



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN BOTÁNICA

EFFECTO DE LA SALINIDAD CUALITATIVA Y CUANTITATIVA EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE VERDOLAGA (*Portulaca oleracea* L.)

José Luis Salinas Morales

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO DE MÉXICO

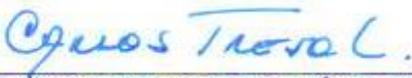
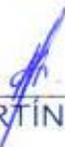
2015

La presente tesis titulada: **Efecto de la Salinidad cualitativa y cuantitativa en la germinación de semillas de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.)**, realizada por el alumno: **José Luis Salinas Morales**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO	 DR. EBANDRO USCANGA MORTERA
ASESOR	 DR. HÉCTOR MANUEL ORTEGA ESCOBAR
ASESOR	 DR. CARLOS TREJO LÓPEZ
ASESOR	 DR. DAVID MARTÍNEZ MORENO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Abril del 2015

EFFECTO DE LA SALINIDAD CUALITATIVA Y CUANTITATIVA EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE VERDOLAGA (*Portulaca oleracea* L.)

José Luis Salinas Morales, M.C
Colegio de Postgraduados, 2015

La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) tiene amplia variabilidad genética. Existen poblaciones silvestres que son consideradas como malezas y poblaciones cultivadas que son consideradas variedades criollas. Se ha observado que crece en una amplia variedad de suelos, los cuales pueden contener un contenido alto de sales, propiciado por el uso excesivo de los fertilizantes y el uso de agua para riego extraída de pozos que contienen concentraciones altas de sales. El objetivo de la presente investigación fue: evaluar el efecto de la salinidad cualitativa y cuantitativa en la germinación de semillas de *Portulaca oleracea* L. los cv. Americana y Mixquic y las colectas Colpos y Ometepec se pusieron a germinar en soluciones salinas con siete conductividades eléctricas (1.0, 6.3, 8.2, 10.1, 12.1, 14.2 y 21.3 dS m⁻¹ y un testigo 0.0 dS m⁻¹) de sales puras (NaCl, CaCl₂·2H₂O, MgCl₂·6H₂O, MgSO₄·7H₂O, Na₂SO₄ y NaHCO₃) y sales geoquímicas (clorhídrica, sulfático-clorhídrica, clorhídrico-sulfática, sulfática y sulfático-sódica). Para cada salinidad y CE se evaluó el potencial osmótico. Los resultados mostraron una disminución del potencial osmótico en las sales derivadas de los cloruros, debido al incremento de la CE de las mismas, con respecto a los sulfatos. Las semillas de mayor tamaño y peso fueron las del cv. Americana, seguida del cv. Mixquic y las colectas Colpos y Ometepec. La germinación de las semillas del cv. Americana presentaron una tolerancia alta para las diferentes sales, excepto para el NaCl a una CE de 21.3 dS m⁻¹; mientras que, en el cv. Mixquic y la colecta Colpos se vio afectada a partir de una CE de 8.2 dS m⁻¹. Las sales geoquímicas tuvieron un efecto mayor en la germinación de estas dos poblaciones. La colecta Ometepec fue el material más sensible en las diferentes salinidades y su germinación disminuyó gradualmente desde CE de 1.0 dS m⁻¹. En general, la disminución en la germinación se debió principalmente al efecto osmótico y en menor porcentaje a un efecto tóxico de los iones. Los iones más tóxicos en la germinación fueron los bicarbonatos, cloruros y en menor grado los sulfatos para cv. Mixquic, Colpos y Ometepec.

Palabras clave: Conductividad eléctrica, potencial osmótico, verdolaga, germinación

EFFECT OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE SALINITY ON THE GERMINATION OF VERDOLAGA (*Portulaca oleracea* L.)

José Luis Salinas Morales, M.C

Colegio de Postgraduados, 2015

Purslane (*Portulaca oleracea* L.) has wide genetic variability. There are wild populations that are considered weeds and cultivated populations that are considered landraces. It grows in a wide range of soils, which may contain a high salt content, due to excessive use of fertilizers and the use of irrigation water drawn from wells that contain high concentrations of salts. The aim of this study was to evaluate the effect of qualitative and quantitative salinity on seed germination of *Portulaca oleracea* L. of cv. American and Mixquic and the collections Colpos and Ometepec were germinated in saline solutions with seven electrical conductivities (EC) (1.0, 6.3, 8.2, 10.1, 12.1, 14.2 and 21.3 dS m⁻¹ and a control 0.0 dS m⁻¹) of pure salts (NaCl, CaCl₂·2H₂O, MgCl₂·6H₂O, MgSO₄·7H₂O, Na₂SO₄ and NaHCO₃) and geochemical salts (hydrochloric, sulphatic-hydrochloric, hydrochloric-sulphatic, sulphatic and sulphatic-sodium). For each salinity and EC, osmotic potential was evaluated. The results showed a decrease in the osmotic potential in the salts derived from the chlorides due to the increase of the EC, with respect to the sulphates. The seeds of greater size and weight were those of cv. American, followed by cv. Mixquic and the collections Colpos and Ometepec. The seed germination of cv. American had a high tolerance for different salts, except for NaCl to an EC of 21.3 dS m⁻¹; whereas, in cv. Mixquic and collection Colpos it was affected from an EC of 8.2 dS m⁻¹. Geochemical salts had a greater effect on the germination of these two populations. The collection Ometepec was the most sensitive material in different salinities and germination decreased gradually from EC of 1.0 dS m⁻¹. In general, the decrease in germination was mainly due to osmotic effect and a small percentage was due to a toxic effect of ions. The most toxic ions on germination were bicarbonates, chlorides and in a lower extend the sulphates for cv. Mixquic, Colpos and Ometepec.

Index words: electrical conductivities, osmotic potential, Purslane, germination

DEDICATORIA

A ti Madre:

Victorina Morales Martínez, gracias por darme la vida, por haberme educado y aguantar mis caprichos. Gracias a tus consejos, por el amor que siempre me has brindado, por cultivar e inculcar en mi ese sabio don de la responsabilidad.

En especial a ti:

Hijo desde tu nacimiento has cambiado mi vida; espero que en un futuro puedas comprender y hacer tuya la frase que ha influido tanto en mis decisiones “Querer es poder”.

He aprendido que cuando un recién nacido aprieta con su pequeño puño, por vez primera, el dedo de su padre, lo tiene atrapado por siempre (Gabriel García Márquez).

AGRADECIMIENTOS

El que finalmente haya podido acabar esta tesis, es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad, por lo cual estoy muy agradecido con ellos.

Primeramente doy infinitamente gracias al pueblo de México, que por medio del Consejo Nacional de la Ciencia y Tecnología (CONACYT) que es una institución pública que apoya la investigación científica, me proporcionaron los recursos económicos para la realización de mis estudios de maestría en ciencias, ya que sin él no hubiera sido posible.

Doy las gracias al Colegio de Postgraduados, que me brindó la oportunidad de formar parte de él y permitir realizar en sus instalaciones mis estudios de maestría; así como también a los profesores por el aprendizaje, las enseñanzas aprendidas y por haber contribuido en mi formación académica.

Deseo agradecer a las siguientes personas por su colaboración a lo largo del trabajo y mi formación:

A mi Consejero Académico el Dr. Ebandro Uscanga Mortera, por tanta paciencia, comprensión, perseverancia durante la realización de este estudio y sus acertados comentarios, cuya valiosa colaboración hizo posible la realización de este trabajo.

Estoy muy agradecido a Dr. Héctor Manuel Ortega Escobar, quien ha sido un factor fundamental en la definición, orientación en las metodologías y la revisión del presente trabajo, así como por su amistad y apoyo invaluable, que me permitieron salvar obstáculos difíciles, siempre con la convicción de “no dar un paso atrás”.

Al Dr. Carlos Trejo López, por su orientación en la planeación y conducción del trabajo de investigación, disponibilidad, dedicación y por sus aportaciones durante la revisión del escrito, en busca del mejoramiento de esta tesis.

Doy gracias también al Dr. David Martínez Moreno por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para la corrección de este trabajo y llegar a la culminación del mismo.

M.C. Luz María Mera Ovando, por las facilidades proporcionadas y la donación de semillas del material genético de *P. oleracea* L. cv. Americana y Mixquic.

A los Dres. Rodolfo García Nava, Josué Kohashi Shibata, así como también a los M.C. Antonio García Esteva, Petra Yáñez Jiménez y Ricardo Vega Muñoz, por haber sido una fuente de aprendizaje fundamental en mi formación, porque gracias al ejemplo de todos ustedes he llegado hasta donde estoy en este momento.

Un agradecimiento especial a los Dres. Arturo Reyes Lazalde, María Eugenia Pérez Bonilla, Rosa Andrés Hernández Gracias y Biol. Tobías Rodríguez Ramírez, adscritos a la Escuela de Biología, BUAP, por haber confiado en mi persona, por su apoyo y amistad que me brindaron, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Al personal del laboratorio de Biofísica y Fisiología vegetal ambiental (Postgrado en Botánica) y al laboratorio de suelos salinos y sódicos (Hidrociencias) por su apoyo y amistad brindada.

A mis amigos y compañeros del colegio de postgraduados, por los gratos momentos que hemos pasado. Aunque no los mencione por nombre, gracias por hacerme saber que nuestra amistad no se termina una vez culminado nuestros estudios sino que se mantendrá a través del tiempo.

A todos ellos muchas gracias y mis más sincero agradecimiento.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Definición de salinidad.....	2
2.1.1 Salinidad agronómica.....	2
2.1.2 Salinidad ecológica.....	2
2.1.3 Salinidad biológica.....	2
2.1.4 Salinidad cualitativa.....	3
2.1.5 Salinidad cuantitativa.....	3
2.2 Origen y naturaleza de los suelos salinos.....	3
2.3 Características de los suelos salinos.....	5
2.3.1 Suelos normales.....	5
2.3.2 Suelos salinos o salinos no alcalinos.....	5
2.3.3 Suelos sódicos salinos o alcalino-salinos.....	6
2.3.4 Suelos sódicos no salinos o alcalinos no salinos.....	6
2.4 Sales más importantes del suelo y su descripción.....	7
2.4.1 Cloruro de sodio (NaCl).....	7
2.4.2 Cloruro de calcio (CaCl ₂).....	7
2.4.3 Cloruro de magnesio (MgCl ₂).....	8
2.4.4 Sulfato de magnésico (MgSO ₄).....	8
2.4.5 Sulfato de sodio (Na ₂ SO ₄).....	8
2.4.6 Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃).....	8
2.4.7 Carbonato de calcio (CaCO ₃).....	8
2.4.8 Carbonato de magnesio (MgCO ₃).....	9
2.4.9 Nitrato de sodio (NaNO ₃).....	9
2.5 Solubilidad de las sales en el suelo.....	9
2.6 Medida de la conductividad eléctrica en el suelo.....	9
2.7 Suelos afectados por sales en el mundo y en México.....	10
2.8 Efecto de la salinidad en los cultivos.....	12
2.9 Efecto de las sales en la germinación.....	13

2.10	Tolerancia a la salinidad.....	14
III.	JUSTIFICACIÓN.....	18
IV.	OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	19
V.	MODELO DE ESTUDIO: <i>Portulaca oleracea</i> L.	20
5.1	Clasificación taxonómica.....	20
5.2	Descripción botánica.....	20
5.3	Origen y distribución.....	21
5.4	Importancia.....	22
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
6.1	Material vegetal.....	24
6.2	Caracterización de las semillas.....	25
6.3	Niveles de salinidad.....	25
6.4	Preparación de las soluciones con sales puras o simples.....	26
6.5	Preparación de las soluciones con sales geoquímicas.....	27
6.6	Tratamientos y diseño experimental.....	31
6.7	Variables registradas.....	31
6.7.1	Variables registradas a las soluciones salinas.....	31
6.7.2	Germinación.....	32
6.7.3	Índice de velocidad de germinación.....	32
6.7.4	Recuperación de las semillas.....	33
6.8	Análisis estadístico.....	33
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
7.1	Caracterización de la semilla.....	35
7.2	Variables registradas en las soluciones salinas: relación del potencial osmótico y la conductividad eléctrica... ..	36
7.3	Germinación.....	44
7.3.1	Efecto de las sales puras (iones específicos) en la germinación	44
7.3.2.	Efecto de la salinidad geoquímica (mezclas de sales) en la germinación.....	61
7.4	Velocidad de germinación.....	75
7.5	Tolerancia con base en la germinación relativa.....	79

7.6	Recuperación de la capacidad de germinación al ser transferida a agua destilada.....	84
7.7	Respuesta de la germinación de semillas de verdolagas en Polietilenglicol 8000 (PEG 8000).....	89
VIII.	CONCLUSIONES.....	93
IX.	LITERATURA CITADA.....	94
X.	ANEXO.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Clasificación de los cultivos de acuerdo a la disminución del rendimiento relativo conforme aumenta la conductividad eléctrica de la solución del suelo (Mass y Hoffman, 1977).....	16
Figura 2.	Lugares de colecta en México de las accesiones de herbario de <i>P. oleracea</i> L.....	22
Figura 3.	Efecto teórico del incremento de la conductividad eléctrica en el porcentaje de germinación de semillas de <i>P. oleracea</i> L. (Mass y Hoffman, 1977; Kumamoto <i>et al.</i>, 1990).....	25
Figura 4.	Potencial osmótico de las soluciones salinas (puras) y su relación con la conductividad eléctrica de la solución salina experimental.....	41
Figura 5.	Potencial osmótico de las soluciones salinas (geoquímicas) y su relación con la conductividad eléctrica de la solución salina experimental.....	42
Figura 6.	Dinámica de la germinación de semillas de <i>P. oleracea</i> L. cv. Americana en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	46
Figura 7.	Porcentaje final de semillas germinadas de <i>P. oleracea</i> L., cv Americana en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	47
Figura 8.	Dinámica de la germinación de semillas de <i>P. oleracea</i> L. cv. Mixquic en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	50
Figura 9.	Porcentaje final de semillas germinadas de <i>P. oleracea</i> L., cv Mixquic en función de las salinidades y concentraciones	

	(conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	51
Figura 10.	Dinámica de la germinación de semillas de <i>P. oleracea</i> L., colecta Colpos en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	52
Figura 11.	Porcentaje final de semillas germinadas de <i>P. oleracea</i> L., colecta Colpos en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	53
Figura 12.	Dinámica de la germinación de semillas de <i>P. oleracea</i> L., colecta Ometepec en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	55
Figura 13.	Porcentaje final de semillas germinadas de <i>P. oleracea</i> L., colecta Ometepec en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	56
	Dinámica de la germinación con sales geoquímicas	
Figura 14.	Dinámica de la germinación de semillas de <i>P. oleracea</i> L. cv. Americana en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	64
Figura 15.	Porcentaje final de semillas germinadas de <i>P. oleracea</i> L., cv Americana en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	65
Figura 16.	Dinámica de la germinación de semillas de <i>P. oleracea</i> L. cv. Mixquic en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	66

Figura 17. Porcentaje final de semillas germinadas de <i>P. oleracea</i> L., cv Mixquic en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	67
Figura 18. Dinámica de la germinación de semillas de <i>P. oleracea</i> L., colecta Colpos en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	69
Figura 19. Porcentaje final de semillas germinadas de <i>P. oleracea</i> L., colecta Colpos en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	70
Figura 20. Dinámica de la germinación de semillas de <i>P. oleracea</i> L., colecta Ometepec en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	73
Figura 21. Porcentaje final de semillas germinadas de <i>P. oleracea</i> L., colecta Ometepec en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	74
Figura 22. Velocidad de germinación en cuatro genotipos de <i>P. oleracea</i> L. en sales puras a diferentes concentraciones (CE). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	77
Figura 23. Velocidad de germinación en cuatro genotipos de <i>P. oleracea</i> L. en sales geoquímicas a diferentes concentraciones (CE). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.	78
Figura 24. Porcentaje de germinación relativa de semillas en cuatro genotipos de <i>P. oleracea</i> L. en sales puras a diferentes concentraciones (CE). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	80
Figura 25. Porcentaje de germinación relativa de semillas en cuatro genotipos de <i>P. oleracea</i> L. en salinidades geoquímicas a diferentes	

concentraciones (CE). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	81
Figura 26. Dinámica de la germinación de semillas en cuatro genotipos de <i>P. oleracea</i> L. en diferentes potenciales osmóticos (Ψ_0) generados con polietilen glicol 8000. Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.....	90

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Iones predominantes para la formación de un suelo y aguas freáticas salinas.....	4
Cuadro 2.	Niveles críticos de afectación en los cultivos en base a la CE del extracto de saturación.....	7
Cuadro 3.	Distribución de áreas de suelos afectados por salinidad en continentes y subcontinentes.....	11
Cuadro 4.	Tipos de vegetación de México propuestos por Rzedowski (1978).....	12
Cuadro 5.	Tolerancia a la salinidad en varias especies vegetales de acuerdo al umbral de CE y el porcentaje de declinación en el rendimiento.....	16
Cuadro 6.	Clasificación taxonómica de la verdolaga.....	20
Cuadro 7.	Coordenadas y altitud del lugar de colecta de los cultivares agronómicos locales (Americana San Gregorio y Mixquic, Distrito Federal) y las colectas silvestres (Colpos, Estado de México y Ometepec, Guerrero) de <i>Portulaca oleracea</i> L.	24
Cuadro 8.	Sales puras inorgánicas utilizadas para la preparación de las soluciones.....	26
Cuadro 9.	Mezclas de soluciones salinas y las relaciones iónicas utilizadas en los diferentes tratamientos.....	28
Cuadro 10.	Largo y ancho de semillas y peso de 100 semillas de los cultivares Americana y Mixquic y de las colectas Colpos y Ometepec de verdolaga (<i>Portulaca oleracea</i> L.). Los valores son el promedio de 100 semillas \pm el error estándar.....	35
Cuadro 11.	Valores de concentración (Cs), conductividad eléctrica (CE), potencial osmótico (Ψ_o) y pH en soluciones de sales puras.....	38

Cuadro 12.	Valores de concentración (Cs), conductividad eléctrica (CE), potencial osmótico (Ψ_0) y pH en salinidades geoquímicas.....	40
Cuadro 13.	Porcentaje de la germinación en función al tipo de salinidad y su concentración, que posteriormente fueron transferidas a agua destilada en cv Mixquic.....	85
Cuadro 14.	Porcentaje de la germinación en función al tipo de salinidad y su concentración, que posteriormente fueron transferidas a agua destilada en colecta Colpos.....	86
Cuadro 15.	Porcentaje de la germinación en función al tipo de salinidad y su concentración, que posteriormente fueron transferidas a agua destilada en colecta Ometepepec.....	87
Cuadro 16.	Efecto del potencial osmótico, obtenido con diferentes concentraciones de PEG 8000, en la germinación de semillas de verdolagas.....	91

I. INTRODUCCIÓN

El número de especies vegetales que se registran en México es de aproximadamente 22 000, siete mil son plantas útiles, entre éstas se encuentran 120 hortalizas, de las cuales 45 especies son cultivadas con alrededor de 70 variedades (Rzedowski, 1992; Ayala *et al.*, 2012; SIACON, 2008). Dentro de ellas se ubica la verdolaga, la cual también es considerada como arvense. La verdolaga se le puede ubicar también dentro de un grupo de cultivos de interés alimenticio como el maíz, frijol, papa, garbanzo y papaya (Tamayo, 1991; Soltero-Díaz *et al.*, 2009). La mayoría de estos cultivos se desarrolla en una gran variedad de suelos, los cuales pueden contener un alto contenido de sales, propiciado por el uso excesivo de los fertilizantes y el uso de agua extraída de pozos que contienen concentraciones altas de sales (Cruz *et al.*, 2007; INEGI, 2006). De esta manera, los fertilizantes junto con el agua de riego llegan a ser un factor limitante que afecta de manera negativa algunos aspectos de la fisiología y bioquímica de las plantas cultivadas, reduciendo drásticamente su potencial de producción (Meza *et al.*, 2007; SAGARPA, 2009).

Debido a que las sales cambian las propiedades físicas del suelo, algunos autores (Alcántar *et al.*, 1992; Grossi y Esbert, 1994; Plaster, 2000; Robledo-Santoyo, *et al.*, 2010; Aceves, 2011) han descrito las sales solubles como asociaciones de los diferentes iones (sodio, calcio, magnesio, cloro, sulfato, bicarbonato y carbonato), mencionando que el daño principal en las plantas se atribuye al exceso de cloro y del sodio. Estos iones alteran la absorción del agua y la transpiración, causando desbalance iónico, nutrimental y por lo tanto, reducción en el crecimiento, senescencia y muerte celular de la planta (Alcántar, *et al.*, 1992; Grossi y Esbert, 1994; Plaster, 2000; Robledo- Santoyo, *et al.*, 2010; Aceves, 2011). Las sales no significan solo cloruro de sodio (NaCl), sino que son los compuestos iónicos conformados de cationes (sodio, calcio, magnesio y potasio) y aniones (sulfato, cloruro, bicarbonato y carbonato) (Fersman, 1973; Fitzpatrick *et al.*, 1994; Aceves, 2011). Además de las sales las plantas se enfrentan a otro tipo de estrés llamado “estrés ambiental” el cual limita la germinación y la supervivencia de las semillas (Munns, 2005).

Debido a lo anterior, el presente estudio es una contribución a la generación de conocimiento de la tolerancia o resistencia de las semillas de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) durante la germinación a la salinidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Definición de salinidad

Dado que la salinidad causa cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos, es razonable preguntarse: ¿qué es la salinidad?

La salinidad fue definida por primera vez por Knudsen, Forch y Sorensen en 1902, como el contenido en gramos de cloro existente en un kg de agua de mar equivalente a la cantidad de halógenos (UNESCO, 1984).

De acuerdo a los diccionarios Larousse Ilustrado (1986), de la Real Academia de la Lengua Española (1992) y McGraw-Hill (2001), la salinidad es la porción de sales que contiene el agua en estado natural, continental o en el mar.

Debido a que no existe una definición de salinidad aplicada a suelos, ésta puede ser definida como, el porcentaje total de sales solubles en el extracto acuoso de 100 g de suelo.

En función de las definiciones de salinidad se ha propuesto una clasificación, que es la siguiente:

2.1.1 Salinidad agronómica

Es la acumulación de sales solubles en el suelo, que limita la producción agrícola, y afecta el ambiente y el bienestar económico. Esta limitación es mayor a medida que aumenta la concentración de sales hasta provocar la muerte de la planta (Rengasamy, 2006; Nasim *et al.*, 2007; Puchulu, 2008).

2.1.2 Salinidad ecológica

Es la presencia de solutos concentrados en forma de sales en el agua o suelo y se le conoce como un factor abiótico que afecta la distribución y abundancia de los organismos en el ecosistema, por lo tanto, es un indicador de las condiciones del ambiente (Sarmiento, 2000; Valverde *et al.*, 2005).

2.1.3 Salinidad geológica

Está relacionada con la composición del material geológico (rocas sedimentarias, yacimientos), a partir de los procesos de meteorización, fragmentación y la descomposición

de organismos, que libera la energía química de algunos iones, dando como resultado un material coloidal amorfo con diferentes concentraciones de solutos (Bonnet, 1960; Richards, 1970; Fassbender, 1986; González, 2012).

A partir de estas definiciones, se puede concluir que la salinidad puede ser definida como: la presencia total de aniones y cationes acumulados en las aguas y en el suelo, asociada a las condiciones climáticas, geológicas y biológicas.

Por otra parte, la salinidad puede ser descrita por medio de la química analítica según Vogel (1969); Ortega (1983); Etchevers (1988) y Chang (2013) de la siguiente forma:

2.1.4 Salinidad cualitativa

Es la composición iónica de las sales en el agua o suelo que conforman una concentración total, y la identificación de cada uno de sus componentes.

2.1.5 Salinidad cuantitativa

Es la cantidad total de sales solubles en una solución, sin considerar la composición iónica de éstas, aplicando las leyes de la estequiometría.

2.2. Origen y naturaleza de los suelos salinos

Los principales componentes naturales de la salinidad son de origen mineral primario como SiO₂ (cuarzo), Ca (anfíboles, piroxenos y feldspatos), Mg (Piroxenos, olivino y biotita) y K (muscovita y microclina), que forman parte de la corteza terrestre, considerándose sus elementos químicos dentro de la tabla periódica de los elementos (De la Peña, 1980; Díaz, 2006 y Nicusor *et al.*, 2011). Dichos minerales presentan un proceso de descomposición e intemperismo, en el cual, liberan sustancias poco solubles asociadas como iones por ejemplo, el bicarbonato de calcio (Flores *et al.*, 1996; Rázuri *et al.* 2005; Kijne, 2006).

Por otra parte, se encuentran los océanos que constituye la introducción de agua de mar al suelo, debido a la contaminación salina de los acuíferos costeros. De acuerdo a lo expresado anteriormente, la salinización se llega a manifestar en regiones donde la evaporación es

mayor que la precipitación (Pizarro, 1985; Patchampreecha, 1990; Aceves, 2011; González, 2012).

Como resultado de los procesos anteriores (intemperismo y descomposición) surgen los principales componentes iónicos como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , S, C, y con menor frecuencia N, Cu^{+2} , Zn^{+2} y B^{+3} (Fassbender, 1986; Tyagi, 2003; Aceves, 2011; Navarro y Navarro, 2013) formando diferentes asociaciones iónicas (Cuadro 1), que dan lugar a la formación de un suelo salino. Sin embargo, parte de estas sales migran por capilaridad hacia la parte superior del suelo provocando la acumulación de iones de las distintas sales con diferentes intensidades, por lo cual este proceso está íntimamente relacionado con el intercambio catiónico y aniónico como resultado de las interacciones de la fase sólida y líquida del suelo.

Cuadro 1. Iones predominantes para la formación de un suelo y aguas freáticas salinas.

Aniones	Cationes
Cl^-	Ca^{2+}
SO_4^{2-}	Mg^{2+}
CO_3^{2-}	Na^+
HCO_3^-	K^+
NO_3^-	Al^{3+}
SiO_3^{2-}	Fe^{3+}

(Fersman, 1973; Pizarro, 1985; Herrero, 1986; López y Macías, 1993; Fitzpatrick *et al.*, 1994).

Mediante el proceso de las mezclas electrolíticas de los aniones y cationes antes mencionados se originan compuestos tales como; NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , MgSO_4 , Na_2SO_4 , NaHCO_3 , NaNO_3 y $\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_4$, de los cuales, los tres primeros son las sales predominantes (Luthin, 1979; Aceves, 2011; Mancilla *et al.*, 2014).

Por otra parte, el origen secundario de la salinidad está influenciado por factores antropogénicos, como lo mencionan Richards (1965), Flores *et al.* (1996), Villafañe *et al.* (1999), SEFOA (2009), Nicusor *et al.* (2011), González (2012), quienes describen que las actividades principales del hombre que originan la salinización son:

1. La actividad agraria (labranza) y en especial la introducción del riego, por medio de aguas de mala calidad (residuales), que dan como resultado una aplicación excesiva de las láminas de riego, lo que provoca que los suelos con el tiempo se salinicen.
2. La movilización del suelo y el desmonte de tierras puede llegar a acumular sales en demasía en la superficie del terreno.
3. El empleo excesivo de fertilizantes en zonas de sembradío provoca un alto contenido de salinidad.

De acuerdo a las propuestas de estos autores es posible corregir errores por malas prácticas, como la aplicación de riego por goteo, para que no se incremente la salinidad; la eliminación del desmonte y construcción de terrazas para evitar la pérdida de suelo y una aplicación moderada de fertilizantes respetando las dosis recomendadas.

2.3. Características de los suelos salinos

En la actualidad se han estado diagnosticando y estableciendo las características físicas y químicas de los suelos salinos. Desde la perspectiva de los suelos salinos se ha demostrado que en época seca presentan dureza y costras blancas en la superficie del mismo, lo que trae como consecuencia un efecto negativo en la vegetación y por ende también en las poblaciones microbianas. (Kimura *et al.*, 1992; Churchman *et al.*, 1993). Además, mediante trabajos realizados en tierras afectadas en cultivos diferentes, estos suelos han sido clasificados de acuerdo al contenido total de sales y al Na^+ intercambiable (Bonnet, 1960; Richards, 1965; NOM-021-SEMARNAT, 2002) como se menciona a continuación:

2.3.1 Suelos normales

Son aquellos suelos cuyo extracto de saturación presentan una conductividad eléctrica (CE) menor a 4 dS m^{-1} y cuyo porcentaje de Na^+ intercambiable (PSI) es menor de 15 %.

2.3.2 Suelos salinos o salinos no alcalinos

Son suelos que presentan una CE del extracto de saturación igual o mayor a 4 dS m^{-1} , un PSI inferior al 15 %, y con un pH menor de 8.5. Lo anterior se debe a la falta de drenaje y a una evaporación elevada, lo cual origina la acumulación de sales, tales como cloruros, sulfatos,

carbonatos, bicarbonatos de sodio, calcio, magnesio y potasio. De tal forma que todo esto llega a incrementar la presión osmótica de la solución del suelo, y por lo tanto, la asimilación de los nutrientes por los cultivos.

2.3.3 Suelos sódicos salinos o alcalino-salinos

Son suelos que presentan un PSI superior al 15 % y una CE del extracto de saturación mayor a 4 dS m⁻¹. Estas características se deben principalmente a concentraciones elevadas de aniones, tales como cloruros y sulfatos. Es decir, cuando hay una concentración elevada de Na⁺ se afectan las condiciones físicas de los suelo y se genera un pH que rara vez es menor de 8.5.

2.3.4 Suelos sódicos no salinos o alcalinos no salinos

En estos suelos la CE es inferior a 4 dS m⁻¹, debido a que los cloruros y sulfatos no se presentan en concentraciones altas. En cuanto a su PSI es superior al 15 %, con un pH que varía entre 8.5 y 10. Entre las sales presentes se encuentra el NaHCO₃ y Na₂CO₃ en concentraciones bajas, que llegan a provocar una dispersión entre la materia orgánica, dando como resultado una apariencia oscura, de tal manera que a esto se le consideró como suelos “álcali negros” por Hilgard (1906) y en ciertos casos, a los “solonetz” de los autores rusos (Richards, 1965).

Según el criterio desarrollado por los autores anteriores, el catión predominante es el Na⁺ en las soluciones edáficas a una temperatura estándar de 25 °C, estableciendo que el predominio de este catión se encuentra asociado a los aniones bicarbonato y carbonato en cantidades variables, y a los aniones cloruro y sulfato provocando con esto una toxicidad en las plantas. La mayoría de las investigaciones que se han realizado acerca de la génesis, caracterización y composición iónica de los suelos salinos, se han basado en la clasificación mencionada anteriormente. Además, se han considerado los procesos geoquímicos, ya que en su mayoría los suelos salinos y sódicos llegan a presentar una textura variable, que por lo general va a depender de la naturaleza química del suelo (Roca y Pazos, 2007; Rivera *et al.*, 2012).

Por otra parte, se han establecido algunos parámetros de afectación en los cultivos de acuerdo a la CE, la calidad del agua y la pasta de saturación en el suelo, mediante sus posibles efectos en los cultivos, con base en los criterios propuesto por Richards (1965) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Niveles críticos de afectación en los cultivos en base a la CE del extracto de saturación.

CE (dS m ⁻¹)	Salinidad	Efecto en los cultivos
0-2	No salino	Suelos normales
2-4	Ligera	Puede disminuir el rendimiento en cultivos sensibles
4-8	Mediana	Rendimiento restringido en casi todos los cultivos
8-16	Muy alta	Rendimiento satisfactorio sólo en cultivos tolerantes
16 o mas	Extremadamente alta	Sólo para cultivos sumamente tolerantes

De acuerdo al cuadro anterior se puede decir que las aguas con una CE de 0-2 dS m⁻¹ son aptas para el riego de los cultivos, ya que no presentan problemas de sodicidad. Sin embargo, a una CE de 2-8 dS m⁻¹ son aguas moderadamente sódicas. Mientras que una CE entre 8-16 dS m⁻¹ presentan un contenido de sodio elevado. Por último, los suelos y aguas con una CE mayor de 16 dS m⁻¹ muestran un contenido de sodio muy elevado. De acuerdo a este tipo de criterio se pueden tomar decisiones que nos conduzcan a una buena selección de cultivos para obtener buenos rendimientos.

