sulfático-clorhídrica ($P < 0.05$) y las sales NaHCO_3 y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ fueron las de porcentaje de germinación menor; entre ellas, no hubo diferencia ($P > 0.05$), las sales clorhídrica y sulfática fueron iguales, lo mismo que las sales Na_2SO_4 y la salinidad clorhídrico-sulfática.

Hayward y Wadleigh (1949), reportaron un 93 % de germinación en maíz a 10 atm de presión osmótica, considerado como tolerante en esta etapa. Por su parte, Mass y Hoffman (1977), clasifican al maíz como cultivo moderadamente sensible en conductividades eléctricas entre 1.7 y 12 dS m^{-1} .

Cuadro 15. Porcentaje de germinación absoluta de maíz (*Zea mays L.*)

Sal†	Nivel	días					‡	Sal†	días			
		3	6	9	12 [§]	‡			3	6	9 [§]	‡
Testigo	0	56.7	66.7	93.3	93.3	ab	Testigo	93.3	96.7	96.7	a	
(1) NaCl DE	1	80.0	83.3	86.7	86.7	a	(7) Clorhídrica AB	86.7	93.3	93.3	a	
	2	66.7	80.0	80.0	80.0	ab		83.3	86.7	86.7	a	
	3	63.3	76.7	76.7	80.0	abc		83.3	83.3	83.3	ab	
	4	50.0	73.3	73.3	73.3	bcd		76.7	83.3	86.7	abc	
	5	43.3	63.3	63.3	73.3	cd		66.7	70.0	70.0	bcd	
	6	40.0	53.3	60.0	60.0	de		60.0	70.0	70.0	cd	
	7	6.7	43.3	43.3	60.0	e		50.0	60.0	60.0	d	
(2) NaHCO ₃ F	1	66.7	80.0	80.0	80.0	ab	(8) Sulfático Clorhídrica A	93.3	96.7	96.7	a	
	2	83.3	83.3	83.3	83.3	a		93.3	93.3	93.3	ab	
	3	56.7	66.7	70.0	70.0	bc		60.0	90.0	90.0	bc	
	4	56.7	63.3	63.3	63.3	c		80.0	83.3	86.7	cd	
	5	53.3	60.0	60.0	63.3	cd		66.7	80.0	80.0	cd	
	6	43.3	43.3	43.3	43.3	d		60.0	73.3	76.7	de	
	7	13.3	26.7	26.7	26.7	e		53.3	63.3	63.3	e	
(3) Na ₂ SO ₄ CD	1	73.3	90.0	93.3	93.3	a	(9) Clorhídrico Sulfática CD	86.7	86.7	90.0	b	
	2	73.3	83.3	86.7	86.7	ab		76.7	86.7	86.7	b	
	3	66.7	80.0	80.0	80.0	b		73.3	76.7	83.3	c	
	4	60.0	73.3	73.3	76.7	bc		73.3	76.7	76.7	c	
	5	66.7	73.3	73.3	73.3	bc		60.0	60.0	66.7	d	
	6	60.0	60.0	60.0	60.0	cd		53.3	53.3	53.3	e	
	7	50.0	53.3	53.3	53.3	d		40.0	40.0	40.0	f	
(4) MgSO ₄ BC	1	86.7	96.7	96.7	96.7	a	(10) Sulfática AB	80.0	83.3	83.3	b	
	2	80.0	86.7	93.3	93.3	ab		83.3	83.3	86.7	c	
	3	73.3	76.7	76.7	76.7	cd		80.0	80.0	80.0	c	
	4	40.0	73.3	73.3	76.7	cd		76.7	76.7	76.7	c	
	5	73.3	70.0	70.0	70.0	cd		73.3	73.3	73.3	d	
	6	70.0	70.0	70.0	70.0	cd		66.7	66.7	66.7	de	
	7	63.3	66.7	66.7	66.7	d		60.0	60.0	60.0	e	
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O F	1	70.0	90.0	90.0	90.0	a	(11) Sulfático sódica BC	83.3	93.3	93.3	c	
	2	56.7	73.3	73.3	73.3	b		83.3	83.3	90.0	b	
	3	50.0	70.0	70.0	70.0	bc		86.7	86.7	90.0	d	
	4	46.7	53.3	63.3	63.3	bcd		80.0	83.3	86.7	e	
	5	46.7	53.3	56.7	56.7	cde		73.3	73.3	73.3	f	
	6	26.7	46.7	53.3	53.3	de		66.7	70.0	70.0	g	
	7	36.7	36.7	36.7	36.7	e		63.3	63.3	63.3	h	
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O EF	1	83.3	90.0	90.0	90.0	a						
	2	76.7	83.3	86.7	86.7	a						
	3	70.0	83.3	83.3	86.7	a						
	4	33.3	63.3	70.0	70.0	b						
	5	30.0	56.7	66.7	66.7	cb						
	6	16.7	40.0	53.3	53.3	cd						
	7	0.0	26.7	36.7	36.7	d						

† Prueba de medias entre tipo de sal, ‡ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($P > F = 0.0001$) dentro de la columna. § Se omitió el porcentaje de germinación del día 15 para sales puras por ser igual al día 12 y el porcentaje del los días 15 y 12 en sales geoquímicas por ser igual al día 9.

La germinación del pasto Ballico anual, mostró 100 % en el testigo, a los seis días; en MgSO_4 , en los niveles 1 y 3; en la sal $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a los seis días, en el primer nivel, llegando hasta el nivel dos el día nueve; en $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a los seis días, en el nivel uno (1.28 g L^{-1}); el 90 % de germinación se logró en el NaCl a los nueve días solo a la concentración de 2.56 g L^{-1} , lo que indica que un incremento ligero en la concentración de esta sal, favoreció el porcentaje de germinación de este cultivo.

El Na_2SO_4 , en el nivel bajo de salinidad, llegó al 80 % el día nueve; un incremento en la concentración del NaHCO_3 permitió 66.7 % de germinación el día nueve. La sal MgSO_4 registró, a su máximo nivel de concentración, arriba del 50 % de brote de semillas a los nueve días; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a una concentración de 16.10 g L^{-1} , alcanzó 80 % a los seis días y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a los nueve días, obtuvo un 70 %, con una concentración de 15.71 g L^{-1} ; sin embargo, a los mismos días, el Na_2SO_4 sólo mostró el 60 % a de 5.12 g L^{-1} . Las sales NaCl y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ inhibieron la germinación al 100 % en los dos niveles de mayor concentración y, el NaHCO_3 , la inhibió desde el nivel 5, es decir con una concentración de 9.28 g L^{-1} (Cuadro 16).

Para las sales geoquímicas el 100 % de germinación se registró en el testigo a los seis días, igual que en las sales puras; en la salinidad clorhídrica y sulfático-clorhídrica, este porcentaje se obtuvo en los niveles uno, dos y tres el mismo día y llegado hasta el nivel 6 (12.16 g L^{-1}) el día 12; en la salinidad clorhídrico-sulfática los tres primeros niveles de salinidad permitieron el 100 % del brote de semillas a los nueve días, en la salinidad sulfática en los dos niveles más bajo de sal y en las sulfático-sódica solo a la concentración de (1.70 g L^{-1}). A su nivel máximo de concentración la salinidad sulfático-clorhídrica llegó a 93.3 % de germinación a los 12 días. La salinidad clorhídrico-sulfática y sulfática permitieron 60 % y, la salinidad sulfático-sódica, inhibió completamente la germinación.

En este cultivo, la mejor sal fue la clorhídrico-sulfática ($P < 0.05$), entre las salinidades clorhídrica, sulfático-clorhídrica y el MgSO_4 no hay diferencias ($P > 0.05$), así como las sales $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y sulfática; y, nuevamente, la sal NaHCO_3 fue la que afectó más la germinación fue igual a el NaCl y sulfático-sódica ($P > 0.05$).

Mass y Hoffman (1977), clasifican a pasto (*Brimus inermis*, *Phalaris arundinacea*, *Phalaris tuberosa*, *Lolium perenne*, *Sorghum sudanens* , *Agropyron trachycaulomy* *Agropyron desertorum*) como moderadamente tolerantes y su tolerancia varía dependiendo de la especie, su conductividades eléctricas se encuentran entre 4.9 y 9.9 dS m⁻¹. Muchos pastos pertenecen al grupo tolerante a la salinidad junto con la alfalfa, ésto depende altamente de la etapa de crecimiento. (Francois y Maas, 1994).

Cuadro 16. Porcentaje de germinación absoluta de pasto Ballico (*Lolium perenne* L.)

Sal†	Nivel	días					¶	Sal†	días					¶
		3	6	9	12 [§]	3			6	9	12 [§]			
Testigo	0	70.0	100.0	100.0	100.0		a	Testigo	93.3	100.0	100.0	100.0		a
(1) NaCl D	1	26.7	70.0	73.3	73.3		b	(7) Clorhídrica AB	73.3	83.3	100.0	100.0		ab
	2	40.0	83.3	90.0	90.0		b		56.7	100.0	100.0	100.0		ab
	3	26.7	33.3	33.3	33.3		c		60.0	100.0	100.0	100.0		ab
	4	13.3	30.0	30.0	30.0		cd		53.3	63.3	83.3	100.0		ab
	5	6.7	16.7	16.7	16.7		cd		36.7	63.3	66.7	100.0		ab
	6	0.0	0.0	0.0	0.0		d		0.0	26.7	63.3	100.0		b
	7	0.0	0.0	0.0	0.0		d		0.0	13.3	20.0	20.0		c
(2) NaHCO ₃ D	1	26.7	53.3	53.3	56.7		b	(8) Sulfático Clorhídrica AB	86.7	100.0	100.0	100.0		a
	2	20.0	60.0	66.7	66.7		b		73.3	86.7	100.0	100.0		ab
	3	6.7	6.7	6.7	6.7		c		46.7	63.3	93.3	100.0		abc
	4	0.0	3.3	3.3	3.3		c		13.3	40.0	73.3	100.0		bc
	5	0.0	0.0	0.0	0.0		d		13.3	33.3	66.7	100.0		bc
	6	0.0	0.0	0.0	0.0		d		3.3	33.3	53.3	100.0		bc
	7	0.0	0.0	0.0	0.0		d		0.0	30.0	40.0	93.3		c
(3) Na ₂ SO ₄ CD	1	20.0	56.7	80.0	83.3		b	(9) Clorhídrico Sulfática A	66.7	100.0	100.0	100.0		a
	2	26.7	56.7	73.3	73.3		bc		83.3	100.0	100.0	100.0		a
	3	10.0	46.7	60.0	60.0		bc		50.0	100.0	100.0	100.0		ab
	4	6.7	46.7	46.7	46.7		cd		40.0	96.7	96.7	96.7		bc
	5	10.0	26.7	26.7	26.7		de		26.7	96.7	96.7	96.7		bc
	6	3.3	10.0	20.0	20.0		de		0.0	93.3	96.7	96.7		c
	7	0.0	3.3	13.3	13.3		e		0.0	63.3	63.3	63.3		d
(4) MgSO ₄ AB	1	70.0	100.0	100.0	100.0		a	(10) Sulfática B	63.3	100.0	100.0	100.0		a
	2	53.3	96.7	96.7	96.7		b		33.3	86.7	100.0	100.0		ab
	3	50.0	100.0	100.0	100.0		a		30.0	90.0	93.3	93.3		bc
	4	33.3	86.7	93.3	96.7		b		23.3	73.3	90.0	90.0		cd
	5	36.7	93.3	93.3	93.3		b		10.0	86.7	86.7	86.7		cd
	6	23.3	90.0	93.3	93.3		b		13.3	50.0	76.7	76.7		de
	7	13.3	43.3	53.3	53.3		c		0.0	3.3	40.0	66.7		e
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O B	1	43.3	80.0	100.0	100.0		a	(11) Sulfático sódica D	40.0	96.7	100.0	100.0		a
	2	26.7	100.0	100.0	100.0		a		13.3	60.0	63.3	63.3		b
	3	33.3	93.3	96.7	96.7		ab		6.7	36.7	40.0	40.0		bc
	4	16.7	96.7	96.7	96.7		ab		3.3	20.0	23.3	23.3		c
	5	3.3	73.3	86.7	86.7		b		0.0	3.3	10.0	10.0		c
	6	0.0	80.0	80.0	80.0		b		0.0	3.3	3.3	3.3		c
	7	20.0	23.3	23.3	23.3		c		0.0	0.0	0.0	0.0		e
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O C	1	63.3	100.0	100.0	100.0		a							
	2	26.7	96.7	96.7	96.7		a							
	3	13.3	93.3	96.7	96.7		a							
	4	6.7	36.7	70.0	70.0		b							
	5	0.0	0.0	20.0	20.0		bc							
	6	0.0	0.0	0.0	0.0		c							
	7	0.0	0.0	0.0	0.0		c							

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($P > F = 0.0001$) dentro de la columna. § Se omitió el porcentaje de germinación del día 15 por ser igual al día 12.

Para remolacha, el testigo de sales puras mostró 73.3 % de germinación a los nueve días, MgSO_4 registró el porcentaje máximo (93.3) en el nivel dos de concentración (2.56 g L^{-1}) y llegando hasta un 50 % en el nivel cuatro (7.36 g L^{-1}) el mismo día; la sal Na_2SO_4 obtuvo a un 70 % en el nivel dos a los seis días; mientras que NaCl y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ alcanzaron el 50 % en el nivel dos y cuatro respectivamente. Las sales NaHCO_3 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ no lograron el 50 % de germinación, ni en los niveles de concentración baja. La inhibición de la germinación fue en la concentración alta para NaCl , NaHCO_3 , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Cuadro 17)

En las sales geoquímicas también se registró un 80 % de germinación en el testigo a los 12 días. La salinidad sulfático-clorhídrica y sulfático-sódica presentaron el brote de semillas mayor con un 90 % a los nueve días, en el primer nivel de concentración; es decir, a 1.28 y 1.70 g L^{-1} , respectivamente; la salinidad clorhídrico-sulfática mostró 80 % a los seis días, en el nivel uno y, alcanzando un 50 %, en el nivel tres a los nueve días; la salinidad sulfática, también logró este último porcentaje a los mismos días solo en el nivel uno. La sulfático-sódica, llegó hasta el nivel dos, con la mitad de semillas germinadas e inhibió completamente la germinación a su concentración salina máxima; mientras que, la salinidad clorhídrica no consiguió el 50 % de germinación.

Las sales clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfática fueron iguales ($P > 0.05$) y, en este cultivo, se puede apreciar que las sales geoquímicas fueron ($P < 0.05$) superiores a las sales puras; por su parte, el NaCl y el MgSO_4 estadísticamente fueron iguales ($P > 0.05$), la sal NaHCO_3 fue la que afectó más la germinación.

Ayers y Hayward (1948), muestran que la remolacha es sensible a la salinidad durante la germinación, en conductividades eléctricas de 1.5, 3.7, 6.0, 9.4 y 10.6 dS m^{-1} , el 50 % de reducción ocurrió a los 6.0 dS m^{-1} . Por su parte Ayers y Wescot (1987), indican que la remolacha es moderadamente tolerante, siendo capaz de germinar y crecer en conductividades eléctricas entre 6.0 y 8.0 dS m^{-1} .

Mass y Hoffman (1977), clasifican a la remolacha como moderadamente tolerante en conductividades eléctricas entre 5.9 y 7.0 dS m^{-1} . Sin embargo, estos valores corresponden al efecto sobre los rendimientos.

Cuadro 17. Porcentaje de germinación absoluta de remolacha (*Beta vulgaris* L.)

Sal†	Nivel	días					¶	Sal†	días					¶
		3	6	9	12 [§]	3			6	9	12 [§]			
Testigo	0	40.0	66.7	73.3	73.3	a	Testigo	30.0	43.3	66.7	80.0	a		
(1) NaCl DE	1	23.3	40.0	40.0	43.3	c	(7) Clorhídrica A	10.0	13.3	30.0	30.0	b		
	2	36.7	53.3	53.3	53.3	b		20.0	23.3	33.3	36.7	b		
	3	16.7	16.7	20.0	20.0	d		3.3	16.7	36.7	43.3	b		
	4	10.0	10.0	13.3	20.0	de		6.7	20.0	30.0	30.0	b		
	5	3.3	10.0	16.7	16.7	de		0.0	26.7	26.7	26.7	b		
	6	0.0	3.3	3.3	3.3	ef		0.0	13.3	16.7	16.7	bc		
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	f		0.0	0.0	0.0	6.7	c		
(2) NaHCO ₃ G	1	30.0	36.7	36.7	36.7	b	(8) Sulfático Clorhídrica B	46.7	86.7	90.0	90.0	a		
	2	20.0	20.0	26.7	30.0	bc		56.7	66.7	66.7	66.7	b		
	3	13.3	16.7	23.3	26.7	cd		6.7	26.7	33.3	43.3	d		
	4	26.7	26.7	26.7	26.7	bc		3.3	20.0	36.7	36.7	de		
	5	10.0	20.0	20.0	23.3	cd		3.3	13.3	26.7	26.7	def		
	6	0.0	13.3	13.3	13.3	de		0.0	10.0	13.3	13.3	ef		
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	e		0.0	0.0	3.3	3.3	f		
(3) Na ₂ SO ₄ EF	1	43.3	46.7	50.0	50.0	b	(9) Clorhídrico Sulfática A	76.7	80.0	80.0	80.0	a		
	2	63.3	70.0	70.0	70.0	a		6.7	40.0	60.0	60.0	b		
	3	33.3	43.3	43.3	43.3	bc		10.0	40.0	50.0	50.0	b		
	4	40.0	40.0	40.0	40.0	bc		3.3	36.7	43.3	43.3	bc		
	5	26.7	33.3	33.3	36.7	c		13.3	20.0	20.0	23.3	cd		
	6	6.7	10.0	13.3	13.3	d		10.0	16.7	16.7	16.7	d		
	7	0.0	6.7	6.7	13.3	d		0.0	10.0	13.3	13.3	d		
(4) MgSO ₄ DE	1	40.0	50.0	56.7	60.0	c	(10) Sulfática A	26.7	36.7	50.0	50.0	a		
	2	73.3	90.0	93.3	93.3	a		20.0	43.3	46.7	46.7	a		
	3	33.3	53.3	53.3	53.3	cd		23.3	23.3	30.0	30.0	b		
	4	40.0	43.3	50.0	50.0	cd		16.7	16.7	30.0	30.0	bc		
	5	40.0	40.0	43.3	43.3	cd		16.7	23.3	23.3	23.3	bc		
	6	33.3	40.0	40.0	40.0	d		10.0	20.0	20.0	23.3	bc		
	7	6.7	20.0	20.0	20.0	e		10.0	10.0	13.3	20.0	c		
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O D	1	40.0	50.0	53.3	53.3	b	(11) Sulfático sódica C	6.7	53.3	93.3	93.3	a		
	2	46.7	50.0	53.3	56.7	b		6.7	46.7	50.0	50.0	bc		
	3	36.7	50.0	53.3	53.3	b		10.0	23.3	30.0	33.3	bcd		
	4	16.7	53.3	53.3	53.3	b		13.3	20.0	23.3	23.3	bcd		
	5	23.3	46.7	46.7	46.7	b		3.3	13.3	20.0	20.0	cd		
	6	13.3	30.0	30.0	30.0	c		6.7	10.0	13.3	13.3	d		
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	d		0.0	0.0	0.0	0.0	e		
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O FG	1	26.7	30.0	30.0	30.0	b								
	2	26.7	43.3	43.3	43.3	b								
	3	20.0	43.3	43.3	43.3	b								
	4	3.3	40.0	43.3	46.7	b								
	5	3.3	33.3	36.7	36.7	b								
	6	0.0	3.3	3.3	13.3	c								
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	e								

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($P > F = 0.0001$) dentro de la columna. § Se omitió el porcentaje de germinación del día 15 por ser igual al día 12.

En general el tipo de sales que permitieron el porcentaje de germinación mayor fueron MgSO_4 para todos los cultivos, excepto en pasto Banderita, ya que en este último la sal con mayor brote de semillas fue la $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; la de germinación menor fue el NaHCO_3 en todos los cultivos excepto en la remolacha donde el NaCl fue la de menor valor.

En las sales geoquímicas las de germinación mayor fueron: sulfática, en alfalfa; clorhídrico-sulfática, en avena, frijol y remolacha; sulfático-clorhídrica, en maíz y pasto Ballico, y la salinidad clorhídrica en pasto Banderita; las de brote de semillas menor fueron: clorhídrico-sulfática, en maíz; clorhídrica, para remolacha y la salinidad sulfático-sódica, para el resto de los cultivos.

Se pudo apreciar que, en la mayoría de los cultivos, las sales con SO_4^- como anión acompañante, favorecieron la germinación; mientras que, HCO_3^- en todos los cultivos, afectó el brote de semillas. También se observa que en los cultivos de alfalfa, pasto Banderita, frijol y remolacha, la mezcla de sales favoreció la germinación, no así en los cultivos restantes (avena, maíz y pasto Ballico) donde las sales puras fueron estadísticamente iguales a las sales geoquímicas. El análisis estadístico también indica que los niveles de concentración salina son diferentes.

Ivanova (1974), señaló que una mezcla de $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl} + \text{MgSO}_4$ en una relación 7:4:1 fue más perjudicial para el incremento de la circunferencia del tronco y peso de la raíz, en árboles de durazno, que el Na_2SO_4 y que, a su vez, el NaCl a iguales concentraciones que el sulfato de sodio, fue tóxico para los árboles.

Cabe señalar que la temperatura durante el experimento de las sales puras osciló entre 15 °C como mínima y 21 °C como máxima; en cambio, para el experimento de la mezcla de sales, las temperaturas fluctuaron entre 19 °C y 24 °C. Posiblemente debido a las temperaturas, las sales geoquímicas registraron porcentaje de germinación mayor en un tiempo menor, siendo estadísticamente diferentes con las sales puras, ya que estas últimas afectaron más el brote de semillas, sobre todo, en altos niveles de concentración. Temperaturas bajas retrasaron la germinación, pero un incremento en la temperatura incrementó la germinación.

Maldonado *et al.* (2002), indicaron que temperaturas bajo los 15°C provocaron una reducción de la germinación, debido probablemente, a que las enzimas hidrolíticas de

los cotiledones no fueron activadas, sin desencadenar la activación metabólica de las semillas.

El tiempo y porcentaje de germinación tienen una relación lineal con la concentración de sal, ya que ésta se vio afectada al incrementar la concentración salina y la CE, lo que provocó el retraso o inhibición de la germinación; el cual, está relacionado, principalmente, al potencial osmótico de la solución salina. El porcentaje de germinación total se alcanzó en menos de 10 días, en la mayoría de las sales y niveles de concentración, ya que a los 15 días, en su mayoría, los cultivos perdieron la turgencia en la radícula.

Concentraciones altas de sal disminuyen el potencial de agua, un potencial de agua decreciente reduce y retarda la germinación, limitando la absorción de agua por las semillas (Emmerich y Hardegree, 1991; Richard, 1992; Dodd y Donovan, 1999; Ramoliya y Pandey, 2002; Tlig *et al.*, 2008).

Abel y MacKenzie (1964); Workman y West (1967); Tlig *et al.* (2008), indican que el porcentaje de germinación se redujo al incrementar la concentración salina de NaCl, las semillas germinaron más rápido en agua destilada, el retraso de la germinación se incrementó al aumentar la concentración salina.

Por su parte Almansouri *et al.* (2001), encontraron que la germinación se retrasó a dosis altas, tanto en NaCl como en polietilenglicol; sin embargo, este último, inhibió completamente la germinación a concentraciones altas. Incrementos en la salinidad ocasionan reducción o retraso en la germinación de semillas halofitas y glicofitas.

Emmerich y Hardegree (1991), indican que una disminución del potencial de agua reduce la germinación e incrementa el tiempo necesario para la germinación. Un incremento en la concentración de NaCl progresivamente inhibió la germinación de las semillas (Ungar, 1996; Tlig, *et al.*, 2008; Meloni *et al.*, 2008).

Sin embargo, Weber y D'Antonio (1999), indican que la germinación es estimulada, si la semilla está en contacto por poco tiempo con las sales, las cuales después son lavadas. Song *et al.* (2005), mencionan que el porcentaje bajo de germinación en los suelos son, frecuentemente, resultado de concentraciones altas de sales en la zona de plantación

de la semilla, debido al movimiento ascendente de la solución y su subsecuente evaporación en la superficie del suelo

Por su parte, Debez *et al.* (2004), indican que la inhibición de la germinación fue principalmente atribuida a condiciones osmóticas, y no al efecto tóxico del NaCl, ya que este efecto sólo fue observable a concentraciones altas.

Bernstein y Hayward (1958) encontraron que un incremento efectivo de salinidad del suelo para un cultivo dado, generalmente retarda ligeramente la germinación y que, niveles altos de salinidad , agravan el retraso en la emergencia y también disminuyen el porcentaje final de germinación.

Es importante señalar que las sales que registraron el porcentaje de germinación menor, presentaron pH alcalino en la mayoría de los cultivos, pues en el caso de remolacha, las sales con pH ligeramente ácido, fueron las que afectaron más la germinación. En cambio, el pH de las sales con porcentaje de germinación mayor fue neutro y ligeramente ácido, como en el caso del pasto Banderita, ésto implica que el pH no es un factor negativo para el brote de las semillas en estudio, resultados similares reporto Sánchez (2008).

Efecto de las sales puras en la germinación

El máximo porcentaje de germinación (90-100 %) ocurrió a los 15 días, en el testigo, tanto en sales puras, como en las sales geoquímicas, en todos los cultivos excepto en frijol y remolacha (Cuadro 18).

Se aprecia que el efecto de NaCl sobre la germinación, afectó a los cultivos de frijol y remolacha y, en menor grado, a los de avena y pastos; mientras que, en maíz y alfalfa el efecto fue mínimo. El NaHCO₃ influyó principalmente sobre las semillas del pasto Banderita; mientras que, en los cultivos restantes, el efecto fue moderado, excepto para el maíz que fue el más tolerante a esta sal, siendo una de las más tóxicas. La sal Na₂SO₄ perjudicó principalmente al pasto Banderita, frijol y, en menor grado, a avena, pasto Ballico y remolacha. Los más tolerantes fueron alfalfa y maíz. El MgSO₄ dañó principalmente al pasto Banderita, seguido por el frijol y remolacha, en los cultivos restantes, su influencia fue mínima. La sal CaCl₂·2H₂O bajo el porcentaje de germinación primeramente en frijol, seguido por el pasto Banderita, remolacha y en alfalfa, avena, maíz y pasto Ballico, el daño fue mínimo. El MgCl₂·6H₂O afectó al pasto Banderita, seguido por la avena frijol y remolacha y, en menor grado, tuvo efecto en alfalfa maíz y pasto Ballico.

Esto indica que el maíz es el cultivo más tolerante en la etapa de germinación, independientemente del tipo de sal de que se trate, seguido por la alfalfa, y el pasto Banderita es el cultivo más sensible a la salinidad, para el cual si influye el tipo de sal.

Por su parte Ramírez (1988), reportó que el efecto del NaCl, CaCl₂·2H₂O fue mínimo en frijol, alfalfa y avena. Las sales Na₂SO₄ y MgSO₄ tuvieron un efecto drástico para alfalfa, ya que inhibió la germinación; el NaHCO₃ es una sal con efectos muy drásticos, principalmente afecto a alfalfa y avena; el MgCl₂·6H₂O tuvo un efecto drástico en los cultivos en estudio, ya que redujo e inclusive inhibió la germinación a concentraciones altas. Menciona que particularmente, el MgCl₂ resulta el más adverso para la emergencia de muchos cultivos, entre ellos el frijol. En cuanto al NaCl, éste afecta más la velocidad de germinación que al porcentaje de la misma.

Dentro de los tipos de sales más tóxicas en esta etapa se encuentran el MaCl₂, MgSO₄ y NaHCO₃ (Ramírez, 1988; López, 1994).

Cuadro 18. Porcentaje de germinación a los 15 días en sales puras.

Sal	Nivel	Alfalfa	Avena	Banderita	Frijol	Maíz	Pasto	Remolacha
Testigo	0	100.0	100.0	96.7	36.7	93.3	100.0	73.3
(1) NaCl	1	100.0	73.3	100.0	53.3	86.7	73.3	43.3
	2	93.3	76.7	60.0	40.0	80.0	90.0	53.3
	3	90.0	26.7	46.7	36.7	80.0	33.3	20.0
	4	66.7	23.3	16.7	33.3	73.3	30.0	20.0
	5	33.3	23.3	3.3	20.0	73.3	16.7	16.7
	6	0.0	3.3	0.0	20.0	60.0	0.0	3.3
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0
(2) NaHCO ₃	1	76.7	70.0	50.0	30.0	80.0	56.7	36.7
	2	30.0	36.7	6.7	26.7	83.3	66.7	30.0
	3	0.0	23.3	0.0	20.0	70.0	6.7	26.7
	4	0.0	0.0	0.0	16.7	63.3	3.3	26.7
	5	0.0	0.0	0.0	16.7	63.3	0.0	23.3
	6	0.0	0.0	0.0	13.3	43.3	0.0	13.3
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	26.7	0.0	0.0
(3) Na ₂ SO ₄	1	93.3	76.7	70.0	30.0	93.3	83.3	50.0
	2	96.7	50.0	60.0	30.0	86.7	73.3	70.0
	3	93.3	36.7	36.7	30.0	80.0	60.0	43.3
	4	56.7	36.7	10.0	30.0	76.7	46.7	40.0
	5	16.7	23.3	6.7	20.0	73.3	26.7	36.7
	6	0.0	10.0	3.3	16.7	60.0	20.0	13.3
	7	0.0	0.0	0.0	6.7	53.3	13.3	13.3
(4) MgSO ₄	1	100.0	83.3	43.3	63.3	96.7	100.0	60.0
	2	100.0	83.3	36.7	50.0	93.3	96.7	93.3
	3	100.0	76.7	33.3	46.7	76.7	100.0	53.3
	4	100.0	73.3	30.0	46.7	76.7	96.7	50.0
	5	100.0	70.0	23.3	40.0	70.0	93.3	43.3
	6	100.0	70.0	0.0	36.7	70.0	93.3	40.0
	7	86.7	40.0	0.0	16.7	66.7	53.3	20.0
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O	1	100.0	100.0	93.3	53.3	90.0	100.0	53.3
	2	100.0	86.7	50.0	50.0	73.3	100.0	56.7
	3	100.0	86.7	46.7	40.0	70.0	96.7	53.3
	4	100.0	80.0	43.3	36.7	63.3	96.7	53.3
	5	100.0	40.0	43.3	30.0	56.7	86.7	46.7
	6	96.7	36.7	40.0	23.3	53.3	80.0	30.0
	7	70.0	30.0	33.3	20.0	36.7	23.3	0.0
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O	1	96.7	76.7	73.3	53.3	90.0	100.0	30.0
	2	100.0	60.0	36.7	40.0	86.7	96.7	43.3
	3	100.0	43.3	6.7	33.3	86.7	96.7	43.3
	4	100.0	6.7	3.3	26.7	70.0	70.0	46.7
	5	93.3	3.3	3.3	23.3	66.7	20.0	36.7
	6	43.3	0.0	0.0	16.7	53.3	0.0	13.3
	7	3.3	0.0	0.0	0.0	36.7	0.0	0.0

Efecto de las sales geoquímicas en la germinación

Para las sales geoquímicas, la salinidad clorhídrica afectó en mayor grado a la remolacha, seguido por alfalfa, avena y frijol; mientras que, el maíz y los pastos, fueron más tolerantes. En la salinidad sulfático-clorhídrica el efecto con mayor intensidad fue sobre avena, frijol y remolacha, seguido por la alfalfa y menor grado de daño maíz y pastos. Las salinidades clorhídrico-sulfática y sulfática afectaron principalmente a avena, remolacha, al frijol y maíz y por último, se vieron afectados alfalfa y pastos. La salinidad sulfático-sódica influyó más sobre avena, alfalfa, pasto Banderita, frijol, pasto Ballico, remolacha y, en mínimo grado el maíz (Cuadro 19).

Esto indica que la remolacha y avena fueron los cultivos menos tolerantes a este tipo de sales y ambos pastos fueron los más tolerantes para todas las sales, excepto la sulfático-sódica. Se observó, tanto en sales puras como en cualitativas, que concentraciones altas tienen mayor efecto sobre la germinación y esto depende del cultivo y sal implicados.

Ramírez (1988), reportó que las salinidades clorhídrica, sulfático-clorhídrica, clorhídrico-sulfática, sulfática y sulfático-sódica, afectan drásticamente el cultivo de alfalfa, no así a frijol, maíz y avena.

Los efectos de la salinidad clorhídrico-sulfática son menos severos sobre el porcentaje de germinación que aquellos provocados por las salinidades clorhídrica o sulfático-clorhídrica en un amplio rango de conductividad eléctrica (1.2 a 32.8 dS m⁻¹), un aspecto importante de las sales geoquímicas es que afectan en menor grado a la germinación que las sales puras (Ramírez, 1988; López 1994)

Cuadro 19. Porcentaje de germinación a los 15 días con diferentes tipos y concentraciones de salinidad geoquímica.

Sal	Nivel	Alfalfa	Avena	Banderita	Frijol	Maíz	Pasto	Remolacha
Testigo	0	100.0	100.0	100.0	56.7	96.7	100.0	80.0
(7) Clorhídrica	1	100.0	96.7	100.0	43.3	93.3	100.0	30.0
	2	83.3	56.7	100.0	66.7	86.7	100.0	36.7
	3	46.7	56.7	100.0	50.0	83.3	100.0	43.3
	4	26.7	46.7	96.7	33.3	86.7	100.0	30.0
	5	26.7	43.3	96.7	30.0	70.0	100.0	26.7
	6	23.3	23.3	86.7	30.0	70.0	100.0	16.7
	7	13.3	0.0	83.3	20.0	60.0	20.0	6.7
(8) Sulfático Clorhídrica	1	100.0	70.0	90.0	53.3	96.7	100.0	90.0
	2	90.0	60.0	96.7	66.7	93.3	100.0	66.7
	3	90.0	60.0	100.0	50.0	90.0	100.0	43.3
	4	90.0	53.3	86.7	33.3	86.7	100.0	36.7
	5	46.7	50.0	86.7	33.3	80.0	100.0	26.7
	6	36.7	40.0	80.0	30.0	76.7	100.0	13.3
	7	33.3	6.7	80.0	6.7	63.3	93.3	3.3
(9) Clorhídrico Sulfática	1	100.0	90.0	100.0	86.7	90.0	100.0	80.0
	2	100.0	83.3	100.0	73.3	86.7	100.0	60.0
	3	100.0	63.3	100.0	66.7	83.3	100.0	50.0
	4	96.7	50.0	100.0	60.0	76.7	96.7	43.3
	5	93.3	33.3	86.7	56.7	66.7	96.7	23.3
	6	56.7	16.7	83.3	53.3	53.3	96.7	16.7
	7	46.7	13.3	80.0	43.3	40.0	63.3	13.3
(10) Sulfática	1	86.7	53.3	100.0	66.7	83.3	100.0	50.0
	2	100.0	46.7	100.0	70.0	86.7	100.0	46.7
	3	100.0	36.7	100.0	53.3	80.0	93.3	30.0
	4	100.0	33.3	93.3	46.7	76.7	90.0	30.0
	5	100.0	30.0	86.7	46.7	73.3	86.7	23.3
	6	96.7	20.0	86.7	43.3	66.7	76.7	23.3
	7	96.7	13.3	73.3	36.7	60.0	66.7	20.0
(11) Sulfático sódica	1	80.0	46.7	86.7	56.7	93.3	100.0	93.3
	2	93.3	26.7	96.7	36.7	90.0	63.3	50.0
	3	40.0	20.0	66.7	36.7	90.0	40.0	33.3
	4	0.0	16.7	33.3	36.7	86.7	23.3	23.3
	5	0.0	16.7	20.0	33.3	73.3	10.0	20.0
	6	0.0	0.0	13.3	20.0	70.0	3.3	13.3
	7	0.0	0.0	10.0	0.0	63.3	0.0	0.0

Con base a lo anterior y a al análisis de los datos, se observa que las sales que tienen el ión HCO_3^- como anión acompañante, afectaron más el porcentaje de germinación de los siete cultivos evaluados, seguidos por los iones de Cl^- y, por último, los de SO_4^{2-} , que fueron los menos agresivos al brote de semillas. Recordando que las sales con el ión Cl^- , como acompañante, registraron los más altos de CE y los valores más bajos de $\Psi\pi$. Así, la sal de cloruro fue ligeramente más tóxica para la germinación que el sulfato, a igual concentración. El efecto del NaHCO_3 se debe a las características del ión, pues es altamente soluble y tóxica, genera procesos de hidrólisis que destruyen tejidos, células y moléculas orgánicas esenciales para la actividad biológica de la planta (Kovda, 1973).

Ramírez (1988) y López (1994) ,indican que los cloruros afectan más la germinación, en comparación con los sulfatos. Estudios en algodón, mostraron que el tipo de salinidad puede tener efectos marcados y diferenciales sobre la germinación. Sulfatos y cloruros, con mayor efecto inhibitorio de la germinación y, muestras mayor efecto sobre el crecimiento y desarrollo, los cloruros (Strogonov, 1964). El ión sulfato es algo más pesado que el ión cloruro, lo que explica porqué las plantas pueden resistir mayores cantidades de sulfato que de cloruro (Magistad, *et al.*, 1943).

En cuanto a los cationes de las sales con los iones de Mg^{2+} y Ca^{2+} , como acompañantes, favorecieron la germinación. El sodio no parece ser un catión excesivamente tóxico. Magistad *et al.* (1943), trabajando con alfalfa, encontró un incremento en el rendimiento debido a la sal predominante con calcio; sin embargo, donde el magnesio fue el catión predominante, el rendimiento fue usualmente más bajo que cuando calcio y sodio fueron predominantes. Cuando el sodio constituyó el 76 % de los cationes presentes, en términos de miliequivalentes por litro, el rendimiento fue aproximadamente el mismo que cuando la relación de sodio; cationes totales fue el 50 %; el sodio, en la relación usada, no pareció ser un catión particularmente perjudicial para el crecimiento de alfalfa.

Kent y Läuchli (1985) reportaron que en tratamientos altos de Ca^{2+} , el crecimiento de las raíces de algodón es tan bueno como en ausencia de estrés salino. Hayward y Wadleigh (1949), señalan que sales de magnesio en el substrato, tienen un efecto

tóxico que puede ser atribuido a la presión osmótica. Daños por magnesio pueden asociarse con inadecuado suministro de calcio dentro del tejido y concentraciones altas de sulfato en el sustrato definitivamente limitan la actividad del ión calcio.

Magistad, *et al.* (1943), reportaron que, con s valores osmóticos, aproximado los cloruros fueron más tóxicos que los sulfatos para alfalfa. Sin embargo, para algunos cultivos los cloruros y sulfatos a igual concentración osmótica, son igualmente dañinos; mientras que en otros cultivos, los cloruros son más tóxicos que los sulfatos con igual presión osmótica.

Las disminuciones de la germinación inducidas por la salinidad son usualmente debidas solamente a los efectos osmóticos (potencial de soluto del sustrato) para halófitas, mientras que las glicófitas (como maíz) son más probables a exhibir toxicidad iónica adicional (Layne-Garsaball. *et al.*, 2007).

Efecto de las sales en el desarrollo de radícula y parte aérea.

La parte aérea de la alfalfa fue altamente afectada por la presencia de sales, independiente de la concentración y tipo de solución, tanto en las sales puras como en las geoquímicas (Cuadro 20).

El crecimiento de radícula y parte aérea superó a todas las sales en el testigo. La sal con mayor desarrollo de radícula fue el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y de parte aérea fue el MgSO_4 ; en este caso, el tipo de sal si afectó a las partes en estudio, sin embargo, el NaHCO_3 perjudicó tanto a la radícula como a la parte aérea, ya que fue la sal con menor crecimiento en ambas. El desarrollo de la radícula fue favorecido con ligeros incrementos en la concentración en NaCl , Na_2SO_4 y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Este desarrollo fue inhibido NaCl , en los dos últimos niveles, es decir a la máxima concentración; NaHCO_3 , desde el nivel tres (5.12 g L^{-1}) y Na_2SO_4 , a máxima concentración. La parte aérea fue inhibida en NaCl , desde el nivel 5 (9.28 g L^{-1}); NaHCO_3 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, desde el nivel tres, y Na_2SO_4 , en el nivel siete.

Para la mezcla de sales, el máximo crecimiento de radícula y parte aérea ocurrió en el testigo, la salinidad que permitió el mayor desarrollo en ambas partes fue la clorhídrico-sulfática y la de menor crecimiento fue la sulfática. El crecimiento de la radícula fue favorecido con ligeros incrementos en la concentración en las sales clorhídrica,

sulfático-clorhídrica y sulfática e inhibido al 100 % en la salinidad sulfática desde el nivel 4 (7.36 g L^{-1}); en cambio, la parte aérea fue inhabilitada en todas las sales a su máxima concentración, excepto en la salinidad sulfática, que no permitió dicho crecimiento desde el nivel cuatro.

Para el desarrollo de la radícula, la mejor sal ($P < 0.05$) fue el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, la peor fue el NaHCO_3 ; mientras que, las sales sulfático-clorhídrica y sulfático-sódica fueron estadísticamente iguales. El desarrollo de la parte aérea fue favorecido por la salinidad clorhídrica. La salinidad sulfático-clorhídrica fue estadísticamente igual a la sal MgSO_4 , la sulfática fue igual al $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, la sulfático-sódica igual a Na_2SO_4 y, la que afectó más el desarrollo de la parte aérea, fue la de NaHCO_3 .

El crecimiento de la radícula y la parte aérea fueron afectados diferencialmente por el tipo y concentración de sal ($P < 0.05$).

Ashraf *et al.* (1987), trabajando con alfalfa, encontraron que la longitud del brote disminuyó rápidamente, como respuesta a incrementos en la concentración de NaCl , concluyendo que éstas menos sensible a concentraciones de 200 mm L^{-1} .

La salinidad alta causa disminución en el rendimiento de la alfalfa, mientras la relación hoja/tallo aumenta e influye en la calidad de forraje. Sin embargo, algunas especies glicófitas toleran la sal por una estrategia más típica de halófitas, en la cual, el sodio o cloruro, o ambos, suben a las hojas y son almacenados en vacuolas, normalmente con la producción relacionada de solutos orgánicos en el citoplasma, para el ajuste osmótico (Flowers, 2004).

Cuadro 20. Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días de Alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Sal†	Nivel	Rad.**	¶	Sal†	Plánt**	¶	Sal†	Rad.**	¶	Plánt**	¶	
Testigo	0	29.08	a		5.89	a	Testigo	25.99	ab	3.39	a	
(1)	1	21.33	b		3.38	a	(7)	2.99	d	1.93	b	
NaCl	2	29.80	a		3.04	a	Clorhídrica	17.04	b	3.78	a	
DE	3	14.41	c	CDE	2.94	ab	F	16.93	b	BC	2.50	b
	4	13.99	c		1.42	ab		5.09	c		0.93	bc
	5	2.89	d		0.00	c		3.75	cd		0.56	c
	6	0.00	e		0.00	c		3.25	cd		0.37	c
	7	0.00	e		0.00	c		0.85	e		0.00	d
(2)	1	15.13	b		2.19	a	(8)	23.43	ab	3.78	a	
NaHCO ₃	2	3.03	c		0.18	ab	Sulfático	24.08	ab	3.27	a	
H	3	0.00	d	E	0.00	b	Clorhídrica	22.21	b	B	3.46	a
	4	0.00	d		0.00	b	C	10.93	c		0.83	b
	5	0.00	d		0.00	b		7.33	d		0.73	b
	6	0.00	d		0.00	b		7.11	de		0.73	b
	7	0.00	d		0.00	b		3.72	e		0.00	c
(3)	1	24.83	ab		4.12	a	(9)	28.18	a	3.91	a	
Na ₂ SO ₄	2	25.19	ab		3.44	a	Clorhídrico	24.05	b	3.55	a	
E	3	17.64	bc	BCD	3.06	a	Sulfática	22.15	b		2.26	ab
	4	9.55	c		2.78	a	B	12.56	c	A	2.92	ab
	5	1.48	c		1.56	b		10.31	d		1.29	bc
	6	0.65	c		0.20	bc		2.94	e		0.42	c
	7	0.00	c		0.00	c		1.48	e		0.00	d
(4)	1	23.66	ab		10.52	a	(10)	11.34	b	1.36	b	
MgSO ₄	2	19.59	b		3.88	b	Sulfática	22.54	a	3.04	a	
D	3	12.62	c	BC	2.94	b	G	5.55	c	DE	0.26	bc
	4	7.46	cd		2.43	b		0.00	d		0.00	c
	5	5.27	de		2.26	b		0.00	d		0.00	c
	6	4.77	de		1.48	b		0.00	d		0.00	c
	7	2.94	e		0.00	c		0.00	d		0.00	c
(5)	1	40.17	a		3.51	a	(11)	24.43	a	3.35	a	
CaCl ₂ ·2H ₂ O	2	48.65	a		3.31	a	Sulfático	16.04	b	2.98	ab	
A	3	41.06	a	B	3.19	a	sódica	14.35	c	BCD	1.94	bc
	4	29.55	b		2.34	ab	C	9.26	d		1.28	cd
	5	23.22	bc		1.73	ab		8.90	d		0.44	de
	6	18.77	c		1.40	ab		6.63	d		0.95	cde
	7	5.79	d		0.41	b		4.31	e		0.00	e
(6)	1	12.56	b		2.87	a						
MgCl ₂ ·6H ₂ O	2	8.13	bc		1.63	ab						
G	3	5.16	cd	DE	0.00	c						
	4	3.59	cde		0.00	c						
	5	3.36	cde		0.00	c						
	6	1.96	de		0.00	c						
	7	0.11	e		0.00	c						

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($Pr > F = 0.0001$) dentro de la columna. ** (Significancia estadística (Tukey, 0.05))

La radícula y parte aérea de avena, donde la radícula fue altamente afectada por la presencia de sales, ya que se desarrolló más la parte aérea, tanto en el testigo como sales puras y en las geoquímicas (Cuadro 21).

El testigo registró el mayor desarrollo de radícula y parte aérea, en comparación con las sales. Sin embargo, la sal con mayor crecimiento de ambas partes fue el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; mientras que, NaHCO_3 , fue la de menor expansión. El desarrollo de ambas, partes fue favorecido con ligeros incrementos en la concentración en NaCl . El desarrollo de la radícula fue inhibido en NaCl , NaSO_4 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en la máxima concentración; en NaHCO_3 desde el nivel cinco (9.28 g L^{-1}) se impidió el desarrollo. La parte aérea fue inhabilitada en NaCl , NaSO_4 y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en el máximo nivel de salinidad; en $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, en los dos últimos niveles y para NaHCO_3 , desde el nivel cinco.

Para las sales cualitativas, la salinidad sulfático-clorhídrica registró el mayor crecimiento en ambas partes y la de menor desarrollo fue la sulfático-sódica. El desarrollo de ambas partes, fue favorecido con ligeros incrementos en la concentración en la salinidad sulfática. El crecimiento de la radícula se inhibió al 100 % en la salinidad clorhídrica y sulfático-sódica, en los niveles de máxima concentración. La parte aérea fue inhabilitada en las sales clorhídrica, sulfático-clorhídrica y sulfático sódica a niveles de máxima concentración.

Tanto la radícula como la parte aérea mostraron respuesta diferencial ($P < 0.05$) a sales puras como geoquímicas. La radícula, la mejor sal fue el MgSO_4 ($P < 0.05$) y la salinidad sulfático-sódica fue la que más influyó en el crecimiento. Las salinidades clorhídrica y clorhídrico-sulfática fueron iguales ($P > 0.05$), el NaCl fue estadísticamente igual a la salinidad sulfática y las sales NaHCO_3 , Na_2SO_4 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, tuvieron el mismo efecto ($P > 0.05$).

Para la parte aérea, las mejores sales fueron el MgSO_4 y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, las peores fueron las sales NaHCO_3 y la sulfático-sódica ($P < 0.05$). Sin embargo, entre NaCl , Na_2SO_4 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfática no hubo diferencia ($P > 0.05$).

Cuadro 21. Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días de Avena (*Avena sativa* L.)

Sal†	Nivel	Rad.**	¶	Sal†	Plánt**	¶	Sal†	Rad.**	¶	Plánt**	¶	
Testigo	0	18.38	a		39.88	a	Testigo	9.94	ab	17.12	abc	
(1) NaCl DE	1	11.73	b		29.09	ab	(7) Clorhídrica	17.99	a	41.03	a	
	2	11.94	b		32.83	a		14.75	a	31.33	a	
	3	2.49	c	BC	8.93	bc	CD	6.84	bc	BC	24.84	ab
	4	1.76	c		2.65	c		5.84	c		12.41	bcd
	5	1.58	c		2.10	c		5.19	cd		11.22	bcd
	6	1.53	c		0.53	d		2.74	d		2.41	d
	7	0.00	d		0.00	e		0.00	e		0.00	e
(2) NaHCO ₃ FE	1	10.00	b		33.37	a	(8) Sulfático	15.53	a		37.23	ab
	2	3.92	c		6.73	b		10.96	bc		32.22	a
	3	1.72	cd	C	4.37	b	Clorhídrica	9.29	bcd		29.42	abc
	4	0.07	d		2.33	c	BC	8.24	cde	B	21.27	abc
	5	0.00	d		0.00	d		6.48	de		15.61	cd
	6	0.00	d		0.00	d		5.86	e		13.28	d
	7	0.00	d		0.00	d		0.74	f		0.00	e
(3) Na ₂ SO ₄ FE	1	8.36	b		29.44	ab	(9) Clorhídrico	16.66	a		30.62	ab
	2	3.20	c		17.20	bc		13.85	ab		34.41	a
	3	2.97	c	BC	12.71	bc	Sulfática	7.87	bc		18.83	abc
	4	2.36	c		8.81	bc	CD	6.09	cd	BC	16.22	abcd
	5	1.53	cd		4.14	c		5.82	cd		13.82	bcd
	6	0.77	cd		4.12	c		1.51	d		7.44	cd
	7	0.00	d		0.00	d		0.99	d		2.82	d
(4) MgSO ₄ A	1	19.80	a		43.76	a	(10) Sulfática	6.44	cd		11.63	bcd
	2	14.39	b		36.40	ab		7.12	bc		11.90	bcd
	3	8.50	c	A	36.15	ab	DE	8.83	ab	BC	21.86	a
	4	8.36	c		30.23	bc		5.77	cd		16.79	ab
	5	6.71	c		26.29	cd		3.93	cd		11.15	bc
	6	4.73	cd		26.02	cd		3.12	de		10.54	cd
	7	1.99	d		9.88	b		1.19	e		8.02	d
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O AB	1	19.25	a		60.77	a	(11) Sulfático	8.43	ab		31.35	a
	2	13.70	ab		47.46	abc		4.68	bc		14.69	ab
	3	10.92	bc	A	47.55	ab	sódica	1.96	cd		6.95	bc
	4	9.41	bcd		46.12	abc	F	1.47	cd	C	5.25	cd
	5	8.50	cd		27.69	bc		1.25	cd		2.38	d
	6	4.84	de		5.48	c		0.00	d		0.00	e
	7	1.42	e		0.00	d		0.00	d		0.00	e
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O FE	1	14.50	a		32.69	ab						
	2	7.17	b		27.42	abc						
	3	2.20	c	BC	17.11	bcd						
	4	0.91	cd		5.40	cd						
	5	0.37	cd		0.76	d						
	6	0.11	cd		0.00	e						
	7	0.00	d		0.00	e						

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($Pr > F = 0.0001$) dentro de la columna. ** (Significancia estadística (Tukey, 0.05))

En pasto Banderita, la radícula fue altamente afectada por la presencia de sales y desarrolló más la parte aérea, tanto en el testigo como en las sales puras y geoquímicas (Cuadro 22).

El testigo registró el mayor crecimiento de radícula y parte aérea. La sal con mayor desarrollo de radícula fue el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y el NaHCO_3 fue la de menor crecimiento ($P < 0.05$), su expansión fue inhibida en NaCl y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, en la máxima concentración y, en el NaHCO_3 , desde el nivel cinco (9.28 g L^{-1}). El máximo crecimiento de la parte aérea fue en MgSO_4 y, el menor, en $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; mientras que su desarrollo, fue inhibido por NaHCO_3 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, en el máximo nivel de salinidad; en este cultivo, el tipo de sal si afectó a las partes en estudio ($P < 0.05$). El desarrollo de la parte aérea fue favorecido con un ligero incremento en la concentración de las sales NaCl , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; mientras que, MgSO_4 , benefició a ambas partes.

En las sales geoquímicas, se observa que el máximo crecimiento de la radícula y parte aérea ocurrió en el testigo, la salinidad clorhídrico-sulfática registró la mayor expansión de ambas partes y la de menor desarrollo fue en la sulfática, esta última inhibió al 100 % el crecimiento en ambas partes a partir del nivel cinco de concentración, equivalente a 9.28 g L^{-1} . El desarrollo de la radícula fue favorecido con un ligero incremento en la concentración de la salinidad clorhídrica y, para la parte aérea, la sulfático-clorhídrica.

En este cultivo, el crecimiento de la radícula fue altamente significativo, no así el desarrollo de la parte aérea, en la radícula las salinidades clorhídrica, sulfático-clorhídrica y clorhídrico-sulfática fueron iguales ($P > 0.05$), lo mismo lo fueron las sales NaHCO_3 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y la salinidad sulfático-sódica, éstas últimas afectaron más su longitud.

Para la parte aérea, la salinidad clorhídrico-sulfática fue la mejor ($P < 0.05$), las sales NaCl , NaHCO_3 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ fueron las que influyeron más su expansión y no hubo diferencia entre ellas, ($P < 0.05$) lo mismo ocurrió con las sales clorhídrica, sulfático-clorhídrica y sulfática que no presentaron diferencia ($P > 0.05$). La salinidad sulfático-sódica fue igual a MgSO_4 , y Na_2SO_4 fue igual ($P > 0.05$) al $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

El efecto de las sales geoquímicas favoreció el incremento de longitud en ambas partes de análisis.

Ashraf *et al.* (1987), trabajando con especies forrajeras, encontró que la longitud del brote disminuyó rápidamente como respuesta a incrementos en la concentración de NaCl, concluyó que cada especie tiene diferente respuesta a incrementos en la concentración de sal.

Cuadro 22. Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, del pasto Banderita *B. curtipendula* (Michx.) Torr.

Sal†	Nivel	Rad.**		Sal†	Plánt.		Sal†	Rad.**		Plánt.		
Testigo	0	9.07	a		16.94	a	Testigo	18.65	a	33.80	a	
(1)	1	5.56	b		13.56	ab	(7)	9.06	b	22.95	ab	
NaCl	2	4.55	bc		13.66	ab	Clorhídrica	13.14	b	21.77	ab	
CD	3	3.41	bcd	C	7.91	ab	A	9.87	bc	AB	18.59	ab
	4	0.61	bcd		1.00	b		7.77	bcd		14.18	ab
	5	0.60	bcd		0.56	b		4.03	cde		7.74	b
	6	0.16	cd		0.44	b		3.68	de		3.15	b
	7	0.00	e		0.09	b		0.54	e		1.03	b
(2)	1	7.03	a		23.28	a	(8)	13.63	ab	20.87	ab	
NaHCO ₃	2	0.91	b		10.15	ab	Sulfático	12.74	ab	26.72	ab	
D	3	0.08	b	C	0.90	b	Clorhídrica	7.53	bc	19.09	ab	
	4	0.04	b		0.15	b	A	5.86	c	AB	5.65	b
	5	0.00	c		0.25	b		4.79	c		4.21	b
	6	0.00	c		0.13	b		3.81	c		3.78	b
	7	0.00	c		0.00	c		3.55	c		2.88	b
(3)	1	9.41	ab		21.80	a	(9)	15.75	ab	33.99	ab	
Na ₂ SO ₄	2	7.07	ab		21.08	a	Clorhídrico	13.03	abc	24.34	abc	
BCD	3	3.72	bc	BC	9.36	a	Sulfática	8.52	bcd	14.60	abc	
	4	0.59	c		1.38	a	A	8.27	bcd	A	11.32	abc
	5	0.53	c		1.00	a		6.43	cd		8.80	abc
	6	0.43	c		1.16	a		4.36	d		5.67	bc
	7	0.20	c		0.50	a		2.30	d		2.19	c
(4)	1	5.26	abc		8.34	ab	(10)	2.17	b	28.12	ab	
MgSO ₄	2	6.82	ab		19.09	a	Sulfática	1.04	bc	23.21	ab	
BCD	3	3.86	bcd	ABC	13.91	ab	ABC	0.33	cd	AB	7.62	ab
	4	3.06	bcd		9.18	ab		0.08	d		1.35	ab
	5	2.85	bcd		7.55	ab		0.00	e		0.00	c
	6	1.81	cd		3.43	ab		0.00	e		0.00	c
	7	0.19	d		0.32	b		0.00	e		0.00	c
(5)	1	13.09	a		16.73	ab	(11)	12.43	b	25.46	ab	
CaCl ₂ ·2H ₂ O	2	11.83	a		19.51	a	Sulfático	8.65	b	18.12	ab	
AB	3	7.53	ab	BC	9.99	ab	sódica	5.34	b	20.34	bc	
	4	5.38	ab		4.54	ab	D	2.48	b	ABC	10.13	bc
	5	5.38	ab		4.00	ab		2.06	b		7.44	c
	6	4.29	ab		2.27	ab		1.54	b		4.95	c
	7	2.29	b		1.56	b		1.42	b		2.64	c
(6)	1	7.21	ab		17.43	a						
MgCl ₂ ·6H ₂ O	2	3.48	bc		7.15	abc						
D	3	1.66	c	C	3.12	bc						
	4	0.52	c		0.42	c						
	5	0.19	c		0.29	c						
	6	0.09	c		0.18	c						
	7	0.00	d		0.00	d						

† Prueba de medias entre tipo de sal, † Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($Pr > F = 0.0001$) dentro de la columna. ** (Significancia estadística (Tukey, 0.05)).

En frijol, el crecimiento radicular y de la parte aérea, fue casi igual tanto en el testigo, como en las sales puras y geoquímicas (Cuadro 23).

El crecimiento mayor de radícula ocurrió en MgSO_4 y, el menor, en NaHCO_3 , la inhibición de su desarrollo fue a la máxima concentración de las sales NaHCO_3 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. El crecimiento máximo de la parte aérea se observó en MgSO_4 y, el menor, en NaHCO_3 y, las sales que impidieron su desarrollo, fueron NaCl , NaHCO_3 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, en niveles de máxima concentración.

Para las sales geoquímicas, el máximo crecimiento de la radícula y parte aérea se registró en la salinidad sulfática y, la de menor, la sulfático-sódica para la radícula y clorhídrica para la parte aérea. En este cultivo el tipo de sal si afectó a las partes en estudio. Únicamente la salinidad sulfático-sódica inhibió el crecimiento en ambas partes a la concentración máxima de 23.73 g L^{-1} . El desarrollo de la radícula fue favorecido con un ligero incremento en la concentración clorhídrico-sulfática, clorhídrica y sulfática, estas dos últimas beneficiaron a ambas partes vegetativas.

La salinidad sulfática fue la mejor sal ($P < 0.05$) para el desarrollo de la radícula y NaHCO_3 fue la que influyó más ($P < 0.05$) en el desarrollo de la parte aérea; las sales MgSO_4 y sulfático-clorhídrica fueron iguales ($P > 0.05$), lo mismo que la clorhídrica y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ que no registraron diferencia ($P > 0.05$); mientras que, NaCl , Na_2SO_4 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y la sal sulfático-sódica también registraron el mismo efecto.

Para el caso de la parte aérea, la salinidad sulfática fue la mejor ($P < 0.05$) y el NaHCO_3 la peor ($P < 0.05$), la salinidad clorhídrica fue igual a la sulfático-sódica ($P > 0.05$); la clorhídrico-sulfática fue igual a MgSO_4 ($P > 0.05$) y NaCl , Na_2SO_4 , y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuvieron el mismo efecto ($P > 0.05$) en el desarrollo de parte aérea.

El crecimiento en ambas partes fue altamente significativo ($P < 0.01$), las sales geoquímicas ligeramente favorecieron más el desarrollo de la parte aérea.

Cuadro 23. Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Sal†	Nivel	Rad.**	¶	Sal†	Plánt**	¶	Sal†	Rad.**	¶	Plánt**	¶	
Testigo	0	15.47	ab		15.54	ab	Testigo	22.08	ab	22.78	ab	
(1)	1	24.36	a		20.12	a	(7)	12.40	a	10.05	bc	
NaCl	2	7.62	bc		6.40	abc	Clorhídrica	24.38	ab	19.39	ab	
CD	3	6.60	bcd	DE	5.80	bcd	C	10.81	bc	CD	8.44	c
	4	3.26	cd		3.00	cd		7.88	bc		6.00	cd
	5	2.40	cd		2.82	cd		6.97	c		5.97	cd
	6	2.06	d		1.46	d		5.73	c		6.55	cd
	7	0.17	e		0.00	e		0.89	d		0.29	d
(2)	1	10.79	b		9.11	ab	(8)	37.73	a	28.32	a	
NaHCO ₃	2	5.92	bc		4.43	bc	Sulfático	29.33	ab	16.57	ab	
D	3	2.47	cd	E	2.38	bc	Clorhídrica	28.20	abc	BC	17.72	ab
	4	2.04	cd		1.71	bc	B	13.42	bcd		8.56	bc
	5	1.76	cd		1.55	c		11.16	cde		6.96	bc
	6	1.43	d		1.50	c		4.86	de		4.11	cd
	7	0.00	e		0.00	d		0.87	e		1.18	d
(3)	1	16.70	a		14.79	a	(9)	44.82	a	29.77	a	
Na ₂ SO ₄	2	10.58	ab		8.46	ab	Clorhídrico	46.79	a	21.80	ab	
CD	3	8.25	bc	DE	5.31	abc	Sulfática	20.05	b	AB	14.27	bcd
	4	5.13	bcd		4.07	bc	AB	13.75	b		9.49	bcd
	5	2.44	cd		2.25	bc		13.60	b		9.27	cd
	6	1.99	cd		1.72	c		11.06	b		7.29	cd
	7	0.71	d		0.54	d		7.32	c		5.51	d
(4)	1	34.79	ab		33.31	a	(10)	35.37	b	30.59	a	
MgSO ₄	2	31.85	a		31.84	a	Sulfática	49.74	a	28.06	a	
B	3	14.32	c	AB	11.50	ab	A	29.23	b	A	22.45	ab
	4	22.48	bc		11.52	ab		27.48	bc		19.51	abc
	5	14.93	cd		10.88	ab		21.77	bcd		15.71	bcd
	6	10.52	cd		8.40	b		18.02	cd		13.09	cd
	7	5.22	d		5.92	b		7.30	d		6.19	d
(5)	1	37.21	a		21.98	a	(11)	29.19	a	25.38	a	
CaCl ₂ ·2H ₂ O	2	16.70	b		9.65	bc	Sulfático	14.45	abc	14.02	ab	
C	3	12.19	bc	D	7.59	bc	sódica	12.33	bc	CD	10.90	ab
	4	9.39	bc		7.26	bc	CD	3.15	cd		2.62	c
	5	8.96	bc		6.82	bc		2.71	c		2.62	c
	6	4.54	bc		3.88	c		2.55	c		2.98	c
	7	1.38	c		1.48	c		0.00	d		0.00	d
(6)	1	33.90	a		27.16	a						
MgCl ₂ ·6H ₂ O	2	16.14	b		14.43	ab						
CD	3	5.86	bcd	DE	6.28	bc						
	4	4.04	cd		2.54	bc						
	5	3.90	cd		3.46	c						
	6	1.61	d		1.08	c						
	7	0.00	e		0.00	d						

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($Pr > F = 0.0001$) dentro de la columna. ** (Significancia estadística (Tukey, 0.05))

En maíz, el desarrollo de la parte aérea fue ligeramente afectado por el tipo y concentración de sal; similarmente, el crecimiento en ambas partes, tanto en sales puras como en las geoquímicas, no fue inhibido, aun a concentraciones altas (Cuadro 24).

El crecimiento mayor de radícula y parte aérea fue en $MgSO_4$ y el menor en $NaHCO_3$, para la radícula y en $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, para la parte aérea. El desarrollo en ambas partes fue favorecido con un ligero incremento en la concentración de $NaHCO_3$, $MgSO_4$ y $CaCl_2 \cdot 2H_2O$.

En las sales geoquímicas, el desarrollo máximo de radícula y parte aérea se observó en la salinidad sulfática y la de menor fue la salinidad sulfático-sódica. El desarrollo en ambas partes fue beneficiado con un ligero incremento en la concentración de la salinidad sulfática.

El desarrollo de la radícula se vio favorecido principalmente por la salinidad sulfática ($P < 0.05$); en cambio, el $NaHCO_3$ afectó su crecimiento. La salinidad sulfático-sódica fue igual a $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ($P > 0.05$). En el caso de la parte aérea, la salinidad sulfática fue la mejor y la peor fue el $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ($P < 0.05$), las salinidades sulfático-clorhídrica y clorhídrico-sulfática tuvieron el mismo efecto ($P > 0.05$), las sales $NaHCO_3$, Na_2SO_4 , $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, clorhídrica y sulfático-sódica fueron iguales ($P > 0.05$). En este cultivo, el crecimiento de ambas partes fue altamente significativo.

Cuadro 24. Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, de maíz (*Zea mays* L.)

Sal†	Nivel	Rad.**	¶	Sal†	Plánt**	¶	Sal†	Rad.**	¶	Plánt**	¶
Testigo	0	25.76	abc		21.40	ab	Testigo	24.95	ab	11.78	abc
(1) NaCl EF	1	49.93	a		29.92	a	(7) Clorhídrica CD	32.18	a	28.99	a
	2	27.75	b		21.40	ab		30.72	a	22.45	ab
	3	20.44	bcd	CD	20.12	bc		28.55	a	16.81	abc
	4	20.11	bcd		17.84	bc		28.50	a	15.77	abc
	5	16.26	cde		17.57	bc		16.68	b	15.55	bc
	6	10.24	de		11.73	cd		14.54	b	13.14	c
	7	5.84	e		3.82	d		9.60	b	11.37	c
(2) NaHCO ₃ G	1	17.70	ab		19.71	ab	(8) Sulfático Clorhídrica B	72.14	a	28.11	a
	2	17.84	ab		20.32	a		44.31	b	26.04	ab
	3	11.68	bc	BCD	18.40	ab		30.96	bcd	20.77	b
	4	9.78	bc		16.75	ab		24.53	bcd	20.51	b
	5	5.23	cd		14.56	ab		17.49	cd	20.50	b
	6	4.96	cd		11.81	b		16.72	cd	19.56	b
	7	2.53	d		3.64	c		15.50	d	12.28	c
(3) Na ₂ SO ₄ EFG	1	30.98	a		21.95	a	(9) Clorhídrico Sulfática BCD	41.92	a	26.78	a
	2	20.37	b		19.61	b		36.95	ab	23.10	a
	3	16.14	bc	BCD	19.49	bc		27.07	bc	22.95	ab
	4	15.96	bc		18.08	bc		24.14	cd	21.84	ab
	5	13.59	bc		17.37	bc		22.54	cd	20.73	ab
	6	12.17	cd		16.07	c		22.11	cd	16.62	bc
	7	7.51	d		15.95	c		16.69	d	12.86	c
(4) MgSO ₄ BC	1	35.01	bc		22.11	bc	(10) Sulfática A	43.70	ab	24.98	a
	2	51.85	ab		24.40	a		50.36	a	31.44	a
	3	50.54	a	B	26.28	a		43.56	ab	28.64	a
	4	50.15	ab		26.18	a		42.42	ab	23.62	a
	5	30.89	bc		24.98	ab		41.97	ab	22.68	a
	6	20.83	cd		21.83	bc		31.58	ab	20.78	a
	7	15.23	d		18.63	d		24.07	c	19.30	b
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O DE	1	32.70	ab		16.03	cde	(11) Sulfático sódica FG	18.45	b	19.63	a
	2	43.52	a		22.08	ab		12.73	bc	16.53	ab
	3	36.42	ab	BCD	20.45	ab		11.43	bcd	17.77	abc
	4	31.91	ab		18.96	abcd		10.14	cd	15.48	bcd
	5	29.90	bc		17.68	cd		8.24	cd	14.35	cd
	6	20.55	c		15.78	de		9.52	cd	13.45	cd
	7	17.43	c		13.62	e		5.56	d	10.65	d
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O FG	1	31.51	a		19.12	a					
	2	25.87	ab		19.09	ab					
	3	21.42	bc	D	16.20	abc					
	4	15.36	cd		14.23	abc					
	5	10.13	de		9.64	bcd					
	6	7.88	e		8.09	cd					
	7	3.22	e		1.78	d					

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($Pr > F = 0.0001$) dentro de la columna. ** (Significancia estadística (Tukey, 0.05))

El crecimiento de la radícula fue altamente afectado tanto en el testigo, como en las sales puras y geoquímicas en el pasto Ballico (Cuadro 25).

El crecimiento mayor de radícula fue en la sal $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y el menor en el NaHCO_3 ($P < 0.05$) y la inhibición de su crecimiento se registró a la máxima concentración de NaCl , NaHCO_3 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. El máximo crecimiento de la parte aérea fue en el testigo y MgSO_4 y, la menor, en NaCl ; mientras que, a los máximos niveles de concentración todas las sales impidieron su desarrollo, excepto MgSO_4 . El crecimiento en ambas partes fue favorecido con un ligero incremento en la concentración de Na_2SO_4 , la sal $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ solo benefició a la radícula.

En cuanto a la mezcla de sales, el máximo crecimiento de la radícula ocurrió en la salinidad clorhídrico-sulfática y, el menor, en la sulfático-sódica ($P < 0.05$). Inhibiendo únicamente, esta misma sal, su desarrollo a máxima concentración. Para la parte aérea, el crecimiento mayor se registró en el testigo y en la salinidad sulfática; mientras que, el menor, ocurrió en la sulfático-sódica; las sales que impidieron su crecimiento fueron clorhídrica y sulfático-sódica, a niveles de concentración alta. El crecimiento en ambas partes, fue favorecido con un ligero incremento en la concentración de las sales sulfático-clorhídrica y clorhídrico-sulfática.

En este cultivo, el crecimiento de ambas partes fue altamente significativo ($P < 0.05$), la radícula se vio favorecida principalmente por la salinidad clorhídrico-sulfática; en cambio, NaCl , NaHCO_3 , Na_2SO_4 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y la sal sulfático-sódica fueron iguales ($P > 0.05$) y afectaron su crecimiento, la salinidad sulfático-clorhídrica fue igual a la clorhídrica ($P > 0.05$), el MgSO_4 , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y el MgCl_2 tuvieron el mismo efecto ($P > 0.05$).

En la parte aérea, las mejores sales fueron la clorhídrico-sulfática, sulfática y MgSO_4 ($P < 0.05$); mientras que, las peores sales fueron el NaCl y el NaHCO_3 y fueron iguales entre ellas ($P > 0.05$); la salinidad clorhídrica tuvo el mismo efecto que la sulfático-clorhídrica.

Estadísticamente el efecto de las sales geoquímicas ligeramente favoreció el desarrollo de ambas partes en estudio.

Cuadro 25. Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, del pasto Ballico (*Lolium perenne* L.)

Sal†	Nivel	Rad.**	¶	Sal†	Plánt**	¶	Sal†	Rad.**	¶	Plánt**	¶
Testigo	0	9.52	ab		49.71	ab	Testigo	14.04	ab	52.91	ab
(1) NaCl D	1	8.54	a		29.79	ab	(7) Clorhídrica	16.96	ab	61.28	a
	2	2.69	b		15.68	bc		16.37	a	49.03	ab
	3	1.25	bc	E	0.24	c	AB	14.18	ab	49.03	ab
	4	1.22	bc		0.00	d		14.08	ab	45.26	ab
	5	0.79	c		0.00	d		14.03	ab	45.40	ab
	6	0.00	d		0.00	d		13.27	ab	21.20	b
	7	0.00	d		0.00	d		1.19	c	0.00	c
(2) NaHCO ₃ D	1	3.80	a		33.47	ab	(8) Sulfático	13.11	ab	47.82	abc
	2	2.90	b		17.28	bc		19.52	a	59.42	a
	3	0.30	b	E	3.25	c	Clorhídrica	15.78	ab	40.49	bcd
	4	0.13	c		0.00	d	AB	14.68	ab	33.56	cd
	5	0.00	d		0.00	d		13.89	b	33.23	cd
	6	0.00	d		0.00	d		13.09	b	28.47	d
	7	0.00	d		0.00	d		5.61	c	6.50	e
(3) Na ₂ SO ₄ D	1	3.32	c		22.71	ab	(9) Clorhídrico	15.67	b	57.49	ab
	2	9.02	b		32.58	bc		54.37	b	72.06	a
	3	1.96	c	DE	9.84	c	Sulfática	21.00	a	53.59	ab
	4	1.90	c		7.87	c	A	16.38	b	32.73	bc
	5	1.86	c		5.70	c		7.12	c	21.32	c
	6	1.50	c		4.94	c		6.76	c	17.00	c
	7	1.42	c		0.00	d		3.79	c	9.41	d
(4) MgSO ₄ C	1	15.00	a		54.77	a	(10) Sulfática	19.33	a	65.62	a
	2	13.76	a		51.43	ab		13.12	bc	52.36	ab
	3	7.54	bc	A	50.18	ab	BC	12.90	bcd	49.65	ab
	4	6.02	cd		41.51	ab		12.17	bcd	47.86	b
	5	5.83	cd		34.95	b		6.54	de	40.08	b
	6	3.89	de		34.78	b		6.41	de	31.64	b
	7	1.98	e		10.08	c		3.11	e	9.92	c
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O C	1	14.40	ab		53.55	a	(11) Sulfático	7.58	b	31.70	ab
	2	14.46	a		41.98	abc		3.80	c	30.99	ab
	3	13.38	ab	BC	27.90	bc	sódica	3.14	cd	27.61	b
	4	9.54	bc		24.96	bc	D	1.28	de	10.28	bc
	5	9.02	c		18.33	bc		1.00	de	8.08	bc
	6	7.39	c		13.38	c		0.13	e	0.00	c
	7	1.65	d		0.00	d		0.00	e	0.00	c
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O D	1	11.01	a		51.20	a					
	2	4.96	b		42.13	ab					
	3	4.01	bc	CD	34.82	abc					
	4	2.96	cd		19.16	bc					
	5	1.18	de		8.33	c					
	6	0.00	e		0.00	d					
	7	0.00	e		0.00	d					

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($Pr > F = 0.0001$) dentro de la columna. ** (Significancia estadística (Tukey, 0.05))

En remolacha, la radícula fue altamente afectada por la presencia de sales, ya que se desarrolló más la parte aérea tanto en el testigo como en las sales puras y las sales geoquímicas (Cuadro 26)

El testigo y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ registraron el mayor crecimiento de radícula; mientras que, NaHCO_3 fue la sal con menor desarrollo. Para la parte aérea, la sal con mayor respuesta de crecimiento fue MgSO_4 y NaCl la de menor. El tamaño de la radícula fue favorecido con un ligero incremento en la concentración de Na_2SO_4 y MgSO_4 . El crecimiento de la radícula y parte aérea fue inhibido al 100% en NaCl , NaHCO_3 , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, a la máxima concentración valorada en este estudio.