2.4. Sales más importantes del suelo y su descripción

Dentro de las sales más importantes (Ortega, 1983; Reyes, 1999; Namuche *et al.*, 2000; Proaño *et al.*, 2004; Fernández *et al.*, 2011), se presentan y describen las siguientes:

2.4.1 Cloruro de sodio (NaCl)

Es una de las sales que se encuentra con mayor frecuencia en un suelo. El NaCl presenta una alta solubilidad y toxicidad para las plantas. Por ejemplo, a un porcentaje de 0.1 % las plantas se desarrollan normalmente. Sin embargo, si el porcentaje se incrementa entre 2-5 % los suelos son improductivos, debido a la toxicidad ejercida por los iones Na⁺ y Cl.

2.4.2 Cloruro de calcio (CaCl₂)

Es una de las sales con alta solubilidad que se encuentra con menor frecuencia en las aguas freáticas, debido a que el ion Ca²⁺ en presencia de los iones bicarbonato y carbonato forman el carbonato de calcio (CaCO₃), y estos iones se precipitan en el suelo. Por otro lado, el calcio es un regulador clave en las funciones fisiológicas, tanto en los vegetales como en los animales. En algunos estudios se ha observado que cuando se aplica CaCl₂ a las plantas, éste

puede proporcionar estabilidad a la membrana, contrario al efecto adverso provocado por la salinidad por (NaCl).

2.4.3 Cloruro de magnesio (MgCl₂)

Es una de las sales con una elevada solubilidad, que se encuentra en algunas aguas freáticas y lagos salinizados, ésta se forma por medio de la acción del NaCl que asciende capilarmente, poniéndose en contacto con el complejo de cambio que contiene el Mg. Sin embargo, ésta se llega a encontrar junto con el NaCl y el CaCl₂, debido a la presencia del ion Cl⁻.

2.4.4 Sulfato de magnesio (MgSO₄)

Es un componente típico de los suelos salinos, llegándose a encontrar también en aguas freáticas y lagos salinizados. Debido a su elevada solubilidad, es una de las sales perjudiciales, pero nunca se acumula en los suelos en forma pura, si no se encuentran en combinación con otras sales muy solubles.

2.4.5 Sulfato de sodio (Na₂SO₄)

Es un componente típico de los suelos salinos, aguas freáticas y lagos salinizados. Su solubilidad está en función de la temperatura. Su toxicidad es de dos o tres veces menor que la del sulfato de magnesio. En cuanto al lavado de estos suelos se requiere grandes cantidades de agua.

2.4.6 Carbonato de sodio (Na₂CO₃)

Al igual que las demás sales, ésta se llega a encontrar con frecuencia en los suelos y aguas freáticas. Provoca una toxicidad alta en las plantas, debido a su elevada solubilidad y alcalinidad, sin embargo este factor puede variar con la temperatura.

2.4.7 Carbonato de calcio (CaCO₃)

Es una de las sales de baja solubilidad, por lo tanto no es nociva para las plantas. Sin embargo, su solubilidad puede aumentar por medio de la presencia del ácido carbónico, debido a la formación del bicarbonato de calcio. Por otro lado, esta sal eleva el pH.

2.4.8 Carbonato de magnesio (MgCO_3)

Es una de las sales de baja solubilidad, es un poco más soluble que el CaCO_3 ; sin embargo, pocas veces se acumula en los suelos, debido a la adsorción del Mg por las arcillas. El MgCO_3 causa una alta alcalinidad con un pH entre 9 y 10.

2.4.9 Nitratos (NaNO_3)

Son sales de muy elevada solubilidad. El NaNO_3 es más tóxico que los cloruros.

2.5. Solubilidad de las sales en el suelo

La solubilidad determina la movilidad y la precipitación de los iones; además, regula las concentraciones elevadas de los mismos en el suelo, entre mayor sea, más grave es el efecto en los cultivos. Asimismo, se ha clasificado en: solubilidad alta, media y baja (Galizzi y Peinemann, 1988; Alcántar *et al.*, 1992; Reyes, 1999; Grossi y Esbert, 1994; Plaster, 2000; Rodríguez *et al.*, 2002; SAGARPA, 2009; Robledo-Santoyo *et al.*, 2010; Aceves, 2011; Fernández *et al.*, 2011; Navarro *et al.*, 2013).

En una solubilidad alta se encuentran principalmente los cloruros, siendo los más comunes el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl_2), cloruro de magnesio (MgCl_2), cloruro de potasio (KCl), en cuanto a los carbonatos se encuentra el carbonato de sodio (Na_2CO_3), bicarbonato de sodio (NaHCO_3), por último los nitratos (NO_3) y los sulfatos (Na_2SO_4 y el MgSO_4). En una solubilidad media se encuentra el sulfato de calcio (CaSO_4). Y en la solubilidad baja está el carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3). Asimismo, es importante enfatizar que el grado de solubilidad puede variar con respecto a la temperatura y el pH.

Debido a lo anterior, conocer el grado de solubilidad es de suma importancia porque nos indica en qué medida las soluciones de los suelos pueden alcanzar altas concentraciones salinas y de esta manera se pueden elegir cultivos para obtener mejores cosechas.

2.6. Medida de la conductividad eléctrica en el suelo

Una manera de medir la salinidad, es por medio de la cantidad de sales disueltas en un volumen de solución, como unidad de medida se utiliza gramos por litro (g L^{-1}). También, se

puede expresar indicando el número de miliequivalentes de sales disueltos en un litro de agua (meq L^{-1}) (PROMSA, 2004).

Actualmente, la salinidad se mide por medio de la conductividad eléctrica (CE), que representa la resistencia en $\frac{1}{\text{Ohms}}$ del H_2O . Ésta se expresa en decisiemens por metro (dS m^{-1}) anteriormente se expresaba en milimhos por centímetro (mmhos cm^{-1}) (Velarde, 2008; Porta, 2010). Por lo tanto, la CE refleja la concentración de sales solubles en la disolución, haciendo énfasis en el pH y el Na^+ intercambiable, mediante este criterio se puede llegar a identificar los suelos salinos (Richards, 1965; Anderson-Cook *et al.*, 2002). Sin embargo, ésta puede variar con la temperatura, con base en este criterio se ha establecido una temperatura estándar de 25 °C, para poder normalizar los estándares y la variación que se registre ya que puede deberse a la posición topográfica del suelo y al tipo de agua que contenga el mismo (Regalado *et al.*, 2005; Aimrun *et al.*, 2009).

2.7. Suelos afectados por sales en el mundo y en México

Los suelos salinos se encuentran en regiones con climas áridos y semiáridos, debido a la baja precipitación y a una elevada evapotranspiración, donde la movilidad de las sales provoca que el agua del suelo proveniente de la lluvia adquiera un alto grado de concentración de las mismas (Szabolcs, 1994; Wollenweber *et al.*, 2005).

La salinidad es un problema a nivel mundial, país, comunidad, localidad y de cultivo. Delgado (2006) y Mert *et al.* (2008) mencionaron que a nivel mundial el 97.5 % del agua es salina y solo el 2.5 % es agua dulce. En las aguas marinas se encuentra diluida la mayor concentración de sales. A dicha agua el hombre no tiene acceso debido a que no se puede usar para el riego en los cultivos. Por lo tanto, solo una pequeña parte (2.5 %) está disponible para el consumo humano y para el riego. A nivel mundial existen más de 800 millones de hectáreas afectadas por un alto contenido de sales (FAO, 2008), lo que hace que estas superficies sean improductivas.

La distribución de suelos afectados por salinidad en el mundo se puede observar en el cuadro 3, el cual se basa en el mapa mundial de suelos de la FAO/UNESCO (Szabolcs, 1994).

Cuadro 3. Distribución de áreas de suelos afectados por salinidad en continentes y subcontinentes

Continente o Subcontinente	Área (millones de ha)
Norte América	15.7
México y América Central	2.0
Sur América	129.2
África	80.5
Asia del sur	87.6
Asia del Norte y Asia Central	211.7
Sur-Este de Asia	20.0
Australia	357.3
Europa	50.8
Total	954.8

Tomado de Szabolcs (1994)

Como se puede ver en el cuadro anterior, Australia presenta los mayores problemas de salinidad, seguido de Asia del Norte y Asia central, y Sur América, y con una menor afectación se encuentra México y América central, de acuerdo a lo anterior, las diferencias que se presentan en cuanto a la acumulación de salinidad pueden deberse, a la actividad antrópica (abuso de fertilización y el riego de agua con contenidos altos de sales) y al ambiente (temperaturas altas y baja precipitación), lo que trae como consecuencia el abandono de la tierra, y por ende la erosión.

Abrol *et al.* (1988), Flowers y Yeo (1995), Mert *et al.* (2008) mencionaron que el programa ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA) estima que aproximadamente el 20 % de la tierra cultivable está afectado por salinidad, y que los cultivos se ven afectados en un 40-50 % por estrés salino.

Por otra parte, en México se presenta una gran variedad de tipos de vegetación (Cuadro 4) propuestos por Rzedowski (1978) quien mencionó que el Bosque Tropical Subcaducifolio, Bosque Espinoso y Matorral Xerófilo, suman el 53 % de la vegetación. En éstos existe una baja precipitación con una temperatura elevada y suelos alcalinos, lo que hace que dichos tipos de vegetación se encuentren en lo que se conoce como zonas áridas y semiáridas. González (2012) estimó 60 % para los tipos de vegetación anteriores, la diferencia con la propuesta de Rzedowski es del 7 %, esto puede deberse a que en 32 años las actividades antropogénicas pudieron haberse incrementado en las zonas áridas y semiáridas.

De acuerdo con la FAO/UNESCO/ISRIC (1998) y SEMARNAT (2004) la salinización afecta a un 3.2 % de los suelos mexicanos que equivale a 6.2 millones de hectáreas. Los estados que presentan grandes extensiones de suelos salinos son: Baja California Norte, Sonora, Baja California sur, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí, Nayarit, Colima, Guerrero, Oaxaca, Campeche, Chiapas, Yucatán, Quintana Roo, Estado México, Tlaxcala y Puebla. Particularmente, dentro de las zonas costeras del país, los sedimentos marinos y las cuencas cerradas, es donde se han presentado las mayores concentraciones de sales, como por ejemplo el caso del ex Lago de Texcoco y las Chinampas de Xochimilco. En estas áreas, se usa agua de riego con un contenido alto de sales que afectan la calidad de las cosechas (Fernández, 1972; Ramos *et al.*, 2001; Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002; Carter, 2002; Serrato *et al.*, 2002).

Cuadro 4. Tipos de vegetación de México propuestos por Rzedowski (1978).

Tipo de vegetación	Área (%)	Altitud. (msnm)	Temperatura °C	Precipitación mm	Suelo
B. tropical perennifolio	11.0	0-1000	20	1500-3000	Neutro
B. tropical subcaducifolio	4.0	0-1300	20-28	1000-1600	Ácido
B. tropical caducifolio	8.0	0-1900	20-29	600-1200	A. alcalino
B. espinoso	5.0	0-2200	17-29	350-1200	Alcalino
Pastizal	12.0	1100-2500	12-20	300-600	Neutros
Matorral xerófilo	40.0	3000	12-26	100-400	Alcalino
B. de Quercus	5.5	1200-2800	10-26	350-2000	A. moderado
B. de coníferas	15.0	1500-4000	6-28	350-1000	Neutro
B. mesófilo de montaña	0.87	400-1000	12-23	1500-3000	Ácidos

Bosque (B), ácido (A).

2.8. Efecto de la Salinidad en los Cultivos

En las últimas décadas, las investigaciones de los efectos de la salinidad en los cultivos son de suma importancia para la agricultura. Desde la domesticación de las plantas, éstas comenzaron a estar en contacto con algunas sales, debido al riego con aguas de mala calidad (Olsson y Hibbs, 2001). Sin embargo, el contenido de sales en las aguas o en los suelos tienen efectos físicos y fisiológicos en las plantas, tales como retraso o ausencia en la germinación; reducción del área foliar y necrosis en las hojas; detención del crecimiento del vástago y raíz; y algunas veces la muerte de las plantas (Meza *et al.*, 2007; Meloni *et al.*, 2004).

Tadeo (2008), consignó que la salinidad es un tipo de estrés abiótico, debido a factores osmóticos e iónicos. El factor osmótico es cuando la parte radical de la planta llega a presentar dificultad en la absorción del agua, ya que a medida que aumenta la concentración de solutos en el suelo disminuye el potencial hídrico. En cuanto, al factor iónico es cuando la planta presenta una toxicidad, debido a la acumulación de los iones específicos en la parte aérea de la planta tales, como el Cl^- , Na^+ , NO_3^- y NH_4^+ . Estos provocan reducción en la tasa fotosintética, pérdida de pigmentos y por último la muerte celular. En algunos estudios que se han realizado en plantas de *Pistacia vera* L., se ha planteado que la exposición a niveles altos de salinidad puede afectar el metabolismo de la planta por un efecto osmótico, causando un déficit hídrico, o por efecto de iones específicos, presentando una reducción en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Lamz y González, 2013).

Cabe recordar que existen diferencias entre cultivos con respecto a su tolerancia a condiciones de salinidad cualitativa y cuantitativa en los suelos. Un exceso de Na^+ tiene un efecto antagónico, acompañado generalmente con un bajo contenido de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ en la absorción. La magnitud de las respuestas de las plantas se encuentra estrechamente relacionada a la concentración de las sales. En estudios en *Chenopodium quinoa* Willd, el incremento del Na^+ (0.1 M y 0.2 M) presentó alteraciones metabólicas inhibiendo la germinación de semillas y un retraso en la emergencia de plántulas (González y Prado, 1992).

2.9. Efecto de las sales en la germinación

La germinación se define, como el conjunto de procesos metabólicos y morfogénéticos que dan como resultado la transformación de un embrión en una plántula, la cual es capaz de sobrevivir por sí misma y transformarse en una planta fotosintéticamente competente (Matilla 2003).

Estudios de los efectos de la salinidad en la germinación llevados a cabo por Carrasco *et al.* (1992) en semillas de *Melilotus segetalis* mostraron un 44 % de germinación a una concentración de 15 dS m^{-1} en relación con el testigo. Singer (1994), El-Habbasha *et al.* (1996) y Cuartero y Fernández (1999) al estudiar el efecto de la salinidad a concentraciones crecientes (80-190 mM de NaCl) en la germinación de *Lycopersicon esculentum*, *L. peruvianum* y *L. pennellii*, encontraron que el porcentaje de germinación disminuyó un 50 % con el aumento de la salinidad y se prolongó el período de germinación, excepto para plantas

de *L. esculentum*. Khan y Ungar (1996) investigaron que en semillas de *Haloxylon recurvum* Bunge ex. Boiss, a concentraciones de 100-500 mM de NaCl a temperaturas de 25-35 °C mostraron un 30 % de germinación. González y Prado (1992) en semillas de *Chenopodium quinoa* Willd obtuvieron un 19 % de germinación a concentraciones de 0.01-0.5 M de NaCl. López *et al* (2007) indicaron que la velocidad de germinación se redujo a un 45 % en semillas de *Lotus creticus* a concentraciones de 100-200 mM de NaCl. Meza *et al.* (2007) consignaron que en *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* el porcentaje de germinación al inicio de la emergencia no se vio afectado a niveles mayores de 4.5 dS m⁻¹ de NaCl, sin embargo, el porcentaje final disminuyó significativamente. Laynez *et al.* (2007, 2008) evaluaron el efecto de soluciones salinas de NaCl en la germinación de dos cultivares de *Zea mays* L., y observaron que a potenciales osmóticos de -0.33 y -0.55 MPa son tolerantes. Martí (2010) encontró que en *Limonium mansanetianum* L., el porcentaje de germinación disminuyó un 12 % al aumentar la concentración de 0.5 a 3.0 M en NaCl a una temperatura de 10 °C. Mitsuo y Carneiro (2011) reportaron que en *Conyza bonariensis*, la germinación se redujo al 20 % en MgCl₂ a concentraciones de 2.0-8.0 cM dm⁻³, mientras que en *C. Canadensis* disminuyó 17.3 % en CaCl₂ a las mismas concentraciones. Por último, Ruiz y Terenti (2012) reportaron el porcentaje germinativo en *Agropyron elongatum* de 30 %, en *Antephora pubescens* de 20 %, en *Cenchrus ciliaris* cv Texas de 25 % y en *Panicum coloratum* cv Klein de 0 % a potenciales osmóticos de -1.5 a -2.5 MPa utilizando NaCl.

Como puede verse, la mayoría de estudios se han llevado a cabo con la finalidad de registrar el efecto de la salinidad, lo cual demuestra que la salinidad con NaCl presenta alteraciones metabólicas en la germinación dando como resultado un retraso en la velocidad de germinación, así como en la inhibición de germinación.

2.10. Tolerancia a la salinidad

La tolerancia a la salinidad puede definirse en base a distintos enfoques. Bernstein (1963), Royo y Aragüés (2002) definieron a la tolerancia como el grado en que una planta es capaz de ajustar su potencial osmótico con un sacrificio mínimo de crecimiento. De acuerdo a esto, las plantas deben de ser capaces de subsistir en los suelos salinos y conservar su rendimiento. Desde el punto de vista biológico y agronómico, la tolerancia es una propiedad desarrollada por las plantas durante el proceso evolutivo, para poder perpetuar la especie en condiciones

naturales, donde se producen estreses climáticos y edáficos constantes. Los individuos que no se adaptan a esas condiciones adversas se eliminan de la población, las que logran sobrevivir dan descendencia, hasta que aparecen organismos adaptados. Esa adaptación se fija genéticamente y se trasmite de generación en generación, asegurando la supervivencia de las especies que conforma una población más tolerante (Udoenko, 1977; Subbarao y Johansen, 1994; González y Zapata, 2008).

Los criterios para medir la tolerancia a la salinidad pueden ser desde la germinación de semillas (Marcar, 1987), el peso de los tallos y daños visuales en los órganos (Hughes *et al.*, 1975; Greub *et al.*, 1985), así como, el peso y la longitud de raíces (Kik, 1989), la relación entre longitud en tallos/hojas (Horst y Beadle, 1984) y la supervivencia de la planta (Ahti *et al.*, 1980).

Las plantas como cultivo pueden presentar variaciones con base en su tolerancia a la salinidad. Maas y Hoffman (1977) establecieron intervalos relativos de tolerancia para los cultivos, definidos como cultivos sensibles, moderadamente sensible, moderadamente tolerante, tolerante y condiciones no aptas para el desarrollo de cultivos. Estos intervalos se representan gráficamente a través de la conductividad eléctrica, con base en la pérdida de rendimiento (%) bajo condiciones óptimas (Figura 1).

Por otra parte, Maas y Hoffman (1977), Kumamoto *et al.* (1990), Shannon y Grieve (1999), elaboraron una lista de especies vegetales indicando los niveles de salinidad y clasificándolas de acuerdo al tipo de tolerancia, en base a la Figura 1 (Cuadro 5).

De acuerdo al Cuadro 5, el ajo, el apio, el brócoli y la espinaca se clasifican como especies moderadamente sensibles con una CE que oscila entre 1.8-3.9 dS m⁻¹, y la zanahoria y la cebolla como especies sensibles, con una CE menor de 1.2 dS m⁻¹.

Las especies que se clasifican como moderadamente tolerantes son el betabel y la verdolaga, sin embargo, estas especies probablemente puedan presentar un mayor grado de tolerancia. Por último, el espárrago es uno de los cultivos tolerantes a la salinidad, de acuerdo con Francois (1987) se establece que a una concentración de 4.7 dS m⁻¹ el porcentaje de germinación no es afectado pero si hay un retraso en la germinación, sin embargo, Uno *et al.* (1996) encontraron una reducción del 50 % a una concentración de 60 mM equivalente a 6.3 dS m⁻¹ de NaCl.

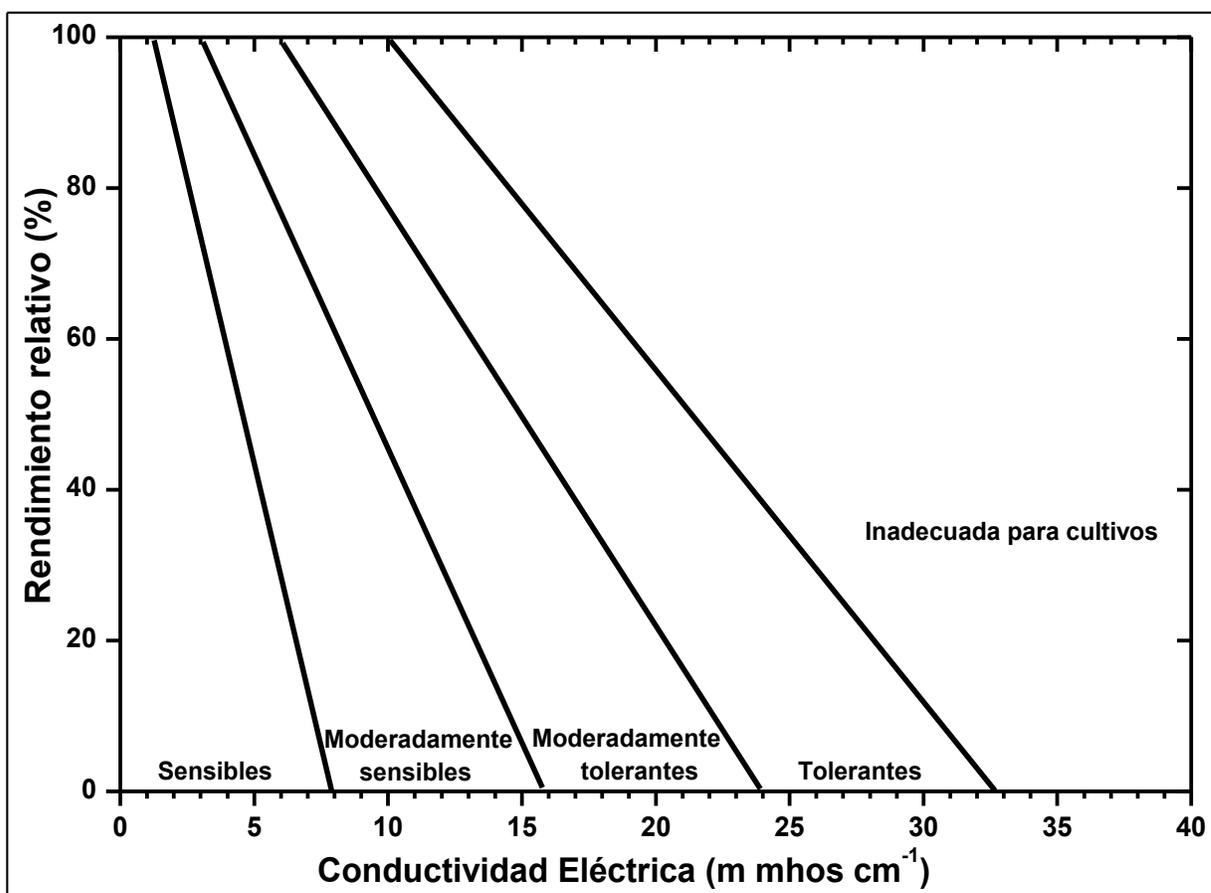


Figura 1. Clasificación de los cultivos de acuerdo a la disminución del rendimiento relativo conforme aumenta la conductividad eléctrica de la solución del suelo (Mass y Hoffman, 1977).

Cuadro 5. Tolerancia a la salinidad en varias especies vegetales de acuerdo al umbral de CE y el porcentaje de declinación en el rendimiento.

Nombre Científico	CE dS m ⁻¹	Rendimiento %	Clasificación
<i>Allium sativum</i> L.	3.9	14.3	MS
<i>Apium graveolens</i> L. var <i>dulce</i> (Mill.) Pers.	1.8	6.2	MS
<i>Beta vulgaris</i> L.	4.0	9.0	MT
<i>Brassica oleracea</i> L. (Botrytis Group)	2.8	9.2	MS
<i>Allium cepa</i> L.	1.2	16.0	S
<i>B. oleracea</i> L. (Capitata Group)	1.8	9.7	MS
<i>Asparagus officinalis</i> L.	4.1	2.0	T
<i>Spinacia oleracea</i> L.	2.0	7.6	MS
<i>Portulaca oleracea</i> L.	6.3	9.6	MT
<i>Daucus carota</i> L.	1.0	14.0	S

Debido a lo anterior, estos parámetros se deben tomar como una guía cuando se trate de evaluar sus efectos en la germinación o el rendimiento. Para realizar una evaluación más precisa se deben realizar ensayos con variedades locales de cultivos específicos y en condiciones de clima, suelo y con un manejo agronómico/biológico representativo de la zona, debido a que estos estudios son complejos.

Como ya se mencionó anteriormente la verdolaga puede llegar a tolerar una concentración salina de 6.3 dS m^{-1} . En algunos estudios realizados por Cros *et al.* (2007) reportaron que a concentraciones bajas ($0-10 \text{ dS m}^{-1}$) de NaCl no se afectó el porcentaje de germinación, sin embargo, a concentraciones de 15 dS m^{-1} la germinación se redujo al 14 %, por lo tanto también se presentó una disminución en la altura, número de hojas y peso de la raíz.

A pesar de la considerable información que se ha venido acumulando en los últimos años, acerca del efecto de la salinidad en las plantas, aún se desconocen aspectos moleculares morfológicos y fisiológicos de la tolerancia de las plantas a las condiciones de salinidad.

III. JUSTIFICACIÓN

La salinización es una de las causas principales del abandono de las tierras agrícolas, en México, el problema se presenta fundamentalmente en las zonas áridas, con riego y a lo largo de la costa.

En México, el cultivo de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) ha sido poco estudiado. Se desconoce si hay variación en los niveles de tolerancia a la salinidad en poblaciones silvestres y cultivadas. Además, no se sabe si dichas variaciones están en función de las etapas fenológicas. Por lo tanto, se tiene el interés de estudiar el comportamiento morfológico y fisiológico de la semilla durante la germinación. Este estudio aportará conocimiento adicional acerca de la tolerancia de la verdolaga a condiciones de salinidad cualitativa y cuantitativa en una etapa muy importante como es la germinación.

IV. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivos

Evaluar el efecto de la salinidad cualitativa y cuantitativa en la germinación de semillas de *Portulaca oleracea* L.

Evaluar el efecto del potencial osmótico y la toxicidad de la salinidad cualitativa y cuantitativa en la germinación de semillas de *Portulaca oleracea* L.

Hipótesis

Existe una respuesta diferencial en la germinación de *P. oleracea* L., causado por el tipo y niveles de salinidad, iones específicos y potencial osmótico.

V. MODELO DE ESTUDIO: *Portulaca oleracea* L.

5.1. Clasificación taxonómica

Para cumplir con los objetivos planteados se seleccionó como modelo las semillas de *Portulaca oleracea* L., esta especie se ubica taxonómicamente de acuerdo a Tapia y Rita (1983), Cronquist (1997), Ocampo, (2002); Redowski y Rzedowski (2005) de la siguiente manera:

Cuadro 6. Clasificación taxonómica de la verdolaga

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta (plantas vasculares)
Superdivisión	Spermatophyta (plantas con semilla)
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida (dicotiledónea)
Subclase	Caryophyllidae
Orden	Caryophyllales
Familia	Portulacaceae
Género	Portulaca
Especie	<i>P. oleracea</i> L.

5.2. Descripción botánica

De acuerdo a Matthews y Levins (1985), Redowski y Rzedowski (2005), Ocampo (2013) la descripción botánica se establece de la siguiente manera:

Es una planta herbácea, nitrófila de ciclo anual, llegándose a encontrar en suelos con un contenido alto de fertilizantes, en los cultivos, así como en los linderos de huertas.

Presenta raíz axonomorfa, de hasta 40 cm, los tallos son cilíndricos postrado a decumbente o ascendente, rojizo a verde o pardo-verduzco, generalmente muy ramificado en la base; ramas extendidas radialmente, de 20 a 50 cm de largo. Las hojas son gruesas y carnosas de 0.5-3.3 x 0.25-1.5 cm alternas u opuestas, simples, con estípulas representadas por un fascículo de pelos, obovadas, obtusas, truncadas, ligeramente papilosas y las basales alternas. Las restantes subopuestas, sentadas o con pecíolo de hasta 4 mm, el ápice es redondeado y con una nervación poco notable. Las flores actinomorfas, hermafroditas solitarias o en grupos axilares de 2-3 flores, pueden tener varios pétalos, pero sólo dos sépalos verdes bajo los pétalos. Los pétalos son obovados, ligeramente soldados en la base, de color amarillo. Los

sépalos son caducos, aquillados, el androceo de 7-15 estambres, el ovario es semiínfero, con varios primordios seminales. El fruto es un pixidio de 5 a 9 mm de largo con semillas numerosas, las semillas son de 0.6-1 mm, reniformes, negras, con testa formada por células más o menos estrelladas, lisas o papilosas con 1 o 2 tubérculos centrales de contorno circular, la cadena cromosómica es de $2n = 54$.

5.3. Origen y distribución

La verdolaga es una planta de origen incierto, aunque existen registros arqueológicos que sugieren su origen en el Nuevo Mundo; se conoce desde tiempos precolombinos. La semilla, llegó a Europa, África y Asia por fauna silvestre o incluso por expediciones humanas. En Norteamérica hay indicios de que esta planta es muy antigua (Gorske, *et al.* 1979; Tutin *et al.*, 1996.). Chapman (1974) identificó semillas de verdolaga dentro de la “Cueva de sal” en una zona arqueológica cerca de Kentucky, Estados Unidos, con la técnica del radiocarbono les determinó una edad aproximada de 1 000 años A.C.

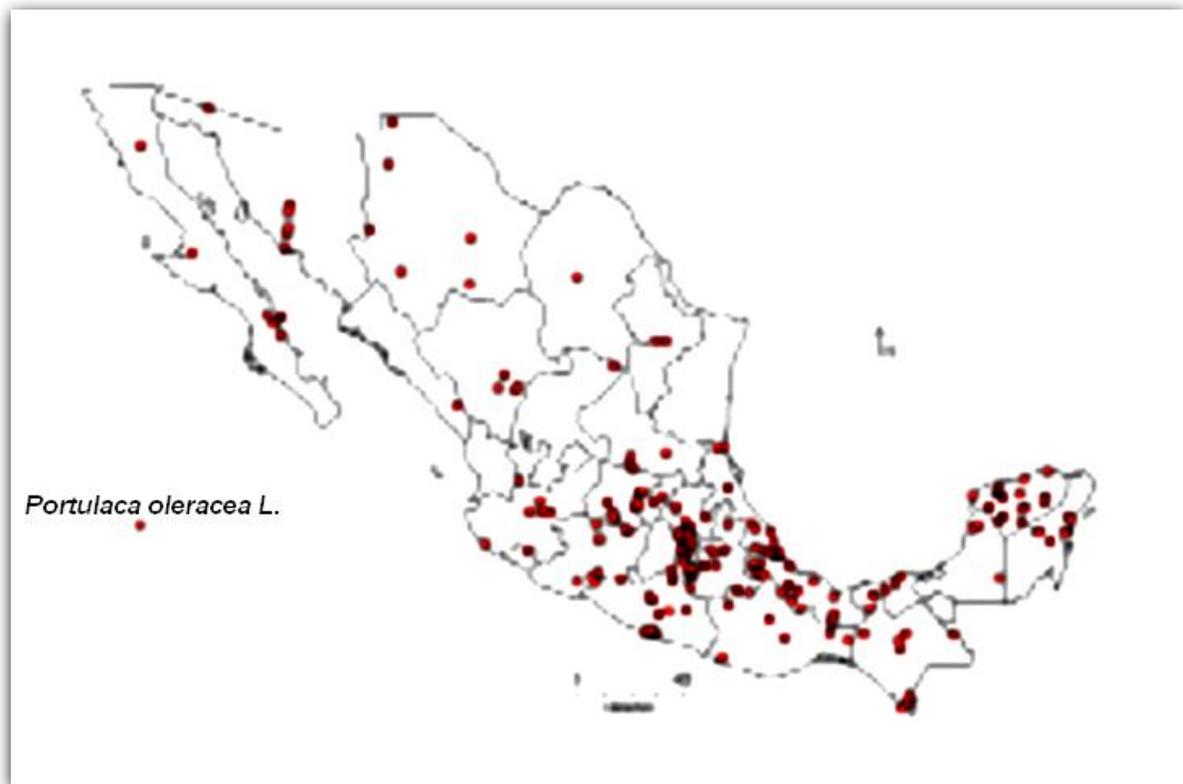
Esta especie se ha naturalizado en casi todo el mundo, habitando diferentes tipos de vegetación, climas, suelos y altitudes que van desde el nivel del mar hasta por arriba de los 2 000 m.s.n.m. Según Gorske *et al.* (1979), en Norteamérica se han identificado 23 especies de las 104 que comprende el género *Portulaca*.