En las sales geoquímicas, el máximo crecimiento de la radícula se observó en el testigo. La salinidad sulfática registró los máximos valores de desarrollo de radícula y parte aérea; mientras que, la sulfática sódica, los menores, siendo esta sal la única que impidió el crecimiento a sus máximos niveles de concentración. Un ligero incremento en la concentración de la salinidad clorhídrica aumentó el desarrollo de ambas partes.

El desarrollo de la radícula se vio favorecido principalmente por $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y fue fuertemente afectada por el NaHCO_3 , las salinidades clorhídrica, sulfático-clorhídrica y el $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ fueron iguales ($P > 0.05$), lo mismo que la sales NaCl y sulfático-sódica ($P > 0.05$).

En la parte aérea, el MgSO_4 fue la mejor sal ($P < 0.05$), y la peor, fue la salinidad sulfático-sódica; por su parte, las salinidades clorhídrica, sulfático-clorhídrica, clorhídrico-sulfática, NaCl , NaHCO_3 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, mostraron el mismo efecto entre ellas ($P > 0.05$).

El desarrollo de ambas partes morfológicas en estudio fue altamente significativo ($P < 0.01$), el efecto de las sales geoquímicas fue estadísticamente igual al de las sales puras ($P < 0.01$).

Cuadro 26. Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, de remolacha (*Beta vulgaris*).

Sal†	Nivel	Rad.**	¶	Sal†	Plánt**	¶	Sal†	Rad.**	¶	Plánt**	¶
Testigo	0	9.38	ab		13.92	ab	Testigo	7.32	a	10.62	a
(1) NaCl EF	1	7.08	ab		5.25	bc	(7) Clorhídrica	3.61	bcd	6.24	abc
	2	3.10	bc		4.97	bc		4.35	ab	9.88	a
	3	1.83	c	CD	2.93	bc	DEF	3.34	abc	5.24	bc
	4	1.24	c		2.08	bc		2.05	cd	4.77	bc
	5	1.20	c		0.47	c		1.72	cd	2.59	c
	6	0.29	d		0.00	d		0.47	d	2.51	c
	7	0.00	e		0.00	d		0.37	d	0.94	d
(2) NaHCO ₃ F	1	3.07	b		8.62	ab	(8) Sulfático	4.63	ab	8.29	ab
	2	2.70	b		8.11	ab		3.96	ab	6.97	ab
	3	2.19	bc	CD	6.85	abc	Clorhídrica	3.90	bc	5.98	ab
	4	1.74	bc		3.46	bc	DEF	1.96	c	4.22	b
	5	1.38	bc		2.31	c		1.47	c	2.78	c
	6	0.89	c		0.00	d		1.11	c	2.01	c
	7	0.00	d		0.00	d		0.23	d	0.23	d
(3) Na ₂ SO ₄ CD	1	3.27	b		16.24	a	(9) Clorhídrico	3.54	ab	8.24	ab
	2	5.64	a		9.83	a		5.42	a	7.83	abc
	3	3.42	b	C	7.54	ab	Sulfática	5.14	ab	7.44	abc
	4	3.34	b		6.29	ab	CDE	4.45	ab	6.87	abc
	5	2.93	bc		4.87	b		3.00	b	4.69	bc
	6	2.70	c		4.34	b		1.85	c	3.56	bc
	7	0.73	d		1.31	C		1.13	c	1.66	c
(4) MgSO ₄ AB	1	7.92	ab		18.29	a	(10) Sulfática	8.66	b	15.51	ab
	2	11.01	a		17.90	a		5.65	bc	15.29	ab
	3	6.19	bc	A	17.56	a	BC	5.56	cd	14.39	ab
	4	6.07	bcd		17.39	b		5.21	d	11.39	ab
	5	6.03	bcd		13.64	b		3.78	e	13.84	c
	6	4.01	cd		13.32	b		3.01	e	6.23	c
	7	3.82	d		12.56	b		2.91	e	5.45	c
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O A	1	11.78	a		21.43	a	(11) Sulfático	3.41	abc	6.97	ab
	2	10.41	ab		15.62	a		4.30	ab	4.65	abc
	3	8.96	b	B	13.82	a	sódica	2.34	bc	3.85	bc
	4	8.66	b		13.17	ab	EF	1.77	c	3.09	bc
	5	8.33	b		11.63	ab		0.98	d	0.97	c
	6	3.66	c		2.77	b		0.94	d	0.00	d
	7	0.00	d		0.00	c		0.00	d	0.00	d
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O DEF	1	6.66	a		10.34	a					
	2	5.66	ab		9.98	a					
	3	3.53	abc	CD	9.00	b					
	4	3.38	bcd		4.51	c					
	5	2.71	cd		4.46	c					
	6	1.05	cd		0.00	d					
	7	0.00	e		0.00	d					

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($Pr > F = 0.0001$) dentro de la columna. ** (Significancia estadística (Tukey, 0.05))

En general, el tipo de sales que permitieron el mayor crecimiento de radícula y parte aérea son MgSO_4 para frijol y maíz y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, para los cultivos restantes. El menor desarrollo ocurrió en NaHCO_3 , para todos los cultivos. En las sales geoquímicas, las que promovieron mayor desarrollo fueron la clorhídrico-sulfática en el cultivo de alfalfa, pasto Banderita y pasto Ballico; sulfático-clorhídrica, en el cultivo de avena; y la salinidad sulfática, frijol, maíz y remolacha; mientras que, las de menor crecimiento fueron la sulfática en alfalfa y pasto Banderita; y la salinidad sulfático-sódica para el resto de los cultivos.

Sin embargo, MgSO_4 fue la mejor sal únicamente para avena ($P < 0.05$); el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ para alfalfa y remolacha; la clorhídrico-sulfática para ambos pastos; y, la salinidad sulfática para frijol y maíz. El NaHCO_3 afectó a todos los cultivos, excepto a avena, donde la salinidad sulfático-sódica fue la que afectó más a la radícula.

En el caso de la parte aérea, las sales con mayor crecimiento fueron $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, para avena y el MgSO_4 para los demás cultivos. Las sales con menor desarrollo fueron NaCl , el pasto Ballico y remolacha; NaHCO_3 , alfalfa, avena y frijol; y, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, para pasto Banderita y maíz. Las sales geoquímicas con mayor crecimiento fueron la clorhídrico-sulfática, alfalfa y pasto Banderita; sulfático-clorhídrica, en avena; y, sulfática para los demás cultivos. Las sales con menor desarrollo fueron sulfática, en alfalfa y pasto Banderita; clorhídrica, para frijol; y, sulfático-sódica, para avena, maíz, pasto y remolacha.

La sal MgSO_4 favoreció únicamente a la avena, pasto Ballico y remolacha ($P < 0.05$); mientras que, la salinidad sulfática beneficio más al frijol y maíz; la clorhídrico-sulfática, al pasto Banderita; y, la clorhídrica, a la alfalfa; en cambio, el NaHCO_3 , afectó más a esta parte en todos los cultivos, excepto en maíz y remolacha donde las sales $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y sulfático-sódica, respetivamente, influyeron en el crecimiento.

Las sales geoquímicas registraron mayor crecimiento de ambas partes a mayores concentraciones que las sales puras, sin embargo, estadísticamente no hubo gran diferencia entre sales, excepto en el pasto Banderita, frijol y pasto, donde la mezcla de sales favoreció ligeramente el desarrollo de ambas partes.

El crecimiento vegetativo tiene una relación lineal con la concentración de sal, ya que éste se vio afectado al ir incrementando la concentración salina y la CE, lo que provocó una disminución del potencial osmótico. Tanto la radícula como la parte aérea perdieron turgencia con el tiempo. Después de 15 días se perdió totalmente la turgencia, tanto de la radícula como de la parte aérea.

Ashraf (1994) plantea que si la concentración salina en la solución del suelo aumenta y el potencial hídrico se reduce, el potencial de turgencia disminuye en las células, éstas dejan de dividirse y elongarse, se acelera la desnaturalización de las proteínas y hay pérdida de biomasa y se produce un pobre crecimiento.

Van den Berg y Zeng (2006), trabajando con tres especies de pastos nativos del sur de África y sometidos a estrés inducido por polietilenglicol (PEG) 6000, reportan que la capacidad de germinación y la longitud de la raíz descienden con una disminución del potencial osmótico.

Greenway y Munns (1980), indican que el crecimiento del retoño es usualmente más afectado que el crecimiento de la raíz, aunque algunos estudios muestran que la elongación de la raíz es particularmente sensible a la salinidad (Cramer *et al.*, 1989)

Shen *et al.* (2003), demuestran que la germinación y crecimiento de la radícula disminuyó al incrementarse la concentración de NaCl y una baja salinidad estimula el crecimiento del retoño.

Las sales que presentaron el menor crecimiento en ambas partes registraron un pH alcalino, en la mayoría de los cultivos, en ambos tipos de sales y las de mayor desarrollo, presentaron pH neutro y ligeramente ácido.

Efecto de las sales puras sobre el crecimiento de radícula y parte aérea

El desarrollo de la radícula a los 15 días de en las sales puras para avena, pasto Banderita y remolacha mostraron el máximo crecimiento en el testigo (Cuadro 27). Las sales NaCl y NaHCO₃ afectaron más la extensión de radícula del pasto Banderita y remolacha; la sal Na₂SO₄ disminuyó la elongación de la raíz de avena, remolacha y pastos; las sales MgSO₄, CaCl₂·2H₂O y MgCl₂·6H₂O influyeron en las radícula del pasto Banderita; el maíz fue el cultivo con mayor crecimiento en radícula para todas las sales, aun a altas concentraciones.

El desarrollo de la parte aérea a los 15 días en sales puras para alfalfa, avena, pasto Banderita y pasto Ballico mostró su máximo crecimiento en el testigo (Cuadro 28). Las sales NaCl, NaHCO₃, Na₂SO₄, tuvieron menor efecto en el crecimiento de maíz; la sal MgSO₄, en pasto Banderita; y, las sales CaCl₂·2H₂O y MgCl₂·6H₂O, favorecieron la elongación de la parte aérea de avena. Por su parte, la alfalfa mostró menor crecimiento de la parte aérea en todas las sales.

Cuadro 27. Crecimiento de radícula (mm) a los 15 días, con diferentes tipos y concentraciones salinas puras, a temperatura ambiente.

Sal	Nivel	Alfalfa	Avena	Banderita	Frijol	Maíz	Pasto	Remolacha
Testigo	0	29.08	18.38	9.07	15.47	25.76	9.52	9.38
(1) NaCl	1	21.33	11.73	5.56	24.36	49.93	8.54	7.08
	2	29.80	11.94	4.55	7.62	27.75	2.69	3.10
	3	14.41	2.49	3.41	6.60	20.44	1.25	1.83
	4	13.99	1.76	0.61	3.26	20.11	1.22	1.24
	5	2.89	1.58	0.60	2.40	16.26	0.79	1.20
	6	0.00	1.53	0.16	2.06	10.24	0.00	0.29
	7	0.00	0.00	0.00	0.17	5.84	0.00	0.00
(2) NaHCO ₃	1	15.13	10.00	7.03	10.79	17.70	3.80	3.07
	2	3.03	3.92	0.91	5.92	17.84	2.90	2.70
	3	0.00	1.72	0.08	2.47	11.68	0.30	2.19
	4	0.00	0.07	0.04	2.04	9.78	0.13	1.74
	5	0.00	0.00	0.00	1.76	5.23	0.00	1.38
	6	0.00	0.00	0.00	1.43	4.96	0.00	0.89
	7	0.00	0.00	0.00	0.00	2.53	0.00	0.00
(3) Na ₂ SO ₄	1	24.83	8.36	9.41	16.70	30.98	3.32	3.27
	2	25.19	3.20	7.07	10.58	20.37	9.02	5.64
	3	17.64	2.97	3.72	8.25	16.14	1.96	3.42
	4	9.55	2.36	0.59	5.13	15.96	1.90	3.34
	5	1.48	1.53	0.53	2.44	13.59	1.86	2.93
	6	0.65	0.77	0.43	1.99	12.17	1.50	2.70
	7	0.00	0.00	0.20	0.71	7.51	1.42	0.73
(4) MgSO ₄	1	23.66	19.80	5.26	34.79	35.01	15.00	7.92
	2	19.59	14.39	6.82	31.85	51.85	13.76	11.01
	3	12.62	8.50	3.86	14.32	50.54	7.54	6.19
	4	7.46	8.36	3.06	22.48	50.15	6.02	6.07
	5	5.27	6.71	2.85	14.93	30.89	5.83	6.03
	6	4.77	4.73	1.81	10.52	20.83	3.89	4.01
	7	2.94	1.99	0.19	5.22	15.23	1.98	3.82
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O	1	40.17	19.25	13.09	37.21	32.70	14.40	11.78
	2	48.65	13.70	11.83	16.70	43.52	14.46	10.41
	3	41.06	10.92	7.53	12.19	36.42	13.38	8.96
	4	29.55	9.41	5.38	9.39	31.91	9.54	8.66
	5	23.22	8.50	5.38	8.96	29.90	9.02	8.33
	6	18.77	4.84	4.29	4.54	20.55	7.39	3.66
	7	5.79	1.42	2.29	1.38	17.43	1.65	0.00
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O	1	12.56	14.50	7.21	33.90	31.51	11.01	6.66
	2	8.13	7.17	3.48	16.14	25.87	4.96	5.66
	3	5.16	2.20	1.66	5.86	21.42	4.01	3.53
	4	3.59	0.91	0.52	4.04	15.36	2.96	3.38
	5	3.36	0.37	0.19	3.90	10.13	1.18	2.71
	6	1.96	0.11	0.09	1.61	7.88	0.00	1.05
	7	0.11	0.00	0.00	0.00	3.22	0.00	0.00

Cuadro 28. Crecimiento de la parte aérea (mm) a los 15 días, con diferentes tipos y concentraciones salinas puras, a temperatura ambiente.

Sal	Nivel	Alfalfa	Avena	Banderita	Frijol	Maíz	Pasto	Remolacha
Testigo	0	5.89	39.88	16.94	15.54	21.40	49.71	13.92
(1) NaCl	1	3.38	29.09	13.56	20.12	29.92	29.79	5.25
	2	3.04	32.83	13.66	6.40	21.40	15.68	4.97
	3	2.94	8.93	7.91	5.80	20.12	0.24	2.93
	4	1.42	2.65	1.00	3.00	17.84	0.00	2.08
	5	0.00	2.10	0.56	2.82	17.57	0.00	0.47
	6	0.00	0.53	0.44	1.46	11.73	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.09	0.00	3.82	0.00	0.00
(2) NaHCO ₃	1	2.19	33.37	23.28	9.11	19.71	33.47	8.62
	2	0.18	6.73	10.15	4.43	20.32	17.28	8.11
	3	0.00	4.37	0.90	2.38	18.40	3.25	6.85
	4	0.00	2.33	0.15	1.71	16.75	0.00	3.46
	5	0.00	0.00	0.25	1.55	14.56	0.00	2.31
	6	0.00	0.00	0.13	1.50	11.81	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00	0.00	3.64	0.00	0.00
(3) Na ₂ SO ₄	1	4.12	29.44	21.80	14.79	21.95	22.71	16.24
	2	3.44	17.20	21.08	8.46	19.61	32.58	9.83
	3	3.06	12.71	9.36	5.31	19.49	9.84	7.54
	4	2.78	8.81	1.38	4.07	18.08	7.87	6.29
	5	1.56	4.14	1.00	2.25	17.37	5.70	4.87
	6	0.20	4.12	1.16	1.72	16.07	4.94	4.34
	7	0.00	0.00	0.50	0.54	15.95	0.00	1.31
(4) MgSO ₄	1	10.52	43.76	8.34	33.31	22.11	54.77	18.29
	2	3.88	36.40	19.09	31.84	24.40	51.43	17.90
	3	2.94	36.15	13.91	11.50	26.28	50.18	17.56
	4	2.43	30.23	9.18	11.52	26.18	41.51	17.39
	5	2.26	26.29	7.55	10.88	24.98	34.95	13.64
	6	1.48	26.02	3.43	8.40	21.83	34.78	13.32
	7	0.00	9.88	0.32	5.92	18.63	10.08	12.56
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O	1	3.51	60.77	16.73	21.98	16.03	53.55	21.43
	2	3.31	47.46	19.51	9.65	22.08	41.98	15.62
	3	3.19	47.55	9.99	7.59	20.45	27.90	13.82
	4	2.34	46.12	4.54	7.26	18.96	24.96	13.17
	5	1.73	27.69	4.00	6.82	17.68	18.33	11.63
	6	1.40	5.48	2.27	3.88	15.78	13.38	2.77
	7	0.41	0.00	1.56	1.48	13.62	0.00	0.00
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O	1	2.87	32.69	17.43	27.16	19.12	51.20	10.34
	2	1.63	27.42	7.15	14.43	19.09	42.13	9.98
	3	0.00	17.11	3.12	6.28	16.20	34.82	9.00
	4	0.00	5.40	0.42	2.54	14.23	19.16	4.51
	5	0.00	0.76	0.29	3.46	9.64	8.33	4.46
	6	0.00	0.00	0.18	1.08	8.09	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78	0.00	0.00

Efecto de las sales geoquímicas sobre el crecimiento de radícula y parte aérea

En los cultivos de alfalfa, avena, pasto Banderita y remolacha el máximo crecimiento ocurrió en el testigo (Cuadro 29). Las salinidades clorhídrica, sulfático-clorhídrica, clorhídrico-sulfática afectaron más el crecimiento de la remolacha y, en menor grado, influyeron en el maíz. La salinidad sulfática disminuyó el crecimiento del pasto Banderita y favoreció el crecimiento del maíz; mientras que, en la salinidad sulfático-sódica, la menor extensión de radícula se observó en la remolacha ligeramente en alfalfa.

En los cultivos de alfalfa, pasto Banderita, frijol y pasto Ballico el máximo crecimiento ocurrió, a los 15 días, en el testigo (Cuadro 30). El pasto Ballico mostró el mayor crecimiento en todas las sales, aún en altas concentraciones. El cultivo con menor extensión de la parte aérea fue la alfalfa, en todas las sales empleadas.

Cuadro 29 Crecimiento de radícula (mm) a los 15 días, con diferentes tipos y concentraciones salinas geoquímicas, a temperatura ambiente.

Sal	Nivel	Alfalfa	Avena	Banderita	Frijol	Maíz	Pasto	Remolacha
Testigo	0	25.99	9.94	18.65	22.08	24.95	14.04	7.32
(7) Clorhídrica	1	2.99	17.99	9.06	12.40	32.18	16.96	3.61
	2	17.04	14.75	13.14	24.38	30.72	16.37	4.35
	3	16.93	6.84	9.87	10.81	28.55	14.18	3.34
	4	5.09	5.84	7.77	7.88	28.50	14.08	2.05
	5	3.75	5.19	4.03	6.97	16.68	14.03	1.72
	6	3.25	2.74	3.68	5.73	14.54	13.27	0.47
	7	0.85	0.00	0.54	0.89	9.60	1.19	0.37
(8) Sulfático Clorhídrica	1	23.43	15.53	13.63	37.73	72.14	13.11	4.63
	2	24.08	10.96	12.74	29.33	44.31	19.52	3.96
	3	22.21	9.29	7.53	28.20	30.96	15.78	3.90
	4	10.93	8.24	5.86	13.42	24.53	14.68	1.96
	5	7.33	6.48	4.79	11.16	17.49	13.89	1.47
	6	7.11	5.86	3.81	4.86	16.72	13.09	1.11
	7	3.72	0.74	3.55	0.87	15.50	5.61	0.23
(9) Clorhídrico Sulfática	1	28.18	16.66	15.75	44.82	41.92	15.67	3.54
	2	24.05	13.85	13.03	46.79	36.95	54.37	5.42
	3	22.15	7.87	8.52	20.05	27.07	21.00	5.14
	4	12.56	6.09	8.27	13.75	24.14	16.38	4.45
	5	10.31	5.82	6.43	13.60	22.54	7.12	3.00
	6	2.94	1.51	4.36	11.06	22.11	6.76	1.85
	7	1.48	0.99	2.30	7.32	16.69	3.79	1.13
(10) Sulfática	1	11.34	6.44	2.17	35.37	43.70	19.33	8.66
	2	22.54	7.12	1.04	49.74	50.36	13.12	5.65
	3	5.55	8.83	0.33	29.23	43.56	12.90	5.56
	4	0.00	5.77	0.08	27.48	42.42	12.17	5.21
	5	0.00	3.93	0.00	21.77	41.97	6.54	3.78
	6	0.00	3.12	0.00	18.02	31.58	6.41	3.01
	7	0.00	1.19	0.00	7.30	24.07	3.11	2.91
(11) Sulfático sódica	1	24.43	8.43	12.43	29.19	18.45	7.58	3.41
	2	16.04	4.68	8.65	14.45	12.73	3.80	4.30
	3	14.35	1.96	5.34	12.33	11.43	3.14	2.34
	4	9.26	1.47	2.48	3.15	10.14	1.28	1.77
	5	8.90	1.25	2.06	2.71	8.24	1.00	0.98
	6	6.63	0.00	1.54	2.55	9.52	0.13	0.94
	7	4.31	0.00	1.42	0.00	5.56	0.00	0.00

Cuadro 30 Crecimiento de la parte aérea (mm) a los 15 días, con diferentes tipos y concentraciones salinas geoquímicas, a temperatura ambiente.

Sal	Nivel	Alfalfa	Avena	Banderita	Frijol	Maíz	Pasto	Remolacha
Testigo	0	3.39	17.12	33.80	22.78	11.78	52.91	10.62
(7) Clorhídrica	1	1.93	41.03	22.95	10.05	28.99	61.28	6.24
	2	3.78	31.33	21.77	19.39	22.45	49.03	9.88
	3	2.50	24.84	18.59	8.44	16.81	49.03	5.24
	4	0.93	12.41	14.18	6.00	15.77	45.26	4.77
	5	0.56	11.22	7.74	5.97	15.55	45.40	2.59
	6	0.37	2.41	3.15	6.55	13.14	21.20	2.51
	7	0.00	0.00	1.03	0.29	11.37	0.00	0.94
(8) Sulfático Clorhídrica	1	3.78	37.23	20.87	28.32	28.11	47.82	8.29
	2	3.27	32.22	26.72	16.57	26.04	59.42	6.97
	3	3.46	29.42	19.09	17.72	20.77	40.49	5.98
	4	0.83	21.27	5.65	8.56	20.51	33.56	4.22
	5	0.73	15.61	4.21	6.96	20.50	33.23	2.78
	6	0.73	13.28	3.78	4.11	19.56	28.47	2.01
	7	0.00	0.00	2.88	1.18	12.28	6.50	0.23
(9) Clorhídrico Sulfática	1	3.91	30.62	33.99	29.77	26.78	57.49	8.24
	2	3.55	34.41	24.34	21.80	23.10	72.06	7.83
	3	2.26	18.83	14.60	14.27	22.95	53.59	7.44
	4	2.92	16.22	11.32	9.49	21.84	32.73	6.87
	5	1.29	13.82	8.80	9.27	20.73	21.32	4.69
	6	0.42	7.44	5.67	7.29	16.62	17.00	3.56
	7	0.00	2.82	2.19	5.51	12.86	9.41	1.66
(10) Sulfática	1	1.36	11.63	28.12	30.59	24.98	65.62	15.51
	2	3.04	11.90	23.21	28.06	31.44	52.36	15.29
	3	0.26	21.86	7.62	22.45	28.64	49.65	14.39
	4	0.00	16.79	1.35	19.51	23.62	47.86	11.39
	5	0.00	11.15	0.00	15.71	22.68	40.08	13.84
	6	0.00	10.54	0.00	13.09	20.78	31.64	6.23
	7	0.00	8.02	0.00	6.19	19.30	9.92	5.45
(11) Sulfático sódica	1	3.35	31.35	25.46	25.38	19.63	31.70	6.97
	2	2.98	14.69	18.12	14.02	16.53	30.99	4.65
	3	1.94	6.95	20.34	10.90	17.77	27.61	3.85
	4	1.28	5.25	10.13	2.62	15.48	10.28	3.09
	5	0.44	2.38	7.44	2.62	14.35	8.08	0.97
	6	0.95	0.00	4.95	2.98	13.45	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	2.64	0.00	10.65	0.00	0.00

Como se mencionó anteriormente, se esperaba que el NaCl, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, la salinidad clorhídrica y la sulfático-clorhídrica, tuvieran un efecto perjudicial marcado, como consecuencia de las altas CE que generaron; sin embargo, las sales que afectaron más el porcentaje de germinación y crecimiento fueron $NaHCO_3$ y la salinidad sulfático-sódica.

Con base a lo anterior, las sales que tienen el ión HCO_3^- como anión acompañante, afectaron más el crecimiento de radícula y parte aérea de los cultivos evaluados, seguidos por los iones de Cl^- y por último los de SO_4^{2-} , que fueron los menos agresivos. Las sales con el ión Cl^- como acompañante, registraron los valores más altos de CE y los valores más bajos de $\Psi\pi$. El efecto del $NaHCO_3$ se debe a las características del ión. Bernstein (1961), indica que la absorción de cloruros por algunas especies está fuertemente influenciada por el catión acompañante.

Mass y Niemas (1978), mencionan que la salinidad causada por cloruros incrementa la succulencia de muchas especies de plantas, pero no en todas, cebada y trigo son dos excepciones.

En las sales donde el magnesio y calcio fueron los cationes predominantes el crecimiento fue mayor, en comparación al ión sodio, ya que éste no afectó gravemente el crecimiento. Los cloruros fueron más tóxicos para el desarrollo en comparación a los sulfatos.

Concentraciones altas de sulfato en el substrato limitan la actividad del ión calcio (Hayward y Wadleigh, 1949). Kent y Läuchli (1985), reportaron que en tratamientos adecuados de Ca^{2+} , el crecimiento de las raíces de algodón es tan bueno como en ausencia de estrés salino.

Hamada (1994), reportó que el crecimiento del maíz fue marcadamente inhibido con incrementos de NaCl; similarmente, que la plantas sometidas a salinización y Ca^{2+} presentaron una longitud de la raíz y de los brotes superior, en comparación con aquellas plantas tratadas únicamente con NaCl, especialmente en altos niveles de salinidad, y que el efecto del Ca^{2+} promueve la tolerancia a la salinidad.

Magistad *et al.* (1943), trabajando con alfalfa, encontraron un incremento en el rendimiento debido a la sal predominante con calcio y, donde el magnesio fue el catión predominante, el rendimiento fue usualmente más bajo que cuando calcio y sodio fueron los predominantes. Cuando el sodio constituyó el 76% de los cationes presentes, en términos de miliequivalentes por litro, el rendimiento fue aproximadamente el mismo que cuando la relación de sodio cationes totales fue del 50 %. El sodio en la ración usada, no pareció ser un catión particularmente perjudicial para el crecimiento de alfalfa.

La germinación, velocidad de germinación y longitud de radícula variaron entre especies del pasto *Agropyron*, al someterlos a distintos potenciales osmóticos; la longitud de la raíz se asoció significativamente en forma lineal con el potencial osmótico, en tanto que, para la germinación absoluta y la velocidad de germinación, se asociaron con ese parámetro, tanto en relaciones lineales, cúbicas y cuadráticas (Rountry *et al.*, 1985).

CAPITULO 2 GERMINACIÓN DEL PASTO BANDERITA (*Bouteloua curtipendula* Michx. Torr.) EN CONDICIONES ISOSMÓTICAS DE SALINIDAD CUANTITATIVA Y CUALITATIVA A DIFERENTE TEMPERATURA

2.1. INTRODUCCIÓN

La salinidad edáfica genera diferentes presiones osmóticas, afectando la germinación al dificultar la adsorción de agua, por la reducida entrada de ésta en la semilla, principalmente cuando el contacto suelo-semilla es muy pobre; por otra parte, se favorece también la entrada de iones específicos en cantidades tóxicas. El ajuste osmótico es el mecanismo de las plantas para soportar el déficit hídrico en ambientes salinos. La capacidad para tolerar o excluir iones y ajustar su potencial osmótico para mantener un balance hídrico favorable, es considerada la parte esencial de la tolerancia a la salinidad (Terry y Waldrom, 1984).

El potencial osmótico de los suelos salinos no es necesariamente aditivo al potencial mátrico en la limitación de la absorción de agua por la semilla. La absorción de iones por la semilla puede provocar el descenso de su propio potencial osmótico y facilitar la hidratación, ya que habrá un gradiente de potencial entre suelo y semilla, aunque también es posible que la absorción de iones pueda interferir la germinación, siendo ésto muy variable con la especie y las sales presentes en el suelo (Ungar, 1978).

La reducción del agua disponible o "sequía fisiológica" debida a la salinidad, sugiere que la mayoría de las plantas que habitan en suelos salinos ajusten su potencial osmótico para mantener la absorción de agua y turgencia de los tejidos. Para realizar esta regulación osmótica deben absorber y acumular solutos o sintetizarlos. El crecimiento en condiciones de bajo potencial osmótico es dependiente del arreglo osmótico realizado por la propia planta para mantener la turgencia necesaria que lleva al alargamiento celular. Esto produce una gran reducción del crecimiento, aunque la turgencia sea mantenida, ya que este proceso es de alto costo en términos energéticos para la planta (Poljakoff y Gale, 1975).

Se ha sugerido que la implantación de especies tolerantes a la salinidad (principalmente halófitas), puede disminuir la salinidad del suelo por la extracción y transporte de material con alto contenido salino fuera de los sitios afectados por sales. Además, el crecimiento de estas especies mejoraría suficientemente el suelo como para permitir la proliferación de otras menos tolerantes.

Particularmente, San Luís Potosí, México, enfrenta la problemática del constante aumento en la concentración de sales del suelo y agua; como consecuencia, se presenta un deterioro en la calidad de estos recursos y una consecuente reducción en la productividad de los cultivos, debido a las presiones osmóticas que se generan en la solución del suelo.

El uso de algunos cultivos forrajeros en el mejoramiento de suelos salinos sódicos, representa una alternativa económica y sustentable, ya que además de reducir la salinidad pueden ser aprovechados como cultivos de amplia cobertura en grandes extensiones, para la disminución de la erosión y la producción de forraje para el ganado (Gorham *et al.*, 1985).

La subfamilia Chloridoideae es la más grande de los pastos; sin embargo, hay escasa información acerca de la tolerancia a la salinidad de muchas especies de ésta. El pasto Banderita (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.), es una gramínea nativa de México, ampliamente adaptada a condiciones de sequía en el desierto Chihuahuense y Sonorense; el forraje es de bueno a excelente para el ganado y la fauna silvestre (Stubbendiek *et al.*, 1982), porque conserva su valor forrajero durante más tiempo. Posee un gran potencial de uso en programas de recuperación de pastizales en México (Hernández y Ramos, 1968). Sin embargo Marcum (1999), menciona que es sensible a la salinidad.

El presente estudio describe la tolerancia a diferentes potenciales osmóticos de salinidad en relación a la temperatura en la etapa de germinación y crecimiento de radícula, del pasto Banderita, investigando si las semillas germinan a salinidades altas y si el crecimiento de la radícula puede sobrevivir a concentraciones salinas que permitan la germinación.

2.2 OBJETIVOS E HIPOTESIS

GENERAL

Estudiar la respuesta de pasto Banderita *Bouteloua curtipendula* a diferentes potenciales osmóticos de salinidad cualitativa y cuantitativa en la etapa de germinación.

ESPECIFICOS

Evaluar la tolerancia a la disminución del potencial osmótico del pasto Banderita, en condiciones de temperatura controlada.

Definir los niveles de salinidad generados por las diferentes sales para el pasto Banderita, estableciendo los rangos de tolerancia del pasto.

HIPÓTESIS

La toxicidad por iones influye en la germinación del pasto Banderita.

El incremento en la temperatura favorece la germinación, e incrementa la tolerancia de las sales.

El pasto Banderita es tolerante a la salinidad en la etapa de germinación.

2.3 REVISIÓN DE LITERATURA

2.3.1 Efecto de las sales en el desarrollo de la planta.

En diferentes experimentos se ha reportado que la salinidad en el suelo crea condiciones desfavorables para el desarrollo de las plantas y los mecanismos propuestos son efectos tóxicos, reducción en el suministro de agua a la planta, causando lo que se conoce como sequía fisiológica. Sin embargo, es difícil diferenciar entre el efecto tóxico y el efecto osmótico producido por las sales en el requerimiento de agua por la planta. En otros experimentos, se afirma que el agua aprovechable para las plantas, cuando en el suelo existe igual salinidad, es determinada por el tipo de sal y se dice, que en condiciones de salinidad producida por sulfatos, el agua disponible se abate y el rango de transpiración es superior que en plantas con salinidad de tipo cloruro; por otra parte, que la energía de succión de la hoja, la presión osmótica de la savia y la viscosidad del protoplasma, se ven disminuidos con el tipo de salinidad producida por los sulfatos (Strogonov, 1964).

Con frecuencia se ha señalado que los efectos osmóticos de ión específico operan simultáneamente y son difíciles de separar (Bernstein y Harward, 1958). El método más común para distinguir entre un daño secundario osmótico, debido a sales y uno primario, es comparar los efectos de soluciones isotónicas de sal con otras con sustancia orgánica (Levitt, 1980).

2.3.2 Daño primario por sales, diferenciación del daño secundario.

A diferencia del daño secundario por sales (deshidratación osmótica o diferencias nutrimentales), el daño primario involucra efectos tóxicos específicos, directamente en la membrana exterior (plasmalema) o, después de la penetración a través de la membrana, dentro del protoplasto. Mientras que los daños por estrés osmótico son impedidos con la absorción, el daño primario por sales aumenta con la absorción de éstas (Levitt, 1980). Lo anterior ha sido comprobado comparando soluciones isotónicas de sales y solutos orgánicos.

2.3.3 Daño primario indirecto por sales

Inhibición del crecimiento y desarrollo. Aún cuando la célula bajo presiones osmóticas puede, al menos parcialmente, contrarrestar los daños ocasionados por una disminución en la turgencia celular mediante el proceso de osmoregulación, puede haber un decremento significativo en el crecimiento. La planta, para sobrevivir, debe mantener un estado de equilibrio en su ambiente. Ello requiere un gasto continuo de energía y, si además, está creciendo en un suelo salino, debe adicionalmente disminuir la concentración de sales de Na^+ u otros iones en su protoplasma, por debajo de los niveles del suelo, para mantener el funcionamiento normal. Este proceso que requiere energía extra, que debería ser utilizada para el crecimiento, por lo que éste se ve reducido (Levitt, 1980).

2.3.4 Ajuste osmótico

El término de ajuste osmótico en plantas superiores se refiere al descenso del potencial osmótico, resultado de la acumulación de solutos en respuesta a los déficits de humedad o a la salinidad. Se refiere además, al incremento neto de solutos y puede ser usado para distinguir la acumulación activa de los mismos respecto a la acumulación pasiva, la cual es denominada osmoregulación. El ajuste osmótico es un mecanismo potencialmente importante de la resistencia a sequía.

El ajuste osmótico es un mecanismo de tolerancia a la sequía que minimiza los daños de la misma, mediante el mantenimiento de la turgencia. Cuando la turgencia es mantenida, es posible que continuara el alargamiento de células, aún cuando el potencial hídrico se reduzca. Esta habilidad de la planta para mantener la turgencia cuando el potencial hídrico desciende, es una adaptación importante del déficit de agua (Levitt, 1980).

Algunas especies de plantas responden al déficit de agua con la acumulación de solutos inorgánicos y orgánicos, éstos últimos, producto de sus procesos metabólicos, los cuales bajan el potencial osmótico de la célula. Este ajuste osmótico genera un bajo potencial hídrico en la célula, con lo que se logra un movimiento de agua hacia su interior y, consecuentemente, se mantiene la presión de turgencia de la célula al bajar

los potenciales de agua; además, permite continuar la expansión celular y puede producir el cierre de estomas durante el déficit de agua (Berstein, 1961).

Las células expuestas a potenciales de agua bajos por la salinidad del medio, mantienen la presión de turgencia, disminuyendo su agua metabólica por la acumulación de solutos (ajuste osmótico). Sin embargo, aunque las sales de Na^+ son acumuladas a niveles altos, las evidencias sugieren que no están uniformemente distribuidas dentro de la célula, sino que son, en gran parte, secuestradas dentro de las vacuolas; las cuales, en las células maduras abarcan cerca del 95 % del volumen (Flower *et al.*, 1977).

El ajuste osmótico se debe principalmente a una absorción activa de iones del medio externo, la acumulación de solutos orgánicos ha llegado a establecerse como una adaptación osmoreguladora tan importante como la acumulación de iones inorgánicos.

El efecto osmótico ha sido explicado en términos de la teoría osmótica clásica. Existe una relación directa e inseparable entre la sal y el estrés de agua; la adición de una sal al agua disminuye el potencial osmótico de la solución del suelo, con lo cual, baja la disponibilidad de agua para la planta (Hayward y Wadleigh, 1949).

En los suelos salinos, su concentración alta de sales; causa una presión osmótica elevada de la solución del suelo, la cual, altera el equilibrio hídrico de las plantas, generando procesos de deshidratación. Colateralmente, se producen severos daños bioquímicos y fisiológicos, debido a la toxicidad de algunas sales como el cloruro de sodio y cloruro de magnesio, así como efectos tóxicos de iones específicos; todo lo cual, disminuye el crecimiento y rendimiento de las plantas cultivadas (Marschner, 2002).

Las sales actúan en forma tóxica antes que como estímulo de la germinación de la semilla. La acción tóxica del catión o del anión puede superar al efecto producido sobre la presión osmótica. La salinidad, si es moderada, tendrá por efecto un retardo en la germinación, que será proporcional al potencial osmótico (Ayers, 1952).

2.3.5 El concepto de potencial osmótico

El concepto de potencial osmótico se basa en principios termodinámicos, representa parte de un potencial total en un sistema dado. Se tienen dos condiciones en los procesos fisiológicos: 1) la materia de las reacciones biológicas son a temperatura constante (isotermales) y 2) los procesos en células y tejidos generalmente son a presión constante (isosmóticas).

El término de potencial osmótico es usado en lugar de presión osmótica en discusiones de relaciones hídricas, aunque numéricamente son iguales, difieren en signo, el potencial osmótico es negativo y el de la presión osmótica positivo (Devlin, 1975). La presión osmótica es una de las propiedades coligativas de una solución; esto, significa que es directamente proporcional al número de moléculas de soluto en una cierta cantidad de solvente. La presencia de solutos en una solución acuosa tiende a decrecer la actividad del agua (a_w) y el potencial químico del agua es más bajo. La presencia de solutos conduce a una presión osmótica (PO) en la solución, un incremento de la concentración indica que la PO y a_w cambian en sentido opuesto.

Cuando las plantas se desarrollan en un suelo salino, al ponerse en solución las sales de éste, acontece el fenómeno en que se origina una presión osmótica, lo que conduce a una disminución del gradiente de transporte del agua del suelo a la planta, esto puede ocasionar la reducción del desarrollo de los cultivos, el efecto se ve aumentado al bajar la humedad conforme el suelo se seca, ya que se aumenta la concentración salina (Richards, 1992).

Al potencial químico del agua también se le llama potencial hídrico y es la capacidad que tiene el agua para desarrollar trabajo dentro del sistema de la planta.

$$\Psi_A = \Psi_{\pi} + \Psi_p$$

Donde:

Ψ_A = Es el potencial total de agua en la célula

Ψ_{π} = Contribución de la energía por los solutos = potencial de solutos u osmótico.

Ψ_p = Contribución de la energía por la presión = potencial de presión o de turgencia.

Además de los potenciales de presión y solutos, hay otros dos componentes del potencial hídrico; son el potencial matricial (Ψ_m), debido a las fuerzas matriciales; y el potencial gravitacional (Ψ_g) debido a la gravedad. Kramer (1983); sugirió que si el volumen del agua matricial es muy pequeño en comparación con el volumen de agua vacuolar, como en las células del parénquima, el Ψ_m tiene un efecto insignificante en el Ψ_A ; sin embargo, al desarrollar semillas o células de pared gruesa, donde el agua vacuolar constituye una pequeña fracción del Ψ_A , el Ψ_m puede controlar el Ψ_A de la célula. El efecto de la gravedad sobre el Ψ_A es un término insignificante en el caso de raíces y hojas de plantas herbáceas. Sin embargo, es importante al comparar los potenciales en las hojas a diferentes alturas de los árboles; por que el movimiento hacia arriba del agua en el tronco, tiene que vencer una fuerza gravitacional de 0.01 MPa m^{-1} . En el suelo, el Ψ_p es importante porque la fuerza de gravedad causa el drenaje del agua hacia abajo.

De acuerdo con Aceves (1979), el potencial hídrico del suelo se expresa y está compuesto de la siguiente manera.

$$\Psi_A = \Psi_s + \Psi_m$$

Donde:

Ψ_w = Es el potencial hídrico

Ψ_s = potencial de solutos u osmótico.

Ψ_m = potencial matricial.

La adición de una sal al agua disminuye el potencial osmótico de la solución del suelo, con lo cual, baja la disponibilidad de agua para la planta. Levitt (1980), considera que el estrés osmótico causado por la salinidad, es un tipo de estrés de déficit de agua, el cual repercute en las características fisiológicas y morfológicas de las plantas. Esto indica que si una planta tiene agua disponible en el suelo, ésta no puede ser aprovechada a través del sistema radical, debido a que el agua pierde energía libre para su movimiento, por lo que no puede difundirse por ósmosis a las células radicales. Un déficit de agua en el suelo aunado a la presencia de sal, será más drástico que si actuase sólo el estrés osmótico.

Hamada (1994), señala que la reducción en crecimiento de las diferentes estructuras de las plantas expuestas a condiciones salinas, se debe a la gran cantidad de sacáridos y proteínas insolubles, que no son utilizados para el crecimiento, sino para realizar un ajuste osmótico.

2.3.6 Potencial osmótico de las soluciones salinas

Durante el manejo de los perfiles de suelos salinos, la determinación de los sólidos totales disueltos (mg L^{-1}) en las soluciones, se utiliza para inferir el efecto osmótico que puede tener una solución salina en el crecimiento y desarrollo de los cultivos agrícolas en suelos afectados por sales, de tal forma que la valoración de los sólidos totales disueltos y el potencial osmótico ($\Psi\pi$) permite realizar un adecuado manejo de perfil de suelos y de cultivos.

El uso del parámetro Sólidos Totales Disueltos (STD) en el manejo y recuperación de suelos salinos, sirve para estimar las presiones osmóticas producidas por una u otra solución salina de muy variada composición química. Las diferentes presiones osmóticas que generan las soluciones salinas, de acuerdo a sus atributos químicos; limitan la disponibilidad de agua para los cultivos en detrimento de los fundamentos, además del efecto tóxico derivado de cada ión específico. El cálculo del potencial osmótico sobre la base de valores sólidos totales disueltos, esta dado por la igualdad $\Psi\pi$ (MPa) $= -5.6 \times 10^{-4} \cdot \text{STD}$ (mg L^{-1} ; Ortega, 1991)

2.3.7 Potencial hídrico y sus componentes.

El potencial hídrico se define como el potencial químico del agua en la planta o en el suelo; o sea, la medida de capacidad de trabajo a la cantidad de energía libre de dicha agua. Es la suma de un número de fuerzas combinadas actuando en el agua de un sistema; estas fuerzas, resultan de la presencia de solutos, de la presión hidrostática, de superficies matriciales, de fuerzas gravitacionales y de la interacción de estos factores. Los componentes son:

- a) Potencial osmótico que representa la energía utilizada para dissociar las sustancia disueltas en el sistema y es la suma de los efectos individuales de las sustancias involucradas.

- b) Potencial de turgencia es la energía o presión con que actúan las paredes celulares y membranas internas, según su grado de turgencia; en el suelo, está relacionado a la presión hidrostática, bajo condiciones de saturación, este potencial tiene un signo positivo.
- c) Potencial mátrico, representa la energía que permite que una matriz retenga agua por absorción.

En las plantas, los efectos de absorción se deben a las paredes celulares y superficies coloidales; en la práctica, este potencial no tiene importancia (Salisbury y Ross, 1994; Marschner, 2002).

El potencial hídrico está directamente involucrado en el movimiento del agua, siendo este movimiento en dirección de un gradiente decreciente del mismo. La turgencia es la componente mecánica que mantiene el crecimiento o expansión de las células, mantiene también la rigidez de las hojas y de los tallos en plantas herbáceas; además, influye en la apertura de estomas a través del potencial de turgencia de las células de cierre; todas las reacciones bioquímicas probablemente, están influenciadas por el potencial osmótico, éste, además tiene mayor influencia en la actividad enzimática que el potencial hídrico (Marschner, 2002).

2.3.8 Tolerancia a presión osmótica.

Los métodos de selección utilizan como índice de resistencia a la sequía, la germinación a potenciales osmóticos bajos. Levitt (1980), indicó que la tolerancia a la presión osmótica está asociada con el tipo de resistencia a la sequía, denominada tolerancia a la deshidratación.

Se han encontrado soluciones efectivas para inducir potenciales osmóticos bajos y germinar en tales soluciones, éstas incluyen cloruro de sodio, azúcar o glucosa, manitol y polietilenglicoles, éstos últimos son agentes osmóticos ampliamente utilizados en la actualidad, en estudios de germinación, debido a que tienen ciertas características deseables: son químicamente inertes, no tóxicos aún en concentraciones altas, solubles en agua, simuladores de sequía y no penetran en la cubierta de la semilla debido a sus pesos moleculares altos (Stoutm *et al.*, 1980).

2.3.9 Efectos osmóticos

La disminución del crecimiento de los cultivos, en condiciones de presión osmótica alta de la solución del suelo, generalmente, se atribuye a un abatimiento de la disponibilidad de humedad en el mismo y, por consiguiente, a un mayor gasto de energía por parte de la planta, para obtener agua del suelo y conservar la turgencia de de sus células (Greenway, 1973). El efecto osmótico ha sido demostrado en varias formas. Por ejemplo, es conocido que las soluciones isosmóticas de varias sales, causan reducción similar de crecimiento.

Dentro de las líneas de evidencia que pueden ser referidas para sostener el concepto de efectos osmóticos, se encuentran los estudios de adiciones de varias sales a concentraciones isosmóticas a las soluciones nutritivas. Para sostener que diferentes sales producen depresiones equivalentes de crecimiento a presiones osmóticas iguales, la evidencia es consistente con la teoría de la inhibición osmótica. Cualquier desviación en la respuesta del crecimiento para una sal comparada con otra, indica la presencia de un efecto de un ión además del efecto osmótico (Bernstein y Hayward, 1958).

En un estudio sobre los efectos tóxicos y osmóticos de sales sobre alfalfa, al emplear soluciones isosmóticas de NaCl y manitol, se encontró que el NaCl afectó más la germinación que el manitol a -9 atm o más. Por ejemplo, en la solución de NaCl con una presión osmótica de -15 atm, la germinación después de 10 días, fue solo 2 %; mientras que en el manitol, fue de 75 %. Estos resultados indican que la velocidad de germinación fue determinada principalmente por efecto tóxico de las sales y no por el efecto osmótico (Strogonov, 1964).

Prisco and O'Leary (1970), reportan que la germinación de *Phaseolus vulgaris* L. fue inhibida por efectos osmóticos de NaCl mayores de -0.8 MPa., la germinación se inhibió tanto por el efecto osmótico, como por el efecto tóxico de la sal a -1.2 MPa.

Uhvits (1946), encontró que el NaCl puede ser tóxico para la germinación de semillas de alfalfa, basándose en las diferencias de recuperación de germinación en soluciones isosmóticas de NaCl y manitol. Por su parte Redman (1974), también encontró diferencias entre cultivares de alfalfa para la tolerancia por efectos osmóticos y tóxicos de NaCl.

Las soluciones isosmóticas no siempre afectan a la planta igualmente; de ahí que los efectos osmóticos sean bien definidos para diferentes solutos empleados. Ya que, según Levitt (1980), siempre se tendrán efectos diferentes sobre el desarrollo de las plantas, dependiendo del uso de sales inorgánicas o de compuestos orgánicos.

El estrés salino vegetal es más común en condiciones cálidas secas que en condiciones frías y húmedas, pues el consumo de agua y la evaporación es mayor en climas de zonas áridas y semiáridas que en climas de regiones templadas. La toxicidad específica, como la causada por el ión cloruro, se torna más severa en clima cálido que en clima frío (Ayers y Wastcot, 1987).

El porcentaje de germinación en semillas de alfalfa fue mayor en manitol, seguido por NaCl, NaHCO₃, KCl y KNO₃, por lo que concluye que la imbibición de la semilla no solo depende del efecto osmótico sino también del efecto tóxico de cada sal (Allen *et al.*, 1986).

El efecto tóxico de determinados iones puede condicionar la germinación. Los cloruros son más tóxicos para la germinación que los sulfatos. Harris (1915) estableció la toxicidad relativa de las sales solubles (Porta *et al.*, 2003) como:

$\text{NaCl} > \text{CaCl}_2 > \text{KCl} > \text{MgCl}_2 > \text{KNO}_3 > \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 > \text{Na}_2\text{SO}_4$.

Los factores externos más importantes que influyen en el proceso de germinación son: humedad, temperatura y aireación. Temperaturas elevadas hacen disminuir la tolerancia de las semillas a la salinidad, debido a los efectos de la temperatura sobre el potencial osmótico del medio (Porta *et al.*, 2003).

Robinson *et al.* (1986), reportaron que al disminuir el potencial osmótico, se reduce o inhibe el porcentaje de germinación, concluyen que el gradiente de potencial osmótico es un método rápido y efectivo para evaluar el modelo global de la respuesta de germinación a NaCl.

Van den Berg y Zeng (2006), trabajando con tres especies de pastos nativos del sur de África a estrés inducido por polietilenglicol (PEG) 6000, reportan que la capacidad de germinación y la longitud de la raíz disminuyen con una disminución del potencial osmótico.

2.3.10 El pasto Banderita

2.3.10.1 Origen

El género *Bouteloua* fue establecido en 1805 por Mariano Lagasca. Comúnmente conocido como **pasto Banderita** (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.) Originalmente fue llamado *Bouteloua racemosa*. Es un miembro característico de la familia Chloridoideae y de la subfamilia más grande de los pastos “Chloridoideae” pero, con poco conocimiento acerca de su tolerancia a la salinidad (Gould, 1979; Moser y Newman, 1988).

El pasto Banderita es una gramínea nativa de México, ampliamente adaptada a condiciones de sequía en el desierto Chihuahuense y Sonorense; (Morales *et al.*, 2006). Distribuido en los Estados de: Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, México, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Gould, 1979).

2.3.10.2 Características

Este pasto considerado de buen a excelente forraje para el ganado y fauna silvestre (Stubbeniek *et al.*, 1982), debido a que conserva su valor forrajero durante más tiempo que otros pastos, posee gran potencial de uso en programas de recuperación de pastizales en México (Hernández y Ramos, 1968).

Planta herbácea perenne hasta de un metro de alto, más o menos amacollada, a veces con rizomas o estolones; hojas en su mayoría concentradas hacia la base de la planta, lígula en forma de membrana corta, lámina por lo general plana, hasta de 25 cm de largo y 3 mm de ancho, inflorescencia estrecha y alargada, hasta de 25 cm de largo, de 20 a 40 ramas, de 0.8 a 2 cm de largo, dispuestas en forma unilateral, desprendiéndose íntegras en la madurez; espiguillas 3 a 5 por rama, primera gluma de 4 a 5 mm de largo, la segunda más ancha y de 5.5 a 8.5 mm de largo; lema un poco más corta que la segunda gluma, cortamente tridentada en el ápice, con los dientes provistos de aristas muy breves, palea algo más corta que la lema; flor rudimentaria con la lema tri-aristada o, a veces, reducida a una sola arista hasta de 10 mm de largo. Es una planta C₄. En *Bouteloua* se han integrado 57 especies, muchas de gran importancia económica para los agostaderos de América del Norte (Gould, 1979; Columbus, 1999).

Su rápida germinación puede ser un factor positivo o negativo en el establecimiento, dependiendo de la cantidad y distribución temporal de la lluvia. Sin embargo, un problema común que enfrentan los pastizales en zonas áridas, caracterizadas por breves periodos de humedad en el suelo, es que son sujetos a altas tasas de evaporación, los potenciales de agua en la superficie del suelo no son mantenidos arriba de -1.5 Mpa por extensos periodos, en el verano (Simanton y Jordan, 1986).

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se utilizaron cariósides desnudos (sin apéndices accesorios: gluma, lema ó palea) de pasto Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. La semilla fue cosechada durante el año de inicio del estudio en el *Campus* San Luís Potosí del Colegio de Postgraduados, de clima árido (BSo kw), temperatura promedio anual de 16 a 18 °C y precipitación promedio anual de 350 a 400 mm, utilizándose un ecotipo nativo del norte de México.

El trabajo se llevó a cabo en el área de cámaras de germinación marca Seedburo a temperatura constante (20°C) del programa de semillas, del Colegio de Postgraduados.

Con los datos obtenidos del primer experimento se realizó un análisis de regresión, para cada tipo de sal (ver anexos A1 y A2) calibrándose un modelo lineal ajustado por el origen; el cual relacionó la conductividad eléctrica de cada solución con su concentración y su presión osmótica.

El modelo lineal, sin ordenada al origen en su forma general, tiene la estructura siguiente:

$$Y = B_1 + X$$

Donde:

Y = representa la concentración de la solución en mg L⁻¹, meq L⁻¹ y las presión osmótica en atm.

B₁ = es la pendiente de la recta, o sea, el número de unidades en (mg L⁻¹, meq L⁻¹ o atm) que aumenta la solución (Y) por cada unidad de conductividad eléctrica en dS m⁻¹ que aumenta la misma solución salina.

X = es la conductividad eléctrica de la solución salina en dS m⁻¹

El ajuste de este modelo se realizó relacionando primero CE en dS m⁻¹ con la concentración en mg L⁻¹ de las soluciones de los tratamientos; posteriormente, se relacionó la CE en dS m⁻¹ con la presión osmótica en atm, empleándose el método de mínimos cuadrados.

Se obtuvo la ecuación de regresión que define la relación entre mg L^{-1} y CE; PO y CE. EL valor ajustado de la concentración se logró relacionando los valores medidos de CE y concentración en mg L^{-1} , y el valor ajustado de la PO se consiguió relacionando los valores medidos de CE y PO, con la finalidad de comparar dichos valores con los obtenidos mediante el ajuste de regresión lineal simple, así para NaCl las ecuaciones resultaron de la siguiente manera (Figuras 16 y 17):

$$\text{mg L}^{-1} = 651.96 (\text{CE})$$

$$\text{PO} = 0.491 (\text{CE})$$

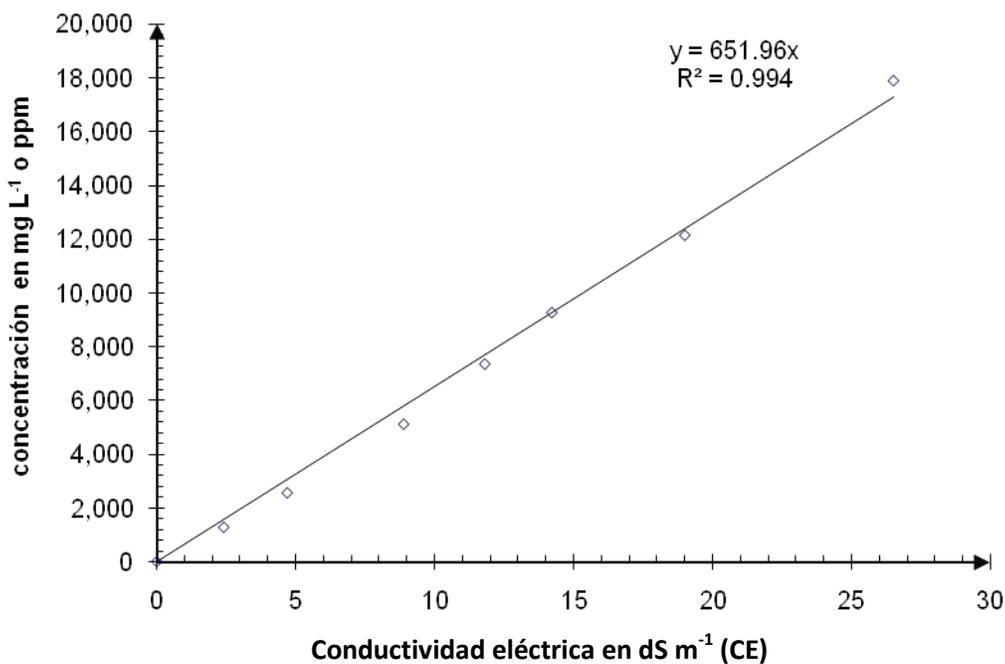


Figura 16. Relación de la concentración de NaCl, con la conductividad eléctrica.

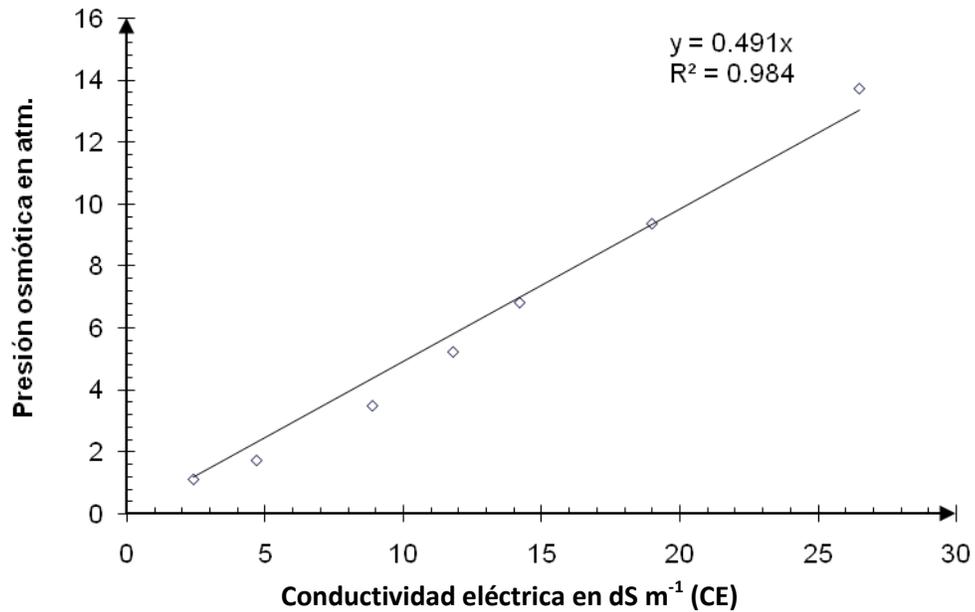


Figura 17. Relación de la presión osmótica del NaCl, con la conductividad eléctrica.

Resolviendo las ecuaciones anteriores encontramos la PO teórica para cada nivel fue: $T_1= 0.10$, $T_2= 0.20$, $T_3= 0.39$, $T_4= 0.56$, $T_5= 0.71$, $T_6= 0.93$ y $T_7= 1.36$ MPa. A partir de la cual se calculó la cantidad por aplicar en cada nivel y tipo de sal, las concentraciones variaron de acuerdo a las ecuaciones obtenidas en las regresiones de cada una de las sales las cuales se muestran a continuación:

$$\text{mg L}^{-1}_{\text{NaCl}} = \text{PO} / 7.5357 * 10^{-4}$$

$$\text{mg L}^{-1}_{\text{Clorhídrica}} = \text{PO} / 5.401 * 10^{-4}$$

$$\text{mg L}^{-1}_{\text{NaHCO}_3} = \text{PO} / 4.5517 * 10^{-4}$$

$$\text{mg L}^{-1}_{\text{Sul.-clor.}} = \text{PO} / 4.26 * 10^{-4}$$

$$\text{mg L}^{-1}_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = \text{PO} / 3.8061 * 10^{-4}$$

$$\text{mg L}^{-1}_{\text{Clor.- sulf.}} = \text{PO} / 3.656 * 10^{-4}$$

$$\text{mg L}^{-1}_{\text{MgSO}_4} = \text{PO} / 1.1793 * 10^{-4}$$

$$\text{mg L}^{-1}_{\text{Sulfática}} = \text{PO} / 2.035 * 10^{-4}$$

$$\text{mg L}^{-1}_{\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}} = \text{PO} / 4.9715 * 10^{-4}$$

$$\text{mg L}^{-1}_{\text{Sulf.- sódica}} = \text{PO} / 4.863 * 10^{-4}$$

$$\text{mg L}^{-1} \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \text{PO} / 6.3774 * 10^{-4}$$

Se ha propuesto el coeficiente de 0.36 para el conjunto de sales que se presentan en una solución (Richards, 1988; Aguilera y Martínez, 1996). Sin embargo, al calibrar la relación con cloruro de sodio, se encontró un coeficiente de 0.481 (Ramírez, 1988) y 0.489 (Navejas 1995).

La diferencia que existe entre el coeficiente de 0.36 y 0.491 es explicado porque, este último, se sacó específicamente para cloruro de sodio; mientras que el primero, se obtuvo para el conjunto de sales, mediante extractos de la solución del suelo. El coeficiente de 0.491 guarda aceptable confiabilidad por su coeficiente de regresión, que fue de 0.984.

Las variables a medir fueron las mismas que en el primer experimento y se analizaron bajo la misma metodología.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las sales

La conductividad eléctrica (CE) estima el contenido de sales en la solución del suelo. El Cuadro 31, muestra los valores de CE, pH, $\Psi\pi$ y concentración, aplicada de las soluciones puras y el Cuadro 32, de las soluciones geoquímicas a las que fueron expuestas las semillas de pasto Banderita. Para la CE, el orden fue el siguiente: $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} > \text{MgSO}_4 > \text{NaCl} > \text{NaHCO}_3$, siendo la sal $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, la que registró el mayor valor de CE y la sal NaHCO_3 , el menor. Para $\Psi\pi$, el orden fue: $\text{MgSO}_4 > \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > \text{NaHCO}_3 > \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4$, siendo el MgSO_4 el que registro el valor mayor de potencial osmótico y, el Na_2SO_4 , el menor.

En las sales geoquímicas, el orden de la CE fue: sulfática > sulfático-clorhídrica > clorhídrico-sulfática > clorhídrica > sulfático-sódica, siendo la sal sulfática la de mayor y la sulfático-sódica, la de CE menor. En el caso del $\Psi\pi$ el orden fue: sulfática > clorhídrica > clorhídrico-sulfática > sulfático-sódica > sulfático-clorhídrica, donde la sulfática registró el valor mayor de potencial y la sulfático-clorhídrica, el menor.

Esto datos permiten apreciar que al incrementar la concentración de sal, aumenta la CE pero, disminuye el $\Psi\pi$ y que, para generar un potencial osmótico casi igual en todas las soluciones, se requiere de diferentes concentraciones de cada sal.

Cuadro 31. Concentración de sales puras, pH, C.E. y $\Psi\pi$.

Sal	Nivel	mg L ⁻¹	Concentración, meq L ⁻¹	pH	CE sol. dS m ⁻¹	$\Psi\pi$ [†] MPa
Testigo	0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
(1) NaCl	1	1280	43.71	6.8	3.58	-0.15
	2	2560	87.59	7.1	6.44	-0.21
	3	5160	176.56	6.9	11.1	-0.40
	4	7360	251.84	6.9	15.04	-0.58
	5	9280	317.53	6.7	18.62	-0.73
	6	12160	416.08	6.7	23.63	-0.98
	7	17920	613.17	6.6	32.22	-1.46
(2) NaHCO ₃	1	2120	50.46	8.2	2.69	-0.22
	2	6240	148.53	8.4	4.95	-0.32
	3	8740	208.16	8.4	8.49	-0.40
	4	12190	290.12	8.4	12.38	-0.56
	5	15160	361.04	8.5	14.86	-0.67
	6	16730	398.33	8.6	18.40	-0.84
	7	29900	711.80	8.5	24.76	-1.33
(3) Na ₂ SO ₄	1	5730	161.46	8.2	4.60	-0.22
	2	8070	227.18	8.1	7.78	-0.31
	3	13700	385.84	7.8	15.38	-0.51
	4	15570	438.47	7.7	18.87	-0.61
	5	18370	517.34	7.7	20.97	-0.79
	6	24080	677.90	7.5	26.56	-0.92
	7	35480	999.00	7.5	34.95	-1.33
(4) MgSO ₄	1	16180	539.31	7.6	4.35	-0.18
	2	26360	878.60	7.5	8.39	-0.26
	3	42970	1432.40	7.4	13.63	-0.41
	4	57030	1901.01	7.3	16.78	-0.52
	5	69300	2309.96	7.2	20.62	-0.65
	6	87700	2923.40	7.0	25.17	-0.85
	7	114510	3816.93	7.1	31.46	-1.14
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O	1	4190	114.04	7.0	4.15	-0.20
	2	7880	214.46	6.8	7.61	-0.27
	3	8820	240.07	6.8	12.10	-0.33
	4	13740	374.01	6.6	19.36	-0.55
	5	17070	464.45	6.6	23.51	-0.66
	6	21430	583.26	6.5	28.00	-0.92
	7	37160	1011.37	6.5	38.03	-1.35
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O	1	7510	147.88	7.3	4.49	-0.21
	2	9020	177.65	7.1	7.61	-0.30
	3	14100	277.49	6.9	12.79	-0.41
	4	18700	368.03	6.9	17.98	-0.58
	5	23970	471.74	6.8	20.74	-0.72
	6	34370	676.51	6.8	24.89	-0.90
	7	41170	810.48	6.7	32.84	-1.31

† Potencial osmótico de la solución.

Cuadro 32. Concentración de sales geoquímicas, pH, C.E. y $\Psi\pi$.

Sal	Nivel	Concentración.		pH	CE sol. dS m ⁻¹	$\Psi\pi$ [†] MPa
		mg L ⁻¹	meq L ⁻¹			
Testigo	0	0.00	0.00	0.0	0.00	-0.00
(7)	1	3790	128.46	7.0	3.50	-0.16
Clorhídrica	2	4570	155.12	7.0	5.94	-0.21
Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ = 2.5	3	8200	278.21	6.9	11.88	-0.48
	4	11270	382.36	6.9	15.38	-0.62
	5	14950	507.19	6.9	19.57	-0.79
	6	16970	575.66	6.9	24.47	-0.88
	7	25000	848.34	6.8	34.95	-1.49
(8)	1	3260	110.40	7.2	3.94	-0.21
Sulfático	2	4530	153.18	7.0	6.80	-0.31
Clorhídrica	3	6130	207.29	6.9	12.53	-0.49
Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ = 1.5	4	14020	474.20	6.8	17.19	-0.66
	5	16420	555.26	6.8	21.48	-0.86
	6	21520	727.58	6.8	27.21	-1.03
	7	31710	1072.22	6.7	35.80	-1.61
(9)	1	5640	189.42	7.1	3.89	-0.21
Clorhídrico	2	8280	278.05	7.1	5.31	-0.32
Sulfática	3	15640	525.28	6.8	13.51	-0.50
Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ = 0.6	4	18170	610.42	6.8	15.57	-0.63
	5	21130	709.77	6.7	21.23	-0.74
	6	29060	976.38	6.6	25.47	-0.94
	7	36930	1240.84	6.6	35.17	-1.40
(10)	1	10740	358.27	7.2	4.89	-0.22
Sulfática	2	15480	516.39	7.0	9.09	-0.31
Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ =0.15	3	19110	637.42	6.9	15.38	-0.41
	4	27260	909.19	6.9	19.57	-0.53
	5	34370	1146.38	6.9	22.37	-0.62
	6	45030	1502.14	7.0	27.96	-0.76
	7	66360	2213.67	6.9	34.95	-1.18
(11)	1	4980	131.54	8.0	2.59	-0.21
Sulfático	2	7970	210.29	7.8	4.89	-0.31
Sódica	3	14000	369.43	8.2	8.39	-0.51
HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻ = 2.0	4	19400	512.20	8.2	11.53	-0.66
	5	21380	564.34	8.2	13.98	-0.80
	6	28840	761.32	8.2	18.17	-1.05
	7	37770	996.91	8.1	23.77	-1.56

† Potencial osmótico de la solución.

En los cuadros anteriores, también se puede percibir que al incrementar la concentración de las sales, no es tan claro ver que iones influyen más en la CE y el $\Psi\pi$, como fue posible apreciar en el primer experimento, donde las sales con iones de Cl^- , predominantes, generaron una CE mayor y un potencial osmótico menor, en comparación a las sales con superioridad de SO_4^{2-} y HCO_3^- .

En el caso del pH, las sales oscilaron entre neutros, ligeramente ácidos, como el NaCl y alcalinos, como el NaHCO_3 y la salinidad sulfático sódica. Las sales que registraron $\Psi\pi$ menor tuvieron pH neutro y alcalino y, para las de potencial mayor, el pH fue neutro.

Con los datos de CE expresados en dS m^{-1} se elaboraron rectas de regresión lineal (Figuras; 18, 19 y 20), en las que se relacionó este parámetro, considerado como variable independiente, con la concentración y la Presión osmótica (PO) de cada una de las soluciones, como variables dependientes. Con esta relación, es posible conocer, a partir de la CE de una solución extraída del suelo, la concentración en mg L^{-1} , meq L^{-1} y, la presión osmótica generada por la sal, relacionándolas al crecimiento de las plantas.

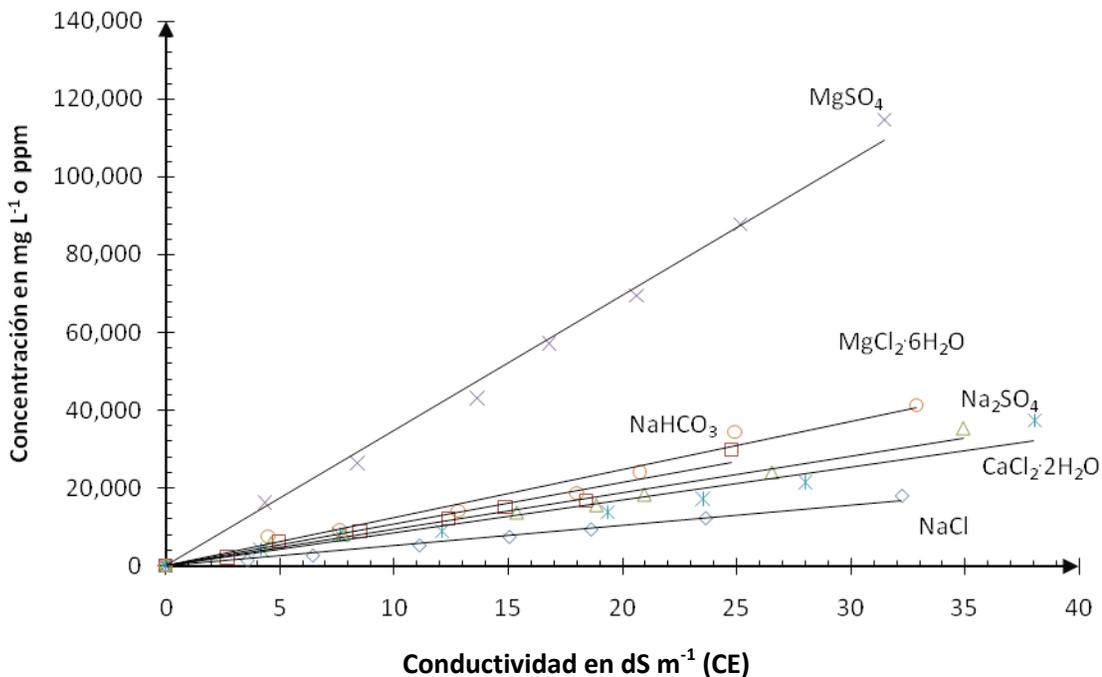


Figura 18 Relación de la concentración de cada sal con la conductividad eléctrica.