En México se han reportado siete especies del género de *Portulaca* que son; *P. mexicana* Wilson, *P. pilosa* L., *P. oleracea* L., *P. umbraticola* Kunth, *P. grandiflora*, *P. retusa* Engelm, *P. guanajuatensis* Ocampo. En el Valle de México existen las tres primeras especies, en el estado de Veracruz están presentes cuatro especies *P. umbraticola*, *P. grandiflora*, *P. pilosa* y *P. oleracea* L., sin embargo esta última es la más conocida como cultivo (Ford, 1986; Pérez, 1999; Ocampo, 2002 y 2003; Ocampo y Columbus, 2008).

Mera *et al.* (2011) consideraron que México es el centro de origen y distribución de *Portulaca oleracea* L. (Figura 2). Ésta crece en huertos, campos, o en el borde de los caminos, y actualmente existen dos regiones productoras bien definidas en la Ciudad de México: la zona chinampera de Xochimilco-San Gregorio-Mixquic (clima templado) y en Cuautla, Morelos (clima cálido), las semillas utilizadas en estas zonas son criollas y han sido domesticadas como cultivos de hortalizas, por los propios agricultores. De acuerdo a lo anterior, las han

clasificado como variedades agronómicas locales, tales como Queretana, Mixquic, criolla San Gregorio, Americana San Gregorio y la Chapingo.

Figura 2. Lugares de colecta en México de las accesiones de herbario de *P. oleracea* L.



Mera *et al.*, 2011.

5.4. Importancia

En México, la verdolaga está distribuida en la mayor parte del país, es una planta muy valiosa que carece de toxicidad y ha sido utilizada como alimento en humanos y animales (González *et al.*, 1968; Mera *et al.*, 2011), es consumida por diversas etnias en México, en algunas regiones es usada como medicinal, sus tallos y hojas presentan características nutritivas que son ricos en grasas, omega-3, proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales más ácido α -linolénico, que es un compuesto que se encuentra principalmente en pescados (Guil y Rodríguez, 1999; Liu *et al.*, 2000; Yazici *et al.*, 2007).

Estudios recientes de Chen *et al.* (2003); Lim y Quah (2007); Li-Ling *et al.* (2008), han demostrado que la verdolaga contiene compuestos como ácidos fenólicos, proteínas,

flavonoides, dopamina, noradrenalina, sales minerales (potásicas) además con excelentes propiedades antioxidantes, en este cultivo se encuentran componentes naturales que pueden proporcionar una nueva fuente de compuestos para el uso medicinal. Chen *et al.* (2009) reportaron que el extracto etanólico de la planta ha mostrado actividad antihipóxica en ratón. Por otra parte, actúa como un relajante muscular que parece ser debida a su elevado contenido en sales potásicas (Habtemariam *et al.*, 1993). Desafortunadamente, la falta de información y conocimiento hace que muchos la consideren una mala hierba, al igual que ocurre con otras especies importantes para el uso medicinal. En México al igual que en otros países es fácil de encontrarla en los mercados.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Biofísica y Fisiología Vegetal Ambiental del Posgrado en Botánica y en el Laboratorio de Salinidad del Posgrado en Hidrociencias del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Estado de México (19° 29' 00" N a una 98° 54' 00" O y altitud de 2240 m.s.n.m).

6.1. Material vegetal

Se procedió a hacer la colecta de semillas de las poblaciones silvestres del material genético, utilizado para el desarrollo del experimento (Cuadro 7).

Cuadro 7. Coordenadas y altitud del lugar de colecta de los cultivares agronómicos locales (Americana San Gregorio y Mixquic, Distrito Federal) y las colectas silvestres (Colpos, Estado de México y Ometepec, Guerrero) de *Portulaca oleracea* L.

	Latitud	Longitud	Altitud
Americana San Gregorio	18°48' 52.8"	98°58'67.18"	1291 m.s.n.m
Mixquic	19° 13' 29"	98°57'52"	2550 m.s.n.m
Colpos	19° 29'00"	98° 54'00"	2240 m.s.n.m
Ometepec, Gro.	16° 41'29"	98° 24' 54"	330 m.s.n.m

Los dos primeros cultivares han sido seleccionados a través de los años por los productores de la zona de Cuautla, Morelos y San Andres Mixquic Tláhuac, D.F. Las semillas fueron proporcionadas por la M.C. Luz María Mera Ovando, adscripta al Jardín Botánico, del Instituto de Biología (UNAM) y miembro de la red de verdolagas del SINAREFI. Las colectas Colpos y Ometepec, son semillas de plantas que son consideradas arvenses, éstas se obtuvieron mediante colectas dentro de los cultivo en los campos experimentales del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Estado de México y en campos de cultivo en Ometepec Guerrero respectivamente.

Una vez obtenido el material botánico, las semillas se tamizaron para retirar las impurezas vegetales, se seleccionaron utilizando tamices de diferente diámetro, y posteriormente se caracterizaron.

6.2. Caracterización de las Semillas

Las semillas de las cuatro poblaciones de *Portulaca oleracea* L. fueron caracterizadas de acuerdo a su peso y tamaño. Se pesaron 10 lotes de 100 semillas en una balanza analítica. El tamaño de la semilla fue descrito por el largo y el ancho (mm). Asimismo, se realizaron pruebas de calidad fisiológica como: porcentaje de germinación y la realización de una prueba de viabilidad por medio del método de flotación para asegurar que las semillas utilizadas tuvieran el mayor porcentaje de viabilidad.

6.3. Niveles de salinidad

De acuerdo con la clasificación de cultivos tolerantes a la salinidad de Mass y Hoffman (1977) y Kumamoto *et al.* (1990), el umbral de tolerancia de la verdolaga en el extracto de saturación del suelo es de 6.3 dS m^{-1} , a partir de esto, se diseñaron siete niveles de salinidad para cada una de las seis sales puras y cinco geoquímicas, más un testigo (0 dS m^{-1}). Cinco de los siete niveles se ajustaron para tener un decremento teórico en el porcentaje de germinación del 0, 25, 75, 50 y 100 %.

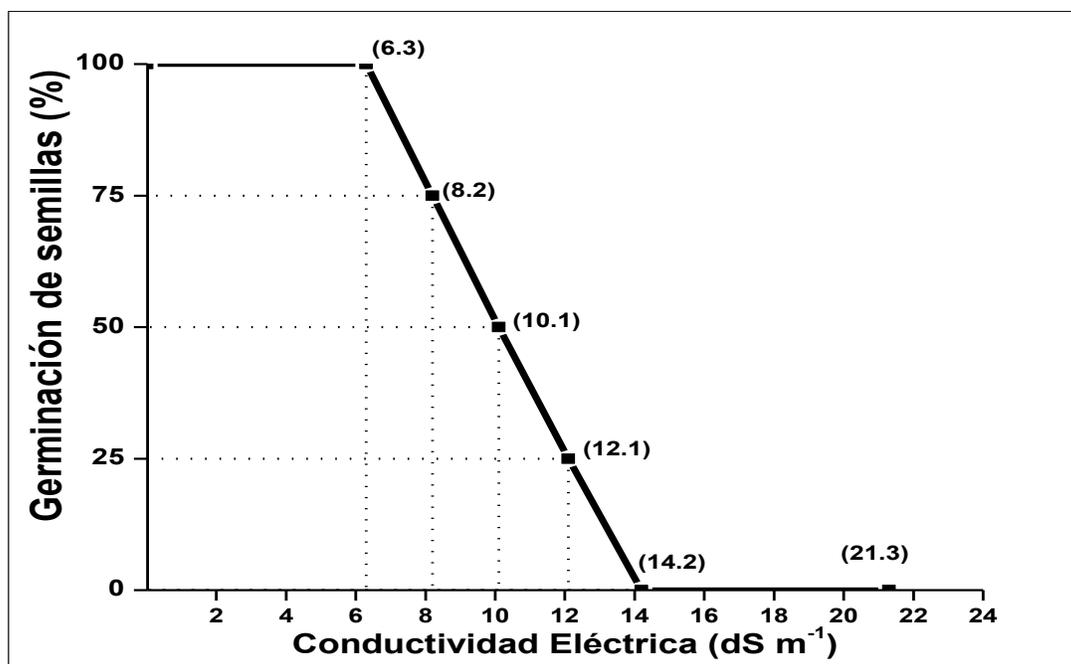


Figura 3. Efecto teórico del incremento de la conductividad eléctrica en el porcentaje de germinación de semillas de *P. oleracea* L. (Mass y Hoffman, 1977; Kumamoto *et al.*, 1990).

Los otros dos fueron: uno de conductividad de 1 dS m^{-1} y otro como un valor máximo de conductividad eléctrica de 21.3 dS m^{-1} (Figura 3).

6.4. Preparación de las soluciones con sales puras o simples

Para la elaboración de las soluciones salinas se utilizaron seis tipos de sales puras inorgánicas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Sales puras inorgánicas utilizadas para la preparación de las soluciones.

Sales	
Cloruro de Sodio	NaCl
Cloruro de calcio dihidratado	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Cloruro de magnesio hexahidrato	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Sulfato de magnesio heptahidrato	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Sulfato de sodio	Na_2SO_4
Bicarbonato de sodio	NaHCO_3

Para la preparación de cada solución se utilizó la gráfica de evaluación teórica, considerando la cantidad de solutos que son necesarios para preparar las soluciones con sales puras. Las cantidades se calcularon mediante la aplicación de fórmulas de acuerdo al Manual 60 del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Richards, 1965):

$$\text{ppm} = 640 (\text{CE} * 10^3)$$

donde:

ppm: se refiere a las partes de un compuesto que están contenidas en 1 000 000 partes. Dentro de una equivalencia: $\text{ppm} = \mu\text{g mL}^{-1} = \text{mg L}^{-1} = \text{mg kg}^{-1} = \mu\text{g g}^{-1}$. Indicando la concentración de sales en solución, expresada en partes por millón.

$\text{CE} * 10^3$: es la conductividad eléctrica del extracto de saturación, en dS m^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\text{meq L}^{-1} = 10 (\text{CE} * 10^3)$$

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

$$\frac{\text{ppm}}{\text{Equivalente químico}} = \text{meq L}^{-1} \quad (\text{meq L}^{-1}) (\text{Equivalente químico}) = \text{ppm}$$

Aclarando que $640 \text{ ppm} = 0.640 \text{ mS cm}^{-1}$ ya que a partir de esto se llega a generar una conductividad eléctrica de 1.0 dS m^{-1} .

De las seis sales puras utilizadas, solo el NaCl, Na₂SO₄ y el NaHCO₃ están en estado anhidro. El análisis químico cuantitativo de la sustancia nos proporciona la fracción másica o porcentaje en masa de cada uno de los componentes de las sales hidratadas por el coeficiente estequiométrico, esto corresponde a la cantidad de agua y a la cantidad de sal anhidra, mediante la siguiente fórmula:

$$\%w \frac{\text{g sal anhidra}}{\text{M sal anhidra}} = \text{Moles de sal anhidra}$$

$$\% w \frac{\text{g de agua}}{\text{M de agua} + \text{sal anhidra}} = \text{Moles de agua}$$

donde:

w: es el subíndice estequiométrico de un elemento cualquiera de la fórmula química de la sustancia

g sal anhidra: son los gramos de la sal

M sal anhidra: es el peso molecular de la sal

g de agua: gramos de agua

M de agua: peso molecular del agua más la sal anhidra

6.5. Preparación de las soluciones con sales geoquímicas

Se utilizó la metodología propuesta por la ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), publicada en el Manual de Análisis Químico de Arinushkina (Kovda, 1947), para determinar la proporción de los solutos. Esta metodología establece que para cada tipo de sal, la relación aniónica y catiónica no deben exceder un cierto valor límite. Así, para la salinidad clorhídrica, la relación entre Cl⁻ y el SO₄⁻² no debe ser mayor de 2.5, para la salinidad sulfático-clorhídrica, este valor debe oscilar entre 1.0 y 2.0, la clorhídrico-sulfática entre 0.2

y 1.0, la sulfática debe ser menor de 0.2, y para la salinidad sulfática-sódica, la relación entre HCO_3^- y el $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ debe ser igual a 2.0 (Cuadro 9).

La cantidad total de solutos requerida para preparar las soluciones con sales geoquímicas, se determinó con las fórmulas descritas en el Manual 60 del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (1965); de tal manera que utilizando las relaciones anteriores se calculó la proporción de cada sal empleada como fuente para la preparación de las mezclas, a continuación se describe el procedimiento.

Cuadro 9. Mezclas de soluciones salinas y las relaciones iónicas utilizadas en los diferentes tratamientos.

Mezcla de la solución salina	Relaciones iónicas
Clorhídrica	$\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-} = 2.5$
Sulfático-Clorhídrica	$\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-} = 1.5$
Clorhídrico-Sulfática	$\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-} = 0.6$
Sulfática	$\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-} = 0.15$
Sulfático-Sódica	$\text{NaHCO}_3^- / \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} = 2.0$

La fuente original para cada sal fue NaCl y MgSO_4 , con una concentración total de 0.64 g L^{-1} , para generar una CE 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 por lo tanto el Cl^- representa un 60.66 % del peso molecular y 17.11 meq L^{-1} de NaCl. El MgSO_4 tiene un peso molecular de 120.37 g y el SO_4^{2-} un peso atómico de 96.06 g representando el 79.8 % del peso molecular y 16.61 meq L^{-1} de MgSO_4 .

Para calcular la concentración de la salinidad clorhídrica, se consideró el peso molecular de cada sal, representado en la siguiente ecuación.

$$\frac{17.11 A}{16.61 B} = 2.5$$

$$A + B = 0.640 \text{ g } \text{L}^{-1}$$

donde:

A: representa al cloruro de sodio en g

B: representa al sulfato de magnesio en g

Resolviendo la ecuación anterior se obtuvo la cantidad de cada sal para preparar la solución. Por lo tanto, para generar una CE teórica del extracto de saturación a 1.0 dS m^{-1} , se requiere $A = 0.453 \text{ g L}^{-1}$ de NaCl y $B = 0.187 \text{ g L}^{-1}$ de MgSO_4 . El procedimiento se aplicó para todas las concentraciones, variando la relación aniónica entre las sales empleadas, manteniéndose el mismo porcentaje de los aniones cloruro y sulfato.

Para la sulfático-clorhídrica se requiere $A = 0.379 \text{ g L}^{-1}$ de NaCl y $B = 0.261 \text{ g L}^{-1}$ de MgSO_4 . La salinidad Clorhídrico-sulfática $A = 0.236 \text{ g L}^{-1}$ NaCl y $B = 0.404 \text{ g L}^{-1}$ MgSO_4 . La sulfática $A = 0.081 \text{ g L}^{-1}$ y $B = 0.559 \text{ g L}^{-1}$ MgSO_4 . El procedimiento del cálculo es igual al caso anterior, solamente cambia la relación aniónica indicada en el Cuadro 9.

En el caso de la salinidad sulfático-sódica, la fuente de sal es MgCl_2 , Na_2SO_4 y NaHCO_3 , a una concentración total de 0.640 g L^{-1} . Como en el caso anterior se consideró el peso molecular de cada sal. El MgCl_2 tiene un PM de 95.22 g y el Cl_2^- de 70.91 g , por lo tanto el Cl^- representa un 74.47% del PM y 21.0 meq L^{-1} . El Na_2SO_4 un PM de 142.04 g y el SO_4^{-2} de 98.06 g , entonces el SO_4^{-2} representa un 67.63% del PM y 14.08 meq L^{-1} . El NaHCO_3 un PM de 84.0 g y el HCO_3^- de 61.0 g por lo tanto este representa un 72.63% del PM y 11.91 meq L^{-1} . Esto se puede apreciar en la siguiente ecuación.

$$\frac{11.91 C}{21.0 A + 14.08 B} = 2.0$$

$$A + B + C = 0.640 \text{ g L}^{-1}$$

donde:

A: representa al cloruro de sodio en g

B: representa al sulfato de magnesio en g

C: representa al bicarbonato de sodio en g

En la ecuación anterior existen 3 valores que satisfacen una relación de 2.0, por lo tanto fue necesario escoger valores más pequeños, para que existiera una relación igual a 2.0 mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{C}{a+b} = 2.0; \quad a = 1.0, b = 1.0, c = 4.0$$

$$\frac{4}{1+1} = 2.0$$

De acuerdo a los valores de a, b y c de Cl^- , SO_4^{-2} y HCO_3^- que están expresados en meq L^{-1} , por lo tanto, estas ecuaciones pueden expresarse de la siguiente forma:

$$21.0 A_o = a = 1 \text{ --- } A_o = 0.0476$$

$$14.08 B_o = b = 1 \text{ --- } B_o = 0.0710$$

$$11.91 C_o = c = 4 \text{ --- } C_o = 0.3359$$

A_o , B_o y C_o son las cantidades en g de MgCl_2 , Na_2SO_4 y NaHCO_3 , necesarias para obtener una solución de 1 litro que contenga 1.0 meq L^{-1} de Cl^- , SO_4^{-2} y 4 meq L^{-1} de HCO_3^- .

Como los valores anteriores son proporcionales con los de A, B y C, entonces calculando la cantidad de sal que debe ser aplicada para cada salinidad, y que debe generar por lo tanto una CE teórica en el extracto de saturación de 1.0 dS m^{-1} , entonces de acuerdo a esto se tiene:

$$A = \frac{(A + B + C)A_o}{(A_o + B_o + C_o)} = 0.0670 \text{ g L}^{-1} \text{ de } \text{MgCl}_2$$

$$B = \frac{(A + B + C)B_o}{(A_o + B_o + C_o)} = 0.100 \text{ g L}^{-1} \text{ de } \text{Na}_2\text{SO}_2$$

$$C = \frac{(A + B + C)C_o}{(A_o + B_o + C_o)} = 0.473 \text{ g L}^{-1} \text{ de } \text{NaHCO}_3$$

Al igual que en las sales puras, los cálculos de concentraciones de los tratamientos con sales geoquímicas se realizó el mismo procedimiento que para las sales anhidras. De acuerdo a lo anterior se prepararon siete concentraciones salinas más un testigo para cada una de las sales puras y geoquímicas.

Para eliminar, el efecto de la toxicidad del efecto del potencial osmótico, se utilizó el Polietilenglicol 8000 (PEG 8000), a una concentración de 50, 100, 200 y 300 g L^{-1} respectivamente se mezcló con agua desionizada, en el cual se desarrollaron cuatro potenciales de agua (Ψ_o): -0.064, -0.15, -0.69, -1.64 MPa.

El Ψ_o del medio fue verificado con un osmómetro de presión de vapor (Wescor In., Utah, USA, modelo 5520), calibrado con estándares de NaCl Opti-Mole (Wescor Inc., Utah, USA).

6.6. Tratamientos y diseño experimental

A cada una de las sales y a cada uno de los niveles se le consideró un tratamiento, los cuales se les aplicó a sendos lotes de 100 semillas de cada una de las poblaciones de verdolaga. Cada tratamiento se replicó cuatro veces y se distribuyeron en un diseño completamente al azar.

Los lotes de 100 semillas se colocaron en cajas Petri con papel filtro, previamente humedecido con las soluciones salinas y se incubaron en una cámara germinadora a una temperatura de 26 ± 1 °C. Este procedimiento se realizó en cada una de las cuatro poblaciones de *P. oleracea* L.

6.7. Variables registradas

6.7.1 Variables registradas a las soluciones salinas:

En las soluciones se les determinó la conductividad eléctrica (CE), mediante un conductímetro y el pH con un potenciómetro (HANNA HI 255 combined meter pH/mv & EC/TDS/NaCl).

El Potencial osmótico ($\Psi_o = \text{MPa}$) se determinó con un osmómetro de presión de vapor (Wescor In., Utah, USA, modelo 5520), calibrado con estándares de NaCl Opti-Mole (Wescor Inc., Utah, USA). La lectura se registró en mmol kg^{-1} , los valores obtenidos se transformaron a MPa de acuerdo con la fórmula de Van't Hoff:

$$\Psi_o = MRT$$

donde:

Ψ_o : es el potencial osmótico

M : es la concentración de la solución en mol kg^{-1} de agua

R : es la constante general de los gases ($0.00820 \text{ kg MPa mol}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$)

T : es la temperatura absoluta $^\circ\text{K}$

Asimismo se determinó la presión osmótica y teórica generada por las sales en solución mediante la siguiente relación (Richards, 1965).

$$PO = CE * 0.36$$

donde:

PO: es la presión osmótica expresada en atmósferas y para transformarlos a MPa se divide entre 10.

CE: es la conductividad eléctrica en extracto de saturación (dS m^{-1} a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$).

6.7.2. Germinación

Una vez que las semillas se colocaron en la cámara de germinación, éstas se revisaron cada 6 h para la Americana y la Mixquic, cada 12 h para la Colpos y cada 24 h para la Ometepec para registrar el número de semillas germinadas. Se consideró una semilla germinada cuando la radícula alcanzó al menos una longitud de 3 mm y conservaba su integridad. El tiempo de revisión se determinó mediante pruebas preliminares de germinación para cada una de las poblaciones. Con los datos se elaboraron gráficas de la cinética de la germinación.

El porcentaje de germinación (PS) se calculó dividiendo el número de semillas germinadas (N) entre el número total de semillas en la solución salina (N_s) para cada repetición en los tratamientos, sales y poblaciones.

$$PS = \frac{N}{N_s} \times 100$$

6.7.3. Velocidad de germinación

La velocidad de germinación propuesto por Maguire (1962), es uno de los más utilizados (Villagra, 1997; Nakagawa, 1999) y se expresa como el número de semillas germinadas por día. Su fórmula es:

$$VG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_i}{N_i} + \dots + \frac{G_n}{N_n} = \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{N_i}$$

donde:

N_1, N_2, \dots, N_n : representa los números de días desde el inicio del ensayo de germinación.

G_1, G_2, \dots, G_n : representan el número de semillas germinadas en el día i -ésimo.

Y , considerando que el valor de G es una media aritmética de los N_i (días necesarios para la germinación) ponderada por los G_i , y es por ello su unidad es en días.

6.7.4 Recuperación de las semillas

Asimismo se determinó la recuperación de semillas, sometidas a las diferentes sales y concentraciones, tras finalizar la máxima germinación, las semillas no germinadas fueron lavadas y puestas de nuevo a germinar en agua destilada (4 ml por caja Petri).

6.8. Análisis estadístico

Previo a su análisis los datos fueron transformados a arcoseno para asegurar la distribución normal de los datos e igualdad de varianza. Una vez que los datos se transformaron se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y se realizaron las comparaciones de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.01$). Dichos análisis se realizaron con el programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS, 2010). Las gráficas se elaboraron con el paquete estadístico Origin® versión 9.1.0 (2013).

Para cada tipo de sal se calibró un modelo lineal ajustado por el origen, empleando la técnica de análisis de regresión, el cual relaciona la conductividad eléctrica (CE) de cada solución con su concentración y con su potencial osmótico.

El modelo en forma general, tiene la estructura siguiente:

$$y = \beta_1 x$$

y : representa la concentración de la solución mg L^{-1} o ppm, en un primer caso, la concentración de la solución en meq L^{-1} , en segundo caso, y el potencial osmótico en MPa desarrollada por la solución en un tercer caso.

β_1 : es la pendiente de la recta, o sea, el número de unidades en ppm, meq L^{-1} ó MPa, que aumenta la solución (y) por cada unidad de CE en dS m^{-1} que aumenta la misma solución.

x : es la conductividad eléctrica de la solución, en dS m^{-1} o milimhos cm^{-1}

El ajuste del modelo se hizo con base en los valores de potencial osmótico de cada solución y con los valores de las sales expresados en mg L^{-1} , utilizando el método de mínimos cuadrados.

VII. RESULTADO Y DISCUSIÓN

7.1. Caracterización de la semilla

Las semillas de las poblaciones de *P. oleracea* L. fueron estadísticamente diferentes en el tamaño con una $P < 0.001$. Las semillas de mayor tamaño fueron las del cv. Americana con 1.10 mm de largo y 1.02 mm de ancho. Seguida del cv. Mixquic, colecta Colpos y colecta Ometepec (Cuadro 10). En relación al peso el cv. Americana fue estadísticamente superior a las otras; el cv. Mixquic y la colecta Colpos fueron estadísticamente iguales, pero superiores a las semillas de Ometepec (Cuadro 10). Mera *et al.* (2011) reportaron valores similares en tamaño, pero inferiores para el peso con respecto a los consignados en este trabajo en la Americana. Los mismos autores consignan valores similares para el peso de la Mixquic. La variación entre el tamaño y peso entre poblaciones ya ha sido observado en otras especies, por ejemplo, en *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franc, *Pinus monticola* Douglas ex. D. Don. y *P. strobus* L. (Larreta *et al.*, 2008 y Mehes *et al.*, 2009).

Las variaciones en tamaño y peso en este estudio probablemente se deban a la selección de las semillas mediante la domesticación. Las poblaciones del cv. Americana y cv. Mixquic se consideran variedades criollas, es decir ya han pasado a través de un proceso de selección, aunque la selección del tamaño de la semilla haya sido indirectamente, debido a que el vástago es la estructura de interés; mientras que la Colpos y la Ometepec son poblaciones silvestres.

Cuadro 10. Largo y ancho de semilla y peso de 100 semillas de los cultivares Americana y Mixquic y de las colectas Colpos y Ometepec de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.). Los valores son el promedio de 100 semillas \pm el error estándar.

Cultivares/colectas	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso de 100 semillas (mg)
Americana	1.10 \pm 0.02 a	1.02 \pm 0.01 a	44.0 \pm 1.12 a
Mixquic	0.92 \pm 0.01 b	0.85 \pm 0.01 b	20.9 \pm 0.24 b
Colpos	0.84 \pm 0.01 c	0.76 \pm 0.02 c	18.9 \pm 0.13 b
Ometepec	0.60 \pm 0.01 d	0.52 \pm 0.01 d	6.7 \pm 0.07 c

Letras iguales dentro de las columnas denota que no hay diferencia significativa ($P < 0.001$).

Peralta (2004) mencionó que las diferencias entre una planta silvestre y una cultivada son distinguibles a simple vista, por lo tanto, también presentan algunos cambios en la morfología de la semilla, estas diferencias que se manifiestan probablemente se dan cuando las plantas son sometidas a condiciones adversas como sequía, heladas y salinidad.

Con respecto a las diferencias entre cultivares y colectas, Andrade y Ferguson (1991), Nordestgaard y Anderson (1991) mencionaron que dentro del mismo género y especie existe un peso y tamaño específico, sin embargo, pueden diferir significativamente según el cultivar, asimismo, esto va depender del tipo de manejo de cada una de ellas y también en la zona donde se encuentre. Por otra parte, Moreira y Nakagawa (1988); Ramírez *et al.* (2011); Pascualides y Ateca (2013) reportaron que el tamaño de la semilla puede presentar efectos diferenciales, esto probablemente se deba a ciertos factores bióticos o a su viabilidad. Estas diferencias probablemente tengan una relación con los procesos biológicos como germinación, crecimiento y desarrollo de plántulas, que podrían servir como base para el establecimiento de una estrategia de selección.

7.2. Variables registradas en las soluciones salinas: relación del potencial osmótico y la conductividad eléctrica

Para entender la importancia de las concentraciones de las sales solubles en las soluciones acuosas, es necesario recordar que la CE depende del número de partículas en la solución y por lo tanto de su peso, fórmula empírica entre los átomos de un compuesto. Para este efecto se determinó la CE calculada de acuerdo a la CE umbral de la *P. oleracea* L. para cada tipo de salinidad y concentración expresada en dS m^{-1} . Para determinar la CE calculada nos basamos en la relación entre la CE y la concentración salina (C_s) en una solución mediante la siguiente ecuación empírica: (Richards, 1965).

$$C_s = CE * 640$$

Para cada una de las soluciones se calculó el Potencial Osmótico (Ψ_o) usando la siguiente ecuación $\Psi_o = CE * -0.036$ en MPa (Chang, 2013), lo anterior también se puede expresar en presión osmótica $PO = CE * 0.36$ en atm (Salisbury y Ross, 1994), que es el resultado de la

combinación de la ley de Boyle, Charles y Avogadro. Asimismo, se determinó para cada una de las soluciones el potencial osmótico experimental usando un osmómetro de presión de vapor y mediante la fórmula molar, de acuerdo a la ecuación general de los gases ideales y a través de la estequiometría según Chang (2013).

$$\Psi_o = MRT$$

En donde: M es igual a la concentración molar de la solución, R es la constante general de los gases y T es la temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$).

En el cuadro 11 se presentan los valores de la CE calculada y experimental de las concentraciones salinas, el Ψ_o calculado y el experimental, además del pH. Estas soluciones fueron usadas como tratamientos de sales puras. Los valores medidos para la CE muestran que el $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} > \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaHCO}_3 \geq \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Cabe mencionar que la CE calculada y experimental para los cloruros fueron similares y no así, para los sulfatos. Para el Ψ_o de acuerdo a los valores obtenidos con el osmómetro (cuadro 11 y figura 4), muestran que el $\text{NaCl} > \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} > \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > \text{NaHCO}_3 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; siendo el NaCl quien presentó la presión osmótica mayor (potencial osmótico menor) y el $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ la presión osmótica menor (potencial osmótico mayor). Por otra parte, los valores de Ψ_o calculado (teóricos) con la ecuación empírica mostraron similitud con los valores obtenidos de Ψ_o determinados experimentalmente con un osmómetro de presión de vapor, por lo que su estimación es correcta. Sin embargo, el Ψ_o calculado mediante la fórmula $\Psi_o = \text{CE} * 0.36$ (teórico) fue uniforme para todas las sales, pero diferente significativamente a los valores obtenidos experimentalmente.

Los pH de las soluciones salinas indicaron que el NaCl, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tienen una reacción moderadamente ácida, el pH osciló entre 5.1-6.0, el $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Na_2SO_4 una reacción ligeramente ácida con un pH que osciló entre 6.0-6.5, y el NaHCO_3 una reacción alcalina con valores de pH entre 7.9 y 8.9. Sin embargo, es necesario recordar que cada una de las sales tiene diferente solubilidad.

Cuadro 11. Valores de concentración (Cs), conductividad eléctrica (CE), potencial osmótico (Ψ_o) y pH en soluciones de sales puras.

Sal	C_s mg L ⁻¹	CE		$\Psi_o = CE * 0.36$ (MPa)		Teórico	Ψ_o Exp.	pH
		Cal.	Exp.	Cal.	Exp.	$\Psi_o = MRT$	Osmómetro	
Testigo	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
	640.0	1.00	1.20	-0.036	-0.043	-0.053	-0.10	5.20
NaCl	40320	6.30	6.90	-0.226	-0.248	-0.337	-0.31	6.40
	52480	8.20	8.90	-0.295	-0.320	-0.438	-0.41	6.16
	64640	10.1	10.8	-0.363	-0.388	-0.540	-0.59	6.02
	77440	12.1	12.7	-0.435	-0.457	-0.647	-0.66	5.84
	90880	14.2	14.8	-0.511	-0.532	-0.759	-0.77	5.67
	13632	21.3	21.0	-0.766	-0.756	-1.139	-1.12	5.55
CaCl ₂ .2H ₂ O	848.0	1.00	1.25	-0.036	-0.045	-0.042	-0.09	5.35
	5340.0	6.30	7.04	-0.226	-0.253	-0.266	-0.22	5.09
	6950.0	8.20	8.92	-0.295	-0.321	-0.347	-0.28	5.22
	8561.0	10.1	10.8	-0.363	-0.388	-0.427	-0.35	5.28
	10256	12.1	12.9	-0.435	-0.464	-0.512	-0.46	5.34
	12036	14.2	14.9	-0.511	-0.536	-0.601	-0.51	5.38
	18054	21.3	21.3	-0.766	-0.766	-0.901	-0.76	5.35
MgCl ₂ .6H ₂ O	1367.0	1.00	1.41	-0.036	-0.051	-0.049	-0.13	6.40
	8610.0	6.30	7.70	-0.226	-0.277	-0.310	-0.25	5.89
	11206	8.20	9.70	-0.295	-0.349	-0.404	-0.31	5.78
	13803	10.1	11.7	-0.363	-0.421	-0.498	-0.39	5.69
	16536	12.1	13.7	-0.435	-0.493	-0.596	-0.47	5.63
	19406	14.2	15.8	-0.511	-0.568	-0.700	-0.57	5.58
	29108	21.3	22.7	-0.766	-0.817	-1.050	-0.80	5.48
MgSO ₄ .7H ₂ O	1311.0	1.0	0.88	-0.036	-0.031	-0.026	-0.11	6.50
	8256.0	6.3	3.93	-0.226	-0.141	-0.163	-0.15	6.03
	10746	8.2	4.70	-0.295	-0.169	-0.213	-0.18	5.92
	13236	10.1	5.60	-0.363	-0.201	-0.262	-0.20	5.84
	15857	12.1	6.50	-0.435	-0.234	-0.314	-0.22	5.78
	18609	14.2	7.40	-0.511	-0.266	-0.369	-0.25	5.74
	27914	21.3	10.1	-0.766	-0.363	-0.553	-0.33	5.68
Na ₂ SO ₄	640.0	1.00	1.16	-0.036	-0.023	-0.033	-0.09	7.02
	4032.0	6.30	5.97	-0.226	-0.129	-0.208	-0.18	6.49
	5248.0	8.20	7.54	-0.295	-0.162	-0.271	-0.21	6.40
	6464.0	10.1	8.95	-0.363	-0.200	-0.333	-0.25	6.31
	7744.0	12.1	10.4	-0.435	-0.232	-0.400	-0.30	6.24
	9088.0	14.2	11.9	-0.511	-0.271	-0.469	-0.35	6.16
	13632	21.3	16.8	-0.766	-0.385	-0.704	-0.53	6.06
NaHCO ₃	640.0	1.00	0.65	-0.036	-0.042	-0.037	-0.09	7.90
	4032.0	6.30	3.59	-0.226	-0.215	-0.235	-0.19	8.42
	5248.0	8.20	4.50	-0.295	-0.271	-0.306	-0.23	8.45
	6464.0	10.1	5.56	-0.363	-0.322	-0.376	-0.28	8.99
	7744.0	12.1	6.46	-0.435	-0.374	-0.451	-0.34	8.45
	9088.0	14.2	7.52	-0.511	-0.428	-0.529	-0.41	8.37
	13632	21.3	10.7	-0.766	-0.604	-0.794	-0.64	8.38

Los valores obtenidos en la CE experimental disminuyeron de acuerdo a la sal, en la salinidad clorhídrica > sulfático- clorhídrica > clorhídrico-sulfática > sulfático-sódica > sulfática, aquí cabe destacar que la salinidad clorhídrica presentó la CE mayor y la salinidad sulfática la CE menor. Por otra parte, la CE calculada (teórica) y la CE experimental (determinada con un medidor de pH) fueron similares para las salinidades clorhídricas y sulfático-clorhídrica y no así para las demás salinidades (Cuadro 12).

Para el caso de los valores de Ψ_o obtenido con el osmómetro de presión de vapor, se observó que fue decreciendo en la siguiente forma: salinidad clorhídrica > sulfático-clorhídrica > sulfático-sódica > clorhídrico-sulfática > sulfática, lo cual indica que la clorhídrica registró el valor menor (mayor presión osmótica) y la sulfática el Ψ_o mayor (presión osmótica menor) (Cuadro 12). Así mismo, el Ψ_o calculado (con la ecuación empírica) a través de las diferentes concentraciones salinas y el Ψ_o experimental (determinado en el osmómetro de presión de vapor) de la salinidad clorhídrica, sulfático-clorhídrica y sulfático-sódica mostraron que hay similitud entre los resultados y no así para las demás. Siguiendo estos razonamientos, los resultados reales ratifican el efecto estructural que tienen los iones en la CE y el Ψ_o , ya que al emplear un anión cada vez más grande aumenta la CE, al mismo tiempo se reduce el Ψ_o .

Para el caso del pH, los resultados indicaron que las salinidades clorhídrica, sulfático-clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfática presentaron una reacción moderadamente ácida con valores que oscilaron entre 5.07-6.36; la salinidad sulfático-sódica cuya fuente de sal fue el NaHCO_3 , las cuales tuvieron una reacción alcalina con valores que oscilaron entre 8.01-8.24. Es importante mencionar que el pH de una solución siempre estará influenciado por la composición de los cationes intercambiables, la concentración y la presencia o ausencia de iones bicarbonatos (HCO_3).

La relación del potencial osmótico (Ψ_o) con respecto a la conductividad eléctrica se presenta en la Figura 4, donde se muestra que los cloruros al incrementar la concentración aumenta su CE y a la vez disminuye su potencial osmótico (Ψ_o). En los sulfatos el descenso es menos pronunciado de dichos potencial osmótico, tal vez esto se deba al comportamiento geoquímico de cada uno de los iones salinos.

Cuadro 12. Valores de concentración (Cs), conductividad eléctrica (CE), potencial osmótico (Ψ_o) y pH en salinidades geoquímicas.

Sal	C_s mg L ⁻¹		CE dS m ⁻¹		$\Psi_o=CE*0.36$ (MPa)		Teórico	Ψ_o Exp.	pH		
	NaCl	MgSO ₄	Cal.	Exp.	Cal.	Exp.	$\Psi_o= MRT$	osmómero			
Testigo	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.00		
	453.0	382.0	1.00	1.11	-0.036	-0.039	-0.045	-0.06	6.31		
	2855	2409	6.30	7.65	-0.226	-0.273	-0.286	-0.25	5.95		
Clorhídrica $Cl^-/SO_4^{2-}=2.5$	3717	3135	8.20	9.60	-0.295	-0.345	-0.373	-0.31	5.88		
	4578	3861	10.1	11.7	-0.363	-0.417	-0.459	-0.38	5.82		
	5484	4626	12.1	13.7	-0.435	-0.493	-0.550	-0.47	5.76		
	6436	5429	14.2	15.8	-0.511	-0.565	-0.646	-0.55	5.71		
	9654	8143	21.3	22.9	-0.766	-0.821	-0.969	-0.84	5.62		
	379.0	533.0	1.00	1.30	-0.036	-0.047	-0.042	-0.05	6.25		
Sulfático Clorhídrica $Cl^-/SO_4^{2-}=1.5$	2390	3361	6.30	6.93	-0.226	-0.248	-0.267	-0.20	5.92		
	3111	4374	8.20	8.73	-0.295	-0.313	-0.347	-0.26	5.89		
	3833	5387	10.1	10.5	-0.363	-0.378	-0.428	-0.32	5.86		
	4591	6454	12.1	12.4	-0.435	-0.443	-0.512	-0.40	5.82		
	5388	7574	14.2	14.2	-0.511	-0.511	-0.601	-0.47	5.78		
	8082	11362	21.3	20.6	-0.766	-0.742	-0.903	-0.75	5.69		
Clorhídrico Sulfático $Cl^-/SO_4^{2-}=0.6$	236.0	828.0	1.00	1.51	-0.036	-0.054	-0.036	-0.08	5.07		
	1485	5216	6.30	6.32	-0.226	-0.227	-0.228	-0.13	5.33		
	1932	6789	8.2	7.93	-0.295	-0.284	-0.296	-0.16	5.34		
	2379	8362	10.1	9.50	-0.363	-0.342	-0.365	-0.19	5.36		
	2851	10018	12.1	11.1	-0.435	-0.399	-0.437	-0.23	5.33		
	3346	11756	14.2	12.3	-0.511	-0.441	-0.514	-0.26	5.34		
Sulfática $Cl^-/SO_4^{2-}=0.15$	5018	17634	21.3	17.9	-0.766	-0.644	-0.771	-0.44	5.36		
	81.35	1144	1.00	1.13	-0.036	-0.040	-0.029	-0.06	5.11		
	512.5	7205	6.30	5.31	-0.226	-0.191	-0.186	-0.11	5.37		
	667.1	9378	8.20	6.55	-0.295	-0.234	-0.242	-0.13	5.43		
	821.6	11551	10.1	7.79	-0.363	-0.280	-0.298	-0.16	5.44		
	984.3	13838	12.1	8.98	-0.435	-0.323	-0.357	-0.20	5.46		
Sulfático-sódica $HCO_3^-/Cl^-+SO_4^{2-}=2.0$	1155	16239	14.2	10.1	-0.511	-0.364	-0.419	-0.21	5.46		
	1733	24359	21.3	14.4	-0.766	-0.518	-0.629	-0.34	5.48		
	Para preparar la salinidad sulfático-sódica se utilizaron las siguientes sales:										
		NaHCO ₃	MgCl ₂	Na ₂ SO ₄							
	Sulfático Sódica	473.0	143.0	100	1.00	0.95	-0.036	-0.034	-0.038	-0.07	8.01
		2981	902.0	630	6.30	5.28	-0.226	-0.187	-0.239	-0.16	8.23
3878		1173	820	8.20	6.61	-0.295	-0.238	-0.311	-0.20	8.24	
4777		1445	1010	10.1	7.90	-0.363	-0.284	-0.383	-0.24	8.24	
5723		1732	1210	12.1	9.21	-0.435	-0.331	-0.458	-0.30	8.24	
6716		2032	1420	14.2	10.6	-0.511	-0.382	-0.538	-0.38	8.24	
1008	3048	2130	21.3	15.2	-0.766	-0.547	-0.807	-0.63	8.16		

Experimental (Exp), Calculado (Cal), Potencial Osmótico (Ψ_o), concentración salina (C_s).

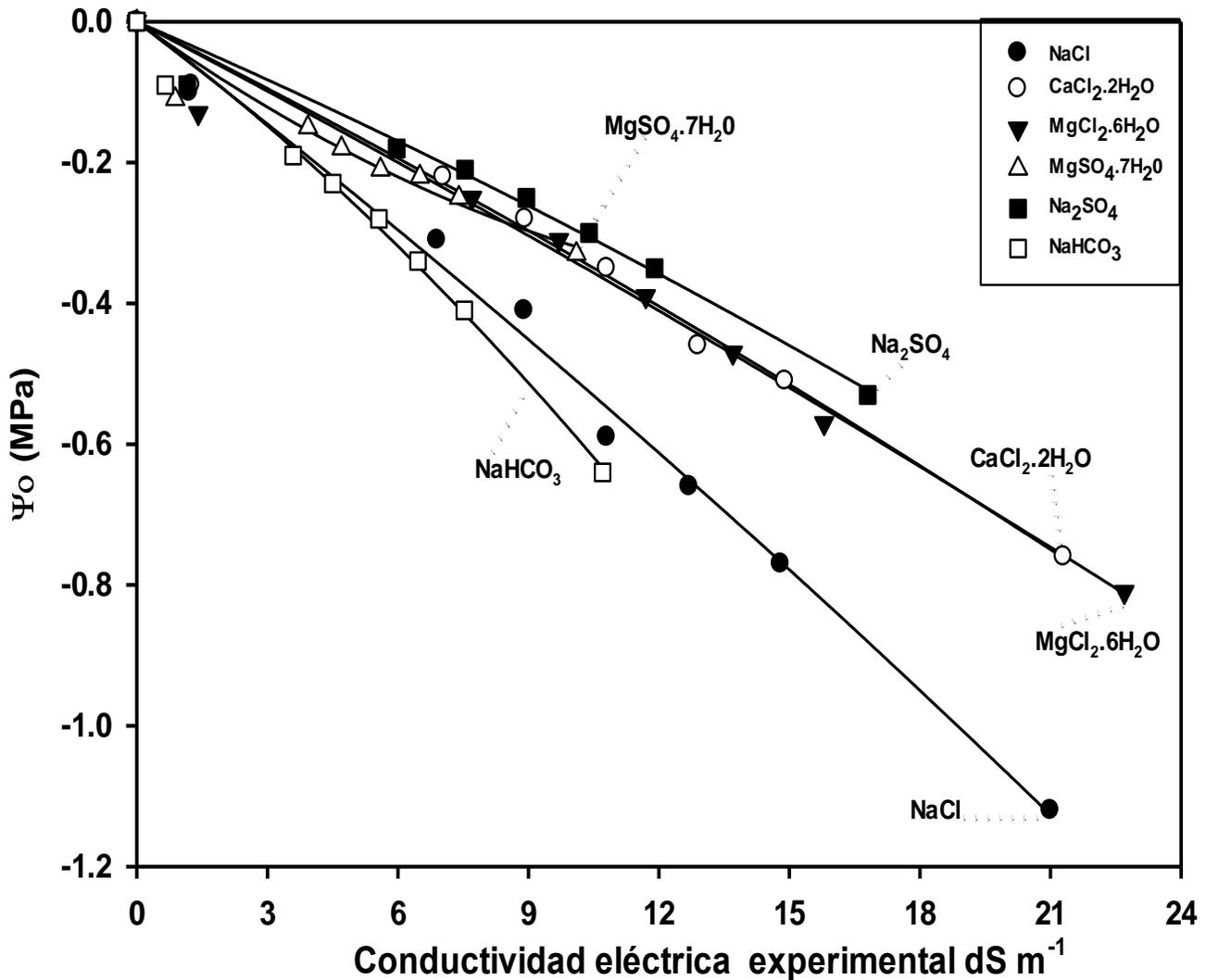


Figura 4. Potencial osmótico de las soluciones salinas y su relación con la conductividad eléctrica de la solución salina experimental.

La relación de la CE con el contenido de sales geoquímicas y potencial osmótico (Ψ_o) se observa en la Figura 5, donde se aprecian sus respectivas curvas de regresión lineal. La salinidad clorhídrica y sulfático-clorhídrica desarrollan una CE mayor y Ψ_o menor y no así para clorhídrico-sulfática, sulfática y sulfático-sódica generando CE menor y un Ψ_o mayor (menor presión osmótica).

De acuerdo a estos resultados podemos observar como los iones cloruro predominan mediante las diferentes relaciones iónicas con respecto a los sulfatos en las diferentes

soluciones salinas, de tal manera que el potencial Osmótico (Ψ_o) siempre adquirirá valores menores, cuando en las soluciones salinas se presente una predominancia de los iones cloruro.

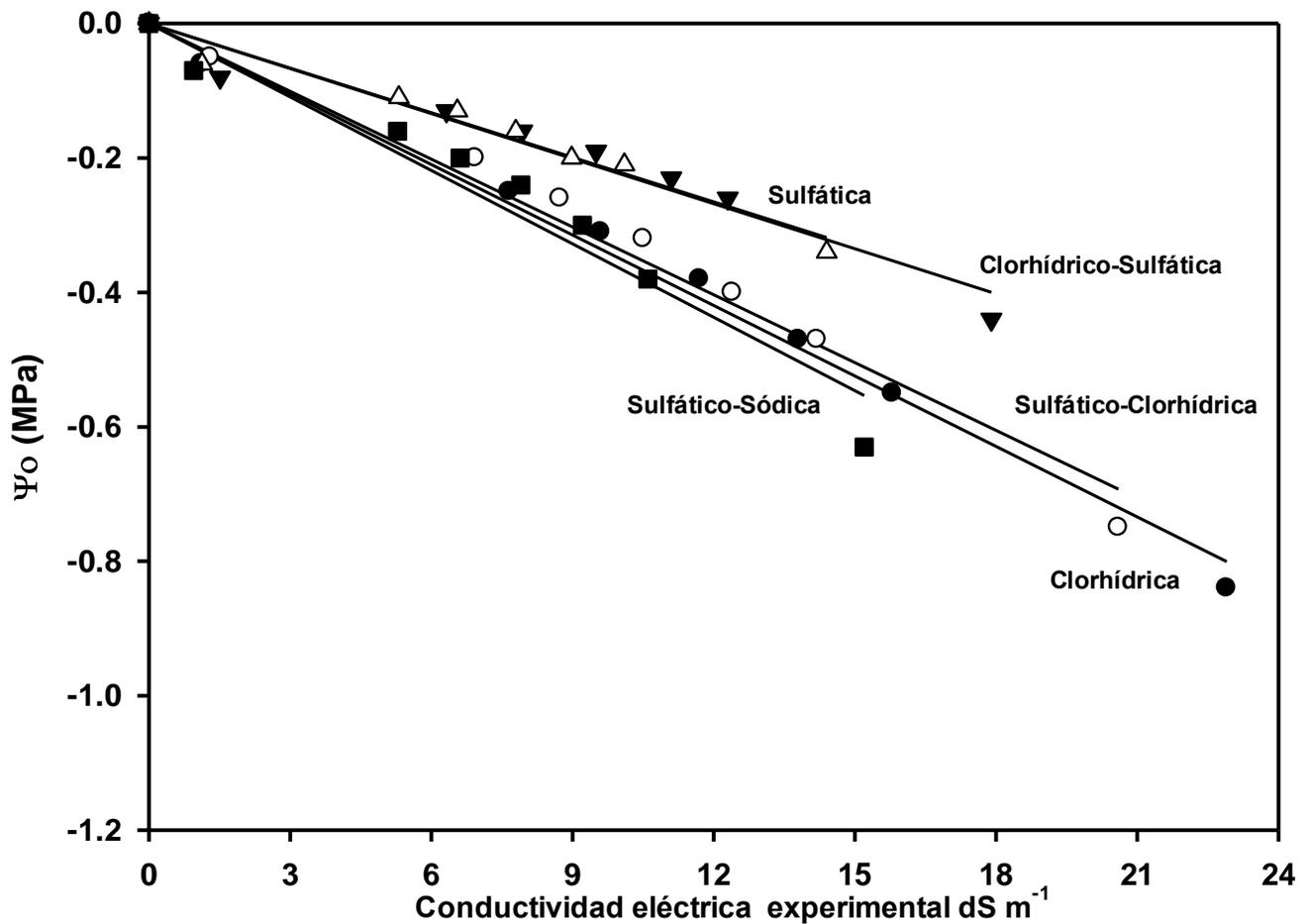


Figura 5. Potencial osmótico de las soluciones salinas y su relación con la conductividad eléctrica de la solución salina experimental.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente la CE y el Ψ_o ofrecen información acerca de la concentración total de sales solubles en una solución salina, a mayor valor de la CE, mayor es la concentración de sales de una solución y viceversa. La CE es un parámetro muy útil para generar una concentración determinada de solutos en una solución. Por otra parte, el pH es un parámetro indicativo del grado de acidez o alcalinidad del medio, que puede afectar en mayor o menor grado muchos procesos químicos y biológicos, pero esta relación se altera en presencia

de sales poco solubles, (Kadish y Rholades, 1989; Segal, 1989; Urbano-Terrón, 2002 y Flores *et al.*, 2005). Por lo tanto existe una relación directamente proporcional entre CE, la Cs y Ψ_o , ya que conforme se incrementa la concentración de iones se incrementa la CE y al mismo tiempo el Ψ_o tiene a ser menor, cabe mencionar que esto va a estar en función del aspecto cualitativo y cuantitativo de las sales solubles en las soluciones salinas, esto se encuentra en concordancia con Ramírez *et al.* (1989); Keenan *et al.* (1990); Villafaña *et al.* (1999); Rodríguez *et al.* (2002); Guerrero *et al.* (2007); Sánchez-Bernal *et al.* (2008); González *et al.* (2010) y Chang, (2013) quienes mencionaron que esta variación obedece a las relaciones estequiométricas de los iones cloruro y sulfato en una solución determinada. Por otra parte, Richards (1965); Wetzel (1981); Hamdia y Shaddad (1996); Sánchez-Bernal y Ortega (2011), y Gao *et al.* (2012) establecieron que el NaCl presenta potenciales osmóticos menores y CE más elevadas en comparación con el MgSO₄, CaSO₄, NaHCO₃, Na₂CO₃ y Na₂SO₄.

Todos los cloruros se caracterizan por una alta solubilidad y por lo tanto ellos presentan valores de potencial osmótico menores, en cambio los sulfatos, carbonato de calcio y de magnesio se llegan a precipitar por lo que no contribuyen a disminuir el potencial osmótico.

Con la finalidad de conocer la relación existente entre CE real y el potencial osmótico obtenido de acuerdo a la ecuación empírica el $\Psi_o = CE * 0.36$, por fórmula molar $\Psi_o = MRT$ y mediante el osmómetro de presión de vapor, generado para cada una de las sales puras y salinidades geoquímicas se realizó un análisis de regresión el cual indicó que hay una correlación tanto por separado $r^2=0.981$ como en conjunto $r^2=0.921$ para los cloruros y no así para los sulfatos, ya que cuando se analizan por separado hay una alta correlación $r^2= 0.981$ y en conjunto $r^2= 0.7902$ (anexo 1, 2 y 3), por lo tanto existe una relación funcional para todas las soluciones salinas expresando una disociación electrolítica.

Para la regresión lineal de las diferentes salinidades (Figura 4 y 5), se pone de manifiesto que hay una correlación alta cuando éstas se analizan por separado $r^2=0.966$, como en conjunto $r^2=0.856$ en la relación de la CE y Ψ_o . Sin embargo, Ramírez *et al.* (1989) y Gonzales *et al.* (2010) indican que es recomendable hacer el ajuste lineal por separado y no en conjunto entre compuestos salinos. En este tipo de trabajo analítico en el que se han medido CE y Ψ_o para

establecer si los diferentes tipos de sales presentes en las soluciones en sus distintas concentraciones iónicas y salinas tienen diferentes valores de potencial osmótico con respecto a una misma conductividad eléctrica. En relación a lo anterior, en éste estudio se ha demostrado que realmente, para una misma conductividad eléctrica se tienen distintos valores de potencial osmótico, de aquí se deriva entonces, que una misma concentración para las diferentes salinidades expresada mediante la CE, afectará de manera diferente los procesos de absorción de agua de las semillas de verdolaga y de cualquier otra especie, así como, los procesos de germinación y crecimiento de las plantas.

7.3 Germinación

7.3.1 Efecto de las sales puras (iones específicos) en la germinación

La dinámica de germinación para cada población fue diferente. El periodo en el cual se observó la germinación de semillas del cv. Americana fue desde las 6 hasta las 66 h después de iniciado el experimento; mientras que para las semillas del cv. Mixquic fue desde las 12 hasta las 120 h; para la colecta Colpos fue desde las 12 hasta las 156 h; y para la colecta Ometepec fue desde las 24 hasta las 240 h.

En la Figura 6 se muestra la cinética y el porcentajes de germinación de la semilla Americana, en dicha figura se puede observar que el NaCl con una CE que va desde 1 hasta 12.1 dS m⁻¹ prácticamente no afectó el porcentaje de semillas germinadas (> 92 %), lo cual indica un efecto mínimo en estos niveles. Sin embargo a 14.2 dS m⁻¹ hay una disminución de 16 %, y a 21.3 dS m⁻¹ se redujo hasta el 77 % presentando un efecto significativo entre tratamientos (Figura 7). Cabe mencionar, que en esta conductividad las primeras semillas germinaron a las 24 h; mientras que en las otras las primeras semillas germinaron a las 12 h.

En el caso del CaCl₂.2H₂O a CE menores de 12.1 dS m⁻¹ los porcentajes de germinación fueron mayores a 94 %; mientras que a CE de 12.1 y 21.3 dS m⁻¹ se registró entre un 87-85 %, respectivamente. En el MgCl₂.6H₂O a las conductividades de 0.0 a 1.0 dS m⁻¹, la dinámica y el porcentaje final de germinación fueron similares (98 %); a las conductividades de 6.3 a 21.3 dS m⁻¹, el porcentaje final de germinación fue estadísticamente igual (90 %) (Figura 7). Sin

embargo, la dinámica de la germinación fue diferente para la CE de 21.3 dS m^{-1} . En la cual, las primeras semillas germinaron a las 9 h. El $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, el Na_2SO_4 y el NaHCO_3 en todas las conductividades no presentaron efecto en la germinación de la semilla Americana, en las concentraciones altas presentaron el 92 % de germinación.

En general, el NaCl a las conductividades de 1 y 6.3 dS m^{-1} no afectaron la germinación en semillas Mixquic ya que el porcentaje final de germinación a estas conductividades fueron similares al testigo. A las conductividades de 8.2 y 10.1 dS m^{-1} los porcentajes de germinación fueron iguales estadísticamente. Los valores menores del porcentaje de germinación se observaron a partir de la conductividad de 12.1 dS m^{-1} , presentando diferencias estadísticas entre ellos. En la dinámica de la germinación, se observó que a conductividades de 0, 1 y 6.3 dS m^{-1} el porcentaje máximo de germinación se alcanzó a las 48 h y para el resto de las conductividades requirió mayor tiempo, a tal grado que a la conductividad de 21.3 dS m^{-1} se necesitaron 108 h para 31 % de semillas germinadas (Figura 8 y 9). Fue evidente que conforme se incrementó la CE el número de semillas germinadas fue disminuyendo y a la vez se presentó un retraso en la germinación.

En el porcentaje de germinación para el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ se observan tres grupos, los máximos porcentajes se observaron a las conductividades de 0, 1 y 6.3 dSm^{-1} ; los intermedios a 8.2, 10.1, 12.1 y 14.2 dS m^{-1} y el más bajo a 21.3 dS m^{-1} . En la dinámica de la germinación se observó que para el primer grupo los máximos porcentajes de germinación se obtuvieron a las 48 h; mientras que para los otros dos grupos fue en promedio a las 108 h (Figura 8 y 9).

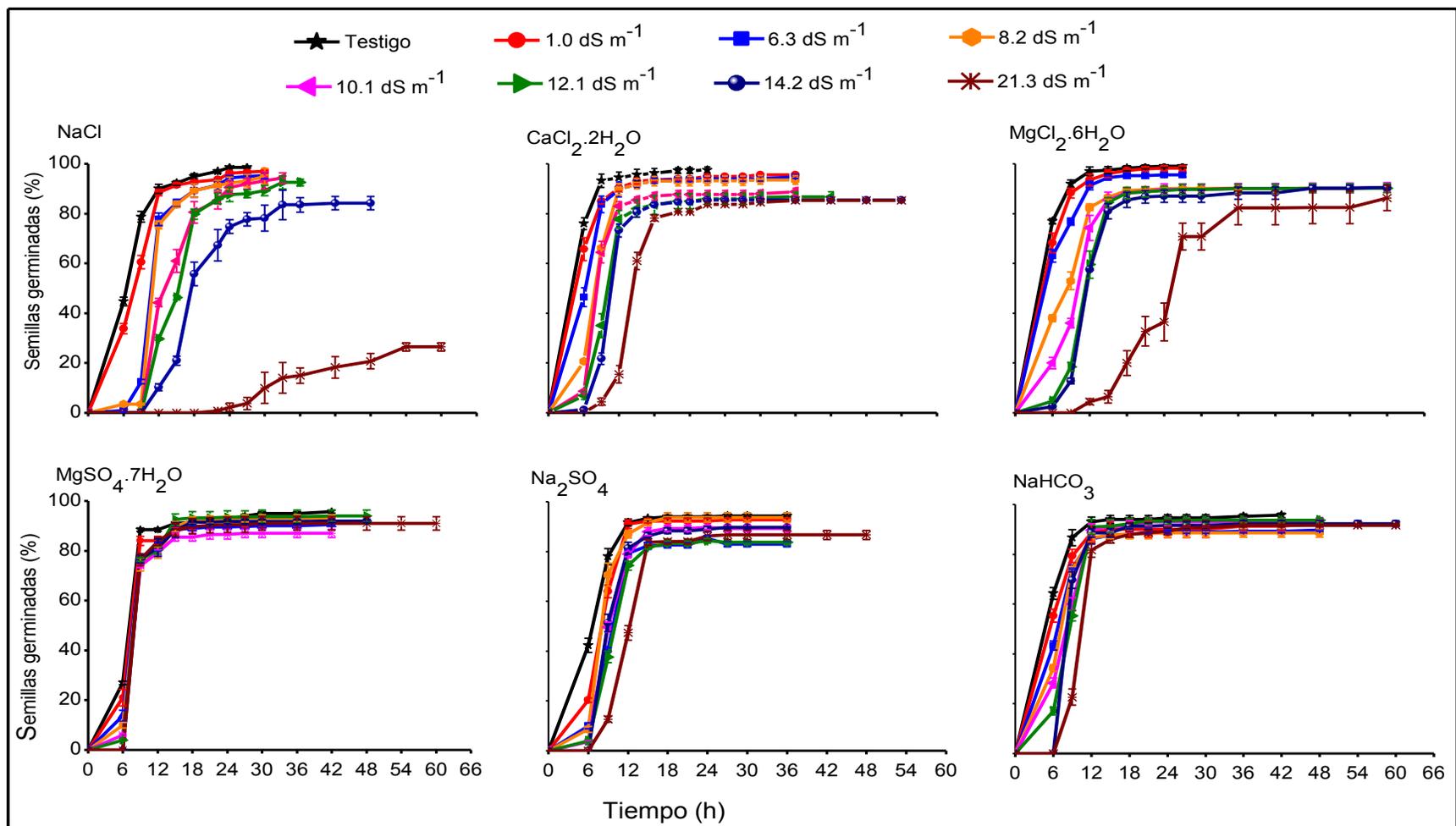


Figura 6. Dinámica de la germinación de semillas de *P. oleracea* L. cv. Americana en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

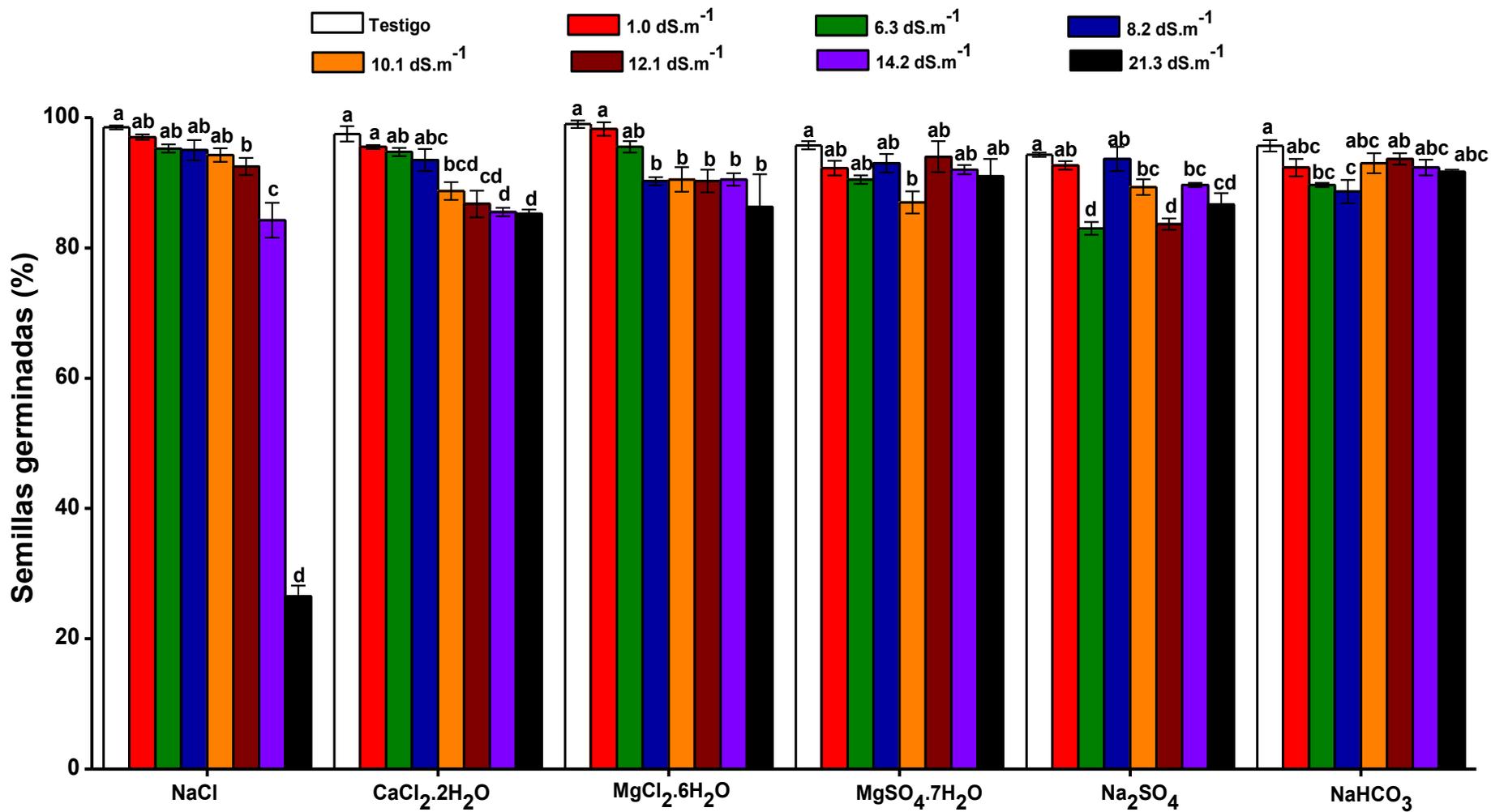


Figura 7. Porcentaje final de semillas germinadas de *P. oleracea* L., cv Americana en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

El $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ afectó solamente el porcentaje de germinación a la conductividad de 21.3 dS m^{-1} ; debido a que en las otras conductividades éste fue estadísticamente igual al testigo. Sin embargo, en la dinámica de germinación se observaron cuatro grupos en los cuales se alcanzaron los máximos porcentajes de germinación a las 48, 60, 96 y 108 h (Figura 8 y 9).