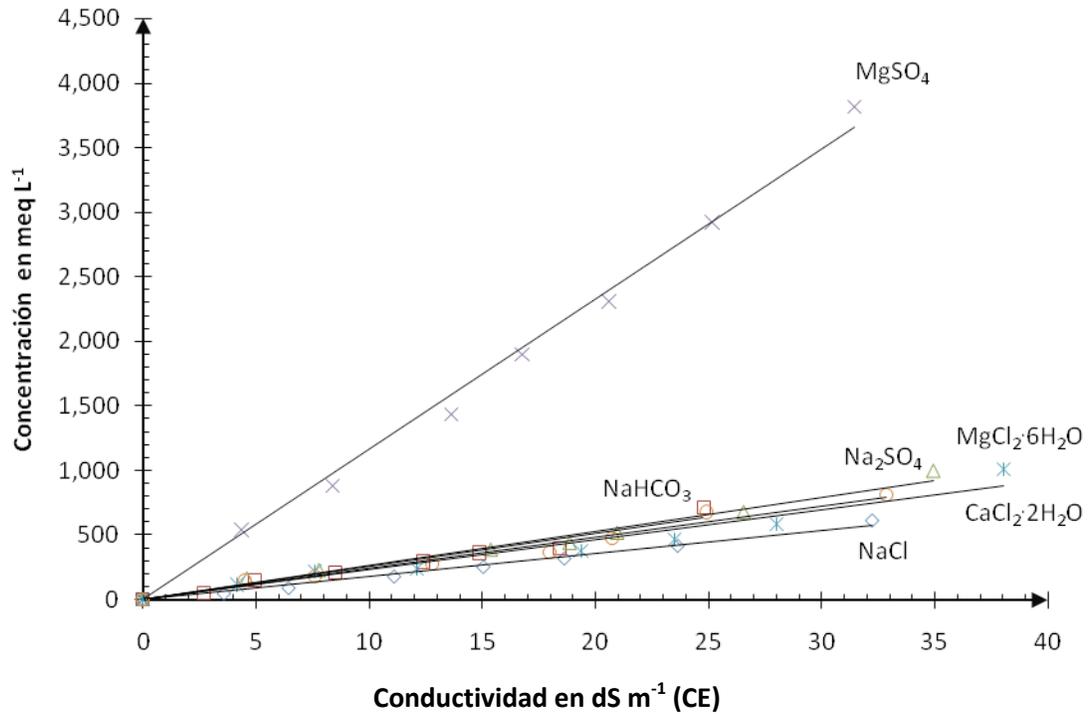


Figura 19 Relación de la concentración de cada sal con la conductividad eléctrica.

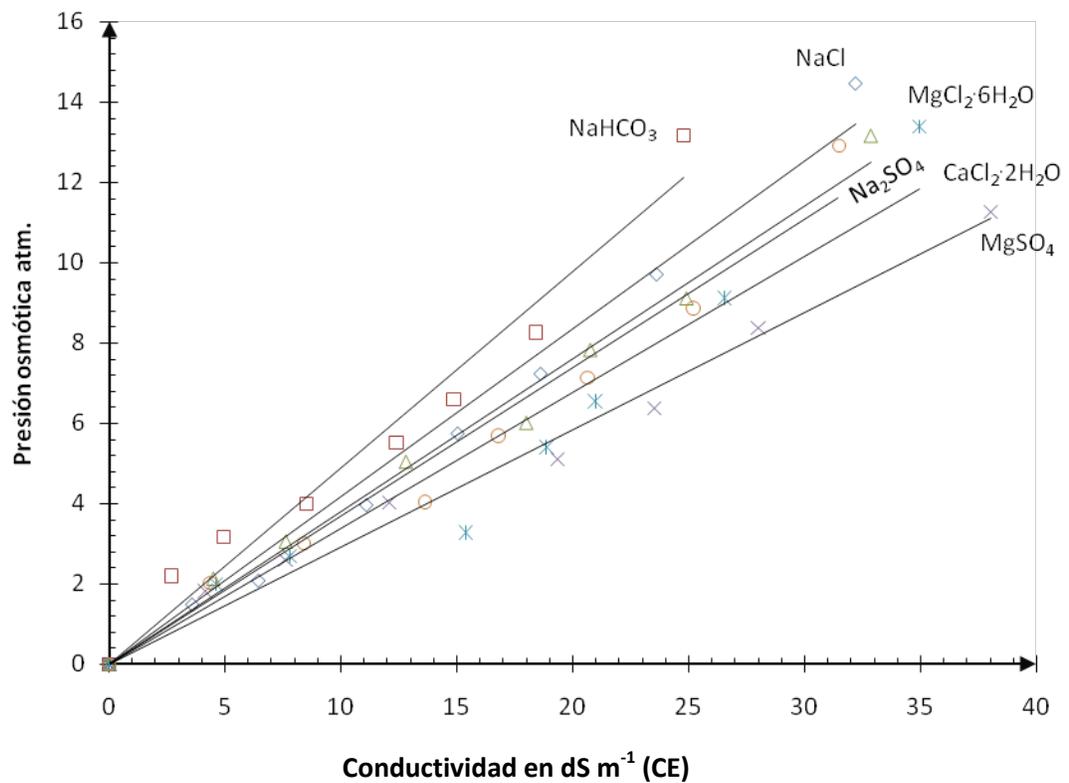


Figura 20 Relación de la Presión osmótica con la conductividad eléctrica.

Cuadro 33. Modelo lineal resultante de la concentración, presión osmótica y CE para cada sal pura

	sal	Y = mg L ⁻¹	R ²	Y=meq L ⁻¹	R ²	Y = atm	R ²
1	NaCl	522.6(CE)	0.988	17.88(CE)	0.988	0.417(CE)	0.984
2	NaHCO ₃	1073.0(CE)	0.962	15.56(CE)	0.962	0.489(CE)	0.967
3	Na ₂ SO ₄	939.9(CE)	0.980	16.46(CE)	0.980	0.381(CE)	0.988
4	MgSO ₄	2482.0(CE)	0.993	26.70(CE)	0.993	0.292(CE)	0.985
5	CaCl ₂ ·2H ₂ O	847.7(CE)	0.948	13.07(CE)	0.948	0.338(CE)	0.942
6	MgCl ₂ ·6H ₂ O	1234.0(CE)	0.974	14.29(CE)	0.974	0.369(CE)	0.970

Con base a las graficas anteriores y a los datos del modelo lineal (Cuadro 33), se observa que las sales presentan concentraciones y PO diferentes cuando la conductividad eléctrica es la misma,; así, tenemos que se requiere menor cantidad ,tanto en mg L⁻¹ como en meq L⁻¹, de NaCl, en comparación con el MgSO₄, para obtener la misma CE.

Sin embargo, se percibe que el CaCl₂·2H₂O genera una presión osmótica menor a la misma CE, en comparación con NaCl y NaHCO₃, siendo éste último, el que registró la presión osmótica mayor (Figura 20), también se aprecia que, a mayor CE, se incrementa la presión osmótica. Esto coincide con lo reportado por Richards (1988); es decir, la relación entre la CE y la PO es directamente proporcional y depende del tipo de sal presente en la solución.

Las Figuras 21; 22 y 23, muestran los modelos calibrados para las seis sales puras.

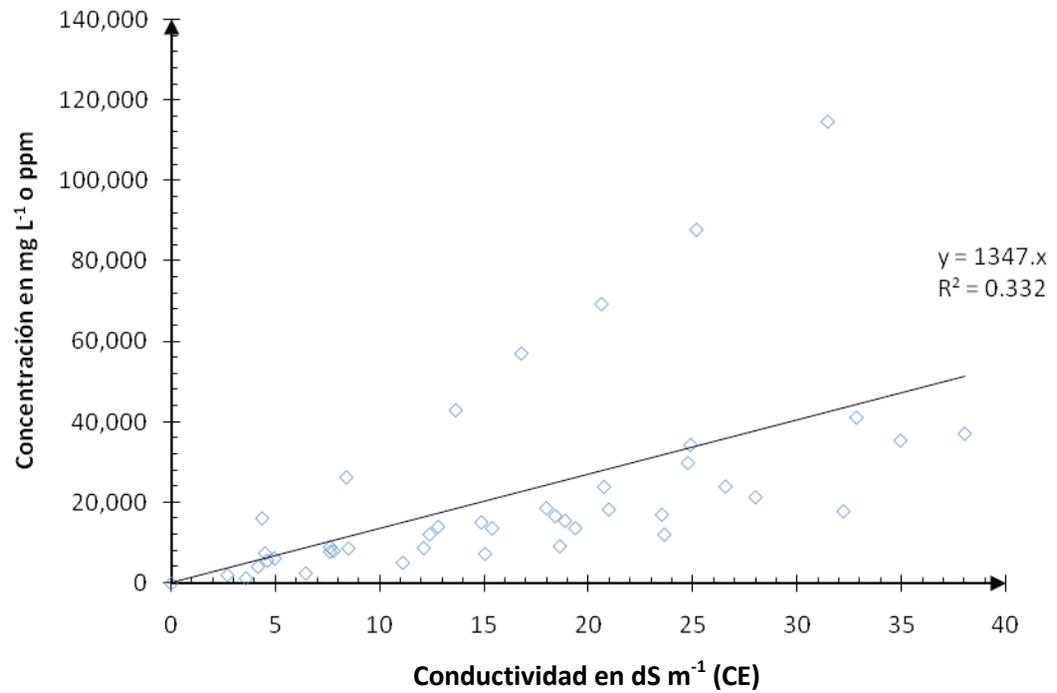


Figura 21 Relación de la concentración de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.

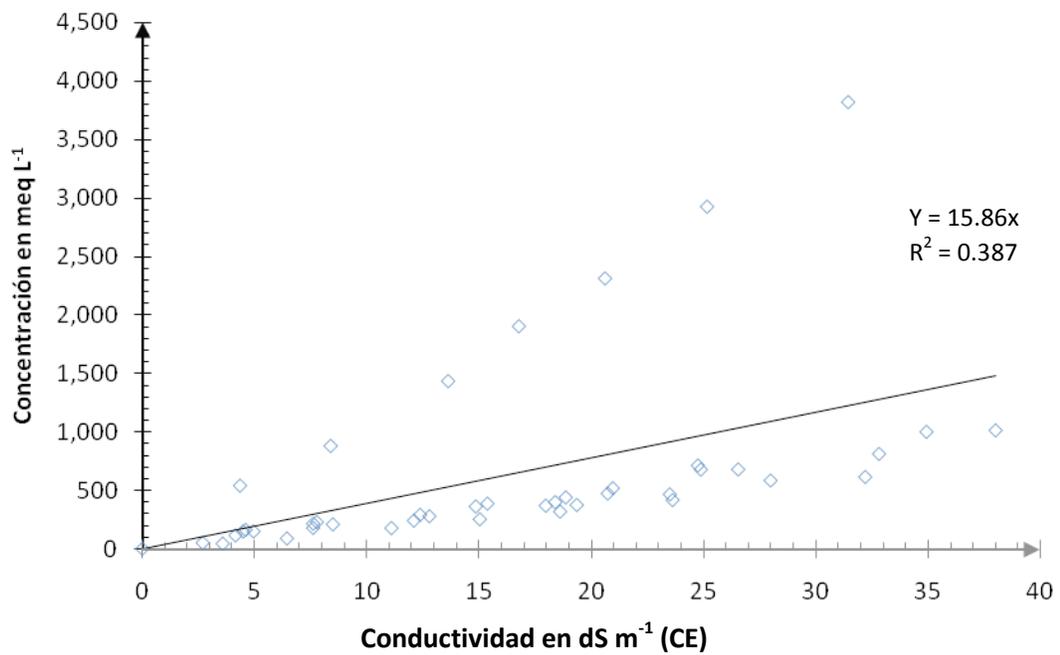


Figura 22 Relación de la concentración de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.

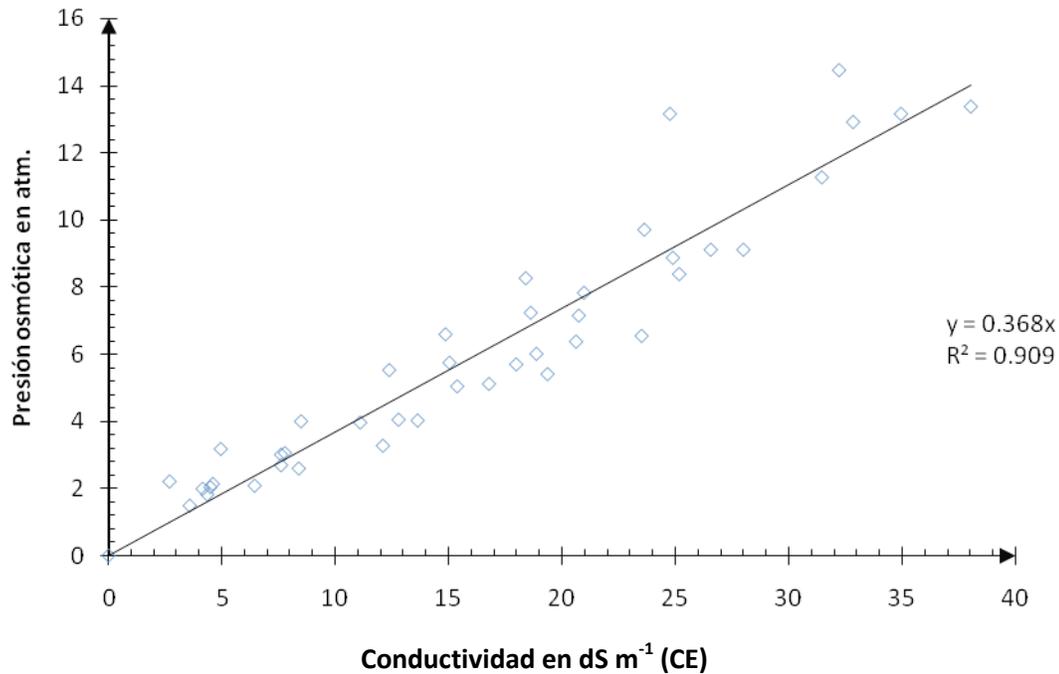


Figura 23 Relación de la Presión osmótica de las seis sales puras, con la conductividad eléctrica.

En cada una de ellas, se observa que la R^2 tiene valores inferiores a los obtenidos con los modelos derivados anteriormente por sal, debido a que son de menor capacidad predictiva. Así que, es más conveniente calibrar el modelo $Y = B_1 + X$ por tipo de sal y no por grupo de sales.

Para el caso de las sales geoquímicas, también se elaboraron curvas de regresión lineal (Figuras 24, 25 y 26) en las que se relacionó la CE, considerado como variable independiente, con la concentración y la PO de cada una de las soluciones, como variables dependientes, obteniendo los siguientes resultados.

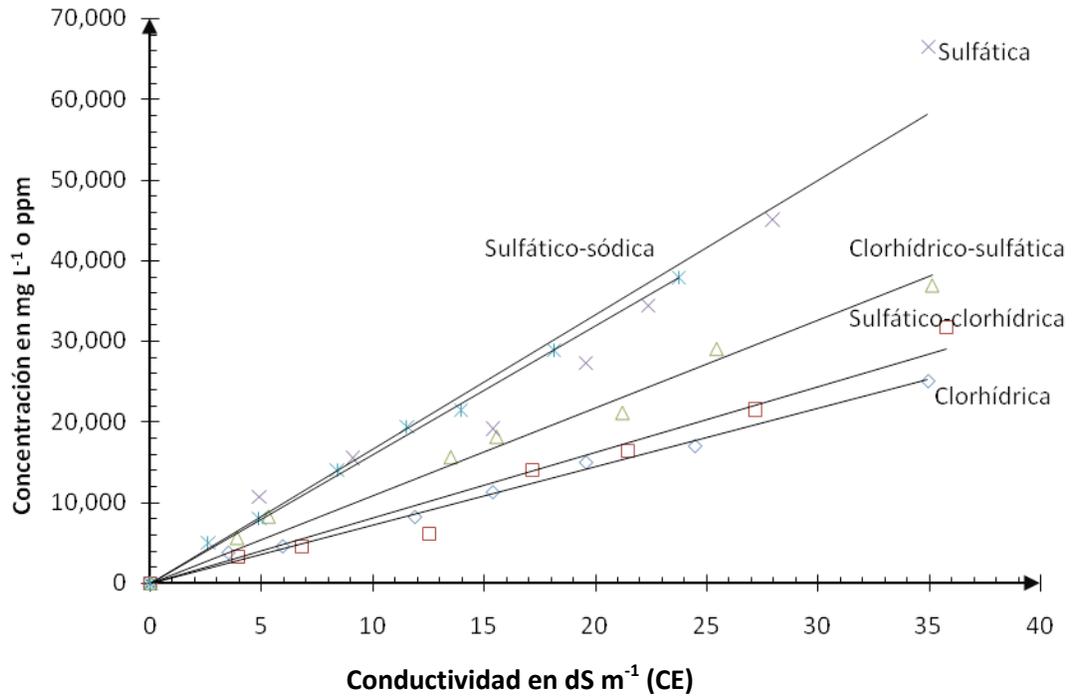


Figura 24 Relación de la concentración de cada sal geoquímica, con la conductividad eléctrica.

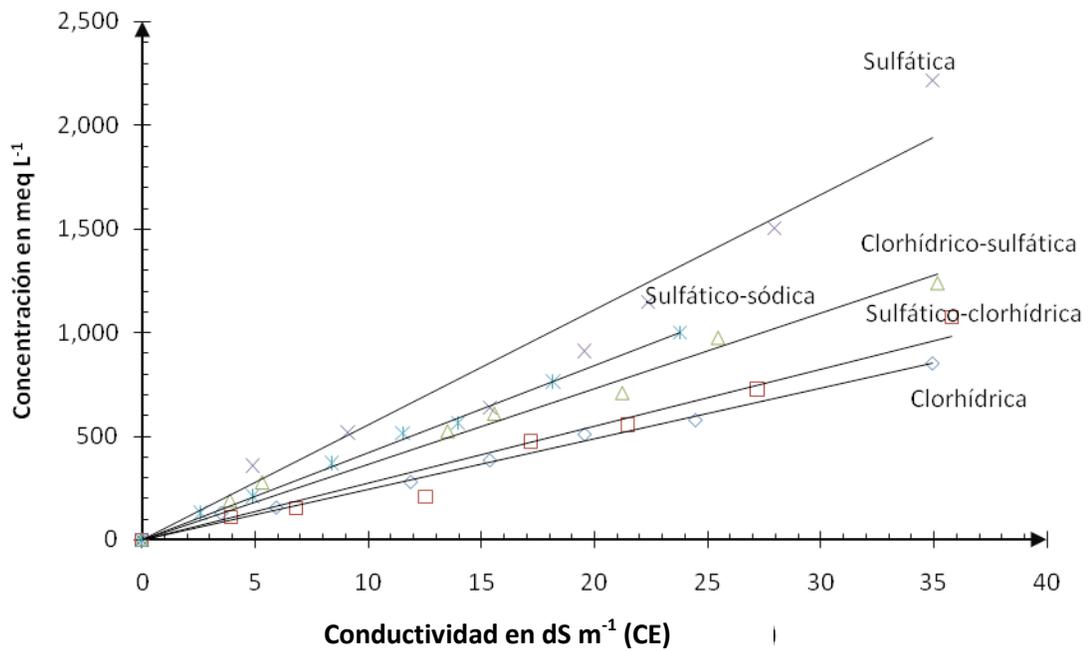


Figura 25 Relación de la concentración de cada sal geoquímica, con la conductividad eléctrica.

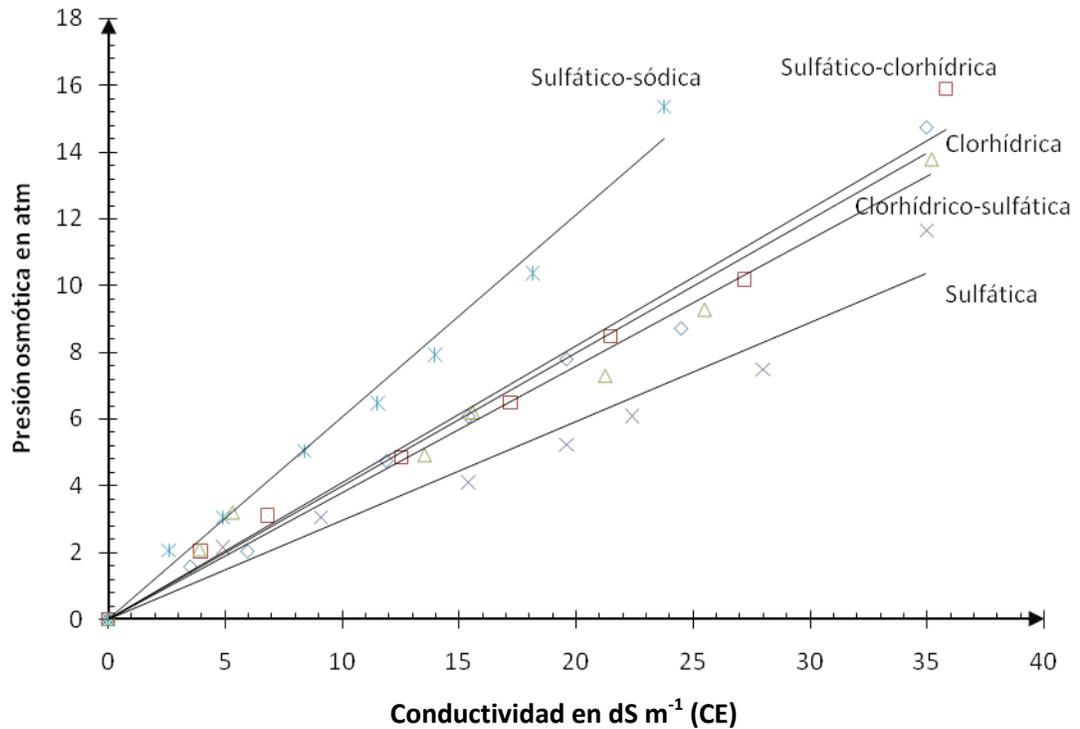


Figura 26 Relación de la Presión osmótica de cada sal geoquímica, con la conductividad eléctrica.

Cuadro 34. Modelo lineal resultante de la concentración, presión osmótica y CE para cada sal geoquímica.

sal	Y = mg L ⁻¹	R ²	Y=meq L ⁻¹	R ²	Y = atm	R ²
7 Clorhídrica	720(CE)	0.993	14.43(CE)	0.993	0.399(CE)	0.998
8 Sulfático-clorhídrica	812.2(CE)	0.968	17.46(CE)	0.968	0.409(CE)	0.982
9 Clorhídrico-sulfática	1086(CE)	0.982	16.50(CE)	0.982	0.379(CE)	0.978
10 Sulfática	1662(CE)	0.950	25.43(CE)	0.950	0.295(CE)	0.958
11 Sulfático-sódica	1595(CE)	0.997	12.12(CE)	0.997	0.604(CE)	0.987

En las figuras anteriores y con los datos del modelo lineal (Cuadro 34) se observa que las sales geoquímicas manifiestan el mismo comportamiento que las sales puras, ya que tienen concentraciones y PO diferente, cuando la conductividad eléctrica es la misma; así, tenemos que se requiere menor cantidad, tanto en mg L^{-1} como en meq L^{-1} , de salinidad clorhídrica, en comparación con la salinidad sulfática, para obtener la misma CE. Sin embargo, en la Figura 26 se percibe que la salinidad sulfática genera una presión osmótica menor, a la misma CE que la salinidad sulfático-sódica, siendo ésta última la que registró la presión osmótica mayor; también, se aprecia que a mayor CE, se incrementa la presión osmótica. Esto coincide con lo reportado por Richards (1988). Las Figuras 27; 28 y 29 muestran los modelos calibrados para las cinco sales geoquímicas.

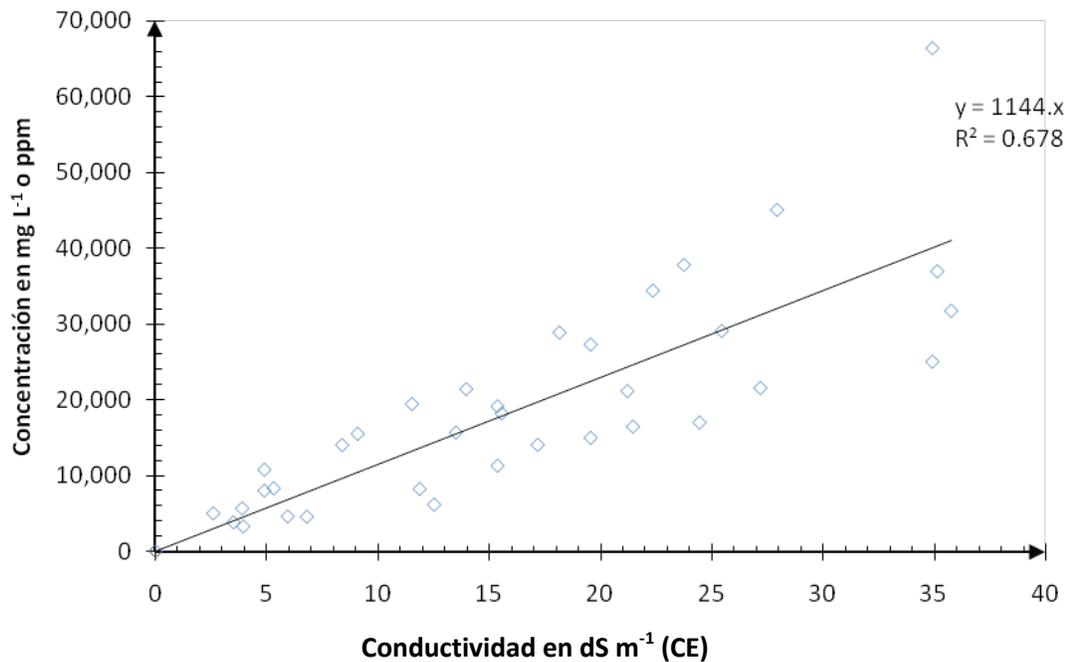


Figura 27 Relación de la concentración de las cinco sales geoquímicas, con la conductividad eléctrica.

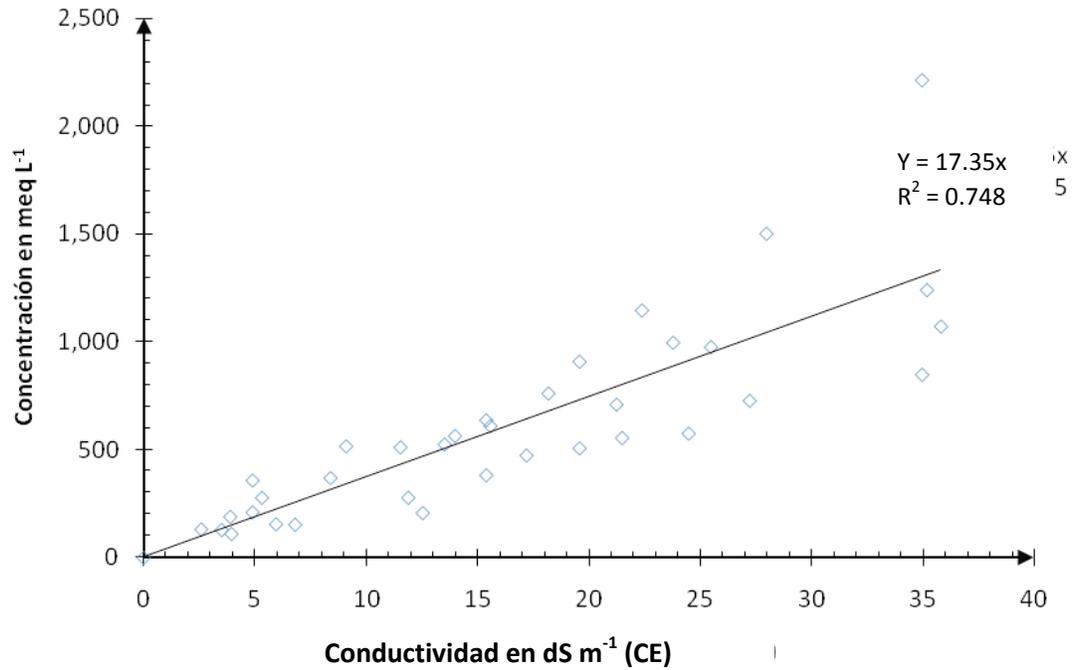


Figura 28 Relación de la concentración de las cinco sales geoquímicas, con la conductividad eléctrica.

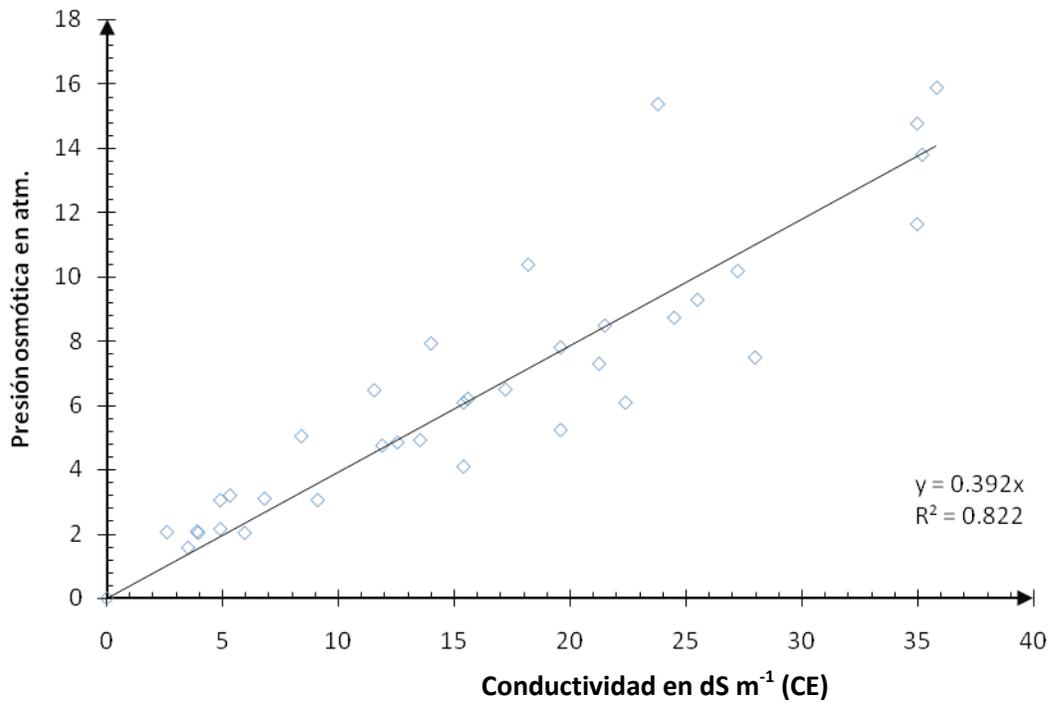


Figura 29 Relación de la Presión osmótica de las cinco sales geoquímicas., con la conductividad eléctrica.

Al igual que en el caso de las sales puras, en los modelos que se elaboraron para las sales geoquímicas, se observa que la R^2 tiene valores inferiores a los obtenidos con los modelos derivados anteriormente por cada sal; lo anterior, debido a que son de menor capacidad predictiva. Así que, es más conveniente calibrar el modelo $Y = B_1 + X$ por tipo de sal y no por grupo de sales.

Con base a lo anterior, es de esperarse que las sales Na_2SO_4 , NaCl , clorhídrica y sulfático-clorhídrica, tengan un efecto perjudicial más notorio sobre las semillas del pasto Banderita, por los potenciales osmóticos bajos que generaron. Munns (1993), indica que el principal daño que causan la sales está relacionado con los efectos osmóticos y se ven reflejados, esencialmente por una reducción en el crecimiento y rendimiento como una consecuencia de la menor disponibilidad de agua para la semilla o plántula.

Efecto de las sales sobre la germinación a temperatura controlada

Con la finalidad de eliminar a la temperatura como un factor limitante en las pruebas de germinación del pasto Banderita como cultivo de principal importancia en este estudio, se colocaron las cajas Petri a temperatura de 20 °C, en cámaras de germinación, los resultados se muestran a continuación.

La germinación del pasto Banderita, sometido a las soluciones preparadas en el primer experimento, mostró máximo porcentaje (96.7 %) en el testigo, a los 12 días, a los nueve días, en las sales NaCl en los dos niveles más bajos de concentración; y, en la sal $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, sólo en el primer nivel correspondiente a 1.70 g L^{-1} . El 90 %, se obtuvo en las sales de MgSO_4 y Na_2SO_4 , a los nueve días, en los dos primeros niveles de salinidad. El NaHCO_3 , alcanzó el 50 % de germinación a los seis días únicamente en el primer nivel de concentración; mientras que, el $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ llegó a un 70 % los nueve días, en el primer nivel de sal. El NaCl logró una máxima germinación de 60 % a los 12 días a una concentración de 5.12 g L^{-1} ; por su parte, el NaHCO_3 consiguió el 53.3 % a 9.28 g L^{-1} . En el nivel cuatro el Na_2SO_4 y el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ registraron un 53.3 y 80 %, respectivamente; al mismo nivel, el MgSO_4 permitió un 63.3 % a los seis días y las sales NaHCO_3 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, después del primer nivel, no lograron alcanzar el 50 %. Las

sales NaHCO_3 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ inhibieron la germinación de las semillas a los niveles de concentración máxima (Cuadro 35).

En las sales geoquímicas, el 100 % de germinación se registró en el testigo a los tres días, igual que en las salinidades clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfática, en los niveles más bajos de concentración salina, en las salinidades sulfático-clorhídrica en los niveles dos y tres y en la sulfático-sódica en el nivel dos (2.56 g L^{-1}). Sin embargo, a diferencia de las sales puras, éstas permitieron mayor brote de semillas a concentraciones altas; así, la salinidad clorhídrica alcanzó el 100 %, hasta el nivel cinco (9.28 g L^{-1}) y, un 90 %, en el nivel de concentración máxima. Las salinidades sulfático-clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfática, al nivel máximo, llegaron a un 86.7 %; la única diferencia fue en el tiempo; mientras que, la salinidad sulfático sódica logró un 50 %, en el nivel cinco correspondiente a la concentración de 12.29 g L^{-1} . Ninguna sal inhibió la germinación.

La mezcla de sales fue mejor para la germinación, en comparación a las sales puras ($P < 0.05$); por su parte, las salinidades clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfática no mostraron diferencias ($P < 0.05$) y favorecieron la germinación, la sal de mayor influencia en este proceso fue NaHCO_3 .

Jackson (1928), reportó entre un 98.6 % y 100 % de germinación del pasto Banderita (*Bouteloua cutipendula* Michx.) en agua destilada a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Sin embargo, Simanton y Jordan, (1986) reportan que, en condiciones no salinas y temperatura controlada, hubo 50 % a 22 h después de la siembra. Por su parte, Qi y Redmann (1993), obtuvieron un 95 % de germinación del pasto Banderita a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ utilizando polietilenglicol.

Carson *et. al.* (1983), reportó que, de 15 cultivares de alfalfa, ocho alcanzaron uno % de germinación, en una mezcla de dos % de NaCl , en agar a $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Por su parte Stone *et al.*, (1979), usaron nueve concentraciones de NaCl y cuatro temperaturas, para establecer respuestas de estimulación en el porcentaje de germinación de semillas, indicando que la germinación no ocurrió arriba de los 21° C a -1.5 MPa .

Dotzenko and Haus (1960), indicaron que las semillas de alfalfa germinan a -1.2 MPa de manitol y reportaron que esta característica, puede ser altamente heredable.

Cuadro 35. Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita (*B. curtipendula* (Michx.) Torr., a 20 °C. Experimento 1.