El $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ no se observó una afectación significativa en las conductividades evaluadas debido a que sus valores fueron estadísticamente igual a los del testigo. Sin embargo, en las conductividades bajas los máximos porcentajes de germinación se presentaron a las 48 h en los intermedios a las 84 h y en las altas a las 108 h (Figura 8 y 9).

El Na_2SO_4 a CE de 1 a 10.1 dS m^{-1} no afectó el porcentaje de germinación, los valores de éstos fueron similares estadísticamente al del testigo. A las conductividades de $12.1, 14.2$ y 21.3 dS m^{-1} si se observó efecto en la germinación. Los valores más bajo se presentaron en la conductividad de 14.2 y 21.3 dS m^{-1} . Mientras que en la dinámica se observó que los máximos porcentajes se alcanzaron a las 48 h para las conductividades bajas, a las 84 h para las conductividades intermedias y 108 para las conductividades mayores (Figura 8 y 9).

El porcentaje de germinación a la conductividad de 1 dS m^{-1} generada por el NaHCO_3 fue igual estadísticamente al testigo. A conductividades mayores el porcentaje de germinación disminuyó formándose tres grupos: uno a 6.3 y 8.2 dS m^{-1} , otro a $10.1, 12.1$ y 14.2 y el último a 21.3 dS m^{-1} . Los valores más altos en la germinación se obtuvieron en promedio a las 60 h para las conductividades bajas, para las intermedias a las 96 h y para la de 21.3 dS m^{-1} a las 84 h (Figura 8 y 9).

En la semilla de la colecta Colpos, el porcentaje máximo de germinación en NaCl se observó en las conductividades $0.0, 1.0$ y 6.3 dS m^{-1} , los cuales fueron estadísticamente iguales, seguidos por los de las conductividades $8.2, 10.1$ y 12.1 dS m^{-1} , los cuales también fueron estadísticamente iguales. El mínimo valor se presentó a la conductividad de 21.3 dS m^{-1} , el cual fue inferior a todos. El máximo porcentaje de germinación en las conductividades bajas se observó en promedio a las 70 h; mientras que en las intermedias se observó en promedio a las 112 h y para el valor más alto de conductividad se alcanzó a las 132 h (Figura 10 y 11).

Para el $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a las conductividades de 1.0, 6.3 dS m^{-1} no se observó efecto en la germinación, debido a que estos valores fueron estadísticamente iguales que al del testigo. A las conductividades de 8.2 a 14.2 dS m^{-1} se alcanzaron valores iguales; mientras que a la conductividad de 21.3 dS m^{-1} el valor fue inferior. La tendencia en la dinámica de la germinación fue similar que a la salinidad de NaCl (Figura 10 y 11).

En el $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a las diferentes conductividades (Figura 10 y 11), la germinación presentó una tendencia similar a la del $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. La dinámica en la germinación fue similar al NaCl y al $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

La germinación en las salinidades del $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Na_2SO_4 mostraron tendencias semejantes en las CE de 1.0 a 12.1 dS m^{-1} con un 92 % de germinación y a las CE de 14.2 y 21.3 dS m^{-1} los valores menores del 89 %. La dinámica de germinación fue prácticamente similar en todas las salinidades para ambas sales (Figura 10 y 11).

Para el NaHCO_3 , el porcentaje de germinación mostró un descenso en todas las conductividades, de tal forma que en general todos los valores fueron estadísticamente diferentes. Sin embargo, los valores de germinación máximos se obtuvieron a las 60 h para las conductividades 0 y 1 dS m^{-1} , a las 120 h para las conductividades 6.3 y 8.2 dS m^{-1} y 148 h para el resto de las conductividades (Figura 10 y 11).

Los efectos de las conductividades generadas por el NaCl, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ mostraron una tendencia similar en la germinación de las semillas Ometepec, presentado un efecto similar a la colecta Colpos, sin embargo los valores absolutos fueron menores, es decir el efecto de las sales fue más drástico en la germinación posiblemente por una mayor sensibilidad de este material. De tal manera que el porcentaje de germinación disminuyó progresivamente conforme aumentó la conductividad, con valores estadísticamente diferentes. Los valores más bajos se presentaron en la conductividad de 21.3 dS m^{-1} . En la dinámica también se observaron las mismas tendencias (Figura 12 y 13).

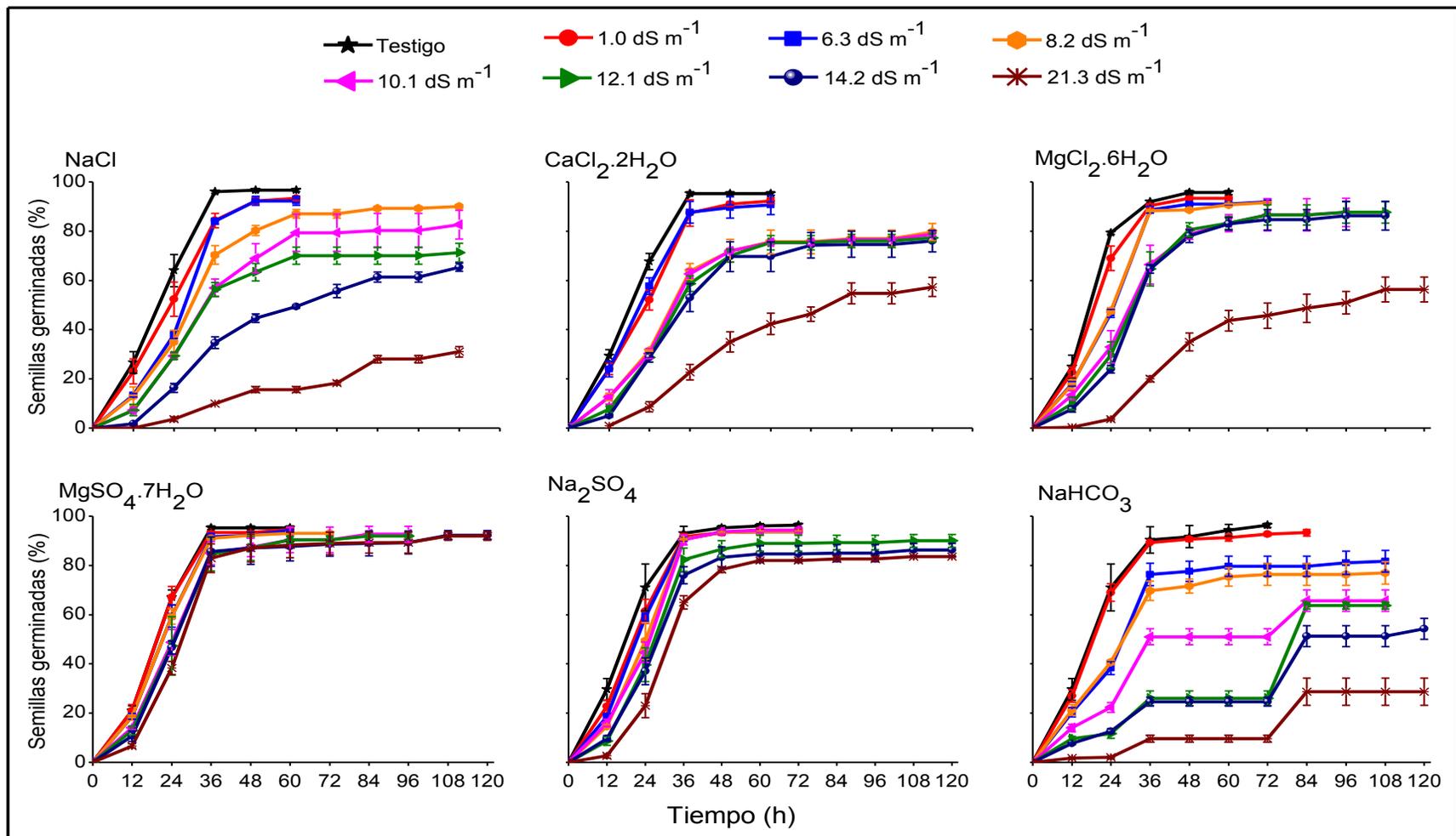


Figura 8. Dinámica de la germinación de semillas de *P. oleracea* L. cv. Mixquic en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

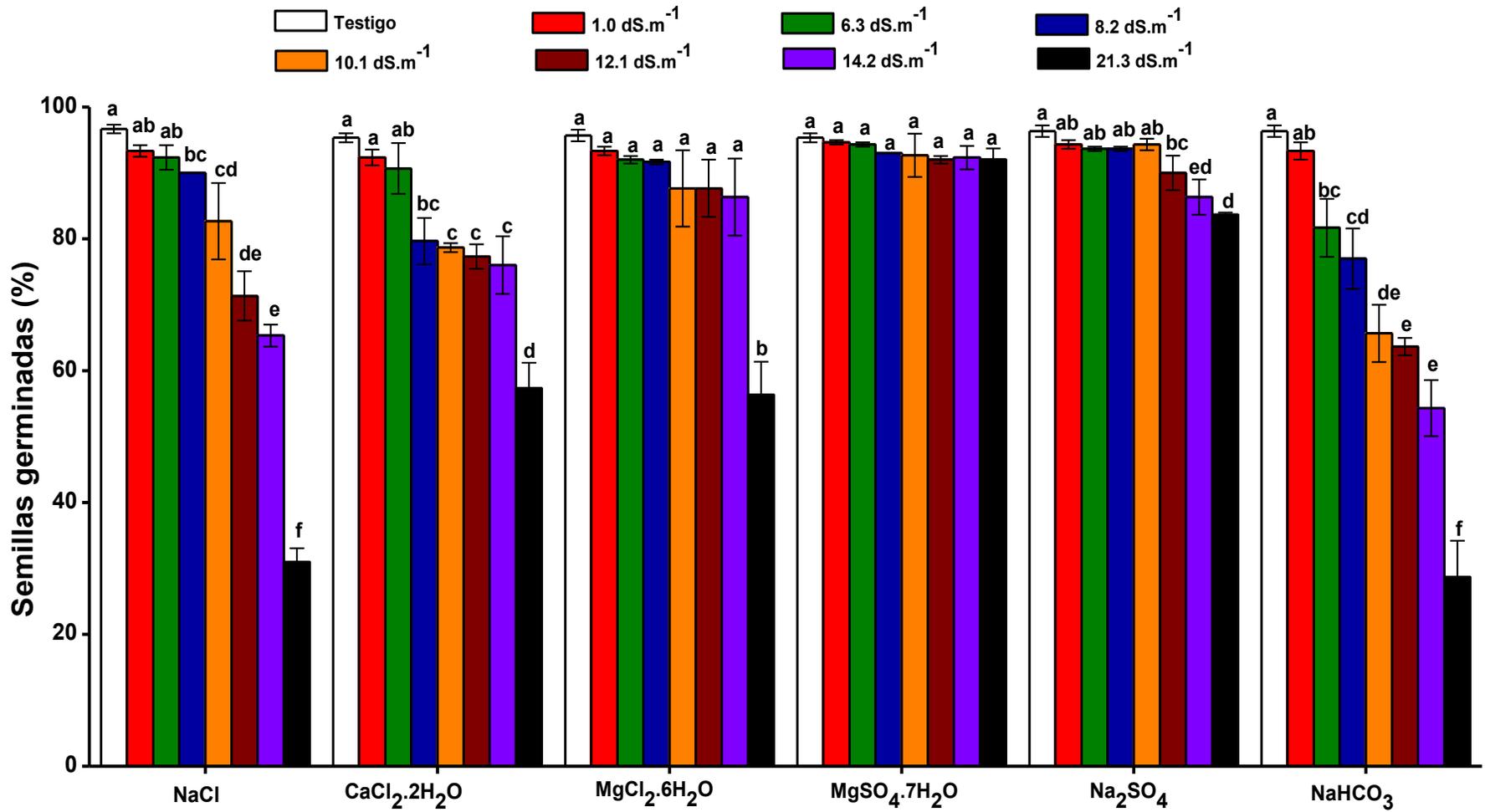


Figura 9. Porcentaje final de semillas germinadas de *P. oleracea* L., cv Mixquic en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

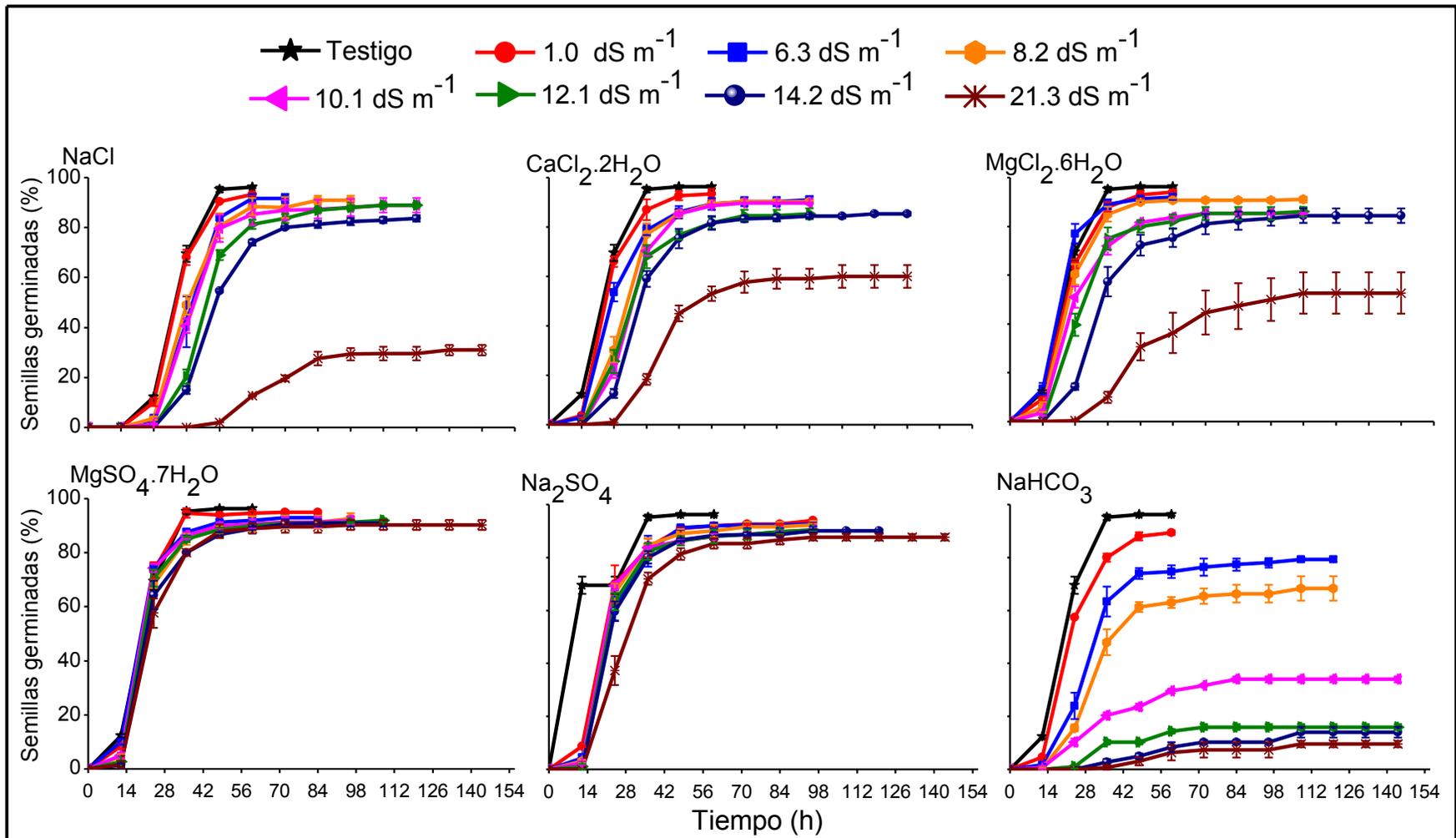


Figura 10. Dinámica de la germinación de semillas de *P. oleracea* L., colecta Colpos en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

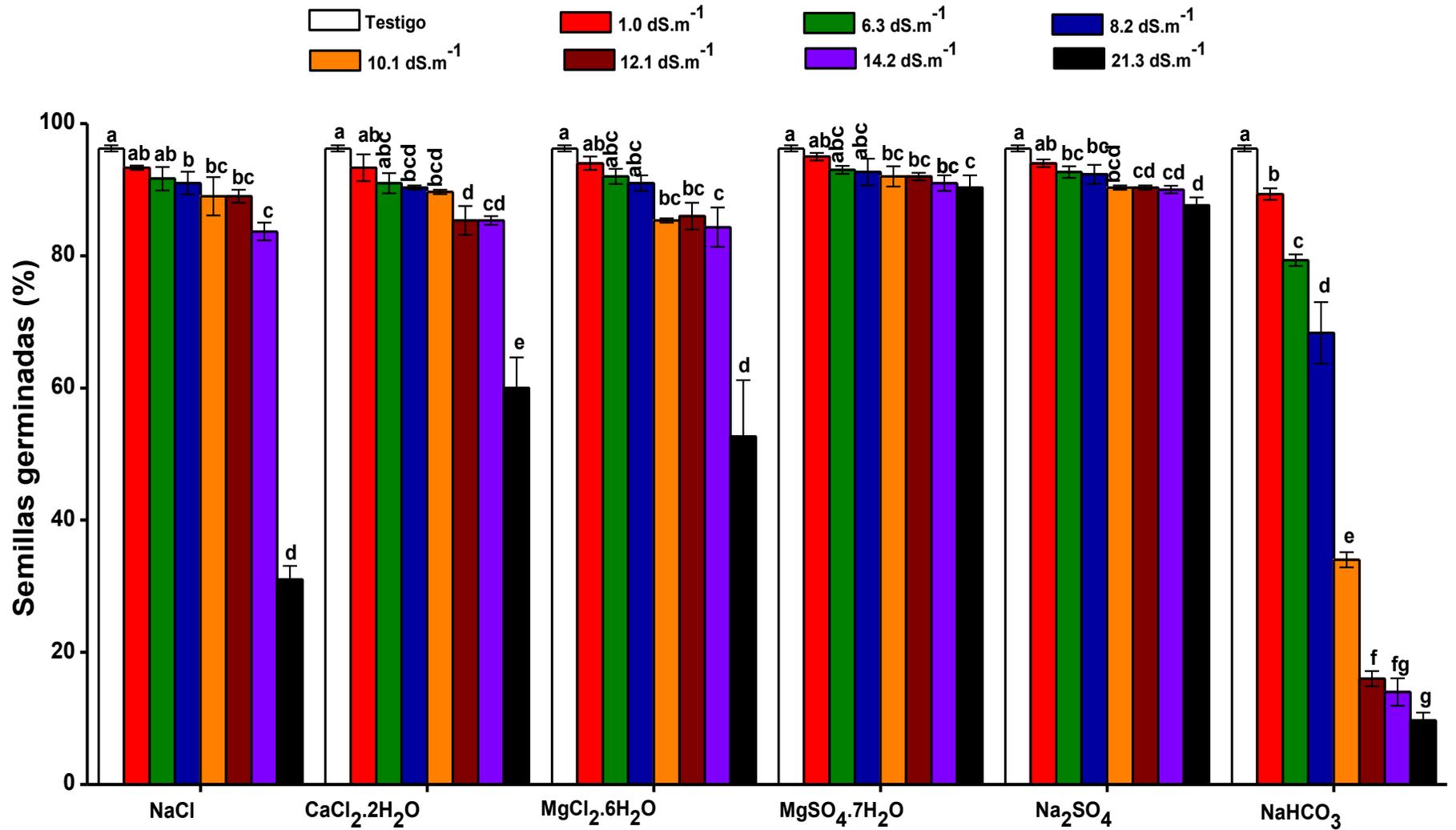


Figura 11. Porcentaje final de semillas germinadas de *P. oleracea* L., colecta Colpos en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones ± el error estándar.

El efecto de las salinidades de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ y Na_2SO_4 en la germinación mostraron un efecto similar pero fue en menor magnitud que el observado en las sales descritas anteriormente. El efecto de la conductividad por el $NaHCO_3$ fue más notable ya que la reducción en el porcentaje de germinación fue mayor que las demás sales. Además, el porcentaje disminuyó conforme se incrementó la conductividad (Figura 12 y 13). La misma tendencia se presentó en la colecta Colpos, pero los valores medidos fueron más bajos, es decir los efectos fueron muy drásticos en la germinación, mostrando una sensibilidad alta en esta semilla. De tal manera el porcentaje de germinación decrece progresivamente con el aumento de la CE. El análisis de varianza indicó diferencias significativas en la germinación.

En función de los resultados obtenidos, podemos afirmar que las semillas de *P. oleracea* L. cv Americana presentó el porcentaje mayor de germinación en los cloruros y en los sulfatos, ya que el efecto en la germinación fue mínimo a CE superior a su umbral. En el cv Mixquic y colecta Colpos el porcentaje menor de germinación se presentó en los cloruros y en $NaHCO_3$, sin embargo en la colecta Ometepec, a CE superiores del umbral presentó una reducción en la germinación en cloruros y bicarbonatos.

Por lo tanto, la salinidad cualitativa y cuantitativa a través de los diferentes iones, expresan una disminución progresiva en la germinación, así como también la variación en los tiempos para cada uno de los cultivares agronómicos y colectas. Existe una diferencia notable de acuerdo al origen de la semilla y en las cantidades iónicas de las sales puras, ya que se nota claramente el efecto tóxico para cada una de ellas.

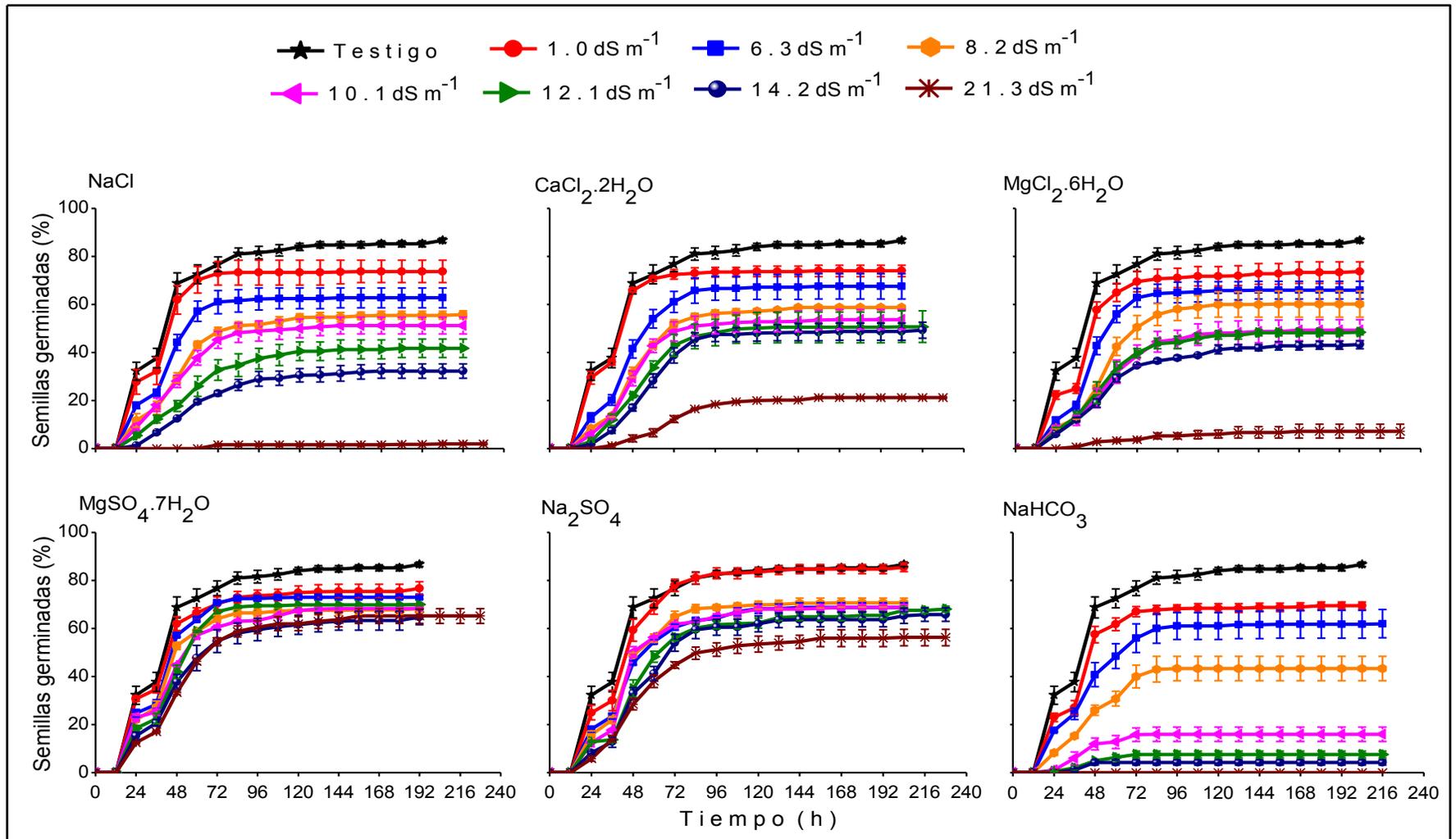


Figura 12. Dinámica de la germinación de semillas de *P. oleracea* L., colecta Ometepec en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

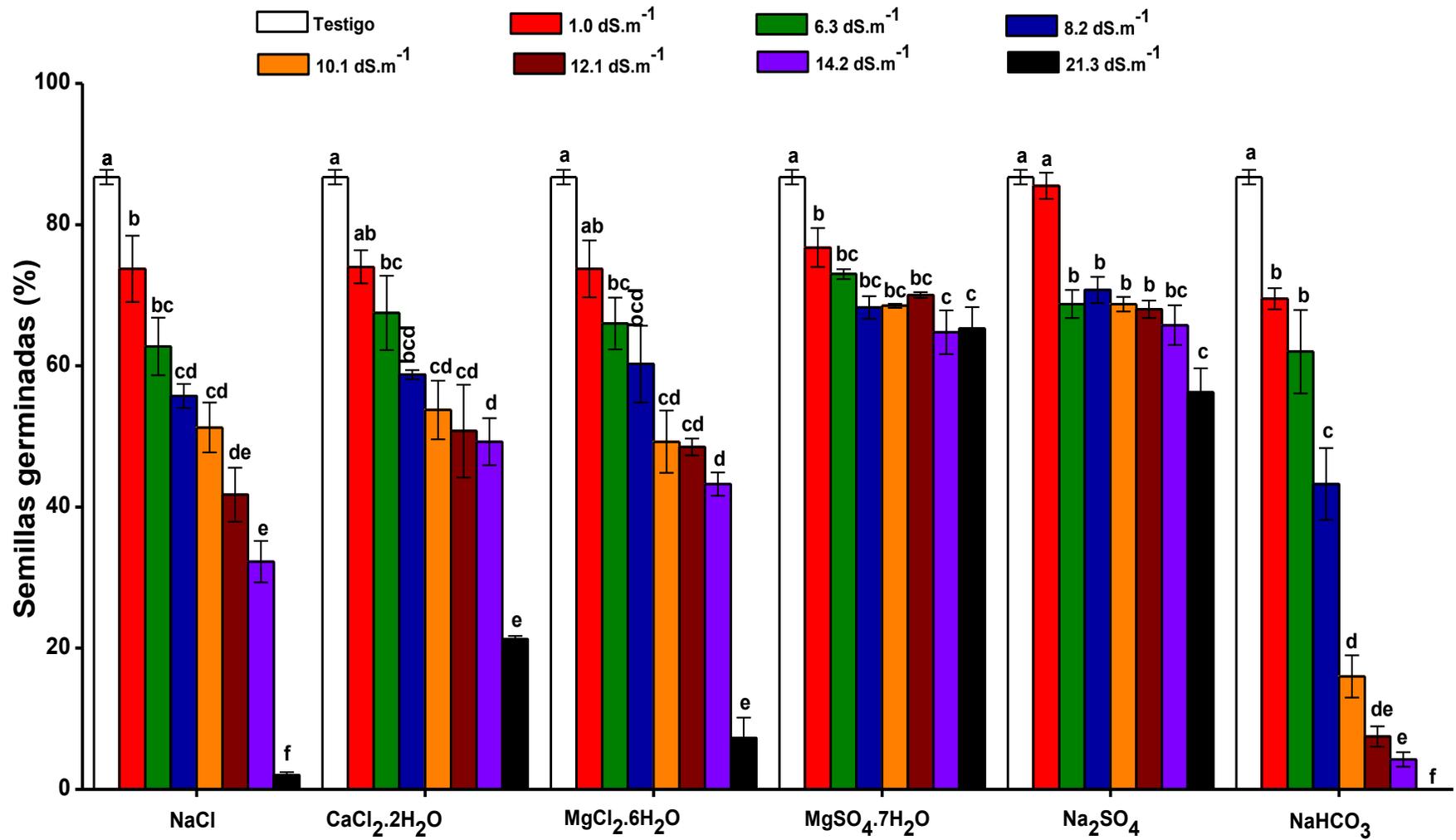


Figura 13. Porcentaje final de semillas germinadas de *P. oleracea* L., colecta Ometepec en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

La mayoría de los estudios acerca del efecto de la salinidad en la germinación de semillas han sido llevados a cabo utilizando soluciones de NaCl. Prisco y O'Leary (1970); Murillo-Amador y Troyo-Diéguez (2000); Khan *et al.* 2000; Shonjani (2002); Silva *et al.* (2007), indicaron que un incremento de la concentración de iones, puede disminuir el potencial osmótico, lo anterior tiene relación a lo obtenido ya que a una CE de 12.1 y 21.3 dS m⁻¹, el potencial osmótico osciló entre -0.67 y -1.12 MPa, respectivamente, ya que para estos niveles de concentración de sales para varias especies de uso agrícola son demasiado altas para la absorción del agua, presentándose una reducción en la germinación de semillas. Debido a que las sales afectan la integridad de la membrana de la semilla, de tal manera si se llegaran a incrementar estos valores la inhibición es mayor, ocasionando un efecto osmótico que induce un retraso en la cinética y la absorción del agua afectándose como consecuencia la germinación e incrementando un efecto toxico en la semilla (Cramer *et al.*, 1986; Evangelou, 1994; Cavalcante y Perez, 1995; Porta *et al.*, 1999; Tobe *et al.*, 2000; Atia, 2006; Procházková y Wilhelmová, 2011; Ruíz y Terenti, 2012). Lo anterior podría aplicarse al cultivar Mixquic, colectas Colpos y Ometepec, sin embargo, el cv. Americana podría presentar tolerancia.

Algunos trabajos realizados con semillas de otras especies evidencian que cada una tiene un comportamiento diferente a la salinidad. Khan y Ungar (1996) y Hameed *et al.* (2006) señalan que el porcentaje de germinación en especies halófitas es muy bajo en concentraciones iguales o superiores a 40 dS m⁻¹. Se han reportado descenso y retraso en la germinación a concentraciones de 2.5 dS m⁻¹ en níspero (Meza *et al.*, 2004), 6 dS m⁻¹ en parchita (Meza *et al.*, 2007), 18 dS m⁻¹ en pasto agropiro alargado (Bazzigalupi *et al.*, 2008), 10 dS m⁻¹ en Coquia (García *et al.*, 2011); 9 dS m⁻¹ en curarí (Ramírez, *et al.*, 2014) y en el frijol (Can *et al.*, 2014). Por otra parte, en algunas especies que presentan latencia, el grado de afectación varía de acuerdo a la especie, la variedad o cultivar así como de la concentración de sales. En el presente estudio se observaron efectos negativos en la germinación de las semillas de verdolaga en las colectas Colpos, Ometepec y el cv. Mixquic, y en menor grado el cv. Americana, debido a las altas concentraciones del NaCl.

En lo que respecta al ion Ca²⁺ así como también en lo que se refiere al ion Mg²⁺, su función vital es la de regulación de muchos procesos fisiológicos tanto en la germinación y

crecimiento vegetativo. Sin embargo, si estos cationes se unen con el anión Cl^- dan como resultado al $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ afectando la germinación de las semillas en una mayor o menor medida (Rumbaugh *et al.*, 1993; Shao *et al.*, 2008; Jammes *et al.*, 2011). Aunque por otra parte Huez *et al.* (2008) mencionan que se puede presentar un mejoramiento en las semillas en estas soluciones salinas a baja concentración. Por lo tanto, se presenta una respuesta mayor en la germinación y crecimiento, por el contrario, cuando las concentraciones aumentan considerablemente se provoca un retraso en los procesos fisiológicos (Ramírez, 1989; Sánchez-Bernal *et al.*, 2008; González *et al.*, 2011; Sánchez-Bernal y Ortega, 2011). De tal manera, Mitsuo y Carneiro (2011) mencionan que a altas concentraciones hay una inhibición en la germinación de frijol, trigo, algodón, *C. bonariensis* y *C. canadensis*. Respuestas similares se obtuvieron para *P. oleracea* L. cv. Americana con un 85 %, cv. Mxquic 55 % para ambas sales, para la colecta Colpos un 48 % en $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 62 % para $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, en el caso de la colecta Ometepec, un 7 % en $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 21 % en $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a una conductividad de 21.3 dS m^{-1} , entonces se puede decir que cuando se presenta un incremento en la concentración de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} se tendrá un retraso en el comienzo y al final de la germinación provocando una reducción el porcentaje de germinación, al respecto Kovda (1973), Román (2000), Ramírez (2001), Sánchez-Bernal *et al.* (2008), Sánchez y Ortega (2011) y González *et al.* (2011) mencionan que estas sales son altamente solubles, por lo que pueden ser tóxicas durante la etapa de germinación.

Probablemente el Ca^{2+} y Mg^{2+} actúen como osmoregulador en la salinidad permitiendo mantener la toxicidad baja en los cv. Americana y Mixquic, por el contrario en las colectas Colpos y Ometepec, este comportamiento se podría explicar por la restricción de agua, debido al efecto osmótico-tóxico del CaCl_2 y MgCl_2 . Hay poca información disponible sobre los efectos en la germinación en *P. oleracea* L. para estos tipos de sales, la mayoría de esta información se tiene en base al NaCl , en donde se establece que esta especie tiene un umbral de 6.3 dS m^{-1} .

El efecto de los iones sulfatos en la germinación ha sido estudiado, concluyéndose que en algunas especies han presentado sensibilidad en la germinación a concentraciones altas. Richards (1965), Nevena y Miroslava (2008) y Qiao *et al.* (2013) indicaron que el SO_4^{2-} es

toxico para las plantas de frijol y esta toxicidad se potencia con la adición de Na_2SO_4 de forma anhidra. Duan *et al.* (2004) reportó algo similar en la germinación en semillas de *Chenopodium glaucum* L., a una concentración de 0.6 M. Strogonov (1964) en alfalfa observó una inhibición en la germinación, el crecimiento y clorosis a 200 meq L^{-1} con una CE equivalente a 27 dS m^{-1} y un Ψ_0 de -1.5 MPa. Sin embargo, Wahid *et al.* (1999) y Méndez *et al.* (2010), consignaron que el Na_2SO_4 puede presentar un retraso en la emergencia radicular y una reducción en el crecimiento de la planta de acuerdo al aumento de las concentraciones.

Lo que se ha mencionado anteriormente tiene relación a lo reportado en esta investigación ya que la colecta Colpos presentó una reducción del 87 %, el cv. Americana 86 %, el cv. Mixquic 83 % y la colecta Ometepec 56 %, a una CE de 21.3 dS m^{-1} , en comparación con las demás concentraciones y el grupo testigo, esto indica que hay una gran variación de acuerdo a la procedencia de la semilla, ya que podemos hacer énfasis que los efectos del Na_2SO_4 no son tan tóxicos como los iones cloruros y, probablemente los efectos perjudiciales no se deba al SO_4 si no al Na^+ (Rumbaugh *et al.*, 1993; Fortmeier y Schubert, 1995).

El sulfato de magnesio heptahidratado, es una sal muy estable y tiene un pH de 5.5 a 6.5. Considerando Ries y Hofmann (1983), Ramírez (1989), Rumbaugh *et al.* (1993), Ungar (1995), Ramírez (2001), Shaikh *et al.* (2007), González *et al.* (2011) y Sánchez-Bernal y Ortega-Escobar (2011), observaron que esta sal disminuye la velocidad de germinación de semillas, pero no afecta el porcentaje final. Sin embargo, en el crecimiento vegetativo hay una disminución, esto indica que en esta fase el $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ inhibe la acumulación de biomasa, y se infiere que es debido a un efecto tóxico (Sánchez-Bernal *et al.*, 2003). Por el contrario, Strogonov (1964); Ries y Hofmann (1983); Castillo y Lora (1987); Duan *et al.* (2004); Sánchez-Bernal *et al.* (2008), han reportado que el sulfato de magnesio estimula el crecimiento inicial de los órganos reproductivos. Así mismo, estimula la elongación de la raíz a concentraciones de 8.05 meq L^{-1} , pero si ésta se incrementa hay un retraso. Esto que se señala aquí, apoya a lo que se encontró en esta investigación, estableciendo que los materiales Americana, Mixquic y Colpos presentan un retraso en la germinación en comparación con el testigo, aunque en general el porcentaje final no se ve afectado, sin

embargo en la colecta Ometepec presentó un decremento en la germinación a medida que se incrementó la CE en comparación con el grupo testigo. De esta manera podemos decir que el $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ no presenta una inhibición en la germinación por el efecto osmótico ni tóxico para las 3 colectas de semillas de verdolaga, excepto para la colecta Ometepec, probablemente se presentó un efecto osmótico y no un efecto tóxico. De acuerdo a esto podemos decir que hay un efecto combinado de los aniones y cationes estableciendo una reacción positiva en la germinación de *P. oleracea* L.

El NaHCO_3 es una sal alcalina, con un pH entre 7.9-8.9. Algunos autores establecen que los bicarbonatos son inhibidores de crecimiento de hongos fitopatógenos que se encuentran presentes en algunas hortalizas (Palmer *et al.*, 1997; Olivier *et al.*, 1998; Palou *et al.*, 2001; Karabolut *et al.*, 2003; Arslan *et al.*, 2006). Por otra parte, otras investigaciones han demostrado que ciertas plantas presentan retraso y disminución en la germinación de semillas, emergencia de plántulas y la acumulación de la biomasa, asimismo clorosis en las hojas, concluyendo, que el NaHCO_3 es una sal muy tóxica durante la germinación de la semilla (Wallihan, 1960; Kovda, 1973; Mozafar y Goodin, 1986; Ramírez, 1989; Ramírez, 2001; Sánchez-Bernal *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2010; Zhou y Xiao, 2010; Sánchez-Bernal y Ortega-Escobar, 2011; González *et al.*, 2011). Con base en esta información se puede considerar que el NaHCO_3 es una sal tóxica, dado que las semillas presentaron un menor porcentaje de germinación, y esta toxicidad se establece en el siguiente orden: Ometepec > Colpos > Mixquic > Americana. Se debe señalar que en general, a medida que se incrementa la concentración salina se disminuye el número de semillas germinadas. Sin embargo, cabe destacar que las semillas de la colecta Ometepec presentaron el mayor daño por esta sal (NaHCO_3). Sin embargo, la Americana fue la menos afectada a concentraciones altas. Basado en lo anterior, probablemente en las semillas más afectadas, se impidió la germinación y por lo tanto la elongación de la radícula, ya que esto se presenta muy marcado en las semillas Ometepec y Colpos. Aún se desconocen cómo actúan los bicarbonatos durante las primeras fases de desarrollo en las semillas de *P. oleracea* L., sin embargo se considera que probablemente las semillas tengan varios mecanismos implicados que les permite resistir el efecto negativo de los bicarbonatos.

7.3.2. Efecto de la salinidad geoquímica (mezclas de sales) en la germinación

Muy pocos elementos químicos/minerales puros se encuentran en la corteza terrestre o en aguas freáticas, la mayor parte son mezclas y muchas de ellas son heterogéneas. Es decir, la salinidad geoquímica se presentan en la naturaleza en forma de relaciones iónicas tanto catiónica como aniónica.

En la figura 14 se observa la cinética y el porcentaje de germinación para las semillas del cv. Americana en la salinidad clorhídrica. La germinación inicial a una conductividad de 0.0 dS m^{-1} fue del 44 %, a 1.0 dS m^{-1} del 27 %, a 6.3 dS m^{-1} del 10 %, a 8.1 dS m^{-1} del 7 %, a mayores de 12.1 dS m^{-1} fue del 0 %, por lo tanto se presentaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.0001$). La germinación máxima y tiempo para alcanzarla fue diferente para cada uno de los tratamientos, por ejemplo, a 0 dS m^{-1} el 96 % de germinación se observó a las 48 h, a 1.0 dS m^{-1} el 94 % a las 42 h, y a 21.3 dS m^{-1} el 89 % a las 54 h, en donde el porcentaje final no se vio afectado drásticamente (Figura 14 y 15).

En el caso de la salinidad sulfático-clorhídrica la dinámica de inicio de germinación fue similar a la salinidad clorhídrica. La máxima germinación fue del 95 % a una CE de 0.0 y 1.0 dS m^{-1} . A las CE entre 6.3 y 10.1 dS m^{-1} se presentó el 86 %, mientras que a una CE de 21.3 dS m^{-1} fue del 87 %, no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos. Los valores de germinación máximos se obtuvieron a las 48 h para las conductividades de 1.0 a 21.3 dS m^{-1} (Figura 14 y 15).

En la salinidad clorhídrico-sulfática, la germinación inicial fue a las 6 h a una CE de 0.0 y 1.0 dS m^{-1} con el 10 % de semillas germinadas, a 6.3 y 8.2 dS m^{-1} el 5 %, mientras para las conductividades de 8.1 a 21.3 dS m^{-1} mostró un retraso al inicio de la germinación (0 %). El porcentaje de germinación máximo se alcanzó a las 24 h a la CE de 0.0 dS m^{-1} , a las 54 h a las CE entre 6.3 y 14.2 dS m^{-1} . La germinación no se vio afectada a estas conductividades. Los valores más bajos se presentaron en la CE de 21.3 dS m^{-1} (Figura 14 y 15).

En la salinidad sulfática, la germinación inicial a las 6 h fue del 3 % en el testigo, del 1 % a las CE de 1.0 y 6.3 dS m⁻¹, del 0 % a las CE entre 8.2 y 21.3 dS m⁻¹. La germinación máxima se alcanzó a las 54 h a CE de 0.0 y 1.0 dS m⁻¹, para las conductividades de 8.2 a 21.3 dS m⁻¹ se observó en promedio a las 48 h. No se observó diferencia estadística en los porcentajes finales de germinación. (Figura 14 y 15).

Para la salinidad sulfático-sódica, la máxima germinación (94 %) se observó en el testigo, en las conductividades entre 1.0 y 12.1 dS m⁻¹ fue del 90 % y entre 14.2 a 21.3 dS m⁻¹ fue del 84 %. Asimismo, se presentaron diferencias estadísticas significativas (Figura 14 y 15).

En el cv. Mixquic en la salinidad clorhídrica se observó que la germinación inicial fue del 3 % a CE entre 1.0 y 8.2 dS m⁻¹, del 0 % a conductividades de 10.1 a 21.3 dS m⁻¹; mientras que fue del 5 % en el testigo. En los porcentajes finales de germinación se observó diferencia estadística significativas ($P < 0.0001$), por ejemplo, a la CE de 6.3 dS m⁻¹ fue de 83 %, a las CE de 10.1 a 14.2 dS m⁻¹ fue de 76 % y a 21.3 dS m⁻¹ fue de 45 %. Asimismo, en la dinámica de germinación se observó que a las CE 0.0 y 8.1 dS m⁻¹ el porcentaje máximo de germinación fue a las 72 h y para el resto de las conductividades mayor, de tal manera que a la CE de 21.3 dS m⁻¹ se requirieron 108 h (Figura 16 y 17).

La dinámica de germinación observada en la salinidad sulfático-clorhídrica fue similar a la salinidad clorhídrica. Los porcentaje máximos de germinación fueron: 97 % en el testigo a las 48 h, el 93 % a 1.0 dS m⁻¹ a las 72 h, el 84 % a CE entre 6.3 y 10.1 dS m⁻¹ a las 84 h, el 72 % a CE de 12.1 y 14.2 dS m⁻¹ y finalmente 55 % a 21.3 dS m⁻¹ a las 96 h. (Figura 16 y 17).

En el caso la salinidad clorhídrico-sulfática la dinámica de la germinación inicial fue similar a las salinidades anteriores. Los porcentajes máximos de germinación fueron: 97 % en el testigo a las 60 h, el 81 % en las CE de 6.3 a 12.1 dS m⁻¹ a las 72 h, el 68 % a 21.3 dS m⁻¹ a las 108 h, mostrando diferencias significativas en comparación con el testigo (Figura 16 y 17).

La dinámica de germinación en la salinidad sulfática fue similar a la salinidad anterior, pero en general los valores finales de germinación fueron mayores, por ejemplo, a CE de 6.3 a 8.2 dS m^{-1} fue del 89 %, a conductividades de 10.1 a 14.2 dS m^{-1} del 81 % y 21.3 dS m^{-1} del 76 % (Figura 16 y 17).

En la salinidad sulfático-sódica la dinámica de la germinación fue diferente para cada una de las conductividades. Las germinaciones máximas fueron: 97 % en el testigo a las 48 h, 80 % las conductividades de 6.3 a 8.2 dS m^{-1} , el 68 % a 10.1 a 14.2 dS m^{-1} del a las 72 h y el 48 % a 21.3 dS m^{-1} a las 108 h (Figura 16 y 17).

En general, se debe mencionar que para cada una de las salinidades se presentó un retraso en la germinación, debido probablemente a las propiedades físicas-químicas y a la concentración que se probaron para cada salinidad ya que se observan entre éstas diferencias significativas.

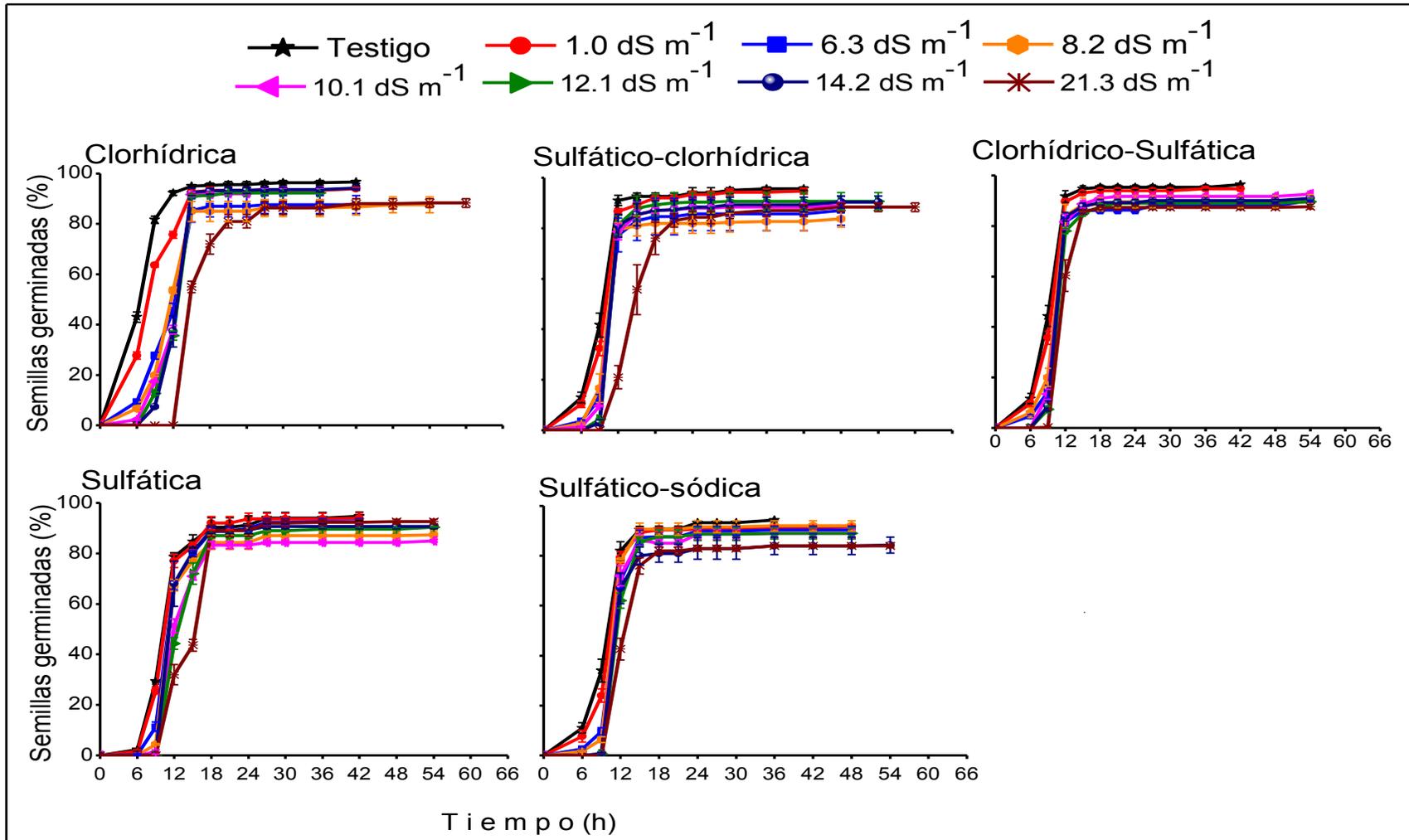


Figura 14. Dinámica de la germinación de semillas de *P. oleracea* L. cv. Americana en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

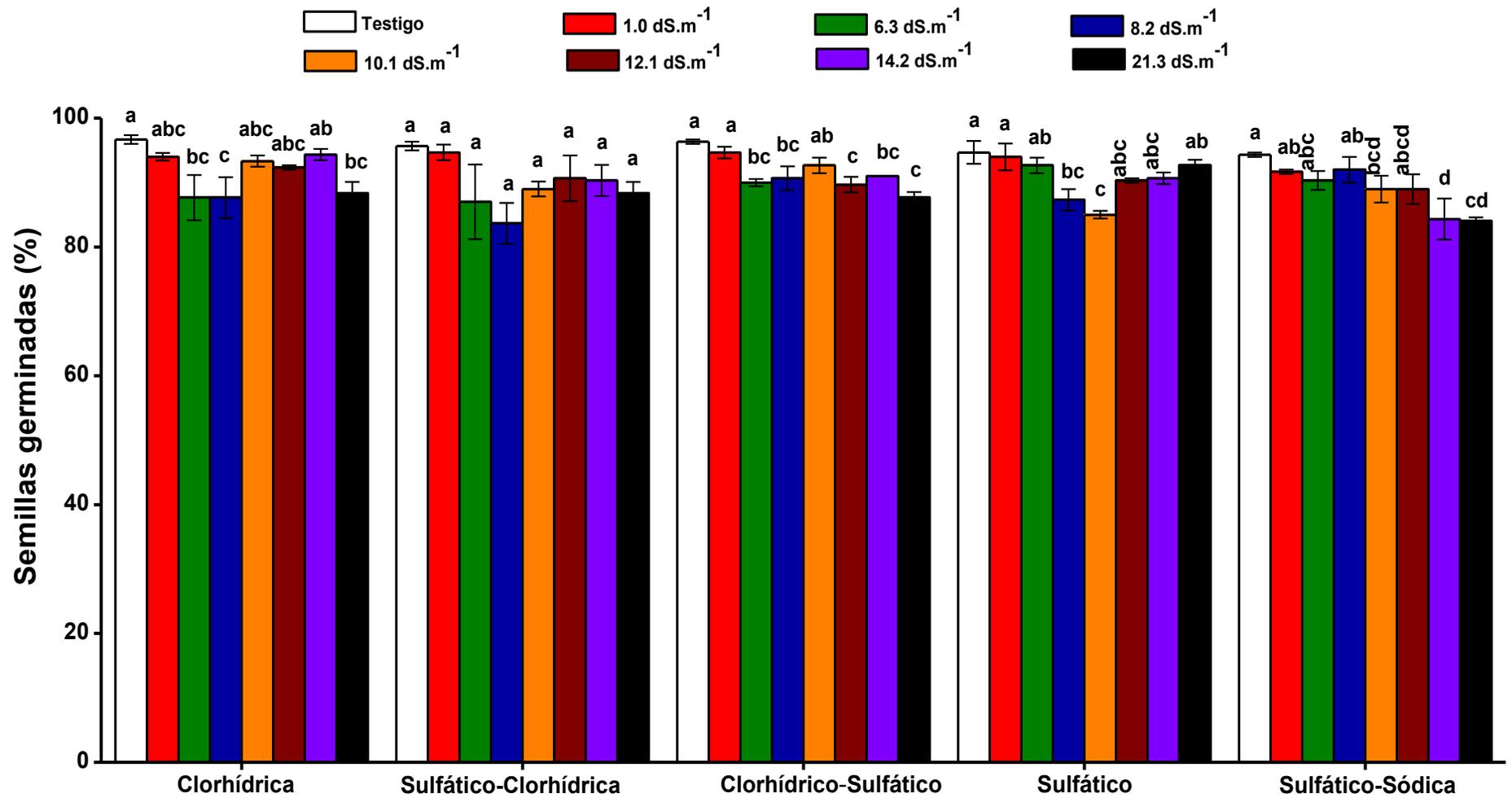


Figura 15. Porcentaje final de semillas germinadas de *P. oleracea* L., cv Americana en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

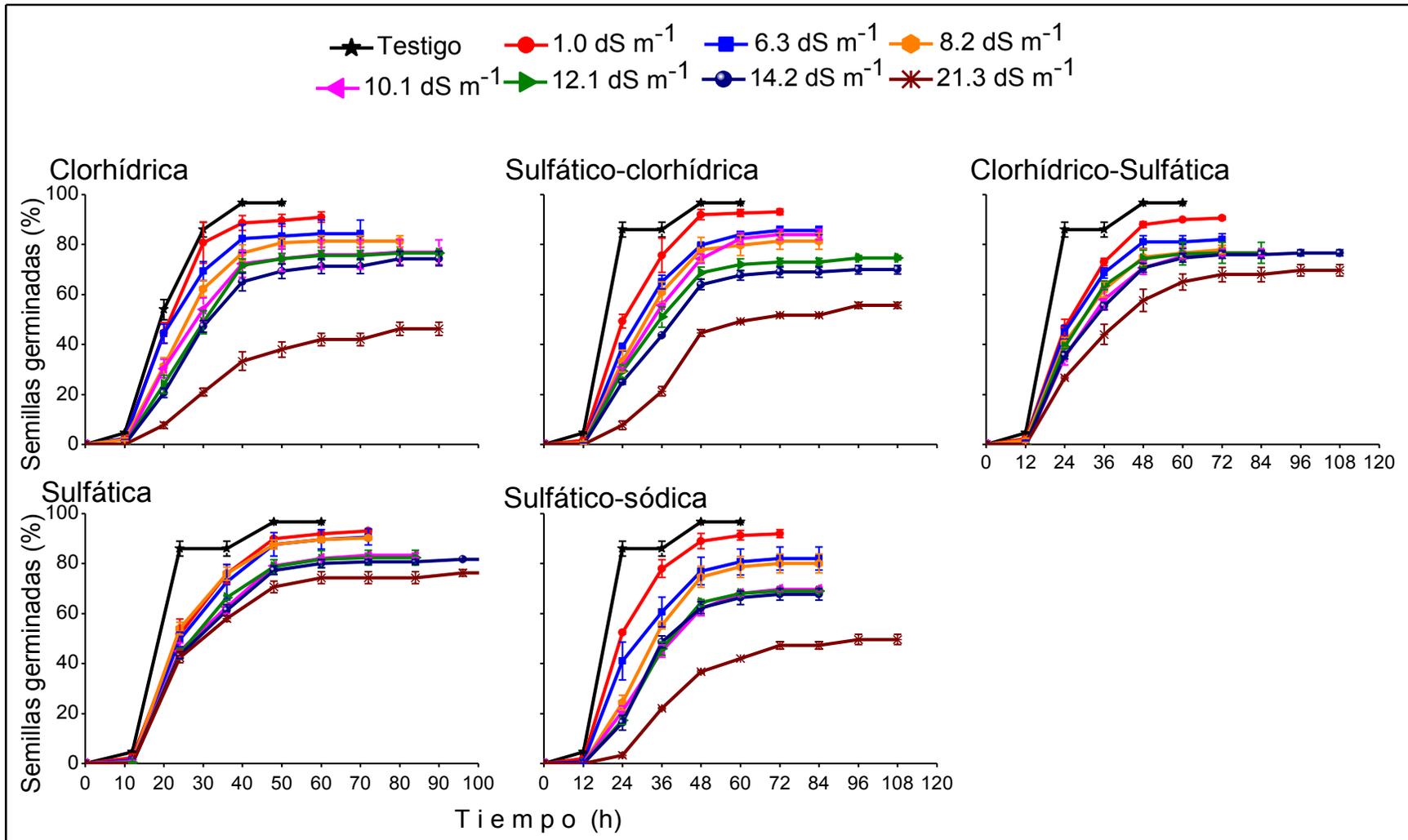


Figura 16. Dinámica de la germinación de semillas de *P. oleracea* L. cv. Mixquic en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

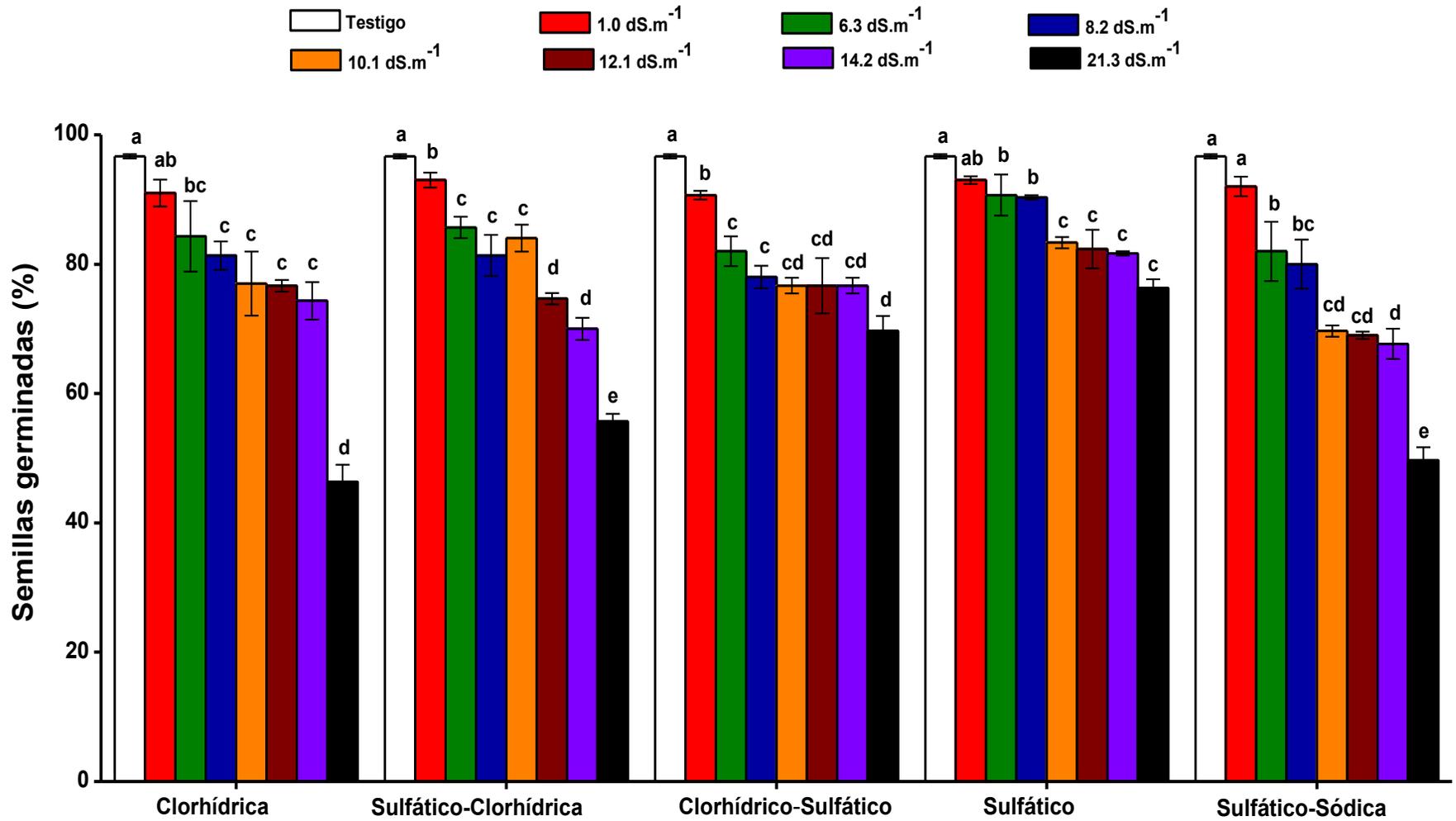


Figura 17. Porcentaje final de semillas germinadas de *P. oleracea* L., cv Mixquic en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

En la colecta Colpos en la salinidad clorhídrica, la germinación inicial fue del 10 % a una CE de 0.0 dS m⁻¹, del 7 % entre 1.0 a 8.2 a las 12 h, del 1 % para CE de 10.1 a 21.3 dSm⁻¹. El máximo porcentaje de germinación fue del 97 % a una CE de 0.0 dS m⁻¹ a las 60 h, del 91 % entre 1.0 y 10.1 dS m⁻¹, del 84 % a 12.1 dS m⁻¹ a las 120 h. El mínimo valor (65 %) se observó a la CE de 21.3 dS m⁻¹ a las 108 h, el cual fue inferior a todos, los cuales estadísticamente fueron diferente en comparación con el testigo (Figura 18 y 19).