Sal†	Nivel	días				¶	Sal†	días					¶
		3	6	9	12 [§]			3	6	9	12	15	
Testigo	0	56.7	93.3	93.3	96.7	a	Testigo	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a
(1) NaCl F	1	96.7	96.7	96.7	96.7	a	(7) Clorhídrica A	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	2	46.7	53.3	86.7	86.7	b		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	3	0.0	40.0	50.0	60.0	c		96.7	96.7	100.0	100.0	100.0	ab
	4	3.3	6.7	20.0	23.3	c		93.3	96.7	96.7	100.0	100.0	ab
	5	0.0	16.7	23.3	23.3	c		63.3	93.3	96.7	100.0	100.0	abc
	6	0.0	10.0	13.3	16.7	c		73.3	86.7	93.3	93.3	96.7	bc
	7	0.0	10.0	10.0	10.0	c		66.7	73.3	86.7	90.0	90.0	c
(2) NaHCO ₃ G	1	13.3	50.0	60.0	63.3	b	(8) Sulfático Clorhídrica B	83.3	93.3	96.7	96.7	96.7	abc
	2	6.7	30.0	33.3	36.7	bc		96.7	96.7	96.7	100.0	100.0	ab
	3	0.0	3.3	6.7	6.7	cd		90.0	93.3	93.3	100.0	100.0	abc
	4	0.0	6.7	6.7	6.7	cd		76.7	90.0	93.3	96.7	96.7	bcd
	5	0.0	3.3	3.3	3.3	cd		70.0	86.7	93.3	93.3	93.3	bcd
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	e		53.3	76.7	90.0	90.0	93.3	cd
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	e		40.0	50.0	86.7	86.7	86.7	d
(3) Na ₂ SO ₄ DE	1	53.3	76.7	90.0	90.0	ab	(9) Clorhídrico Sulfática A	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	2	50.0	90.0	90.0	90.0	a		96.7	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	3	30.0	70.0	73.3	73.3	abc		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	4	16.7	53.3	56.7	56.7	bcd		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	5	10.0	36.7	53.3	53.3	cd		86.7	93.3	93.3	93.3	93.3	b
	6	3.3	16.7	30.0	36.7	cd		86.7	90.0	90.0	90.0	90.0	bc
	7	0.0	0.0	16.7	36.7	d		66.7	86.7	86.7	86.7	86.7	c
(4) MgSO ₄ E	1	50.0	76.7	90.0	90.0	ab	(10) Sulfática A	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	2	50.0	90.0	90.0	90.0	ab		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	3	30.0	70.0	70.0	70.0	abc		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	a
	4	23.3	63.3	63.3	63.3	bcd		96.7	96.7	100.0	100.0	100.0	a
	5	13.3	26.7	33.3	43.3	cde		66.7	93.3	96.7	96.7	96.7	b
	6	0.0	10.0	16.7	36.7	de		63.3	93.3	93.3	93.3	93.3	b
	7	0.0	0.0	6.7	23.3	e		66.7	80.0	83.3	86.7	86.7	b
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O D	1	43.3	86.7	96.7	96.7	a	(11) Sulfático sódica C	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	b
	2	33.3	86.7	90.0	90.0	ab		93.3	96.7	96.7	100.0	100.0	ab
	3	20.0	86.7	86.7	86.7	abc		53.3	83.3	83.3	83.3	83.3	c
	4	20.0	80.0	80.0	80.0	abcd		40.0	43.3	50.0	50.0	50.0	d
	5	16.7	36.7	43.3	46.7	bcd		33.3	40.0	40.0	50.0	50.0	de
	6	0.0	33.3	36.7	43.3	cd		26.7	33.3	33.3	33.3	33.3	de
	7	0.0	6.7	26.7	40.0	d		20.0	23.3	23.3	26.7	26.7	e
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O G	1	33.3	66.7	70.0	76.7	b							
	2	6.7	40.0	40.0	40.0	c							
	3	6.7	16.7	20.0	20.0	cd							
	4	6.7	6.7	6.7	6.7	cd							
	5	0.0	3.3	3.3	3.3	d							
	6	0.0	0.0	3.3	3.3	d							
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	e							

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($P > F = 0.0001$) dentro de la columna. § Se omitió el porcentaje de germinación del día 15 por ser igual al día 12.

El máximo porcentaje de brote de semillas fue del 96.7 %, en el testigo, a los tres días, seguido por $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que llegó al 93 % en el segundo nivel (0.20 MPa); en el NaCl se consiguió un 86.7 %; el Na_2SO_4 y MgSO_4 un 63.3 %, todas sólo en el primer nivel de concentración (0.10 MPa) a los mismos días. En el $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ se logró un 50 %, los seis días, con 0.20 MPa. Por su parte, NaHCO_3 no alcanzó el 50 %; esta sal, junto con el NaCl, Na_2SO_4 , MgSO_4 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ inhibieron la germinación a niveles de concentración máxima (Cuadro 36).

En las sales geoquímicas, el 100 % de germinación se registró en el testigo a los seis días, igual que en las salinidades: clorhídrica, a los nueve días en los tres niveles de concentración más bajos, alcanzando dicho porcentaje hasta el nivel 4 (0.56 MPa) y un 96.7 % a 0.71 MPa a los 12 días; la salinidad sulfático-clorhídrica a los seis días, en el nivel 1 (0.10 MPa), permitió el 100 % de brote de semillas, a los mismos días en el nivel cuatro (0.56 MPa) y se obtuvo el 93.3 % y el 50 % en el nivel cinco (0.71 MPa), a los nueve días; por su parte, la clorhídrico-sulfática llegó a un 96.7 %, en los dos primeros niveles, a los seis días y, en el nivel tres (0.39 MPa), se consiguió el 93.3 % a los nueve días. La salinidad sulfática a los nueve días y sólo a la concentración más baja (0.10 MPa), logró un 93.3 % y, a 0.20 MPa, el máximo fue de 60 % a los nueve días; por otra parte, la salinidad sulfático-sódica, a nueve días, a 0.10 MPa obtuvo un 86.7 %. En este experimento, este tipo de sales inhibió el brote de semillas, a sus niveles de concentración máximos.

La salinidad clorhídrica favoreció el porcentaje de germinación; el NaHCO_3 , en cambio, influyó más sobre ésta. Las salinidades sulfático-clorhídrica y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, tuvieron el mismo efecto ($P > 0.05$), las sales Na_2SO_4 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y sulfático-sódica son iguales, lo mismo que el NaCl y la salinidad sulfática ($P > 0.05$). Las sales geoquímicas fueron ligeramente mejores para la germinación en comparación a las sales puras.

Cuadro 36. Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita a 20 °C experimento 2

Sal†	Nivel	días			¶	Sal†	días				¶
		3	6	9 [§]			3	6	9	12 [§]	
Testigo	0	96.7	96.7	96.7	a	Testigo	86.7	100.0	100.0	100.0	a
(1) NaCl C	1	86.7	86.7	86.7	b	(7) Clorhídrica A	83.3	100.0	100.0	100.0	a
	2	33.3	53.3	53.3	c		76.7	100.0	100.0	100.0	a
	3	16.7	33.3	33.3	d		73.3	83.3	100.0	100.0	ab
	4	13.3	20.0	20.0	e		43.3	73.3	83.3	100.0	ab
	5	13.3	13.3	16.7	e		10.0	53.3	96.7	96.7	b
	6	0.0	0.0	0.0	f		0.0	33.3	36.7	36.7	c
	7	0.0	0.0	0.0	f		0.0	0.0	0.0	0.0	d
(2) NaHCO ₃ D	1	6.7	6.7	6.7	b	(8) Sulfático Clorhídrica AB	76.7	100.0	100.0	100.0	ab
	2	0.0	6.7	6.7	b		70.0	93.3	93.3	93.3	bc
	3	0.0	0.0	0.0	c		53.3	96.7	96.7	96.7	bc
	4	0.0	0.0	0.0	c		30.0	93.3	93.3	93.3	c
	5	0.0	0.0	0.0	c		0.0	46.7	56.7	56.7	d
	6	0.0	0.0	0.0	c		0.0	3.3	3.3	6.7	e
	7	0.0	0.0	0.0	c		0.0	0.0	0.0	0.0	f
(3) Na ₂ SO ₄ CD	1	63.3	66.7	66.7	b	(9) Clorhídrico Sulfática B	96.7	96.7	96.7	96.7	a
	2	13.3	10.0	20.0	c		86.7	96.7	96.7	96.7	ab
	3	0.0	0.0	0.0	d		56.7	83.3	93.3	93.3	b
	4	0.0	3.3	3.3	d		10.0	33.3	46.7	46.7	c
	5	0.0	0.0	0.0	d		0.0	13.3	13.3	13.3	d
	6	0.0	0.0	0.0	d		0.0	0.0	3.3	3.3	e
	7	0.0	0.0	0.0	d		0.0	0.0	0.0	0.0	f
(4) MgSO ₄ CD	1	63.3	63.3	63.3	b	(10) Sulfática C	63.3	93.3	93.3	93.3	a
	2	13.3	23.3	23.3	c		50.0	56.7	60.0	60.0	b
	3	0.0	3.3	3.3	d		23.3	33.3	36.7	36.7	c
	4	0.0	3.3	3.3	d		0.0	3.3	3.3	3.3	d
	5	0.0	0.0	0.0	e		0.0	0.0	0.0	0.0	e
	6	0.0	0.0	0.0	e		0.0	0.0	0.0	0.0	e
	7	0.0	0.0	0.0	e		0.0	0.0	0.0	0.0	e
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O AB	1	83.3	86.7	86.7	c	(11) Sulfático sódica CD	70.0	83.3	86.7	86.7	b
	2	93.3	93.3	93.3	b		13.3	13.3	16.7	16.7	c
	3	66.7	86.7	86.7	c		0.0	0.0	0.0	0.0	d
	4	73.3	73.3	73.3	d		0.0	0.0	0.0	0.0	d
	5	53.3	60.0	60.0	e		0.0	0.0	0.0	0.0	d
	6	43.3	56.7	56.7	e		0.0	0.0	0.0	0.0	d
	7	3.3	10.0	10.0	f		0.0	0.0	0.0	0.0	d
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O CD	1	36.7	43.3	43.3	b						
	2	33.3	50.0	50.0	b						
	3	3.3	10.0	10.0	c						
	4	0.0	0.0	3.3	d						
	5	0.0	0.0	0.0	e						
	6	0.0	0.0	0.0	e						
	7	0.0	0.0	0.0	e						

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($P > F = 0.0001$) dentro de la columna. § Se omitió el porcentaje de germinación en sales puras del día 12 y 15 por ser igual al día 9, y sales geoquímicas del día 15 por ser igual al día 12.

En general, el tipo de sal que permitió el porcentaje de germinación mayor fue el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; la de menor germinación, fue el NaHCO_3 . En las sales geoquímicas, la de mayor germinación fue la salinidad clorhídrica y, la de menor brote de semillas, fue la salinidad sulfático-sódica.

Las sales geoquímicas permitieron la mayor germinación y en menor tiempo en comparación con las sales puras, siendo estadísticamente diferentes; ya que, estas últimas, afectaron más el brote de semillas, sobre todo, en niveles de concentración más altos. El análisis estadístico también indica que los niveles de concentración salina son diferentes.

El retraso o inhibición del porcentaje de germinación, está relacionado principalmente al potencial osmótico de la solución salina y tiene una relación lineal con la concentración de sal, ya que al incrementar la concentración salina, disminuye el potencial osmótico. El porcentaje de germinación total se alcanzó en menos de 10 días, en la mayoría de las sales y niveles de concentración salina.

Es importante señalar que las sales que registraron el menor porcentaje de germinación tuvieron pH alcalino. En cambio, el pH de las sales con mayor porcentaje de germinación, fue neutro. Esto implica que el pH es un factor negativo, para el brote de las semillas evaluadas.

El efecto de la salinidad sobre la germinación varió considerablemente con la temperatura (Cuadro 37). El porcentaje de germinación fue mayor en todos los tratamientos bajo temperatura controlada en cámara de germinación (20 °C), en comparación a temperatura ambiente, ya que permitió que las semillas toleraran los niveles mayores de concentración salina del experimento uno, en todos los tipos de sales a las que fueron sometidas.

De acuerdo a Dodd y Donovan (1999), un incremento en la salinidad generalmente reduce la germinación. Dos procesos regulan esta disminución: los efectos osmóticos debidos a una disminución del potencial de solutos del suelo, creando un estrés hídrico para la planta; y, los efectos iónicos debidos a la absorción y/o acumulación de iones por las semillas o las plántulas.

Magistad *et al.* (1943), mencionan que el clima no modifica el efecto de las sales sobre el crecimiento de las plantas. Ahi y Powers (1938), reportaron que la temperatura es un factor dominante en la germinación de semillas de trébol bajo condiciones salinas y sódicas. Uhvits (1946), encontró que un incremento de 2.8 °C de la temperatura media (26 °C), bajo condiciones de invernadero, reduce la germinación de alfalfa, a todos los niveles de la sal.

Investigaciones de laboratorio también sugieren que el efecto negativo de la salinidad sobre la germinación de la alfalfa, se intensifica a temperaturas arriba de los 21 °C (Ungar, 1967).

Khan *et al.* (2000), indicaron que la germinación de las semillas disminuyó con incrementos de la concentración de NaCl, y que, temperaturas bajas retrasaron la germinación; sin embargo, con aumentos de temperatura hubo un incremento substancial de la germinación, además, la tolerancia a la salinidad de semillas de *Salicornia rubra* también se acrecentó con temperaturas altas. Aunque una concentración salina alta disminuye la germinación, el efecto perjudicial de la salinidad es generalmente, menos severo a temperaturas óptimas de germinación (Khan *et al.*, 2000; Khan y Gulzar, 2003).

Ungar (1977), indicó que a temperaturas bajas (10 °C), se registraron los porcentajes más bajos de germinación de semillas de *Salicornia europea* e incrementos de NaCl inhibieron la germinación de las semillas, aun en temperaturas óptimas (25 °C). Los efectos de temperatura influyeron en la germinación, ésta no ocurrió a temperaturas extremas (Wilson *et al.*, 1992).

Khan y Ungar (1996), indican que cambios en los regímenes de temperatura significativamente afectan la germinación de *Haloxylon recurvum*, y que incrementos de salinidad, progresivamente, inhiben la germinación de las semillas. Resultados similares encontró Villagra (1997), en *Proscopis argentina* y *P. alpataco*; Weber y D'Antonio (1999), en híbridos de *Carpobroyus*. Tobe *et al.* (2000), indican que a temperaturas bajas (10 °C), el porcentaje de germinación y crecimiento de radícula de *Kalidium caspicum* fue más bajo que a temperaturas altas (20-30 °C). Gulzar y Khan (2001) y Tlig

et al. (2008), indican que la germinación fue significativamente afectada por la temperatura, salinidad y su interacción.

Khan *et al.* (2000) Khan y Gulzar (2003), reportan que las temperaturas bajas retrasan la germinación, pero, con incrementos de temperatura, hay un incremento substancial en ésta; además, la tolerancia a la salinidad en semillas, también se incrementa con temperaturas altas. Aunque una concentración salina alta disminuye la germinación, el efecto perjudicial de la salinidad es, generalmente, menos severo a temperaturas óptimas de germinación.

Según Wilson *et al.* (1992), los efectos de temperatura contribuyen substancialmente más a la variabilidad total, en parámetros de la germinación. Khan y Ungar (1996) y Romo *et al.* (1991), indican que incrementos en temperatura y salinidad, progresivamente, inhiben la germinación de las semillas. Gulzar y Khan (2001), señalan que el efecto de la salinidad sobre la germinación varía considerablemente con la temperatura.

Cuadro 37. Porcentaje de germinación absoluta de pasto Banderita (*B. curtipendula* (Michx.) Torr.) a temperatura ambiente y a 20 °C, experimentos 1 y 2.

Sal	Nivel	Experimento			Sal	Experimento		
		1		2		1		2
		Ta†	20°C			Ta†	20°C	
Testigo	0	96.7	96.7	96.7	Testigo	100.0	100.0	100.0
(1) NaCl	1	100.0	96.7	86.7	(7) Clorhídrica	100.0	100.0	100.0
	2	60.0	86.7	53.3		100.0	100.0	100.0
	3	46.7	60.0	33.3		100.0	100.0	100.0
	4	16.7	23.3	20.0		96.7	100.0	100.0
	5	3.3	23.3	16.7		96.7	100.0	96.7
	6	0.0	16.7	0.0		86.7	96.7	36.7
	7	0.0	10.0	0.0		83.3	90.0	0.0
(2) NaHCO ₃	1	50.0	63.3	6.7	(8) Sulfático Clorhídrica	90.0	96.7	100.0
	2	6.7	36.7	6.7		96.7	100.0	93.3
	3	0.0	6.7	0.0		100.0	100.0	96.7
	4	0.0	6.7	0.0		86.7	96.7	93.3
	5	0.0	3.3	0.0		86.7	93.3	56.7
	6	0.0	0.0	0.0		80.0	93.3	6.7
	7	0.0	0.0	0.0		80.0	86.7	0.0
(3) Na ₂ SO ₄	1	70.0	90.0	66.7	(9) Clorhídrico Sulfática	100.0	100.0	96.7
	2	60.0	90.0	20.0		100.0	100.0	96.7
	3	36.7	73.3	0.0		100.0	100.0	93.3
	4	10.0	56.7	0.0		100.0	100.0	46.7
	5	6.7	53.3	0.0		86.7	93.3	13.3
	6	3.3	36.7	0.0		83.3	90.0	3.3
	7	0.0	36.7	0.0		80.0	86.7	0.0
(4) MgSO ₄	1	43.3	90.0	63.3	(10) Sulfática	100.0	100.0	93.3
	2	36.7	90.0	23.3		100.0	100.0	60.0
	3	33.3	70.0	3.3		100.0	100.0	36.7
	4	30.0	63.3	3.3		93.3	100.0	3.3
	5	23.3	43.3	0.0		86.7	96.7	0.0
	6	0.0	36.7	0.0		86.7	93.3	0.0
	7	0.0	23.3	0.0		73.3	86.7	0.0
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O	1	93.3	96.7	86.7	(11) Sulfático sódica	86.7	93.3	86.7
	2	50.0	90.0	93.3		96.7	100.0	16.7
	3	46.7	86.7	86.7		66.7	83.3	0.0
	4	43.3	80.0	73.3		33.3	50.0	0.0
	5	43.3	46.7	60.0		20.0	50.0	0.0
	6	40.0	43.3	56.7		13.3	33.3	0.0
	7	33.3	40.0	10.0		10.0	26.7	0.0
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O	1	73.3	76.7	43.3				
	2	36.7	40.0	50.0				
	3	6.7	20.0	10.0				
	4	3.3	6.7	3.3				
	5	3.3	3.3	0.0				
	6	0.0	3.3	0.0				
	7	0.0	0.0	0.0				

† Temperatura ambiente.

El retraso o inhibición de la germinación en el Experimento dos, de soluciones isosmóticas, fue debido a los bajos potenciales osmóticos a los que fue sometida la semilla de pasto Banderita, ya que las salinidades geoquímicas aun disminuyeron el brote de semillas (Cuadro 37).

Uhvits (1946), encontró que un incremento en la presión osmótica de la solución salina, disminuye la tasa de entrada de agua dentro de la semilla de alfalfa y esto, a su vez, retarda la germinación, concluyó que la germinación de las semillas puede ser afectada por la salinidad, a través de efectos osmóticos o toxicidad de iones específicos, o ambos.

Ungar (1978), señala que en numerosas investigaciones sobre la tolerancia de los cultivos a la salinidad, revelan que un incremento en el estrés osmótico produce un porcentaje de germinación bajo y, que ésta, puede ser estimulada, disminuida o inalterada, dependiendo de la especificidad del ión.

Uhvits (1946) y Redmann (1974), demostraron que el porcentaje de germinación fue mayor en soluciones de manitol que en soluciones de NaCl a igual presión osmótica, debido a que iones de Na^+ o Cl^- fueron los agentes inhibidores de la germinación. En soluciones isotónicas, el Na_2SO_4 y MgCl_2 fueron más tóxicos que el NaCl.

Ryan *et al.* (1975), estudiando los efectos de NaCl, CaCl_2 , MgCl_2 , NaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, a concentraciones de 50, 100, 150 y 200 meq L^{-1} , sobre la germinación de pastos, indican que la germinación disminuye con incrementos en la concentración de sal, el grado de reducción varia con la sal y especie de pasto. La inhibición fue más grande con sales de Mg^{2+} que con sales de Ca^{2+} . Cuando el $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ fue usado, el efecto fue menor a una concentración equivalente de MgCl_2 . A igual presión osmótica, el efecto de ión específico varió. Cuando el cloruro fue usado como un anión, Mg^{2+} y Na^+ restringieron la germinación más severamente que a concentraciones equivalentes de Ca^{2+} . Cuando el sulfato fue usado como un anión de las sales, el efecto del Mg^{2+} mejoro, pero no el Na^+ .

Maldonado *et al.* (2002), observaron que la disminución de los potenciales hídricos produjo una demora en la germinación.

Hayward y Wadleigh (1949), indicaron que las presiones osmóticas críticas en la solución del suelo para frijol, son de 7 a 8 atm; de 10.5 a 11.5 atm, para maíz; y de 12 a 13 atm, para alfalfa

Desarrollo de radícula y parte aérea

La radícula fue altamente afectada por la presencia de sales, ya que se desarrolló más la parte aérea, tanto en el testigo, como en las sales puras y las sales geoquímicas (Cuadro 38).

El testigo registró el mayor crecimiento de radícula y parte aérea. La sal con mayor desarrollo de ambas partes fue $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, mientras que, NaHCO_3 fue la sal con menor crecimiento. Su expansión fue inhibida en $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, en la concentración máxima; y, en NaHCO_3 , desde el nivel seis (12.16 g L^{-1}). El crecimiento de la parte aérea fue inhabilitado en NaHCO_3 y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, en el nivel máximo de salinidad. En este cultivo el tipo de sal si afecto a las partes en estudio.

En las sales geoquímicas, se observa que el crecimiento máximo de la radícula y parte aérea ocurrió en el testigo. La salinidad clorhídrica registró la mayor expansión de ambas partes y, la de desarrollo menor de radícula, fue la sulfático-sódica; mientras que, en la sulfática, las sales que inhibieron al 100 % el crecimiento, en ambas partes, fueron sulfático-clorhídrica, clorhídrico-sulfática, al nivel máximo de concentración (17.92 g L^{-1}); por su parte, la sulfática y sulfático-sódica, a partir del nivel cinco de concentración, equivalente a 9.28 y 12.29 g L^{-1} , respectivamente. Es importante destacar que estas sales, a su concentraciones máximas, permitieron arriba del 80 % de germinación, excepto la salinidad sulfático-sódica; por lo que, el desarrollo en de la radícula y parte aérea fue afectado por la temperatura.

El crecimiento de la radícula y parte aérea fue altamente significativo ($P < 0.01$); en la radícula, la mejor sal fue el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y las sales que estadísticamente afectaron más su longitud fueron NaHCO_3 y la salinidad sulfático-sódica; mientras que, las sales: NaCl , Na_2SO_4 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, clorhídrico-sulfática y sulfática, fueron estadísticamente iguales ($P > 0.05$).

En la parte aérea, la salinidad clorhídrica fue la mejor, las sales que afectaron más son NaHCO_3 y la salinidad sulfática, estadísticamente, tuvieron el mismo efecto las sales

NaCl, MgSO₄ y la salinidad clorhídrico-sulfática ($P > 0.05$); por su parte, el Na₂SO₄ fue estadísticamente igual a la salinidad sulfático-sódica ($P > 0.05$). El efecto de las sales geoquímicas fue estadísticamente igual al de las sales puras en el incremento de longitud en ambas partes de análisis ($P > 0.05$).

Cuadro 38. Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, del pasto Banderita (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.) a 20 °C. Experimento 1

Sal†	Nivel	Rad.**		Sal†	Plánt.**		Sal†	Rad.**		Sal†	Plánt.**	
Testigo	0	24.89	a		33.04	a	Testigo	23.33	a		37.41	a
(1) NaCl BCD	1	9.50	b		23.07	ab	(7) Clorhídrica AB	11.21	b		30.25	ab
	2	6.14	bc		18.61	bc		10.59	bc		29.96	ab
	3	4.33	cd	ABCD	18.28	bc		7.97	bc	A	20.05	abc
	4	1.32	cd		9.30	cd		6.86	bcd		15.17	abc
	5	0.39	d		4.78	cd		4.85	bcd		6.99	bc
	6	0.12	d		1.05	d		3.59	cd		4.08	c
	7	0.20	d		0.49	d		0.13	d		0.20	c
(2) NaHCO ₃ D	1	7.31	b		12.85	b	(8) Sulfático Clorhídrica ABC	13.66	b		30.40	ab
	2	1.57	bc		11.98	bc		10.97	bc		28.29	ab
	3	0.36	bc	D	1.49	bc		8.28	bc		20.15	abc
	4	0.09	c		0.28	bc		5.19	cd	ABC	9.25	bc
	5	0.07	c		0.24	c		3.56	cd		3.67	c
	6	0.00	d		0.16	c		0.56	d		1.29	c
	7	0.00	d		0.00	d		0.00	e		0.00	d
(3) Na ₂ SO ₄ BCD	1	2.33	bc		17.18	b	(9) Clorhídrico Sulfática BCD	12.00	b		33.09	a
	2	9.83	b		10.89	c		7.03	bc		19.23	ab
	3	5.54	bc	BCD	9.42	c		6.60	bcd		8.55	bc
	4	1.08	c		1.68	c		5.85	cde	ABCD	5.69	bc
	5	0.92	c		1.48	c		1.40	cde		4.48	bc
	6	0.78	c		0.54	c		0.68	de		0.77	c
	7	0.26	c		0.48	c		0.00	f		0.00	d
(4) MgSO ₄ CD	1	5.63	b		10.53	b	(10) Sulfática BCD	10.00	b		14.47	b
	2	4.43	b		14.90	bc		7.05	b		8.38	bc
	3	3.72	b	ABCD	14.52	bc		6.35	bc	D	4.11	bc
	4	2.37	b		10.00	bc		0.36	c		1.38	c
	5	0.78	b		7.81	bc		0.00	d		0.00	d
	6	0.39	b		3.95	bc		0.00	d		0.00	d
	7	0.33	b		0.74	c		0.00	d		0.00	d
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O A	1	13.62	b		36.02	a	(11) Sulfático sódica D	7.33	b		30.28	a
	2	12.30	b		29.28	a		3.64	bc		11.17	b
	3	9.41	b	AB	12.17	b		0.28	c		0.84	b
	4	9.23	b		10.23	b		0.11	c	BCD	0.31	b
	5	7.55	bc		6.20	b		0.00	d		0.00	c
	6	6.11	bc		4.26	b		0.00	d		0.00	c
	7	2.20	c		1.38	b		0.00	d		0.00	c
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O BCD	1	8.51	bc		11.97	b						
	2	10.04	b	CD	11.11	b						
	3	4.52	bcd		8.98	bc						
	4	1.74	cd		2.22	cd						
	5	0.46	d		0.84	cd						
	6	0.39	d		0.46	cd						
	7	0.00	e		0.00	e						

† Prueba de medias entre tipo de sal, || Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($Pr > F = 0.0001$) dentro de la columna. ** (Significancia estadística (Tukey, 0.05))

Po otra parte, la radícula fue altamente afectada por la presencia de sales, ya que se desarrollo más la parte aérea, tanto en el testigo, como en las sales puras y geoquímicas (Cuadro 39).

El testigo registró el crecimiento mayor de radícula y parte aérea. La sal con desarrollo mayor de ambas partes fue el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y, por su parte, el NaHCO_3 fue la sal con crecimiento menor, su expansión fue inhibida en todas las sales a la máxima concentración, excepto en el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y el NaHCO_3 , desde el nivel 2 (0.20 MPa), impidió el desarrollo.

En las sales geoquímicas se observa que el crecimiento máximo de la radícula y parte aérea fue en el testigo, la salinidad clorhídrica registró la expansión mayor de ambas partes y la de menor desarrollo fue la salinidad sulfático-sódica en la radícula y la salinidad sulfática para la parte aérea. Todas las sales, excepto la salinidad clorhídrica, inhibieron al 100 % el crecimiento en ambas partes a partir a las concentraciones máximas.

El crecimiento de la radícula y parte aérea fue altamente significativo; en la radícula, las mejores sales fueron la salinidad clorhídrica y el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, mientras que, las sales que estadísticamente afectaron más su longitud fueron NaHCO_3 , Na_2SO_4 teniendo el mismo efecto, las sales MgSO_4 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y la salinidad sulfático-sódica, que fueron estadísticamente iguales.

En la parte aérea, la salinidad clorhídrica y el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ fueron las mejores y estadísticamente, tuvieron el mismo efecto, la sal que afecto más el crecimiento fue el NaHCO_3 . En las sales Na_2SO_4 , MgSO_4 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y sulfática no hubo diferencia estadística entre ellas, lo mismo ocurrió con las sales NaCl y sulfático-clorhídrica que tuvieron el mismo efecto. El efecto de las sales geoquímicas fue estadísticamente igual al de las sales puras, en el incremento de longitud en ambas partes de análisis.

Cuadro 39. Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, del pasto Banderita (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.) a 20 °C. Experimento 2.

Sal†	Nivel	Rad.**	¶	Sal†	Plánt.**	¶	Sal†	Rad.**	¶	Sal†	Plánt.**	¶
Testigo	0	13.68	a		31.53	a	Testigo	18.39	a		36.08	a
(1) NaCl CD	1	7.49	b		22.02	ab	(7)	9.26	b		29.19	ab
	2	3.63	c		17.49	bc	Clorhídrica	9.19	b		29.23	ab
	3	0.68	cd	AB	10.29	bc	A	7.33	bc	A	19.67	abc
	4	0.32	d		7.81	cd		5.96	bc		13.93	abc
	5	0.25	d		3.25	cd		4.10	bcd		5.45	bc
	6	0.00	e		0.00	d		2.92	d		3.27	c
	7	0.00	e		0.00	d		0.13	e		0.15	d
(2) NaHCO ₃ E	1	0.08	b		4.98	b	(8)	12.33	ab		29.23	ab
	2	0.00	c		0.00	c	Sulfático	8.89	bc		27.07	ab
	3	0.00	c	D	0.00	c	Clorhídrica	6.70	bc		19.01	abc
	4	0.00	c		0.00	c	AB	4.44	cd	AB	8.73	bc
	5	0.00	c		0.00	c		2.74	d		3.06	c
	6	0.00	c		0.00	c		0.00	e		0.00	d
	7	0.00	c		0.00	c		0.00	e		0.00	d
(3) Na ₂ SO ₄ E	1	1.15	b		15.74	b	(9)	9.27	b		28.61	a
	2	0.35	c		5.16	c	Clorhídrico	5.10	bc		17.54	ab
	3	0.00	d	CD	0.00	d	Sulfática	4.07	cd		7.36	bc
	4	0.00	d		0.00	d	BC	2.18	de	ABC	3.69	c
	5	0.00	d		0.00	d		0.54	e		1.50	c
	6	0.00	d		0.00	d		0.00	f		0.00	d
	7	0.00	d		0.00	d		0.00	f		0.00	d
(4) MgSO ₄ DE	1	1.01	b		8.35	b	(10)	5.30	b		10.84	b
	2	0.49	c		3.54	bc	Sulfática	2.82	bc		4.34	bc
	3	0.06	c	CD	0.28	c	CDE	1.47	bc	CD	2.36	c
	4	0.00	d		0.21	c		0.19	c		0.33	d
	5	0.00	d		0.00	d		0.00	d		0.00	e
	6	0.00	d		0.00	d		0.00	d		0.00	e
	7	0.00	d		0.00	d		0.00	d		0.00	e
(5) CaCl ₂ ·2H ₂ O A	1	8.49	b		32.87	a	(11)	5.02	b		29.01	a
	2	8.03	b		27.20	a	Sulfático	1.19	c		9.04	b
	3	4.48	c	A	9.26	b	sódica	0.00	d		0.00	c
	4	4.22	c		7.44	b	DE	0.00	d	BCD	0.00	c
	5	3.23	c		4.19	b		0.00	d		0.00	c
	6	3.18	c		2.36	c		0.00	d		0.00	c
	7	0.35	d		0.30	d		0.00	d		0.00	c
(6) MgCl ₂ ·6H ₂ O DE	1	1.85	b		7.96	b						
	2	1.58	bc	CD	6.53	b						
	3	0.21	c		1.93	c						
	4	0.15	c		0.49	c						
	5	0.00	d		0.00	d						
	6	0.00	d		0.00	d						
	7	0.00	d		0.00	d						

† Prueba de medias entre tipo de sal, ¶ Prueba de medias entre nivel de sal, considerando todos los niveles de sales. Literales diferentes indican diferencias significativas ($Pr > F = 0.0001$) dentro de la columna. ** (Significancia estadística (Tukey, 0.05))

En general, el tipo de sales que permitieron el crecimiento vegetativo mayor fue $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; la de menor, fue el NaHCO_3 . En las sales geoquímicas las de germinación mayor fue la salinidad clorhídrica y la de menor fue la salinidad sulfático-sódica.

Las sales geoquímicas permitieron el desarrollo vegetativo mayor en comparación con las sales puras, siendo estadísticamente diferentes; sin embargo, se observa que a temperatura controlada, algunas sales cualitativas inhibieron el desarrollo vegetativo, en las concentraciones más altas. El análisis estadístico también indica que los niveles de concentración salina son diferentes.

El crecimiento vegetativo, está relacionado principalmente al potencial osmótico de la solución salina y tiene una relación lineal con la concentración de sal, ya que, al incrementar la concentración salina disminuyó del potencial osmótico.

Es importante señalar que el crecimiento de la radícula y plántula fue disminuyendo al incrementar la concentración de salina, éstos perdieron turgencia al pasar el tiempo. Después de 15 días se perdió totalmente la turgencia, tanto de la radícula como de la parte aérea. Las sales que registraron el desarrollo vegetativo menor registraron pH alcalino. En cambio, el pH de las sales con crecimiento mayor fue neutro, esto implica que el pH es un factor negativo para el crecimiento del pasto Banderita.

La temperatura controlada (20 °C) no influyó en el desarrollo de la radícula ni en la parte aérea, pero permitió que éstas toleraran niveles mayores de concentración salina del Experimento uno, en todos los tipos de sales a las que fueron sometidas. Asimismo, disminuyó el crecimiento vegetativo en el experimento con soluciones isosmóticas, debido a los bajos potenciales osmóticos a los que fue sometida la semillas de pasto Banderita (Cuadro 40).

Por otra parte, la temperatura controlada (20 °C) influyó en el desarrollo vegetativo, ya que no incrementó el crecimiento ni permitió que éstas toleraran niveles mayores de concentración salina del Experimento uno, en todos los tipos de sales a las que fueron sometidas. Además, disminuyó el crecimiento vegetativo en el experimento con soluciones isosmóticas, debido a los potenciales osmóticos bajos a los que fue sometida la semilla (Cuadro 41).

Cuadro 41. Crecimiento vegetativo (mm) a los 15 días, del pasto Banderita (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.) en las sales geoquímicas, a temperatura ambiente y a 20 °C.

Experimentos 1 y 2.

Sal	Nivel	Radícula			Parte aérea		
		1		2	1		2
		Ta	20°C		Ta	20°C	
Testigo	0	18.65	23.33	18.39	33.80	37.41	36.08
(7) Clorhídrica	1	9.06	11.21	9.26	22.95	30.25	29.19
	2	13.14	10.59	9.19	21.77	29.96	29.23
	3	9.87	7.97	7.33	18.59	20.05	19.67
	4	7.77	6.86	5.96	14.18	15.17	13.93
	5	4.03	4.85	4.10	7.74	6.99	5.45
	6	3.68	3.59	2.92	3.15	4.08	3.27
	7	0.54	0.13	0.13	1.03	0.20	0.15
(8) Sulfático Clorhídrica	1	13.63	13.66	12.33	20.87	30.40	29.23
	2	12.74	10.97	8.89	26.72	28.29	27.07
	3	7.53	8.28	6.70	19.09	20.15	19.01
	4	5.86	5.19	4.44	5.65	9.25	8.73
	5	4.79	3.56	2.74	4.21	3.67	3.06
	6	3.81	0.56	0.00	3.78	1.29	0.00
	7	3.55	0.00	0.00	2.88	0.00	0.00
(9) Clorhídrico Sulfática	1	15.75	12.00	9.27	33.99	33.09	28.61
	2	13.03	7.03	5.10	24.34	19.23	17.54
	3	8.52	6.60	4.07	14.60	8.55	7.36
	4	8.27	5.85	2.18	11.32	5.69	3.69
	5	6.43	1.40	0.54	8.80	4.48	1.50
	6	4.36	0.68	0.00	5.67	0.77	0.00
	7	2.30	0.00	0.00	2.19	0.00	0.00
(10) Sulfática	1	2.17	10.00	5.30	28.12	14.47	10.84
	2	1.04	7.05	2.82	23.21	8.38	4.34
	3	0.33	6.35	1.47	7.62	4.11	2.36
	4	0.08	0.36	0.19	1.35	1.38	0.33
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(11) Sulfático sódica	1	12.43	7.33	5.02	25.46	30.28	29.01
	2	8.65	3.64	1.19	18.12	11.17	9.04
	3	5.34	0.28	0.00	20.34	0.84	0.00
	4	2.48	0.11	0.00	10.13	0.31	0.00
	5	2.06	0.00	0.00	7.44	0.00	0.00
	6	1.54	0.00	0.00	4.95	0.00	0.00
	7	1.42	0.00	0.00	2.64	0.00	0.00

Como se mencionó anteriormente, se esperaba que las sales NaCl, Na₂SO₄, salinidad sulfático-clorhídrica y sulfático-sódica tuvieran un efecto más perjudicial, por los bajos potenciales osmóticos que generaron; sin embargo, las sales que perjudicaron más el porcentaje de germinación y crecimiento fueron NaHCO₃ y la salinidad sulfático-sódica.

En general, el crecimiento de la radícula fue menor al de la plántula tanto a temperatura ambiente como en la cámara de germinación y, aunque algunas semillas brotaron, la radícula no se desarrolló adecuadamente, ya que no alcanzó los 2 mm. Por su parte Sam (2007), indica que concentraciones altas de NaCl permitieron la germinación de las semillas de arroz y el desarrollo inicial de la radícula, pero su morfología cambió totalmente.

Esqueda *et al.* (2005), reportan un 86 % de germinación, y rápida velocidad de germinación en las primeras etapas de desarrollo del pasto Banderita, bajo condiciones no salinas y de temporal.

Munns y Termaat (1986), afirman que generalmente, al incrementarse la salinidad, el crecimiento de la raíz se afecta menos que el del tallo; sin embargo, Cramer (1994) y Velagaleti y Schweltzer (1994), observaron que en soya y maíz la elongación de la raíz es más sensible a la salinidad. Tobe *et al.* (2000), reportaron resultados similares en *Kalidium. Caspicum*. En una serie de experimentos realizados con trigo, algodón y chile dulce, se encontró que a medida que se incrementaba la concentración de sales en el suelo, el desarrollo radical se hacía menor. El efecto de las sales sobre el crecimiento radical, aumenta a medida que se acrecienta la concentración (Pizarro, 1985). Almansouri *et al.* (2001), indican que la longitud de la plántula disminuyó con incrementos de la concentración de agentes osmóticos.

Bernstein (1961), indica que las plantas responden a la salinidad en función de el potencial osmótico total del agua del suelo, sin tener en cuenta la especie de sal presente. Algunas plantas herbáceas son susceptibles a la toxicidad por iones específicos.

Legerwerff y Eagle (1961), encontraron, con soluciones isosmóticas de NaCl, Na₂SO₄ o CaCl₂, igual disminución en crecimiento de frijol y que la absorción de agua y

el crecimiento, estuvieron relacionados linealmente con las concentraciones de las tres sales.

Hayward y Wadleigh (1949), reportan un 93 % de germinación en maíz a 10 atm de presión osmótica, considerado como tolerante en esta etapa.

Mediante incrementos de la presión osmótica por Na_2SO_4 y CaCl_2 de la solución del suelo, para el cultivo de trigo, se llegó a los siguientes resultados: fue evidente que el Na_2SO_4 retarda el crecimiento y disminuye los rendimientos; mientras que, para el caso del CaCl_2 , estos fenómenos fueron mucho más drásticos; en los tratamientos de 30 atm en sulfatos, se obtuvieron rendimientos, mientras que con los cloruros, las plantas murieron (Strogonov, 1964).

Cramer *et al.* (1988), monitorearon el crecimiento de las raíz de maíz, en presencia de soluciones isotónicas manitol 138 mM y de NaCl 75 mM. En manitol, ocurrió una disminución inicial en la tasa de crecimiento, seguido por una gradual recuperación. En NaCl, la tasa de crecimiento disminuyó un 20 % y no se recuperó. Por su parte Magistad, *et al.* (1943), mencionan que una germinación a potenciales osmóticos bajos, probablemente, resulte en un debilitamiento de la radícula y la plúmula; y que altas concentraciones de sal, reducen el crecimiento del cultivo. Ivanova (1974), indica que la salinización retrasa la floración, pero acelera la defoliación en los árboles de durazno, bajo condiciones de salinidad.

Magistad, *et al.* (1943), trabajando con alfalfa, encontró un incremento en el rendimiento, debido a la sal predominante con calcio y donde el magnesio fue el catión predominante. También reportó que con aproximados valores osmóticos, los cloruros fueron más tóxicos que los sulfatos, para alfalfa. Sin embargo, para algunos cultivos, los cloruros y sulfatos a igual concentración osmótica, son igualmente dañinos; mientras que en otros cultivos, los cloruros son más tóxicos que los sulfatos, con igual presión osmótica. El ión sulfato es algo más pesado que el ión cloruro, este hecho, explica porque las plantas pueden resistir mayores cantidades de sulfato que de cloruro.

CONCLUSIONES

La disminución del número de semillas germinadas varió en respuesta a la conductividad eléctrica de las soluciones y similarmente, entre los cultivos analizados

La mayor germinación y crecimiento, se presento en el maíz, la remolacha, pasto Banderita y frijol, fueron los cultivos más afectados por las sales.

La reducción de la rapidez de germinación de los cultivos, respecto al testigo, mostró un comportamiento lineal con el incremento en la concentración de las soluciones; es decir, cuando disminuye el potencial de la solución aumenta en forma progresiva, el tiempo para alcanzar un determinado porcentaje de germinación.

A pesar de que las condiciones extremas evaluadas impiden la germinación, cuando las temperaturas son optimas, las semillas son capaces de tolerar niveles mayores de salinidad.

El presente estudio demuestra que la germinación esta influenciada tanto por la concentración de sal o el potencial osmótico, como por la naturaleza de los iones presentes en las soluciones salinas.

El bajo porcentaje de germinación a temperatura no controlada, fue causado por las temperaturas entre 15 y 19°C, que fueron registradas durante el periodo de evaluación.

La germinación, el crecimiento de radícula y parte aérea disminuyen al incrementar la concentración de sal. Este efecto fue significativamente más alto en las sales geoquímicas que en las sales puras. Por tanto, el efecto de sales combinadas es benéfico para la germinación y el crecimiento.

Las sales de cloruro fueron ligeramente más tóxicas para la germinación y el crecimiento, en comparación con las sales de sulfato, a igual concentración. Al incrementar la temperatura, las sales de cloruro fueron más tóxicas para la germinación, no así para el crecimiento de radícula y parte aérea.

El pasto Banderita es sensible a altas concentraciones de sales puras y a bajas temperaturas.

El pasto Banderita tiene alto porcentaje de germinación con un incremento de temperatura y en medios de salinidad geoquímica. Su tasa de germinación depende de la temperatura, la concentración y el tipo de solución salina.

La radícula del pasto Banderita es muy sensible a la salinidad, ya que su crecimiento fue menor al de la parte aérea. La salinidad relativamente baja que permitió la germinación de las semillas, provoca alta mortalidad de la radícula.

También, se observa que en los cultivos de alfalfa, pasto Banderita, frijol y remolacha, la mezcla de sales favoreció la germinación, no así en los cultivos restantes (avena, maíz y pasto ryegrass), donde las sales puras fueron estadísticamente iguales a las sales geoquímicas.

RECOMENDACIONES.

La evaluación de cultivos en la etapa de germinación es práctica y efectiva para identificar material tolerante a la salinidad; sin embargo, es importante evaluar la tolerancia en todas las etapas de desarrollo.

Realizar pruebas en fases de desarrollo posteriores a la germinación, para documentar la tolerancia a las sales, cuando la concentración de sales es baja

La tolerancia de las plantas a la salinidad bajo condiciones de laboratorio, no necesariamente correlacionan con las respuestas a la salinidad en condiciones de producción, ya que puede ser más bajo; por ello, es necesario realizar pruebas de germinación en campo del pasto Banderita.

LITERARURA CITADA

- Abel, G. H. and A. J. MacKenzie. 1964. Salt tolerance of soybean varieties (*Glycine max* L. Merrill) during germination and later growth. *Crop Sci.* 157-161.
- Aceves, N. E. 1979. Ensalitramiento de suelos bajo riego. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. p 382
- Aguilera, C. M, y Martínez, E. R. 1996. Relaciones agua suelo planta atmósfera. Chapingo. pp 25-180.
- Ahi, S. M. and W. L. Powers. 1938. Salt tolerance of plants at various temperatures. *Plant Physiol.* 13:767-789.
- Alam, S. M. 1994 Nutrient uptake by plants under stress conditions. *In: M. Pessarakli, (Ed). Handbook on plant and crop stress New York. U.S.A. pp. 227-246.*
- Allen S. G, A. K. Dobrenz and P. G. Bartels. 1986. Physiological response of salt-tolerant and non-tolerant alfalfa to salinity during germination. *Crop Sci.* 26: 1004-1008.
- Almansouri, M., J-M. Kinet and S. Lutts. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil* 231: 243-254.
- Ashraf, M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci* 13: 17-42.
- Ashraf, M., T. McNeilly and A. D. Bradshaw. 1987. Selection and heritability of tolerance to sodium chloride in four forage species. *Crop Sci.* 227:232-234.
- Ayers R., S. y Westcot D., W. 1987. Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage. Paper 29. Rev. 1. Rome Italy. pp 171.
- Ayers, A. D. 1952. Seed germination as affected by soil moisture and salinity. *Agron. J.* 44 (2): 82-84.
- Ayers, A. D. and H. E. Hayward. 1948. A method for measuring the effects of soil salinity on seed germination with observations on several crop plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 13: 224-226.
- Bernstein, L. 1961. Osmotic adjustments of plants to saline media. I Steady state. *Am. J. Bot.* 48:909-918.

Bernstein, L. and Hayward, H. E. 1958. Physiology of salt tolerance. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 9:25-46.

Bernstein, L., 1963. Osmotic adjustment of plants to saline media II. Dynamic phase. *Am. J. Bot.* 50, 360-370.

Bernstein, L. y Ayers, A. 1953. Salt tolerance of five varieties of carrots. *Proceedings of American Society for Horticultural Sciences* 61:360-366.

Biggar J., W. and Spurlock F., C. 1983. Water quality salt control and reclamation. *Water Science 103 Laboratory Manual. Land air and water resources. University of California, Davis* p 76.

Black. C. A. 1967 *Soil-plant relationships* 2^o ed. Wiley New York. pp 272-404.

Bradford, K.J. 1995. Water relations in seed germination. *In: J. Kigel and G. Galili (eds.). Seed Development and Germination. Marcel Dekker Inc. NY, USA. pp. 351-396*

Carlson, H. R., Jr., R. L. Ditterline, J. M. Martin, D. C. Sands and R. E. Lund. 1983. Alfalfa seed germination in antibiotic agar containing NaCl. *Crop Sci.* 23: 882-885.

Cheeseman, J. M. 1988. Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant Physiol.* 87: 547-550.

Chena, G. R. 1966. Suelos sódicos y suelos salinos. *Inst. Nal. de Invest. Agric. SAG. Circular DEGEM No. 26* p 19.

Columbus, J. T. 1999. Morphology and leaf blade anatomy suggest a close relationship between *Bouteloua aristidoides* and *B. eriopoda* (*Chondrosium*) (Gramineae): (Chloridoideae). *Systematic Bot.* 23: 467-478.

Cramer, G. R., 1994. Response of Maize (*Zea mays* L.) to salinity. *In: Handbook of plants and crop stress. M. Pessarakli (Ed.). University of Arizona USA N. Y. pp 449-459.*

Cramer, G. R., E. Epstein, and A. Lauchli. 1988. Na-Ca interactions in barley seedlings: relationship to ion transport and growth. *Plant, Cell and Environ.* 12: 551-558.

- Cramer, G. R., E. Epstein, and A. Lauchli. 1989 Kinetics of root elongation of maize in response to short-term exposure to NaCl and elevated calcium concentration . J. Exp. Bot 39: 1513.
- Debez, A., Hamed, K. B., Grignon, C., and Abdelly C. 2004. Salinity effects on germination, growth and seed production of the halophyte *Cakile maritime*. Plant and Soil. 262:179-179.
- Devlin R., M. 1975. Plant Physiology. D, Van Nostrand Co. N. Y. USA pp 600.
- Dodd, G y Donovan, L. 1999. Water potential and ionic effects in germination and seedling growth of two cold desert shrubs. Amer. J. Bot. 86 (8):1146-1153.
- Dotzenko, A. D. and T. E. Haus. 1960. Selection of alfalfa lines for their ability to germinate under high osmotic pressure. Agron. J. 52: 200-201.
- El-Keblawy, A., and A. Al-Rawai. 2006. Effects of seed maturation time and dry storage on light and temperature requirements during germination in invasive *Prosopis juliflora*. Flora 201:135-143.
- El-Keblawy, A., and Al-Rawai, 2005. Effects of salinity, temperature and ligh on germination of invasive *Prosopis juliflora* (Sw) D. C. J. Arid Environ. 61:555-565.
- Emmerich W. E. and S. P. Hardegree. 1991. Seed germination in polyethylene glycol solution: Effects of filter paper exclusion an water vapor loss. Crop Sci. 31:454-458.
- Esechie, H. A. 1993. Interaction of salinity and temperature on the germination of alfalfa cv CUF 101. Agronomie 13: 301-306.
- Esqueda, C. M. H., A. Melgoza C., M. Sosa C., R. Carrillo R. y J. Jiménez C. 2005. Emergencia y sobrevivencia de gramíneas con diferentes secuencias de humedad/sequía en tres tipos de suelo. Téc. Pec. Méx. 43 (1):101-115.
- Evangelou, V. P., 1994. Soils and Salinization *In: Handbook of plants and crop stress* M. Pessaraki (Ed). University of Arizona USA, N. Y. pp 31-62.
- Fernández, G. R. 1972. El problema de salinidad de suelos en México y trabajos de recuperación de tierras ensalitradas. Bol. Inform. Soc. Méx. de la Ciencia del Suelo. pp. 4-32.

Flowers, T. J., P. F. Troke, and R. A. Yeo. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28: 89-121.

Flowers, T. J. 2004. Improving crop salt tolerance. *J Exp. Bot.* 55: 145-152.

Foolad, M. R y R. A. Jones. 1992. Parent-offspring regression estimates of heritability for salt tolerance during germination in tomato. *Crop Sci.* 32: 439-442.

Francois, L. E. and E. V. Maas. 1994. Crop response and management on salt-affected soil. *In: Handbook of plants and crop stress* M. Pessarakli (Ed.). University of Arizona USA N. Y. pp 149-181.

Gorham J., Wynjones R. G., Mc. Donnel E. 1985. Some mechanisms of salt tolerance in crop plants. *Plant and Soil* 89: 15-40.

Gould, F. W. 1979. The genus *Bouteloua* (Poaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden.* 66 (3):348-416.

Greenway, H. 1973. Salinity, plant growth and metabolism. *The J. of the Aust. Inst. of Agric. Sci.* 24-34.

Greenway, H. and Munns R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiol.* 31: 149-191.

Guerrier, G. 1983. Germination des plantes maraichères et oleagineuses en présence de NaCl. *Seed Sci. and Technol.* 11. 281-292.

Gulzar, S. and M. A. Khan. 2001. Seed germination of a halophytic grass *Aeluropus lagopoides*. *Ann. Bot.* 87:319-324.

Hamada. A. M. 1994. Alleviation of the adverse effects of NaCl on germination of maize grains by calcium. *Biologia Plantarum.* 36 (4):623-627.

Hayward, H. E. and C. R. Wadleigh. 1949. Plant growth on saline and alkaline soils. *Adv. Agron.* 1: 1-38.

Hernández, X. E., y A. Ramos. 1968. Mejoramiento de las plantas forrajeras en México. *Memoria. Tercer Congreso Nacional de Fitogenética (I Simposio).* Chapingo, México. pp: 224-254.

Huang, Z. Y., Zhang, X. S., Zheng, G. H., Gutterman, Y, 2003. Influence of light, temperature, salinity and storage on seed germination of *Haloxylon ammodendron*. J. Arid Environ. 55:453-464.

Ivanova, A. S. 1974. Effect of soil salinization on growth and development of peach. Soviet Plant Physiol.. 21 (2):826-830

Jackson. C.V. 1928. Seed germination in certain New Mexico range grasses. Bot. Gaz. 86 (3): 270-294.

Janse, H. H. and C. Chang. 1987 Cation nutrition of barley as influenced by soil solution composition in a saline soil. Can. J. Soil Sci. 67: 619-629.

Johnson, C.B. 1981. Physiological processes limiting plant. Butterworths. London. pp. 271-330.

Keenan, W. Ch., D. Kleinfelter, and H. J. Wood. 1990. Química General Universitaria. Harper & Row, Publishers, Inc. Antonio Eroles Gómez(Trad). Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México. pp 222-252.

Kent, L. M. and A. Läuchli. 1985. Germination and seedling growth of cotton salinity-calcium interactions. Plant Cell and Environ. 8: 155-159.

Khan, M. A., and Gulzar, S. 2003. Germination responses of *Sporobolus ioclados*: a saline desert grass. J. Arid Environ. 53: 387-394.

Khan, M. A., and I. A. Ungar. 1996. Influence of salinity and temperature on the germination of *Haloxylon recurvum* Bunge ex. Boiss. Ann. Bot. 78: 547-551.

Khan, M. A., B. Gul and D. J. Weber. 2000. Germination responses of *Salicornia rubra* to temperature and salinity. J. Arid Environ. 45: 207-214.

Kovda, V. A. 1980. Land aridization and drought control, Colorado. pp. 178-215

Kovda, V. A., 1973. Chemistry of Saline and Alkali Soils of Arid Zone. *In* Irrigation, Drainage and Salinity. An International Source Book. FAO-UNESCO. pp. 122-204.

Kramer P., J. 1983. Water relation of plants. Academic. Press. Inc. Orlando Florida. USA. p. 365-395.

Lagerweeff, J. V. and H. E. Eagle. 1961 Osmotic and specific effects on excess salts on beans. *Plant Physiol.* 36:472-477.

Lahaye, P. A., and Epstein, E. 1971. Calcium and salt toleration by bean plants. *Physiol. Plant.* 25:213-218.

Layne-Garsaball, J. A., J. R. Méndez y J. Mayz-Figueroa. 2007. Efecto de la salinidad del suelo sobre la germinación de semillas de maíz de diferentes pesos en el oriente venezolano. *Temas Agrarios* 12(2): 62-73.

Levitt, J., D. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Volumen II. *Physiological Ecology*. Academic. Press. Inc. Orlando, Florida pp. 365-488.

Levy, G.J. 1999. Sodidity. *In Handbook of Soil Science*. M. Sumner (Ed) CRC Press New York. pp. G27-G65.

López, C, J. M. 1994. Evaluación de la capacidad de emergencia de doce especies vegetales en contacto con soluciones Salinas de diferente concentración y composición cualitativa. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mex. 194 p.

Maas, E. V. 1986, Salt tolerance of plants. *Applied Agric. Res.* 1:12-26.

Maas, E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance: Revaluation of existing data. *J. Irrigat. Drainage Division of the Ame. Soc. Eng.* 103:115-134.

Magistad, O. C., A. D. Ayers, C. H. Wadleigh, and H. G. Gauch. 1943. Effect of salt concentration, kind of salt, and climate on plant growth in sand cultures. *Plant Physiol.* 18 (2): 151-166.

Major, R. L. and L. N. Wright. 1974. Seed dormancy characteristics of Sideoats Gramagrass *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. *Crop Sci.* 14: 37-40.

Maldonado, C., Pujado E. y F. A. Squeo. 2002. El efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de *Lycopersicon chilense* sobre la capacidad de sus semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl. *Rev. Chilena de Historia Natural.* 75:651-660.

Marcum, K. B. 1999. Salinity tolerance mechanisms of grasses in the subfamily Chloridoideae. *Crop Sci.* 39:1153-1160.

Marschner, H. 2002. Mineral Nutrition of higher plants. Academic Press. London. pp. 641-680.

Martínez-C., A., R. Aragües, and A. Royo. 1987. Salt tolerance of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars at the germination stage: Analysis of the responses functions. *Plant and Soil.* 104: 53-56.

Mass., E. V. and R. H. Nieman. 1978. Physiology of Plant tolerance to Salinity. *In: G. A. Jung.* (Ed). Crop tolerance to suboptimal land conditions. ASA. Spc. Publ. pp. 277-299.

Mayer, A. M. and A. Poljakoff. M. 1975. The Germination of Seed. Second Edition. Pergamon Press. Oxford pp 153-178.

Meloni, D. A., M. R. Gulotta, and C. A. Martínez. 2008 Salinity tolerance in *Schinopsis quebracho colorado*: Seed germination, growth, ion relations and metabolic responses. *J. Arid Environ.*, doi: 10.1016/j.jaridenv.2008.05.003.

Meyer, B. S., D. B. Anderson ,and R. H. Böhning. 1960. Introduction to plant physiology. U.S.A. pp.45-528.

Morales-Nieto, C. A. Quero-Carrillo, O. Le-Blanc, A. Hernández-Garay, J. Pérez-Pérez y S. González-Muñoz. 2006. Caracterización de la diversidad del pasto nativo *Bouteloua curtipendula* Michx. Torr. Mediante marcadores de AFLP. *Agrociencia* 40: 711-720.

Moser, L. E. and P. R. Newman. 1988. Seedling root development and morphology of cool-season and warm-season forage grasses. *Crop Sci.* 24: 148-151.

Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* 16:15-24.

Munns R. and Termaat A., 1986. Whole- plant responses to salinity. *Australian J Plant Physiol.*13:143-160.

Navejas, J. J. 1995. Respuesta del frijol y maíz a la salinidad en las etapas fenológicas de germinación y vegetativa. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México, 92 p.

Ortega, E M. 1991 Manejo y uso de las aguas salinas bicarbonatadas y sulfáticas para riego (Memoria) Centro de Hidrociencias; Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. pp. 1-20.

Ortega, E M. y G. E. García. 1994. La formación geoquímica de los suelos sódicos y sus propiedades. 15th. Proc. Word Cong. Soil Sci. 3: 2779-291.

Pizarro, F. 1985 Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos 2ª ed. Ed. Agrícola española S.A. Madrid España pp 75- 141

Poljakoff, M. A. and H J. Lerner. 1994. Plants in saline environments. *In*: Handbook of plant and crop stress. M. Pessarakli (Ed). New York. USA. pp 65-96.

Poljakoff, M. A. and J. Gale. 1975. Plants in Saline Environments. Ecological Studies 15. Springer-verlag. New York. USA. p.203.

Porta, C., A. R. López y Roquero De L. 2003. Edafología. Mundi-Prensa, Madrid, España. pp 251-775.

Prisco, J. T. and J. W. O'Leary. 1970. Osmotic and "toxic" effects if salinity on germination of *Phaseolus vulgaris* L. seeds. Turrialba 20:177-184.

Qi, M. Q. and R. E. Redmann. 1993. Seed germination and seedling survival of C3 and C4 grasses under water stress. J. Arid Environ. 24:277-285.

Ramírez, M. O. 1988. Determinación experimental de la capacidad germinativa de algunos cultivos agrícolas en soluciones salinas de diferente concentración total y composición cualitativa. Tesis M. C. Colegios de Postgraduados. Montecillo, México. pp 1-20.

Ramoliya, P. J. and Pandey, A. N. 2002. Effect of increasing salt concentration on emergence, growth and survival of seedling of *Salvadora oleoides* (Salvadoraceae) J Arid Environ. 51 (1):121-132.

Redmann, R. E. 1974 Osmotic and specific ion effects on the germination of alfalfa. Can. J. Bot. 52: 803.808.

Richards L., A. (Ed). 1988. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. 6ª Edición. Ed. Limusa. México. pp. 1-74.

Richards, R. A. 1992. Increasing salinity tolerance of grain crops: It is worthwhile?. *Plant and Soil*. 146:89-98.

Robinson, D. J., A. K. Dobrenz and S. E. Smith. 1986. Evaluating the genetic gains for germination salt tolerance in alfalfa using a sodium-chloride gradient. *Agron. J.* 78:1099-1103.

Romo, J. T., P. L. Grilz, C. J. Bubar, and J. A. Young. 1991. Influences of temperature and water stress on germination of plains rough fescue. *J Range Manag.* 44(1):75-81.

Rounry, B. A., J. A. Joung and R. A. Evans. 1985. Germination of basin wildrye and tall wheat grass in relation to osmotic and matric potential. *Agron. J.* 77:129-134.

Ryan, J., S. Miyamoto and J. L. Stroehlein. 1975. Salt and specific ion effects on germination of four grasses. *J Range Manag.* 28 (1):61-64.

Saleki, R., P. G. Young y D. D. Lefevre. 1993. Mutants of *Arabidopsis thaliana* capable of germination under saline conditions. *Plant Physiol.* 101: 839-845.

Salisbury, F., B. and Ross C., W. 1985. *Plant Physiology*, Third ed. Wadsworth Publishing Co. Inc. Belmont, California. 540 p.

Sam, O. 2007. Influencia de la salinidad en las radículas de plántulas de arroz (*Oryza sativa*), *Cultivos Tropicales*. 28 (1) 25-28.

Sánchez-B., E., M. Ortega-E., V. González-H., M. Camacho-E, y J. Kohashi-S. 2008. Crecimientos de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Alpha, inducidos por diversas soluciones salinas. *Interciencia* 33 (9): 1-9.

Shen Y. Y., Li Y. and Yan S. G. 2003. Effects of salinity on germination of six salt-tolerant forage species and their recovery from saline conditions. *New Zealand J of Agricultural Research* 46: 263-269.

Simanton, J. R and G. L. Jordan. 1986. Early root and shoot elongation of selected warm-season perennial grasses. *J Range Manage.* 39 (1) 63-67.

Smith, S. E. 1994. Salinity and the production of alfalfa (*Medicago sativa* L.) *In: Handbook of Plants and Crop Stress* M. Pessarakli (Ed.) University of Arizona N. Y., USA pp 431-448.

- Smith, S. E. and A. K. Dobrenz. 1987. Seed age and salt tolerance at germination in alfalfa. *Crop Sci.* 27:1053-1056.
- Song, J., Feng, G., and C. Zhang F. 2005. Strategies for adaptation of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to a saline environment during seed germination stage. *Ann. Bot.* 96:399-405.
- Staples, R. C. (Ed) 1984. Salinity Tolerance in Plants. The Rockefeller Foundation. Canada. pp.3-171.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics, a Biometrical Approach. 2^a ed. McGraw-Hill, New York. pp: 1-273.
- Stone, J. E., D. B. Marx, and A. K. Dobrenz. 1979. Interaction of sodium chloride and temperature on germination of two alfalfa cultivars. *Agron. J.* 71:425-427.
- Stoutm, A. G., G. M. Simpson, and D. M. Flotre. 1980. Drought resistance of *Sorghum bicolor* L. Moench. 3. Seed germination under osmotic stress. *Can. J Plant Sci.* 60: 13-24.
- Strogonov, P. B. 1964. Physiological basis of salt tolerance of plants (as affected by various types of salinity). Academy of Sciences of the U.S.S.R. Israel Program for Scientific translations LTD Jerusalem, Israel p.246.
- Stubbendieck, J., S. L. Hatch, and K. L. Kjar. 1982 North American Range Plants. 2nd ed. Univ. Neb. Press. Lincoln, NE, USA. 464 p.
- Szabolcs, I. 1994. Soil and Salinization. *In*: M. Pessaraki (Ed.) Handbook of Plant and Crop Stress. University of Arizona. N.Y., USA pp: 3-11.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002 Plant Physiology 3a Ed. Sinauer Associates, Inc. Publishers Massachusetts, MN, USA. pp. 79-82.
- Tal, M. 1985. Genetics of salt tolerance in higher plants: Theoretical and practical considerations. *Plant and Soil.* 89. 199-226.
- Terry, N., and L. J. Waldrom. 1984. Salinity photosynthesis, and leaf growth. *Cal. Agri.* 38: 38-39

- Tlig, T., M. Gorai and M. Neffati. 2008. Germination responses of *Diploaxis harra* to temperature and salinity. *Flora*. 203:421-428.
- Tobe, K., X. Li and K. Omasa. 2000. Seed germination and radical growth of halophyte, *Kalidium capsicum* (Chenopodiaceae). *Ann. Bot.* 85:391-396.
- Uhvits, R. 1946. Effect of osmotic pressure on water absorption and germination of alfalfa seeds. *Amer. J Bot.* 33: 278-285.
- Ungar, I. A. 1967. Influence of salinity and temperature on seed germination, *Ohio. J Sci.* 67: 120-123.
- Ungar, I. A. 1977. Salinity, temperature, and growth regulator effects on seed germination of *Salicornia Europaea* L. *Aquatic Botany* 3: 329-335.
- Ungar, I. A. 1978. Halophyte seed germination, *The Botanical Review.* 44 (2): 233-264.
- Ungar, I. A. 1991. *Ecophysiology of vascular halophytes.* Boca Raton, FL. CRC Press. 9-48.
- Ungar, I. A. 1996. Effect of salinity on seed germination, growth and ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae). *Amer. J Bot.* 83(5):604-607.
- Van den Berg, L. and Y. J. Zeng. 2006. Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *South African J Bot.* 72: 284-286.
- Vázquez, A. E. 1984. Evaluación de la reserva de sales en los suelos salinos. Tesis Licenciatura Universidad Nacional Autónoma de México. p. 186.
- Velázquez-M., M. A., H. M. Ortega-E., A. Martínez-G. J. Kohashi-S y N. E. García-C. 2002. Relación funcional PSI-RAS en las aguas residuales y suelos del Valle del Mezquital. *Hgo., Méx. Terra* 20:459-464.
- Velagaleti ,R. and S. M. Schweitzer. 1994. General effects of salt stress on growth and symbiotic nitrogen fixation in soybean. *In: Handbook of Plants and Crop Stress* M. Pessaraki (Ed). University of Arizona. N. Y. USA pp 461-471.
- Villagra, P. E. 1997. Germination of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* seeds under saline conditions. *J Arid Environ.* 37:261-267.

Weber E. and C. M. D'Antonio. 1999. Germination and growth responses of hybridizing *Carpobrotus species* (Aizoaceae) from coastal California to soil salinity. *Amer. J. Bot.* 86 (9):1257-1263.

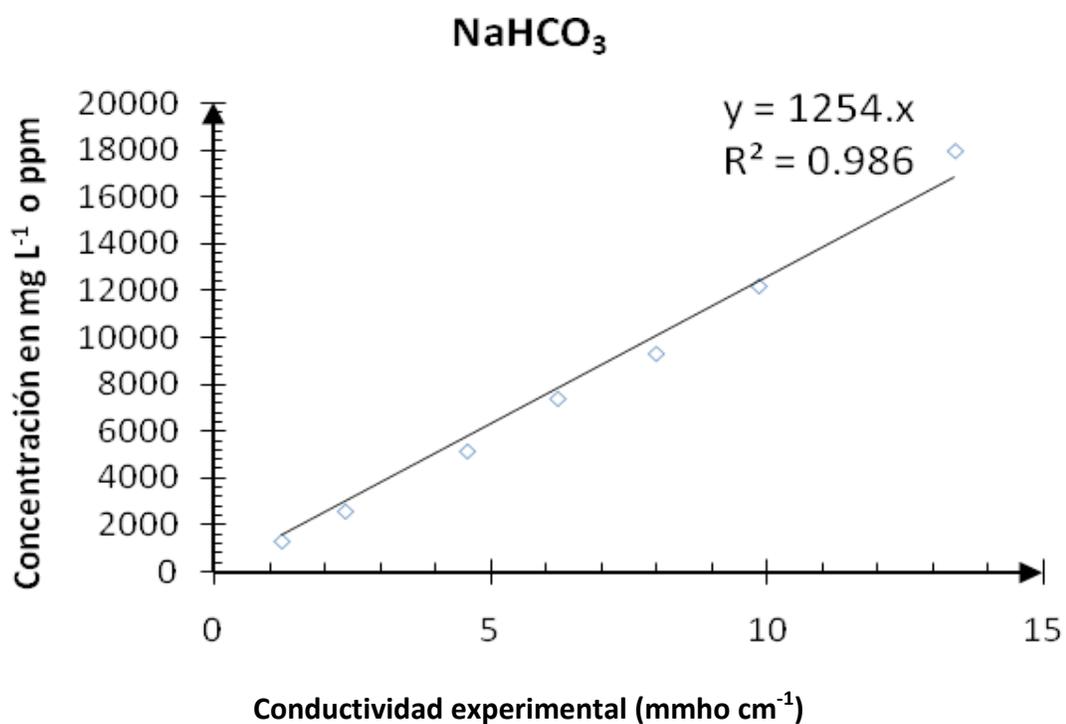
Wilson, R. E., E. H. Jensen, and G. C. J. Fernandez. 1992. Seed germination response for eleven forage cultivars of *Brassica* to temperature. *Agron. J.* 84: 200-2002

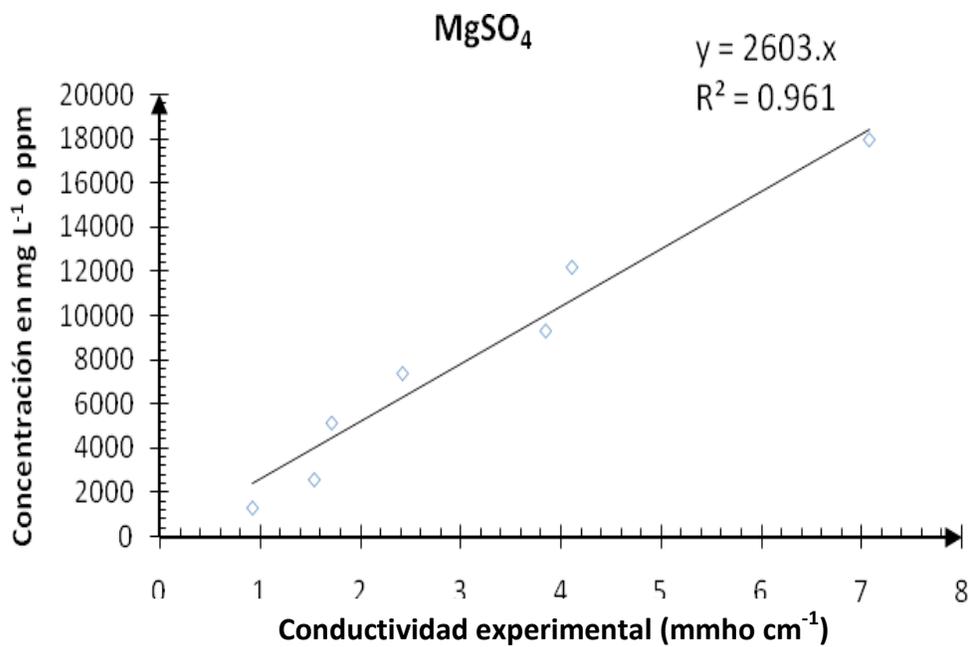
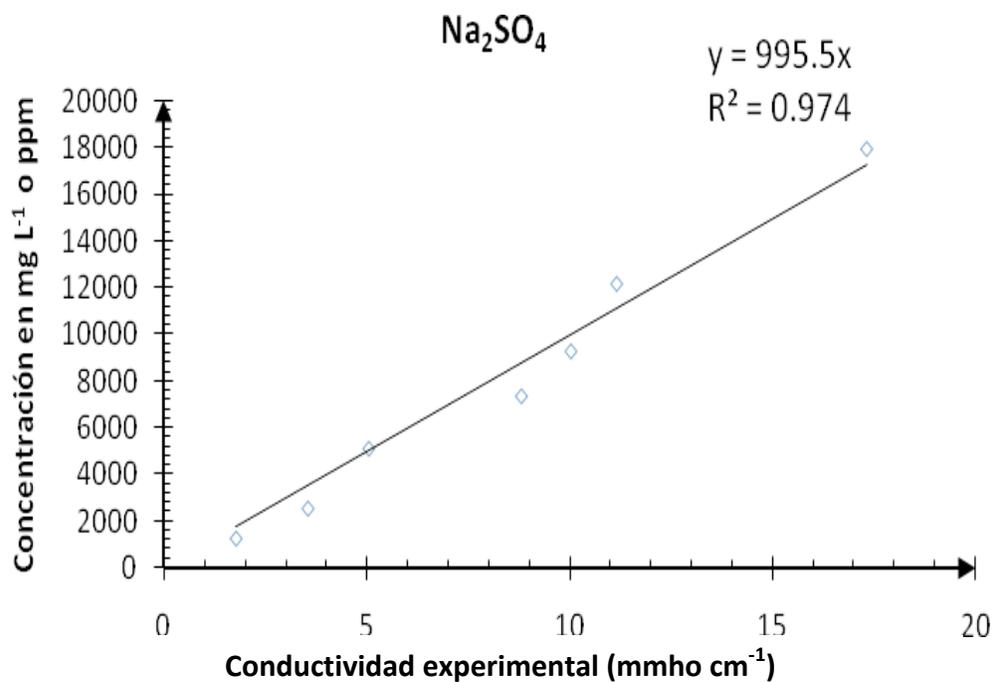
Workman, J. P. and N. E. West. 1967. Germination of *Eurotia Lanata* in relation to temperature and salinity. *Ecology*, 48 (4): 659-661

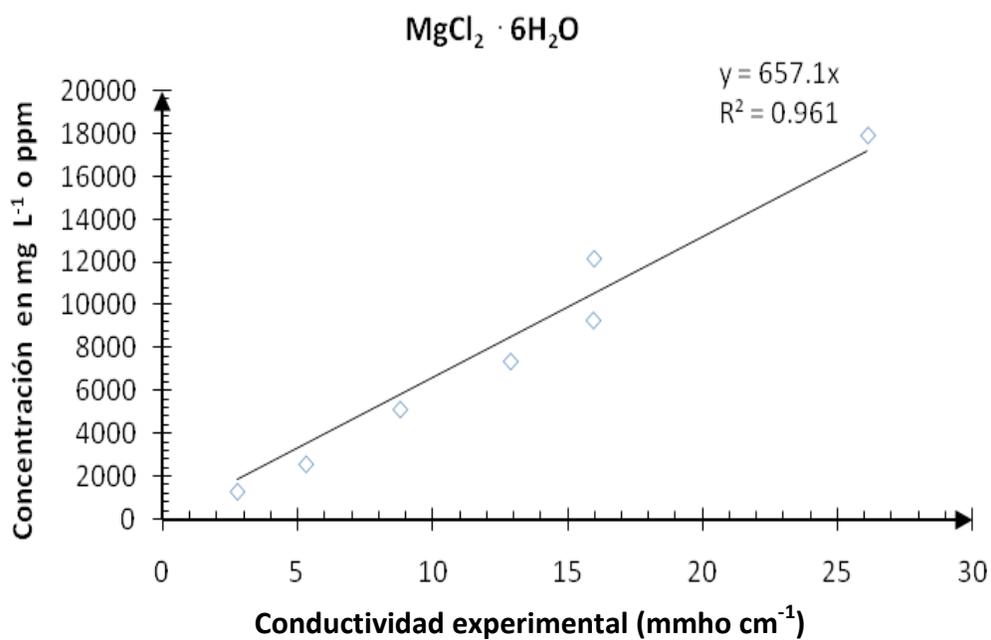
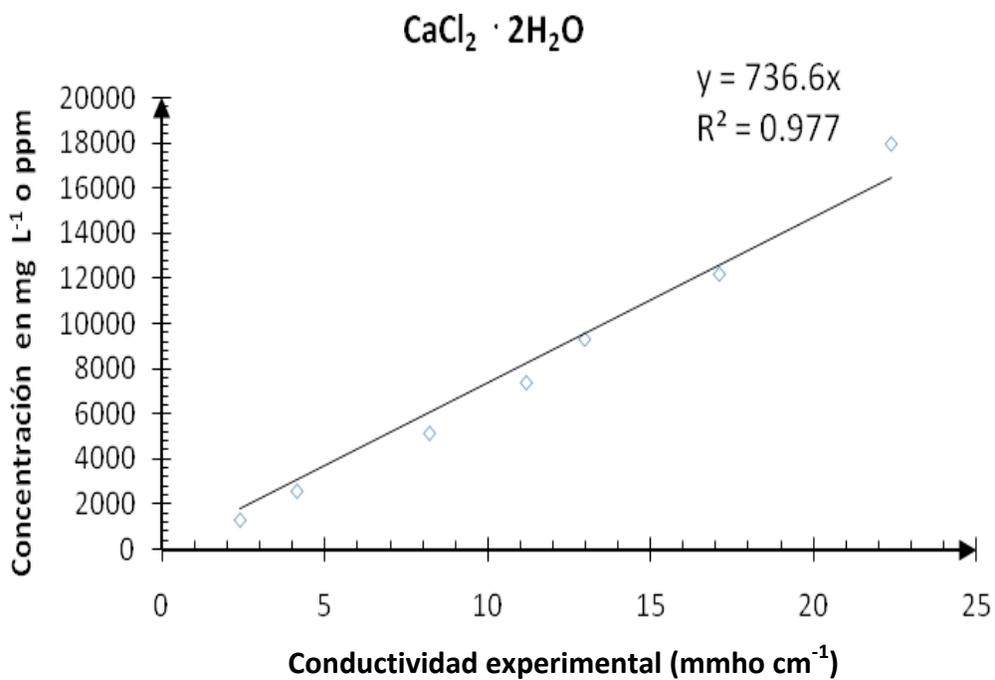
Zia, S, and Khan, M. A., 2004. Effect of light, salinity, and temperature on seed germination of *Limonium stocksii*. *Can. J Bot.* 82:151-157.