Para la salinidad sulfático-clorhídrica la dinámica de la germinación fue similar a la salinidad clorhídrica. La germinación máxima (96 %) se observó a las CE de 0.0 y 1.0 dS m⁻¹, mientras que fue de 92 % en promedio a las conductividades de 6.3 a 14.2 dS m⁻¹ y el 75 % a 21.3 dS m⁻¹ (Figura 18 y 19).

En el caso de las salinidades clorhídrico-sulfática y sulfática, el porcentaje de la germinación inicial fue similar a las salinidades anteriores. La máxima germinación (97 %) se presentó en el testigo a las 60 h, seguida de la observada (93 %) en las CEs de 1.0 a 10.1 dS m⁻¹ a las 120 h. Los valores menores (85 %) se obtuvieron en 14.2 y 21.3 dS m⁻¹ a las 132 h (Figura 18 y 19).

El efecto de la salinidad sulfático-sódica, fueron más severos que en las salinidades anteriores. El porcentaje menor (35 %) se presentó a la CE de 21.3 dS m⁻¹ a las 132 h, el 68 % a 14.2 dS m⁻¹ a las 120 h, el 84 % a 8.1 y 12.1 dS m⁻¹ a las 120 h, a valores de CE más bajos se obtuvo el 91 % y en el testigo el 97 % a las 60 h. Se observó diferencias significativas ($P < 0.0001$), en función al tiempo, concentración y tipo de salinidad. La germinación inicial fue similar a las salinidades anteriores (Figura 18 y 19).

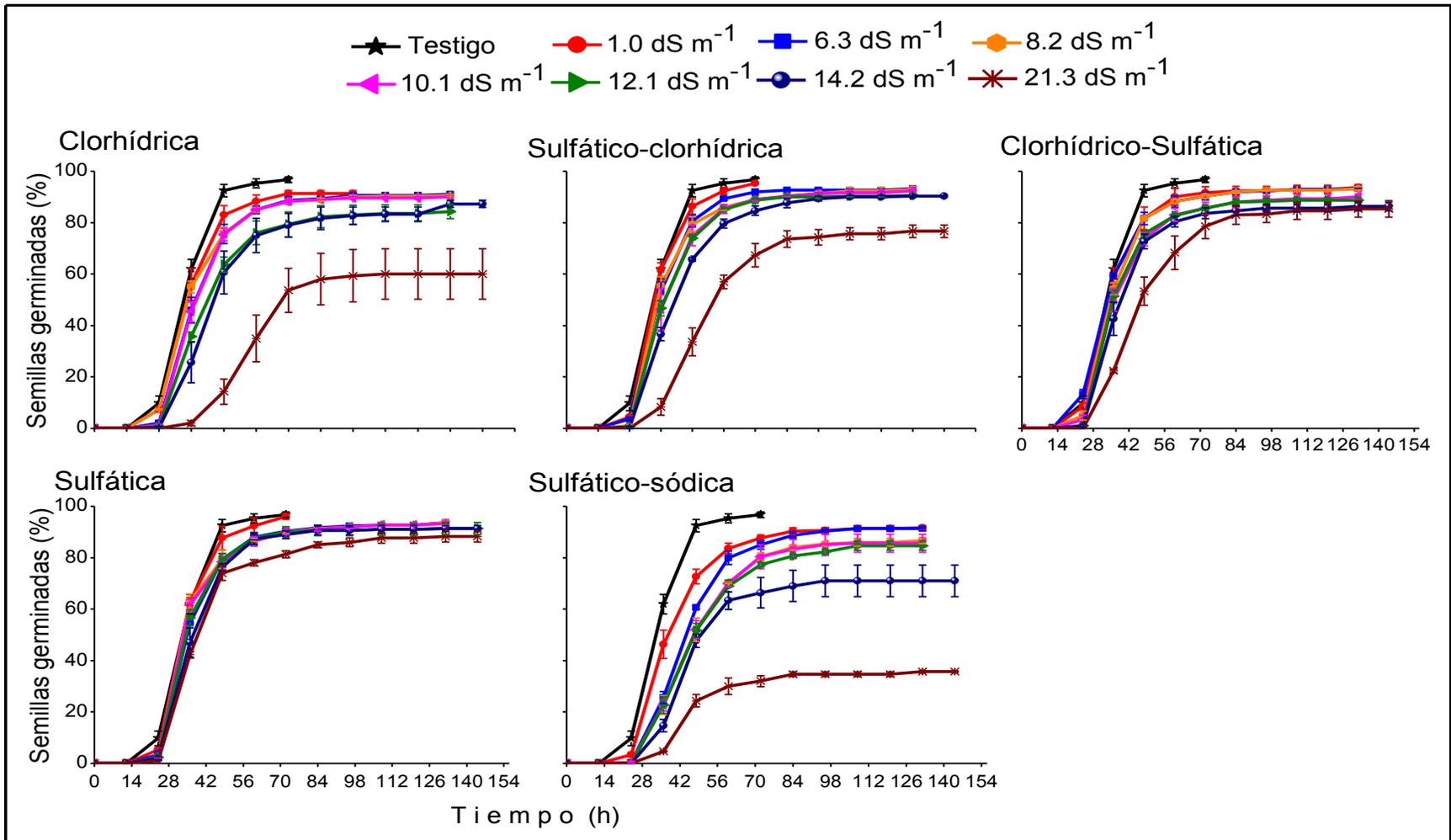


Figura 18. Dinámica de la germinación de semillas de *P. oleracea* L., colecta Colpos en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

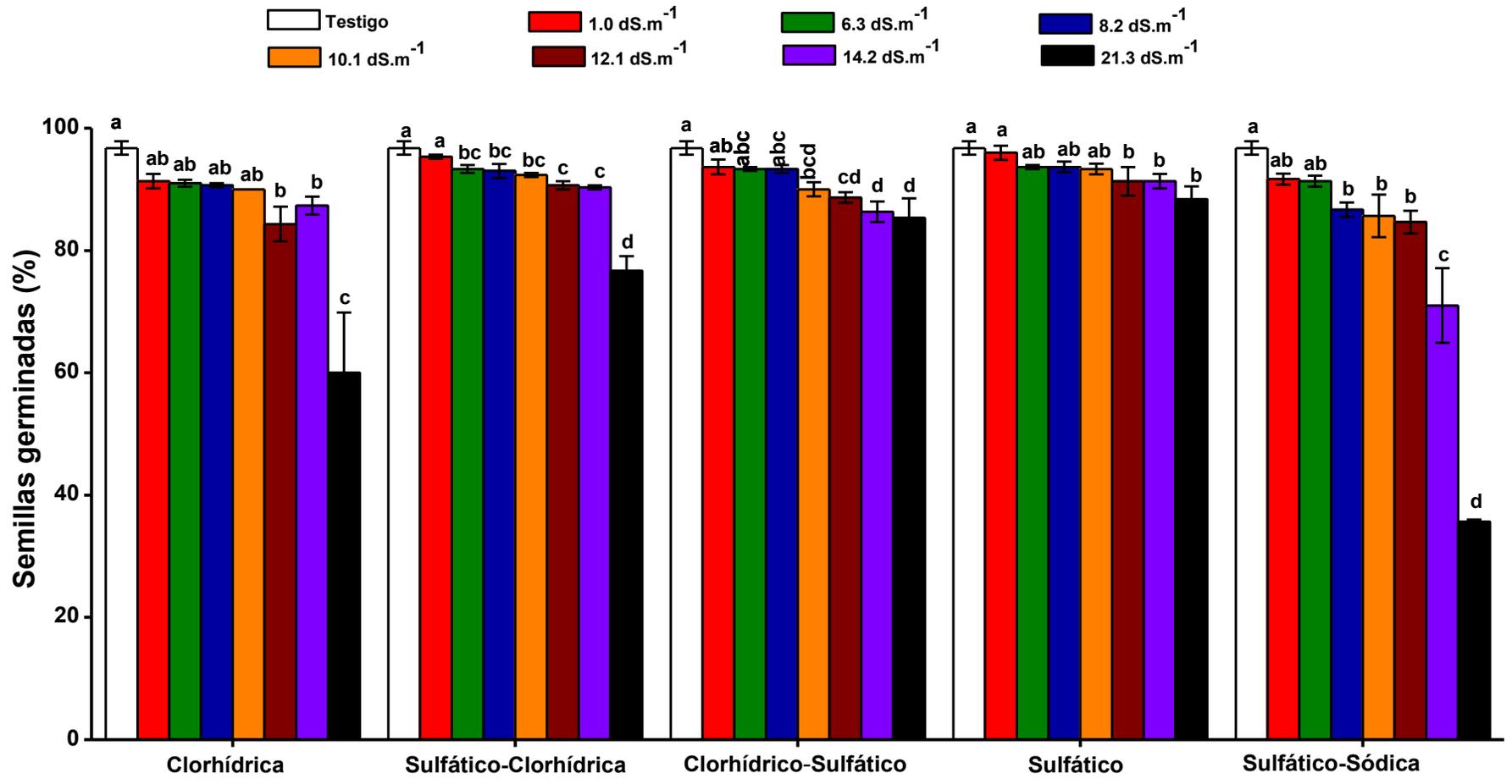


Figura 19. Porcentaje final de semillas germinadas de *P. oleracea* L., colecta Colpos en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar

Por último, en la colecta Ometepec, la germinación para cada una de las concentraciones (CE) y tipo de salinidades, se observaron diferencias estadísticas. En donde el patrón fue diferente a los anteriores cultivares y colectas.

En la salinidad clorhídrica, el inicio la germinación fue a las 24 h observándose el 30 % en el testigo y el 19 % a conductividades de 1.0 a 8.2 dS m⁻¹, mientras que para las conductividades de 10.1 a 21.3 dS m⁻¹ se observó un retraso. Por otra parte, el máximo porcentaje de germinación se presentó a las 204 h y fue del 84 % en el testigo, 76 % a 1.0 dS m⁻¹, 69 % a 6.3 y 8.2 dS m⁻¹; a las 216 h del 59 % a 10.1 y 12.1 dS m⁻¹, y por último a las 228 h del 20% en 21.3 dS m⁻¹ (Figura 20 y 21).

Para la salinidad sulfático-clorhídrica la dinámica de la germinación fue similar a la salinidad anterior. Los valores más bajos de germinación (18 %) se presentaron en la CE de 21.3 dS m⁻¹. Valores intermedios (60 %) se observaron a 14.2 dS m⁻¹. En a las conductividades 1.0 a 12.1 dS m⁻¹ se observó en promedio el 69 % en las cuales no se presentaron diferencias estadísticas, aunque si entre estas y el testigo (Figura 20 y 21).

En la salinidad clorhídrico-sulfática, la tendencia en la dinámica fue similar que en las salinidades anteriores. El porcentaje de germinación disminuyó conforme aumentó la conductividad eléctrica. La máxima germinación (84 %) se alcanzó a las 204 h en el testigo, el 70 % a las 156 h a CE de 1.0 y 6.3 dS m⁻¹, mientras que el valor mínimo (48 %) se presentó a las 216 h a la CE de 21.3 dS m⁻¹ (Figura 20 y 21).

En el caso de la salinidad sulfática, el menor porcentaje de germinación fue del 57 % a una CE de 21.3 dS m⁻¹, el 68 % en las conductividades de 1.0 a 8.1 dS m⁻¹. Se observó diferencias estadísticas significativas ($P < 0.0001$) en comparación con el testigo y las demás concentraciones (Figura 20 y 21).

El efecto de la salinidad sulfático-sódica fue muy notable. Los porcentajes de germinación fueron muy bajos, por ejemplo a las CE de 14.2 y 21.3 dS m⁻¹ fueron 22 % y 5 %, respectivamente, en las conductividades de 10.1 y 12.1 dS m⁻¹ se observó en promedio el 47

%. Se detectó diferencias significativas entre los tratamientos, lo anterior hace suponer que la colecta Ometepec es sensible a estas salinidades, durante la germinación (Figura 20 y 21).

En base a lo anterior y al considerar que en la actualidad no existe información acerca de los efectos de las salinidades geoquímicas en *P.oleracea* L., la información obtenida en ésta investigación es nueva y nos da evidencia del efecto de este tipo de salinidad y sensibilidad de la germinación en los diferentes materiales genéticos. Algunos autores manifiestan que uno de los principales efectos de la salinidad clorhídrica, sulfático-clorhídrica y clorhídrico-sulfática, se expresa en una inhibición en la germinación de semillas, y en seguida se presenta la reducción en la emergencia de plántulas y un menor peso fresco y seco de raíz, así como del vástago (Sánchez-Bernal *et al.*, 2008; Sánchez-Bernal y Ortega-Escobar, 2011).

Asimismo, la salinidad sulfática-sódica influye fuertemente en las variables antes mencionadas. Aunque por otra parte se debe mencionar que los sulfatos favorecen la germinación, pero no el crecimiento vegetativo (Ramírez, 1989; Ruiz, 1995; Sánchez-Bernal *et al.*, 2008; Ríos *et al.*, 2010; Sánchez-Bernal y Ortega-Escobar, 2011; González *et al.*, 2011).

De acuerdo a nuestros resultados podemos establecer que la mezcla de cloruros, sulfatos y bicarbonatos influyen en el proceso de germinación de semillas de *P.oleracea* L., en el siguiente orden: Ometepec > Mixquic > Colpos > Americana. Por último es necesario señalar que a medida que aumenta la concentración de sales hasta un valor de 21.3 dS m⁻¹ se presenta una reducción en esta variable.

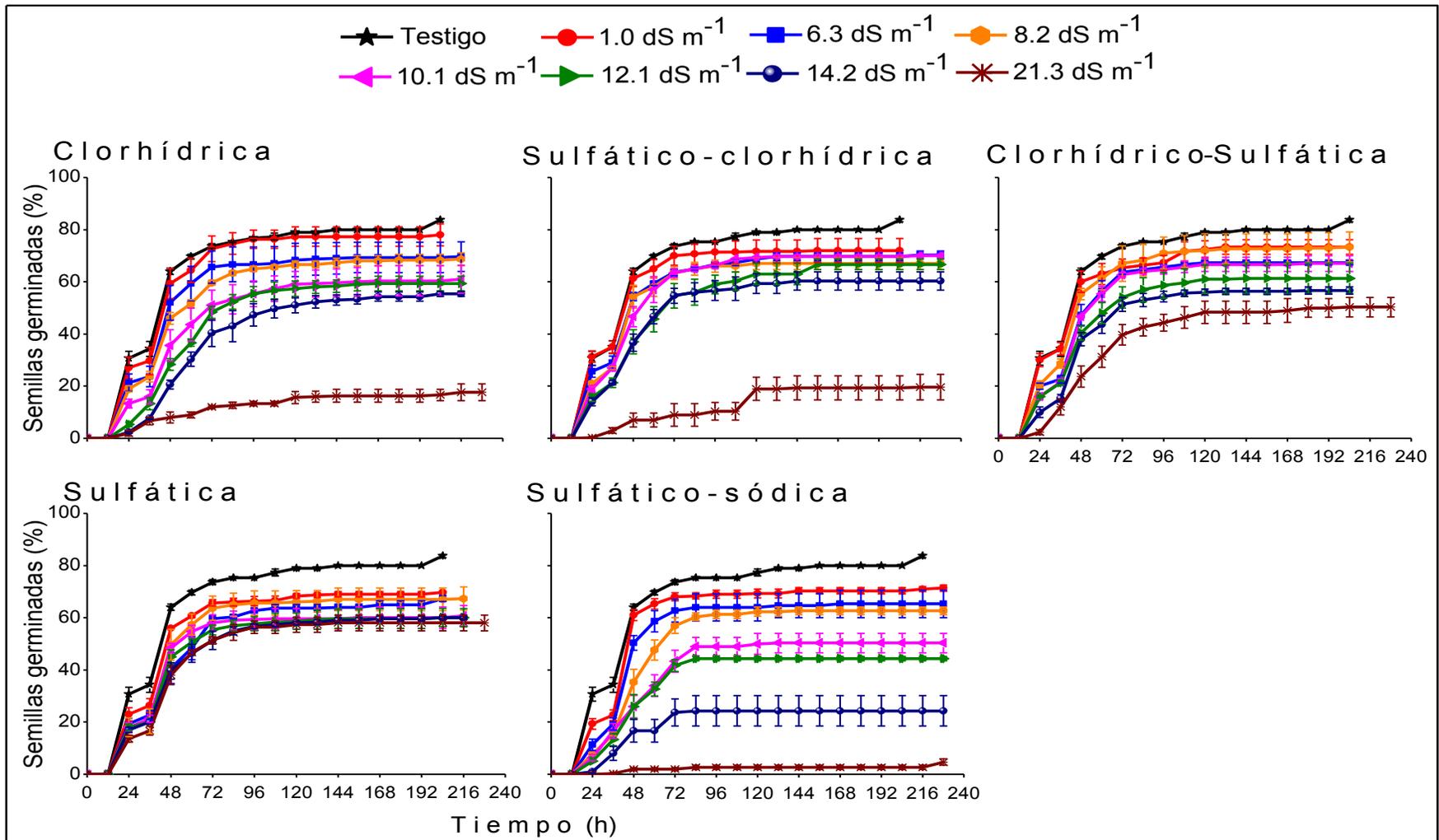


Figura 20. Dinámica de la germinación de semillas de *P. oleracea* L., colecta Ometepe en función de la salinidad y la concentración (conductividad eléctrica, CE). Los puntos son el promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

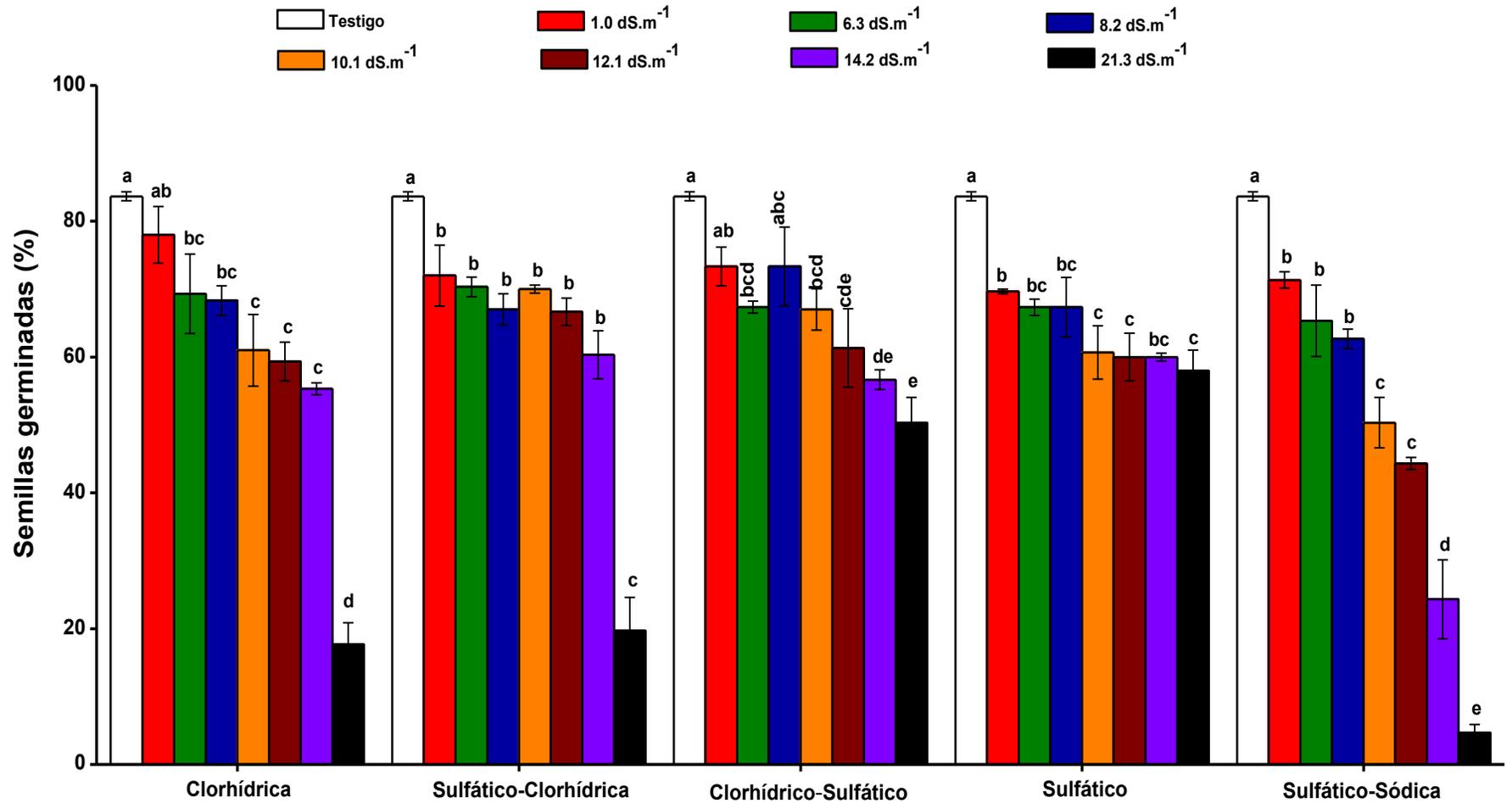


Figura 21. Porcentaje final de semillas germinadas de *P. oleracea* L., colecta Ometepec en función de las salinidades y concentraciones (conductividad eléctrica). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

En la literatura se ha indicado que el NaCl inhibe la germinación, sin embargo, la salinidad clorhídrica y sulfático-clorhídrica están conformadas por NaCl/MgSO₄, en el cual los cloruros se encuentran en concentraciones altas. Para la salinidad clorhídrico-sulfática los cloruros no presentan concentraciones altas. En el caso de la salinidad sulfático-sódica que está conformada por el NaHCO₃, MgCl₂ y Na₂SO₄, y en la cual cabe mencionar que el NaHCO₃ y MgCl₂ son sales altamente tóxicas, de esta manera la salinidad sulfático-sódica puede ser considerada como tóxica en los procesos fisiológicos de la germinación. De acuerdo a lo anterior el efecto inhibitorio va a depender principalmente de la especie, cultivar, colecta y origen de la semilla, así como también de la actividad que tengan las semillas en la selección de iones durante la absorción del agua de las soluciones salinas y de los mecanismos iniciales del proceso de germinación.

7.4. Velocidad de germinación

En relación a la velocidad de germinación (VG), hay muy poca información relacionada con semillas de *P.oleracea*. L. Con base en la cinética de la germinación se obtuvo la VG, donde el análisis estadístico mostró diferencias significativas ($P < 0.001$) en las diferentes CE y por tipo de salinidad, indicando el número de semillas germinadas por cada hora. Se observó mayor número de semillas germinadas por cada hora en los cv. Americana y Mixquic seguidas por las colectas Colpos y Ometepec.

A medida que se incrementó la CE disminuyó la velocidad de germinación, ya que a la CE de 21.3 dS m⁻¹ se presentó el menor número de semillas germinadas en comparación con el testigo. En correspondencia con el tipo de salinidades puras la menor velocidad se presenta en el siguiente orden: NaHCO₃ < NaCl < CaCl₂. 2H₂O ≤ MgCl₂.6H₂O ≤ MgSO₄.7H₂O = Na₂SO₄ (Figura 22).

Para el caso de las salinidades geoquímicas el orden es el siguiente: sulfático-sódica < sulfático-clorhídrica < clorhídrica < clorhídrico-sulfático < sulfática (figura 23). Por todo esto, se puede decir que el NaCl, NaHCO₃ y la salinidad sulfático-sódica disminuyen la

velocidad de germinación en la colecta Ometepec y colecta Colpos. Es probable que existan en la semilla y en particular durante la germinación mecanismos de resistencia a estas condiciones abióticas diferenciales en los diferentes materiales genéticos probados, ya que estas semillas pueden presentar daños al ser sometidas a altas concentraciones y también al tipo de salinidad. Particularmente, la disminución en la velocidad de germinación se debió principalmente al efecto osmótico y tóxico de los iones, como lo mencionaron Redmann (1974); Carrasco et al. (1992) y González y Ramírez (1996).

Carnevale *et al.* (2004); Martínez *et al.* (2010) probaron diferentes concentraciones de NaCl y diferentes temperaturas en la germinación de semillas maíz y tomate, y encontraron diferencias en la velocidad de germinación. En el caso de la verdolaga también se obtuvieron diferencias significativas dado que hay una inhibición en la velocidad de semillas germinadas en ambos tipos de salinidad (sales puras y salinidades geoquímicas).

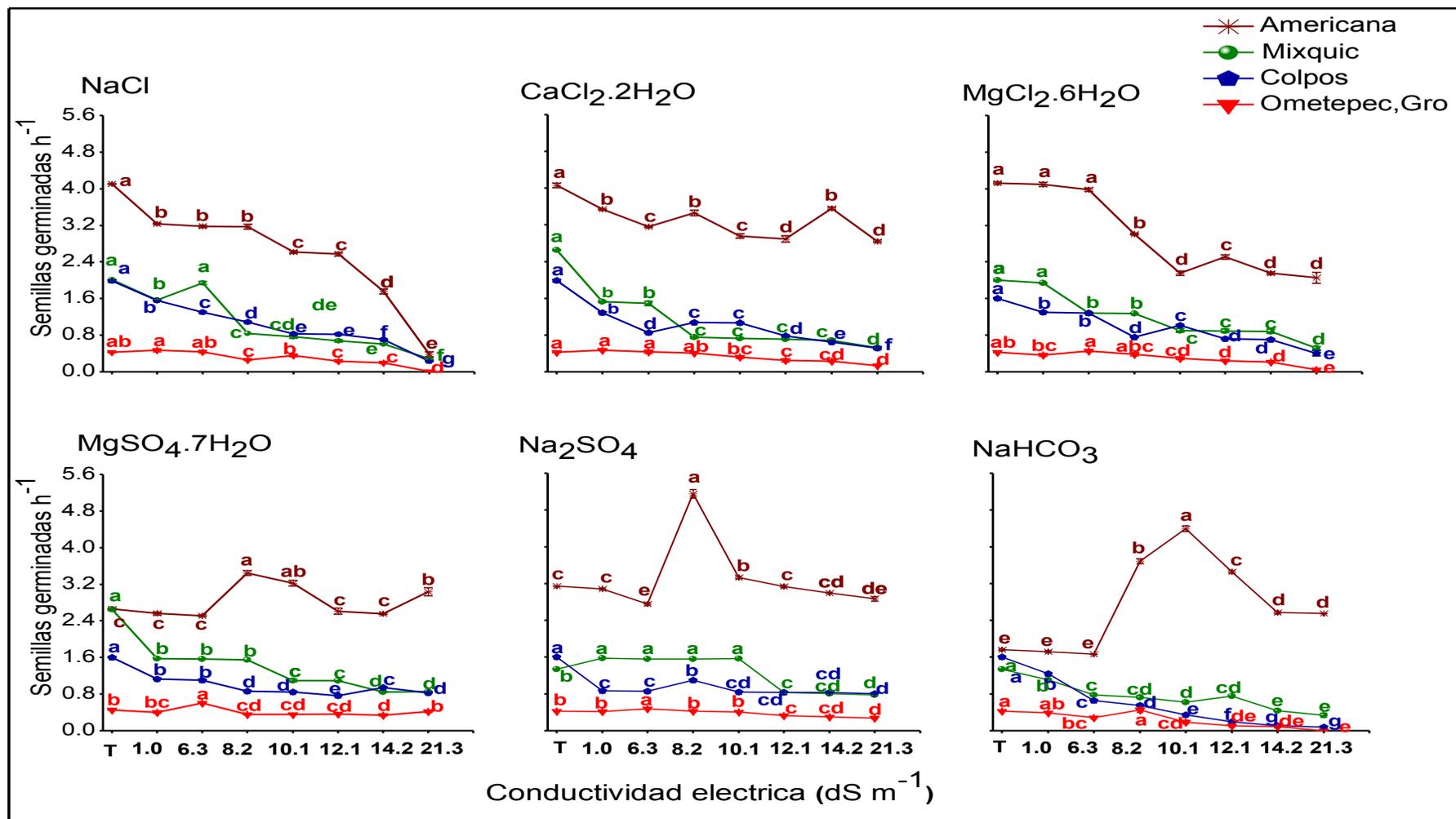


Figura 22. Velocidad de germinación de semillas en cuatro genotipos de *P. oleracea* L. en sales puras a diferentes concentraciones (CE). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

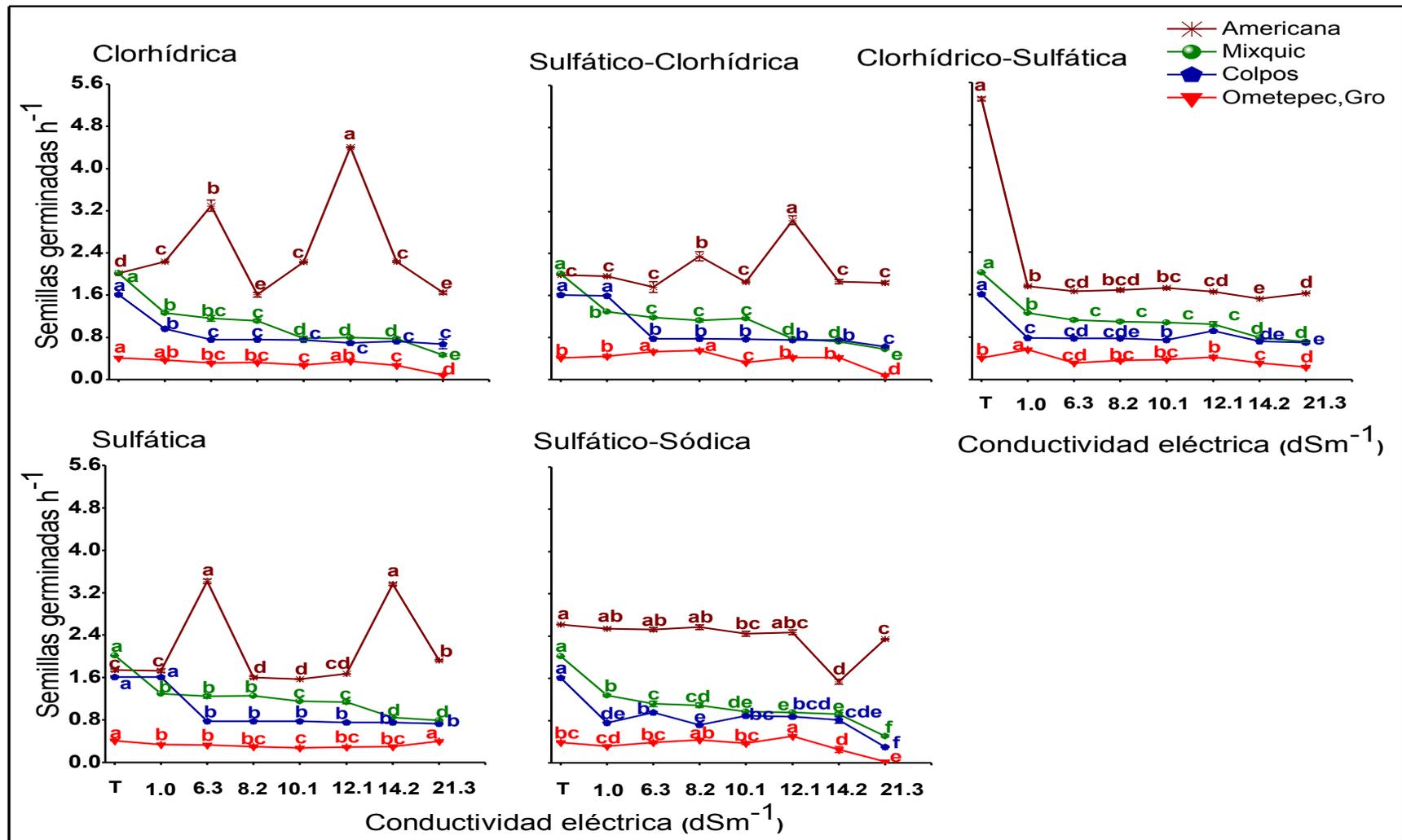


Figura 23. Velocidad de germinación de semillas en cuatro genotipos de *P. oleracea* L. en sales geoquímicas a diferentes concentraciones (CE). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

7.5 Tolerancia con base en la germinación relativa

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la germinación relativa se estableció la tolerancia de los cuatro tipos de semillas (colectas y cultivares) de la verdolaga usadas en ésta investigación. Como en todos los procesos biológicos, la adaptación a las variaciones en la salinidad se da en un intervalo o umbral de tolerancia. Se observó, que usando sales de NaCl, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y NaHCO_3 la tolerancia en la germinación fue de la siguiente manera: Americana > Mixquic > Colpos > Ometepec. Sin embargo, se debe señalar que las semillas de la verdolaga del cultivar Americana, Mixquic y Colpos presentaron una tolerancia alta para las sales $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Na_2SO_4 (90 % de semillas germinadas) aún en la conductividad eléctrica más alta. En cambio, para las semillas de la colecta Ometepec la germinación fue menor aunque relativamente constante aún en las CE's mayores (Figura 24). Es importante mencionar que el bicarbonato de sodio tuvo un efecto gradual y constante de inhibición a medida que se incrementó su concentración.