ANEXOS

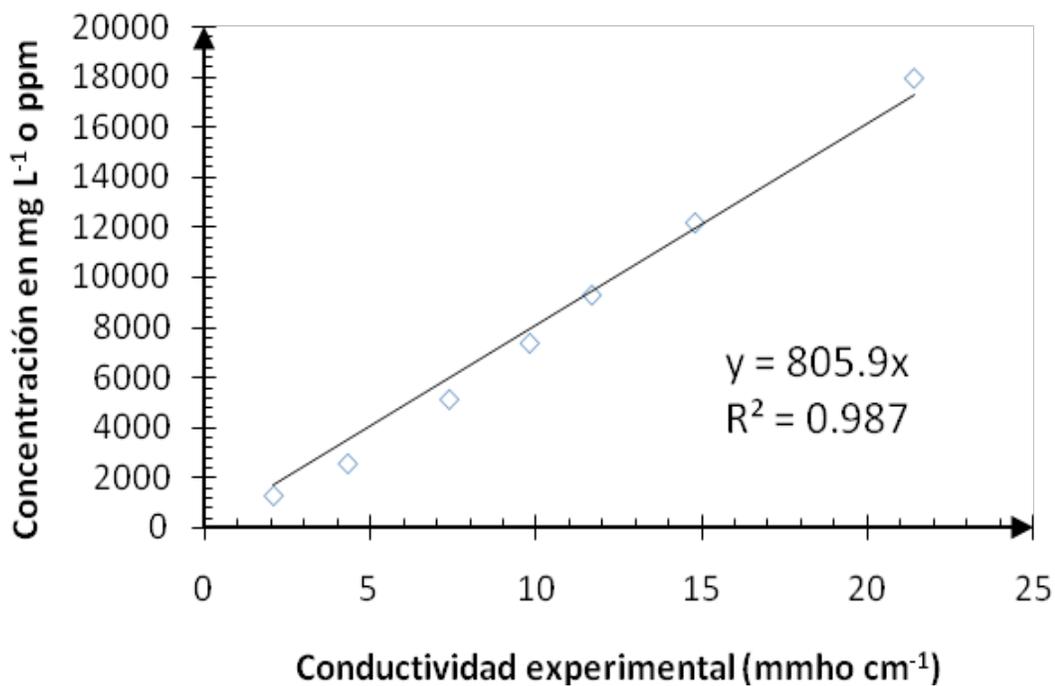
Anexo 1. Relación de la concentración de en miligramos por litro o partes por millón con la conductividad eléctrica, para cada tipo de sal.



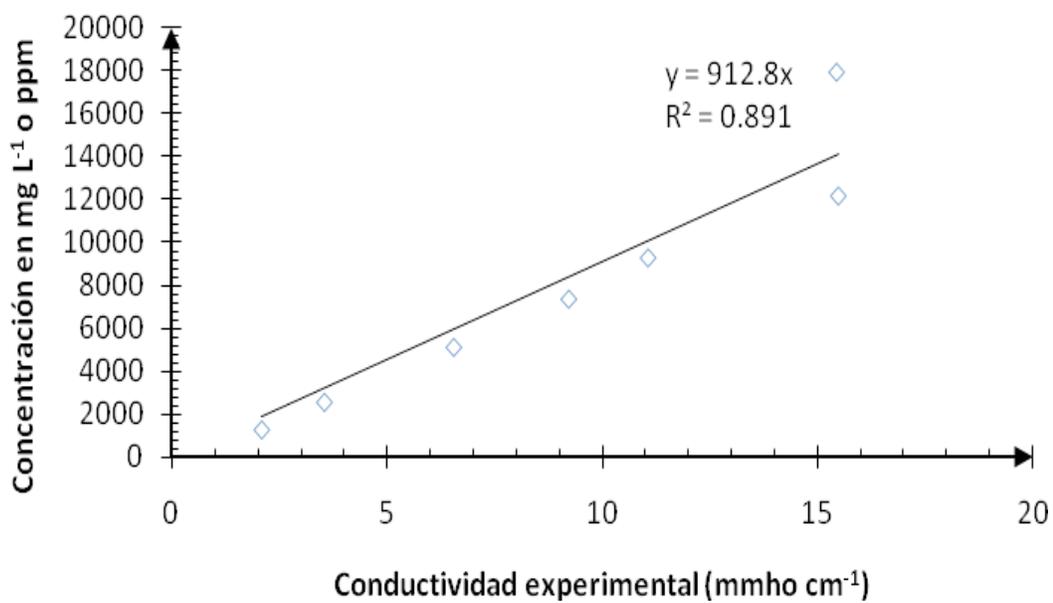




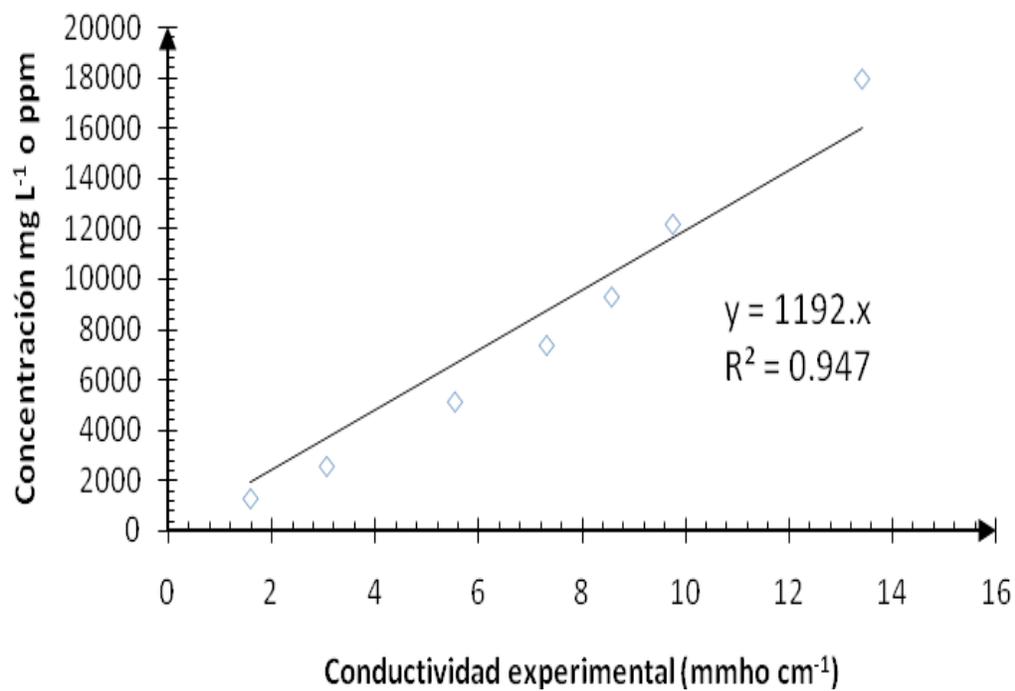
Clorhídrica



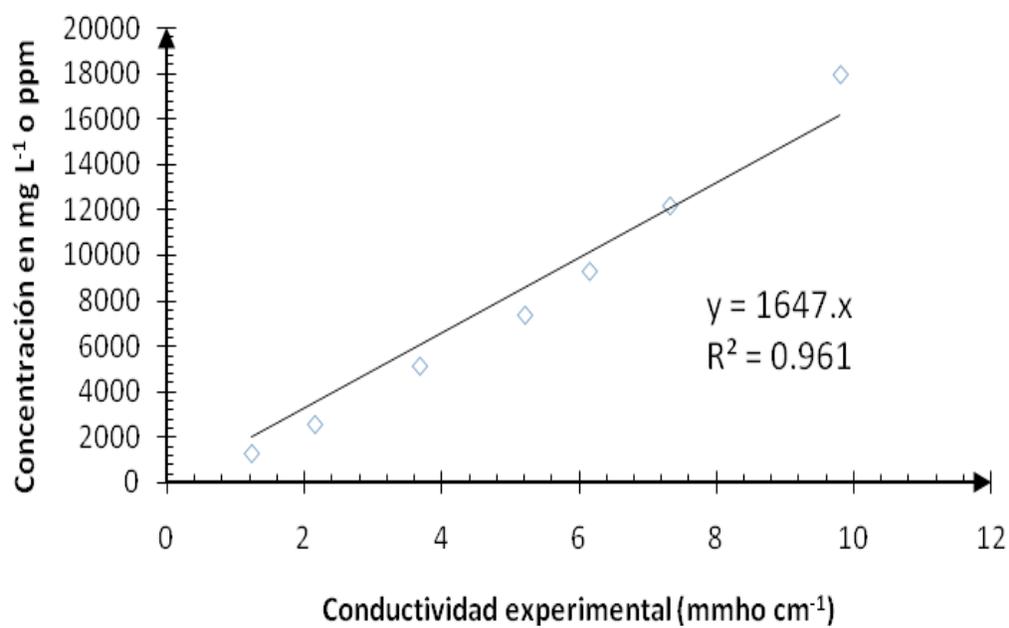
Sulfático-clorhídrica



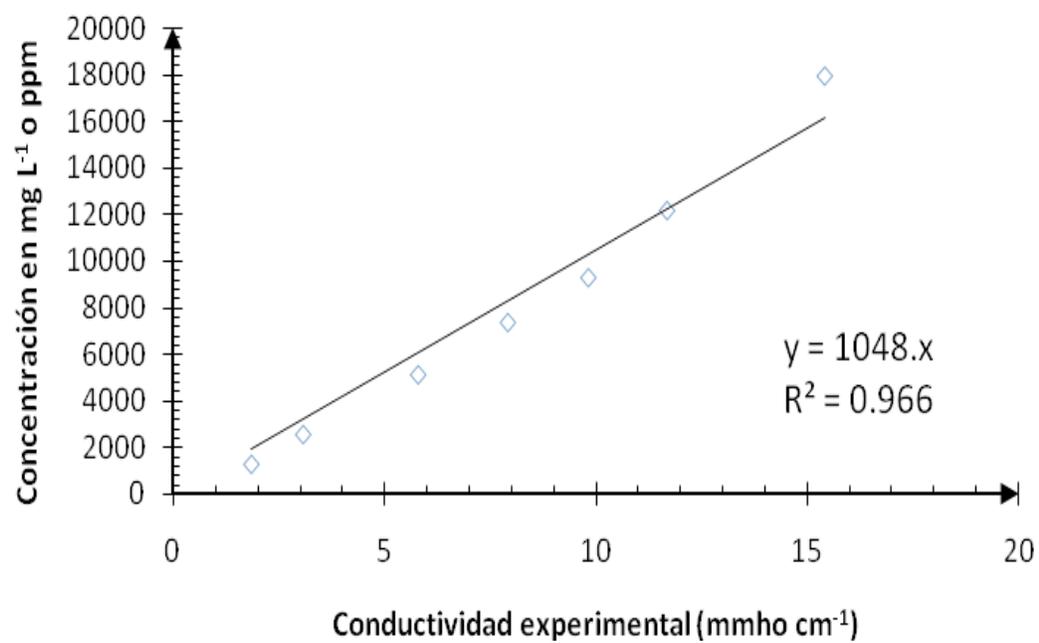
Clorhídrico-sulfática



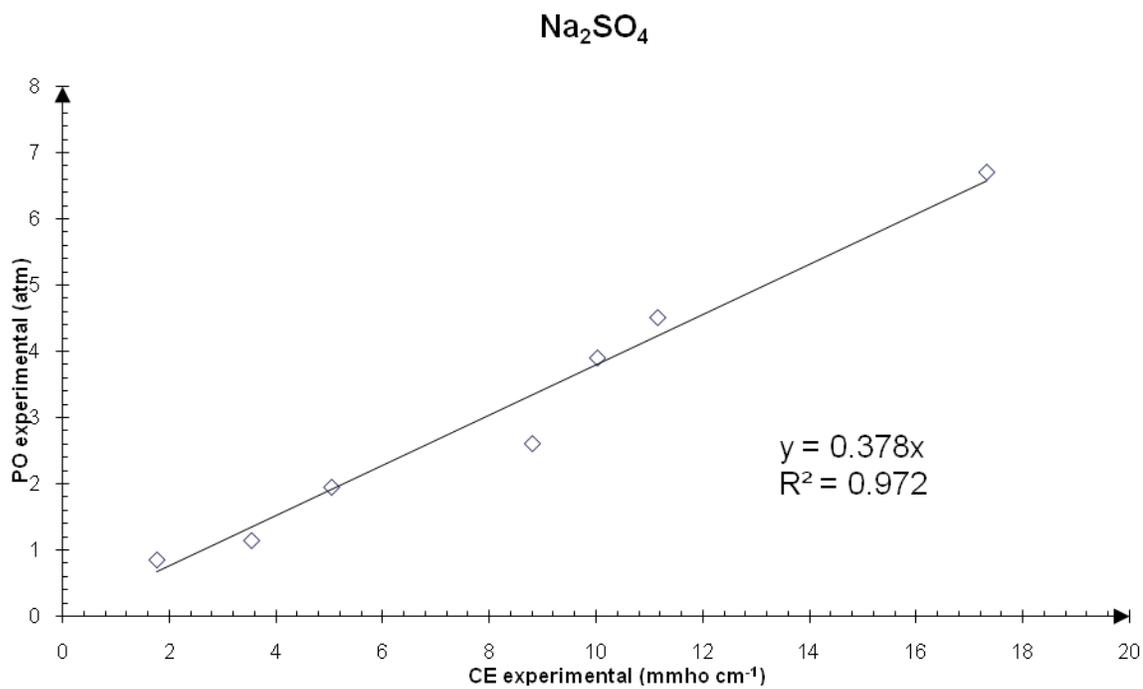
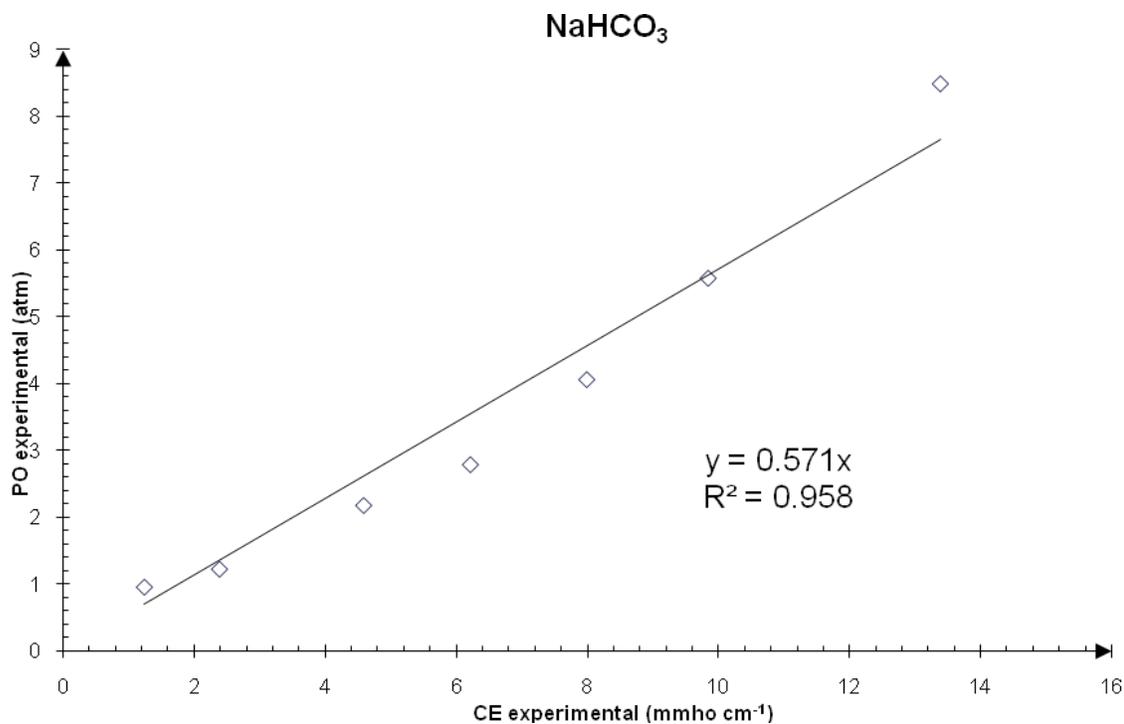
Sulfática

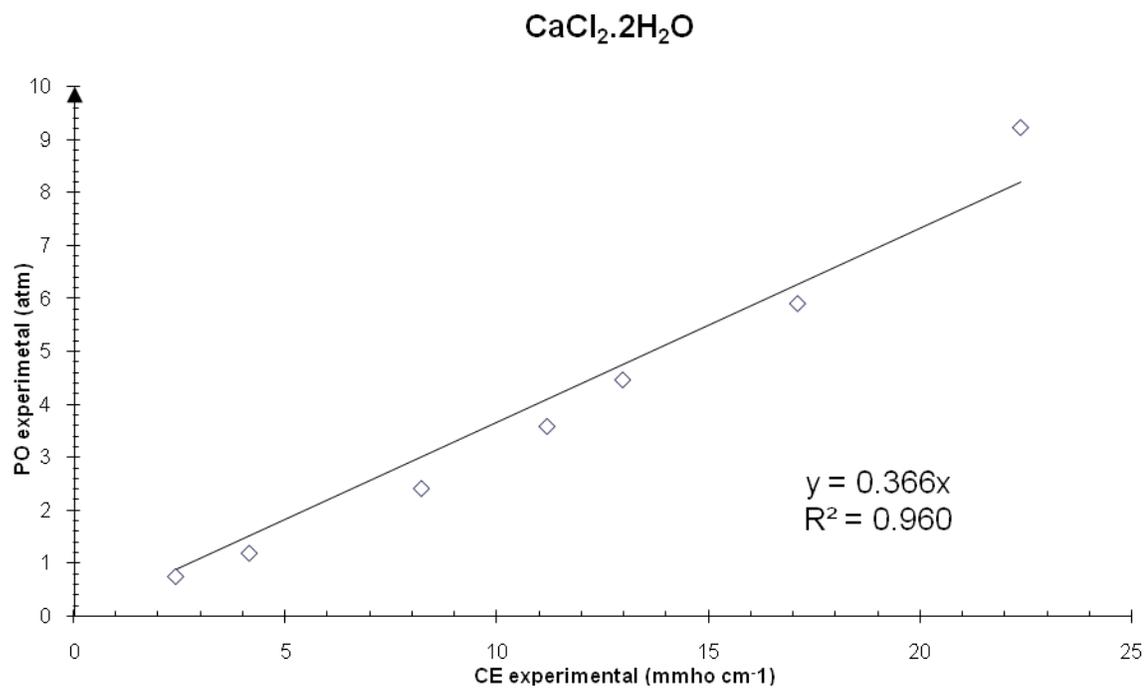
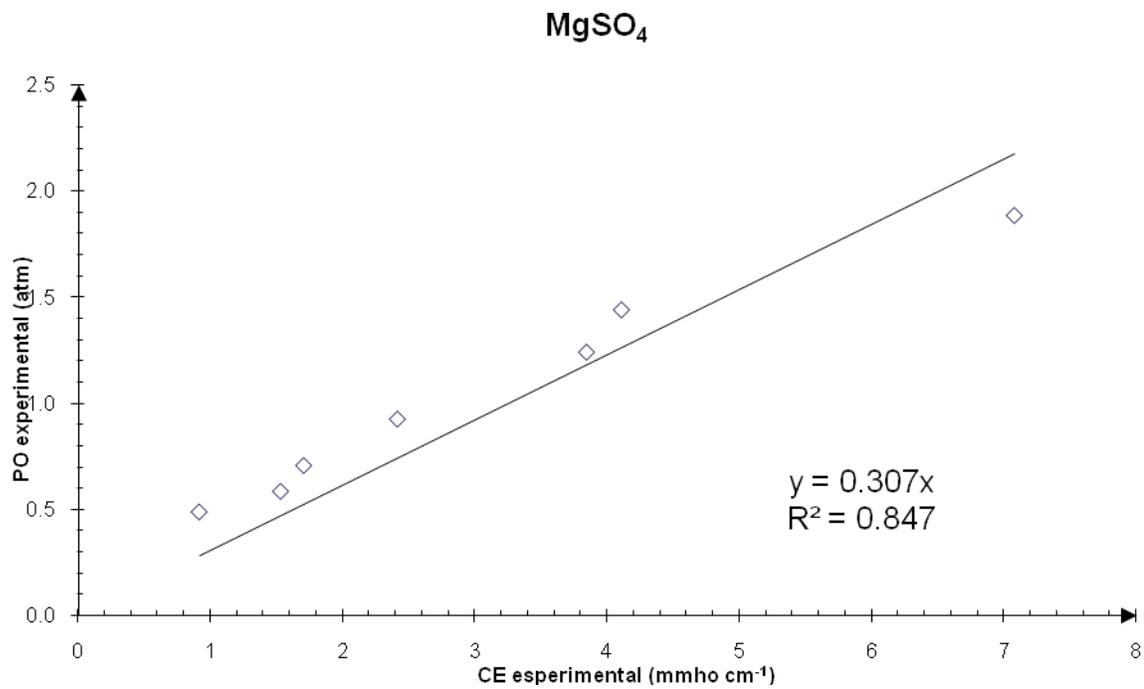


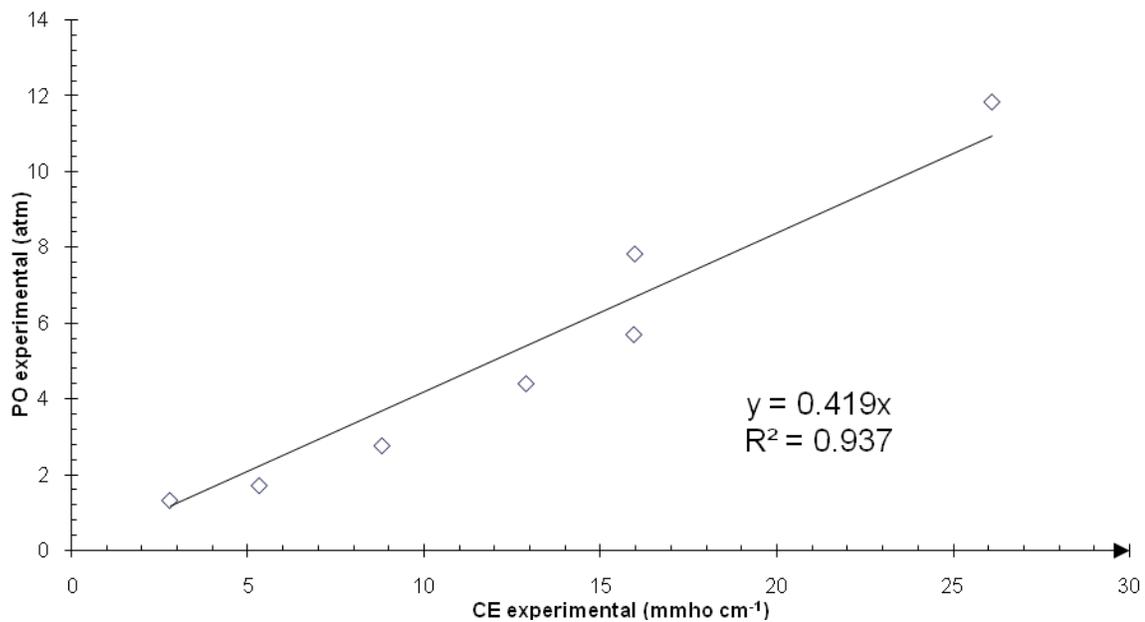
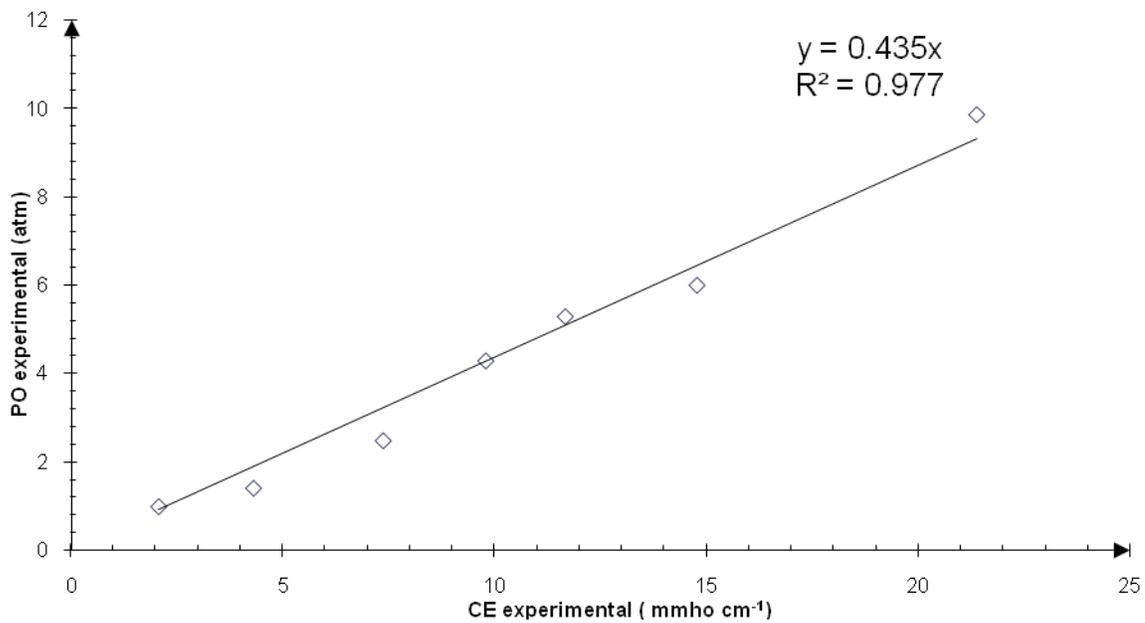
Sulfático-sódica

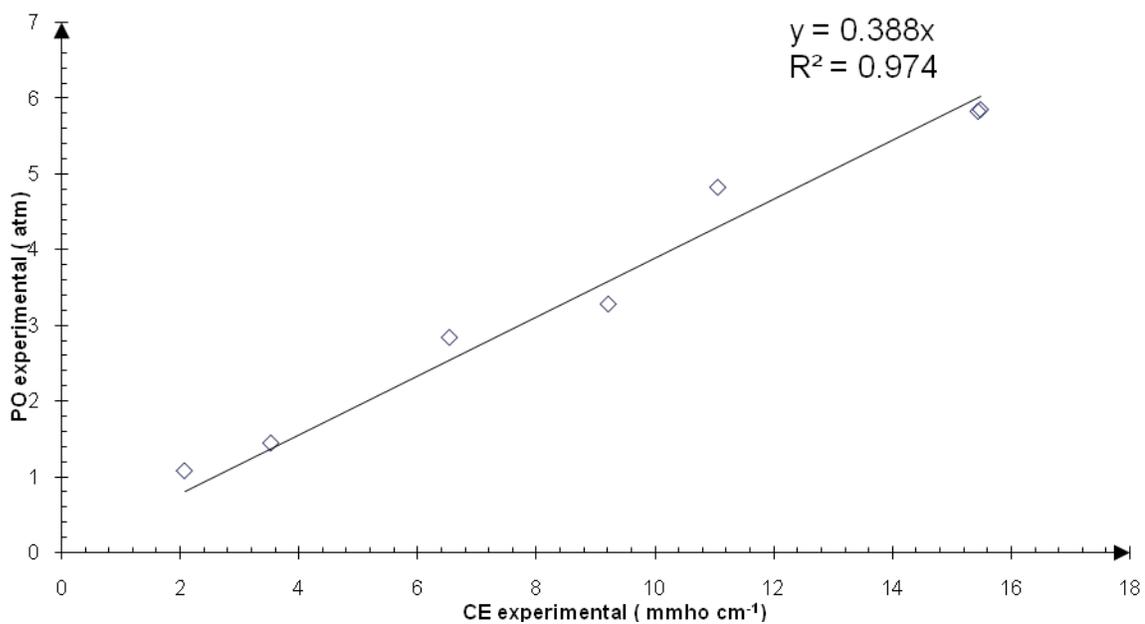
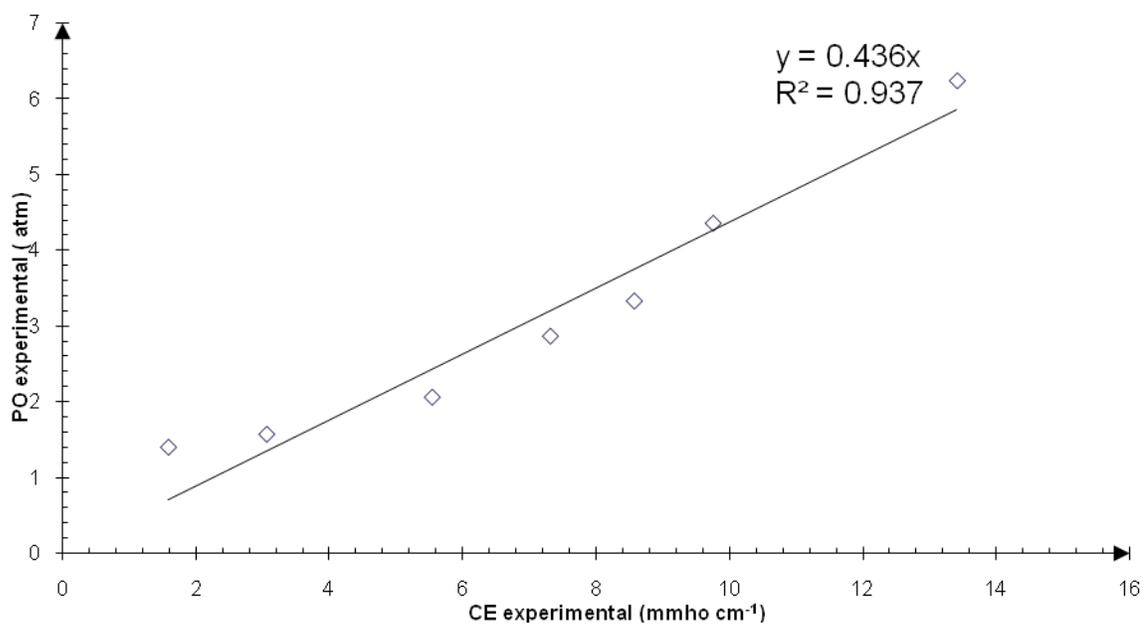


Anexo 2. Relación de la concentración de Presión osmótica (atm) con la conductividad eléctrica, para cada tipo de sal.

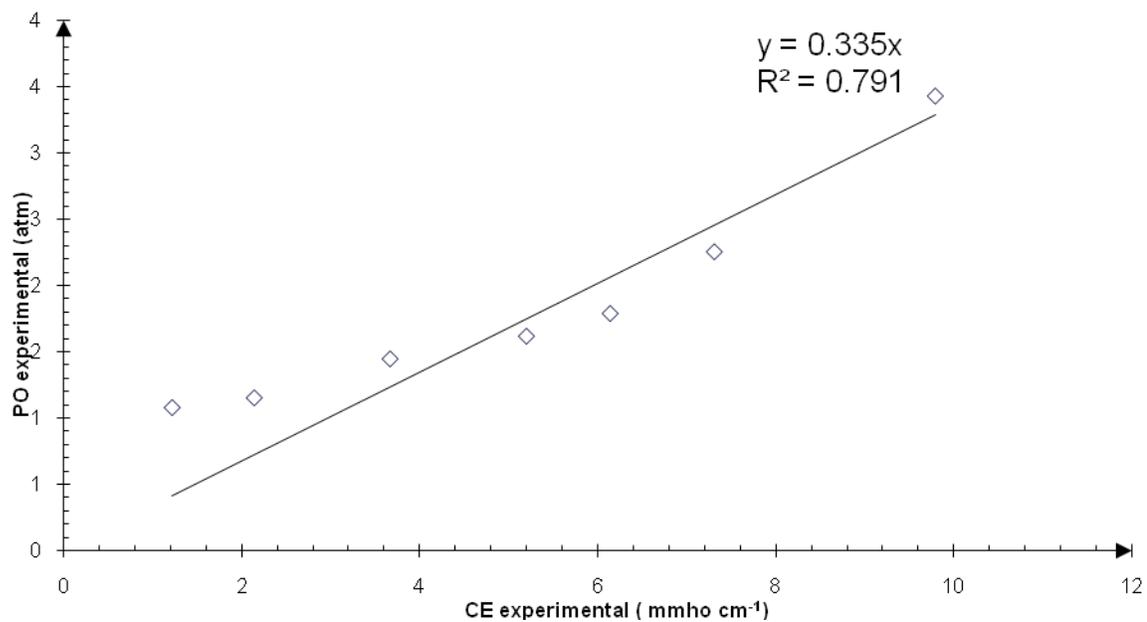




MgCl₂.6H₂O**Clorhídrica**

Sulfático Clorhídrica**Clorhídrico sulfática**

Sulfática



Sulfático sódica