En los resultados obtenidos con las mezclas de sales (salinidad geoquímica) se pudo observar que la tolerancia en la germinación presentada por las diferentes materiales genéticos para el caso de la mezcla clorhídrica, sulfático-clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfático-sódica fue de la siguiente forma: Americana > Colpos > Mixquic > Ometepec. Sin embargo, en la salinidad sulfática la Americana, Colpos y Mixquic mostraron un porcentaje de germinación superior al 80 % a una CE de 21.3 dS m^{-1} y no así para la colecta de Ometepec (Figura 25).

Para comprender la importancia de la tolerancia en las diferentes sales y concentraciones es posible que ciertas sales como los sulfatos, probablemente puedan ser esenciales en la transmisión de un estímulo para la germinación de semillas de verdolaga (Strogonov, 1964; Ries y Hofmann, 1983; Castillo y Lora, 1987; Duan *et al.*, 2004; Sánchez-Bernal *et al.*, 2008). Por otra parte es necesario señalar que la tolerancia es algo muy complejo, cualitativo y también genético en cada especie.

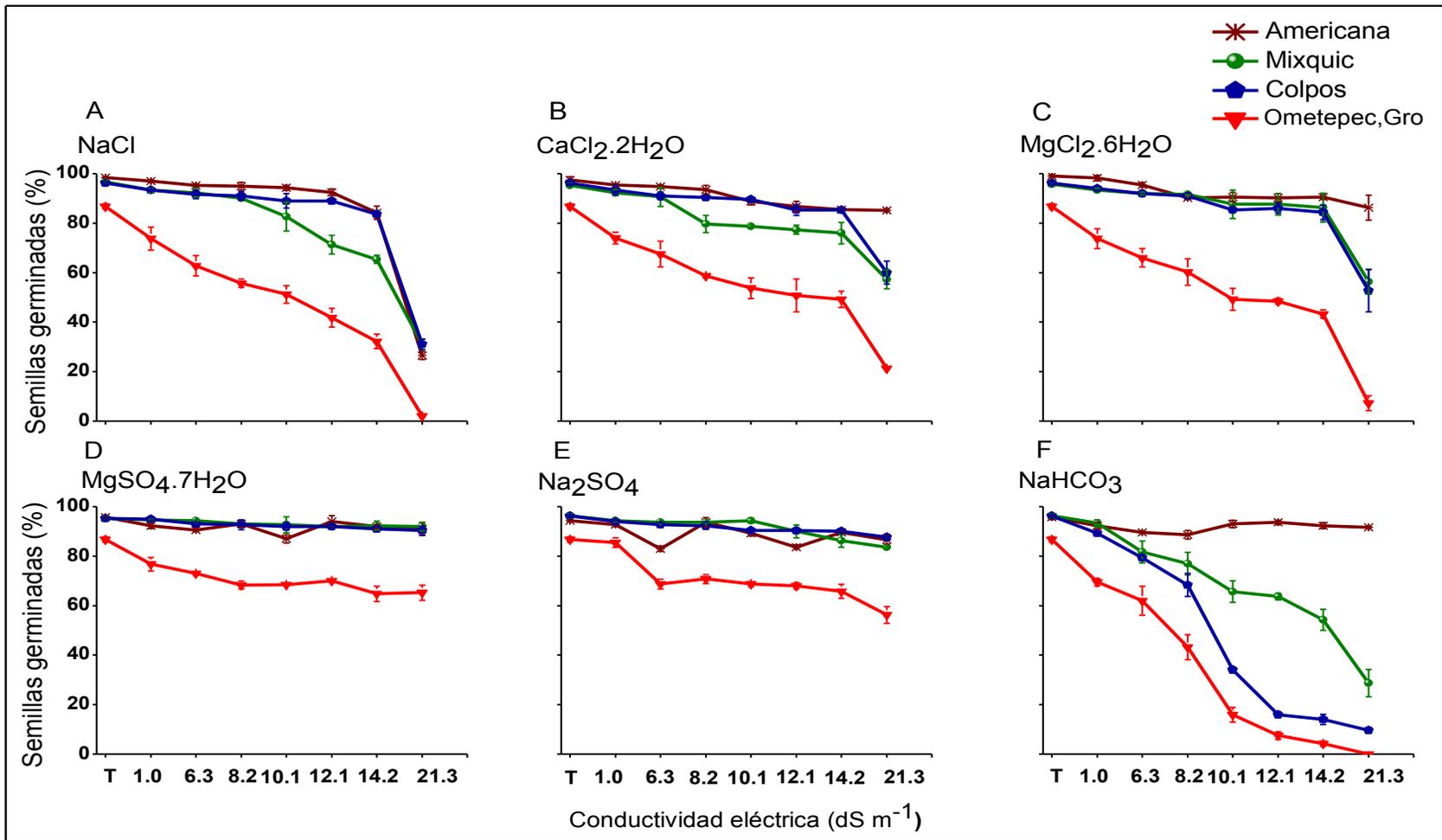


Figura 24. Porcentaje de germinación relativa de semillas en genotipo de *P. oleracea* L. en sales puras a diferentes concentraciones (CE). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

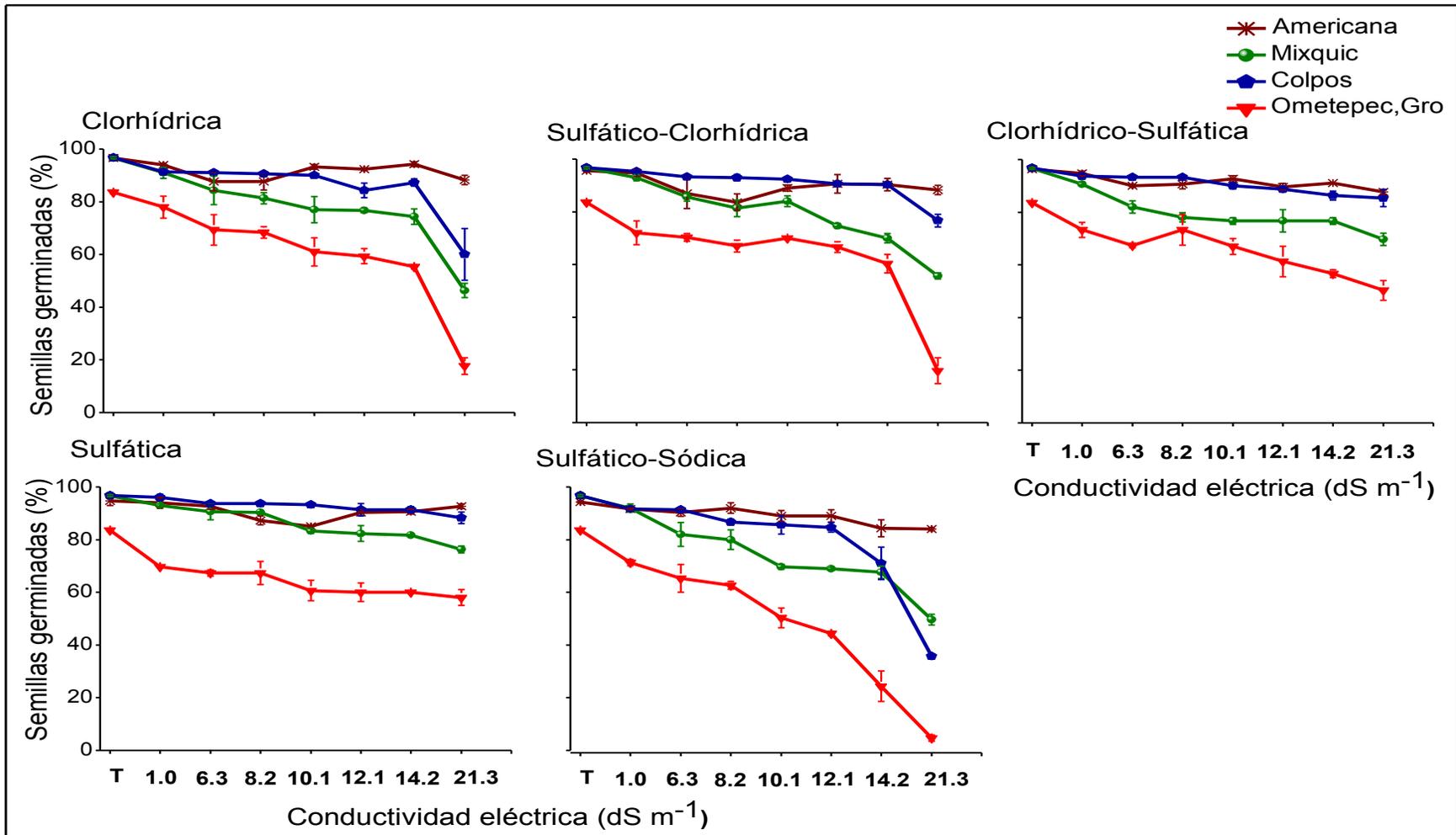


Figura 25. Porcentaje de germinación relativa de semillas en genotipos de *P. oleracea* L. en salinidades geoquímicas a diferentes concentraciones (CE). Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

La tolerancia a las salinidades (puras y geoquímicas) varió notablemente entre los cultivares y colectas de semillas, evidenciándose que existe un amplio espectro en cuanto al tipo de salinidad y su concentración umbral.

El cultivar Americana fue la más tolerante y su germinación casi no se vio afectada aún en CE de 21.3 dS m^{-1} . En el cultivar Mixquic y la colecta Colpos su germinación se empezó a ver afectada a partir de CE de 10.1 dS m^{-1} y solo en la sal de bicarbonato de sodio su germinación se vio afectada desde 6.3 dS m^{-1} y continuó disminuyendo hasta valores de 20-10 % en la CE de 21.3 dS m^{-1} . Las sales geoquímicas tuvieron un efecto mayor en la germinación en estos dos materiales de verdolaga. La colecta Ometepec fue el material más sensible en los dos tipos de salinidad y su germinación se vio afectada gradualmente desde CE de 1.0 dS m^{-1} . Diferentes autores han mencionado que la tolerancia de la germinación a la salinidad es un parámetro que puede variar gradualmente entre especies y variedades, tipo de suelos, clima y de las condiciones de manejo, así como también entre cultivares, colecta y por tipo de semilla e incluso entre la misma especie (Casierra y Rodríguez, 2006; Munns y Tester, 2008; Argentel *et al.*, 2010; Has-Werner *et al.*, 2011; Anderson *et al.*, 2015) tal como se ha observado en los resultados de esta investigación con *Portulaca oleracea* L.

Sin embargo, la tolerancia a la salinidad durante la germinación de muchas especies no se encuentra en correspondencia con respecto a otras etapas fenológicas por ejemplo, emergencia, crecimiento vegetativo, floración y fructificación. Así, por ejemplo, la cebada y el algodón son cultivos clasificados como de tolerancia alta a las sales en la fase de plántula, sin embargo se ha encontrado que son relativamente sensibles durante la germinación (Has-Werner *et al.*, 2011).

Considerando las curvas de Mass y Hoffman, Kan y Hungar dentro de las plantas cultivadas existen algunas con capacidad de adaptarse a las condiciones salinas en un medio dado, aunque en menor grado que las halófitas. Considerando lo anterior, *P. oleracea* L. cv. Americana probablemente tenga un mecanismo de adaptación en estos tipos de sales, debido a que ésta presenta un comportamiento semejante a las plantas halófitas, ya que se observó el incremento de la CE en las soluciones a diferentes salinidades disminuyo ligeramente la

germinación. Sin embargo, derivado de ésta investigación acerca del efecto de la salinidad en la germinación de semillas de verdolaga se debe señalar que la salinidad afectó negativamente la germinación, sean estas de origen silvestres o de cultivares.

Estos efectos inciden en el porcentaje de germinación y en el lapso en que transcurre para la germinación. Estos resultados muestran la existencia de una variabilidad genética de la verdolaga y por tanto probablemente el cv. Americana sea una fuente importante de genes para el mejoramiento genético al estrés salino, de manera que los esfuerzos en seleccionar las semillas resistentes a la salinidad son de gran valor para la producción y el mejoramiento de aquellos cultivares agronómicos y colectas de semillas silvestres que probablemente puedan llegar a presentar compatibilidad genética con los cultivares comerciales como el cv. Americana.

En general, la tolerancia va a depender principalmente de la especie o cultivar y el lugar de origen de la semillas, ya que como se observó, éstas pueden llegar a tener una buena germinación cuando crecen en ambientes salinos, debido a que se han adaptado generando una capacidad para resistir a estas condiciones

7.6 Recuperación de la capacidad de germinación al ser transferida a agua destilada

La germinación del cv. Americana se vio muy poco afectada por los dos tipos de salinidad y las diferentes concentraciones que se probaron de cada una de ellas, por lo tanto no se realizó ninguna recuperación de la germinación en este material. Sin embargo, cabe mencionar que se presentó en promedio el 12 % de semillas latentes o muertas a las CE de 1.0 a 14.2 dS m⁻¹ y el 77 % en el NaCl a la CE de 21.3 dS m⁻¹.

En el cuadro 13, se presentan los porcentajes medios de germinación acumulados en las diferentes soluciones salinas con respecto a la CE en las semillas Mixquic, así como el porcentaje de semillas recuperadas después de haber sido lavadas con agua destilada, es decir las que no llegaron a germinar en la solución salina. Al ser transferida a agua destilada la actividad de recuperación (R) fue de 49 % a una CE de 21.3 dS m⁻¹ y un 21 % de semillas que probablemente murieron o permanecieron en latencia (M) en NaCl. Para la solución salina de CaCl₂·2H₂O, la R fue de 26 % y la M de 17 %. Para el MgCl₂·6H₂O la R fue de 18 % y la M de 27 %. Para el MgSO₄·7H₂O y Na₂SO₄, la R fue de 4 % y la M de 10 %. El bicarbonato de sodio (NaHCO₃), causó la disminución mayor en la germinación. La R fue de 3 % y la M de 71 %. En cuanto a las salinidades geoquímicas en este cultivar, la clorhídrica tuvo una R del 20 % y una M de 35 %, la sulfático-clorhídrica una R del 14 % y una M de 30 %, la clorhídrico-sulfática, sulfática y sulfático-sódica presentaron una R de 1-4 % y una M de 27-23, sin embargo, la sulfático-sódica presentó una M de 48 %.

Los resultados de recuperación (R) de la colecta Colpos se presentan en el Cuadro 14. El porcentaje de las semillas recuperadas en NaCl, CaCl₂·2H₂O, MgCl₂·6H₂O a una concentración de 21.3 dS m⁻¹ fue del 24-42 % y de semillas muertas o latentes del 14-28 %. Para el caso del MgSO₄·7H₂O y Na₂SO₄ se recuperaron del 1-3 % y M el 10 %.

En el caso del bicarbonato de sodio (NaHCO₃) no se recuperó ninguna semilla y el porcentaje de mortalidad o de latencia (M) fue del 91%.

Cuadro 13. Porcentaje de la germinación en función al tipo de salinidad y su concentración, que posteriormente fueron transferidas a agua destilada en cv Mixquic.

Sal	% Germinación					sal	% Germinación			
	CE	S	R	% M	Total		S	R	% M	Total
NaCl	1.0	96.5	0	3.5	100	Clorhídrica	91.25	0	8.75	100
	6.2	93.25	2	4.75	100		83.5	1.25	15.25	100
	8.2	90	1.25	8.75	100		80.25	1.5	18.25	100
	10.1	82.5	3.5	14	100		75	2.25	22.75	100
	12.1	73	7.5	19.5	100		76.25	2.25	21.5	100
	14.2	65.75	11	23.25	100		74.5	3.5	22	100
	21.3	30.75	48.75	20.5	100		45	20.25	34.75	100
CaCl ₂ .2H ₂ O	1.0	91.75	0	8.25	100	Sulfático- Clorhídrica	93	0	7	100
	6.2	89.25	3	7.75	100		85.25	1	13.75	100
	8.2	81	7.5	11.5	100		81.25	1.25	17.5	100
	10.1	79	6.5	14.5	100		83.75	2.25	14	100
	12.1	76.75	10	13.25	100		83.75	2.75	22.5	100
	14.2	74	7	19	100		69.25	2.25	28.5	100
	21.3	56.5	26.25	17.25	100		55.5	14.25	30.25	100
MgCl ₂ .6H ₂ O	1.0	93	0	7	100	Clorhídrico- sulfática	90.5	0	9.5	100
	6.2	92	0.75	7.25	100		81	1	18	100
	8.2	91.75	0.5	7.75	100		78.75	0.5	20.75	100
	10.1	86.75	1.25	12	100		77.25	1.25	21.5	100
	12.1	85.75	4	10.25	100		75.25	1.5	23.25	100
	14.2	85	4.75	10.25	100		76.25	2.75	21	100
	21.3	55.75	17.75	26.5	100		68.75	4.25	27	100
MgSO ₄ .7H ₂ O	1.0	94.75	0	5.25	100	Sulfática	93.25	0	6.75	100
	6.2	94.25	0	5.75	100		89.75	1	9.25	100
	8.2	93	0.5	6.5	100		90.25	0.75	9	100
	10.1	92.25	0.5	7.25	100		83.25	1.75	15	100
	12.1	91.75	0.25	8	100		82	0.75	17.25	100
	14.2	91.5	1.5	7	100		81.75	0.75	17.5	100
	21.3	92	2	6	100		76	0.75	23.25	100
NaSO ₄	1.0	94.5	0	5.5	100	Sulfático sódica	91.75	0	8.25	100
	6.2	93.75	0.5	5.75	100		80.5	1	18.5	100
	8.2	93.75	0.5	5.75	100		78.5	1.25	20.25	100
	10.1	94.25	0.75	5	100		69.75	2.75	27.5	100
	12.1	90.25	3	6.75	100		68.75	2.75	28.5	100
	14.2	87	3	10	100		66.5	2.75	30.75	100
	21.3	83.75	4.25	12	100		48.75	3.25	48	100
NaHCO ₃	1.0	93	0	7	100					
	6.2	83.75	0.5	15.75	100					
	8.2	78.5	0.5	21	100					
	10.1	66.75	4	29.25	100					
	12.1	63	3.25	33.75	100					
	14.2	52.25	0	47.75	100					
	21.3	28.25	0	71.75	100					

Conductividad eléctrica (CE), Porcentaje de germinación en la solución salina (S), Recuperación de la semilla (R) y las semillas que murieron o permanecieron en latencia (M).

Cuadro 14. Porcentaje de la germinación en función al tipo de salinidad y su concentración, que posteriormente fueron transferidas a agua destilada en colecta Colpos.

Sal	CE	% Germinación				Total	sal	% Germinación			
		S	R	% M	Total			S	R	% M	Total
NaCl	1.0	93.25	0	6.75	100	Clorhídrica	92.5	0	7.5	100	
	6.2	93.5	0.25	6.25	100		90.75	1	8.25	100	
	8.2	91	0.25	8.75	100		90.75	1	8.25	100	
	10.1	89	4.5	6.5	100		90	2.25	7.75	100	
	12.1	88.75	5.75	5.5	100		83.75	2.75	13.5	100	
	14.2	84	9.25	6.75	100		86.75	5.5	7.75	100	
	21.3	30.75	41.75	27.5	100		64.75	17.5	17.75	100	
CaCl ₂ .2H ₂ O	1.0	92.5	0	7.5	100	Sulfático- Clorhídrica	95.5	0	4.5	100	
	6.2	91.75	0.25	8	100		93.5	0.75	5.75	100	
	8.2	90.25	0.25	9.5	100		93.5	1.5	5	100	
	10.1	89.75	1.5	8.75	100		92.5	1.25	6.25	100	
	12.1	84.25	2.25	13.5	100		90.5	1.75	7.75	100	
	14.2	85.5	3.75	10.75	100		90.5	3	6.5	100	
	21.3	62	23.75	14.25	100		75.5	12.5	12	100	
MgCl ₂ .6H ₂ O	1.0	93.5	0	6.5	100	Clorhídrico- sulfática	94.25	0	5.75	100	
	6.2	92	0	8	100		93.25	0.5	6.25	100	
	8.2	91	0	9	100		93	1	6	100	
	10.1	85.25	4	10.75	100		90	2.5	7.5	100	
	12.1	86.5	3.75	9.75	100		88.25	1	10.75	100	
	14.2	84	4.25	11.75	100		86.75	1.5	11.75	100	
	21.3	48.5	30	21.5	100		83.75	5	11.25	100	
MgSO ₄ .7H ₂ O	1.0	94.75	0	5.25	100	Sulfática	96.5	0	3.5	100	
	6.2	93	0	7	100		93.75	0	6.25	100	
	8.2	93.5	0	6.5	100		93.25	0	6.75	100	
	10.1	91.75	1.75	6.5	100		93	0	7	100	
	12.1	91.75	0	8.25	100		90.25	0.25	9.5	100	
	14.2	90.5	1	8.5	100		90.75	0.75	8.5	100	
	21.3	89.75	0.75	9.25	100		87.25	1.5	11.25	100	
Na ₂ SO ₄	1.0	93.75	0	6.25	100	Sulfático sódica	91.5	0	8.75	100	
	6.2	92.75	0	7.25	100		91.75	0.25	8	100	
	8.2	91.75	0	8.25	100		86.25	0.25	13.5	100	
	10.1	90.5	1.75	7.75	100		85.5	1.25	13.25	100	
	12.1	90.25	1	8.75	100		83.75	1.25	15	100	
	14.2	89.75	1.25	9	100		68	2.25	29.75	100	
	21.3	87.5	3	9.5	100		35.5	5	59.5	100	
NaHCO ₃	1.0	89.25	0	10.75	100						
	6.2	79	0	21	100						
	8.2	66.25	0	33.75	100						
	10.1	33.5	0	66.5	100						
	12.1	16.5	0	83.5	100						
	14.2	13	0	87	100						
	21.3	9.25	0	90.75	100						

Conductividad eléctrica (CE), Porcentaje de germinación en la solución salina (S), Recuperación de la semilla (R) y las semillas que murieron o permanecieron en latencia (M).

Cuadro 15. Porcentaje de la germinación en función al tipo de salinidad y su concentración, que posteriormente fueron transferidas a agua destilada en colecta Ometepec.

Sal	CE	% Germinación				sal	% Germinación			
		S	R	% M	Total		S	R	% M	Total
NaCl	1.0	73.75	1.25	25	100	Clorhídrica	76	0.5	23.5	100
	6.2	62.75	1.75	35.5	100		68.5	1	30.5	100
	8.2	55.75	2.75	41.5	100		69.5	1	29.5	100
	10.1	51.25	4	44.75	100		59	1.25	39.75	100
	12.1	41.75	4	54.25	100		58.75	2	39.25	100
	14.2	32.25	8.5	59.25	100		55.25	4.75	40	100
	21.3	2	31.75	66.25	100		19.25	23	57.75	100
CaCl ₂ .2H ₂ O	1.0	74	0.75	25.25	100	Sulfático- Clorhídrica	69.75	0.25	30	100
	6.2	67.5	0.75	31.75	100		70.25	0.25	29.5	100
	8.2	58.75	1.5	39.75	100		67	1	32	100
	10.1	53.75	1	45.25	100		69.75	1.25	29	100
	12.1	50.75	1.75	47.5	100		65.75	3.75	30.5	100
	14.2	49.25	2.75	48	100		60	3.5	36.5	100
	21.3	21.25	8.75	70	100		17.5	16.5	66	100
MgCl ₂ .6H ₂ O	1.0	73.75	0.25	26	100	Clorhídrico- sulfática	74.75	0.5	24.75	100
	6.2	66	1	33	100		67.5	0.5	32	100
	8.2	60.25	0.5	39.25	100		73.5	0.5	26	100
	10.1	49.25	1.25	49.5	100		68.5	2	29.5	100
	12.1	48.5	3.25	48.25	100		61.5	2.25	36.25	100
	14.2	49.25	5.5	51.25	100		56.75	2.25	41	100
	21.3	7.25	21.5	71.25	100		48.5	3.75	47.75	100
MgSO ₄ .7H ₂ O	1.0	76.76	0.5	22.75	100	Sulfática	69.5	0.5	30	100
	6.2	73	0.5	26.5	100		66.75	0.5	32.75	100
	8.2	68.25	0.75	31	100		65.25	0.75	34	100
	10.1	68.5	0.75	30.75	100		58.75	1.25	40	100
	12.1	70	1.5	28.5	100		59	1.5	39.5	100
	14.2	64.75	1.5	33.75	100		60.25	1.5	38.25	100
	21.3	65.25	1.5	33.25	100		57.25	3.75	39	100
Na ₂ SO ₄	1.0	85.5	0.5	14	100	Sulfático sódica	71.75	0	28.25	100
	6.2	68.75	1	30.25	100		65	0	35	100
	8.2	70.75	1	28.25	100		62	0	38	100
	10.1	68.75	1	30.25	100		48.5	0	51.5	100
	12.1	67.5	0.75	31.75	100		44	0	56	100
	14.2	65.75	1.25	33	100		22	0	78	100
	21.3	56.25	3.75	40	100		5.25	0	94.75	100
NaHCO ₃	1.0	69.5	0	30.5	100					
	6.2	62	0	38	100					
	8.2	43.25	0	56.75	100					
	10.1	16	0	84	100					
	12.1	7.5	0	92.5	100					
	14.2	4.25	0	95.75	100					
	21.3	0	0	100	100					

Conductividad eléctrica (CE), Porcentaje de germinación en la solución salina (S), Recuperación de la semilla (R) y las semillas que murieron o permanecieron en latencia (M)).

En relación a la salinidad clorhídrica, sulfático-clorhídrica a una CE de 21.3 dS m^{-1} se observó una recuperación del 13-18 % de semillas germinadas después de ser lavadas y transferidas a agua destilada y un 12-18 % de semillas muertas o latentes. Para las salinidades clorhídrico-sulfática y sulfática la recuperación de semillas fue de 2-5% y 11% M. Para la sulfático-sódica el 5 % se recuperaron y el 53 % murieron o estuvieron latentes.

En relación a las semillas de la colecta Ometepec germinando en las sales de NaCl, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a una CE de 21.3 dS m^{-1} la actividad de recuperación en la germinación fue de 32-22 % y el 66-71% de M. Para $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y para la salinidad sulfático-clorhídrica el 9-17 % y 70-66 % de M. Con respecto a las salinidades de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Na_2SO_4 , clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfática, presentaron el 2, 4, 23, 4 y 4 % de recuperación y el 33, 40, 58, 48 y 39 % de latencia o muerte respectivamente. En el caso del NaHCO_3 y sulfático-sódica las semillas no se recuperaron y presentaron M de 100 y 95% respectivamente. Este efecto en la germinación probablemente se deba directamente al anión HCO_3^- y el catión de Na^+ a altas concentraciones. Lo anterior ya ha sido reportado en otras especies tanto en germinación como en el desarrollo de las plantas (Kovda, 1973; Ramírez *et al.*, 1989; Ruiz, 1995; Sánchez-Bernal *et al.*, 2008; Ríos *et al.*, 2010; Sánchez-Bernal y Ortega-Escobar, 2011; González *et al.*, 2011).

Gulzar *et al.* (2001) mencionan que semillas de plantas halófitas presentan latencia en los suelos salinos, posteriormente cuando se hace el lavado de sales en el suelo éstas pueden llegar a germinar. Un efecto similar se presentó en las semillas Mixquic, Colpos y Ometepec cuando se lavaron de las soluciones de cloruros y sulfatos, sin embargo, las semillas de la colecta Colpos y Ometepec incubadas en bicarbonatos no se recuperaron. No se sabe con claridad cuál es el mecanismo fisiológico de resistencia de las semillas para continuar viables durante un tiempo determinado en condiciones de salinidad alta, además de soportar la toxicidad de ciertos iones. Los resultados de esta investigación indicaron claramente que la recuperación de las semillas después de haber sido lavadas, está muy relacionado con el tamaño y peso de la semilla así como del lugar de origen.

7.7 Respuesta de la germinación de semillas de verdolagas en Polietilenglicol 8000 (PEG 8000)

Se utilizó el polietilen glicol con un peso molecular de 8000 (PEG 8000), generando potenciales osmóticos similares a los generados con las diferentes concentraciones de sales (Anexo 4). Lo anterior fue con el fin de determinar si la disminución de la germinación en las diferentes semillas de verdolaga se debió al efecto osmótico o al iónico. El PEG es un compuesto orgánico, generalmente, usado como un osmoacondicionador en la germinación, debido a que no presenta iones tóxicos.

En la figura 26 se presenta la cinética de germinación para los cuatro tipos de semillas de verdolaga en solución de PEG 8000. Se puede observar que el cv. Americana inició la germinación a las 6 h, seguida de Mixquic, Colpos y Ometepec, en las cuales los tiempos de germinación fueron diferentes para cada cultivar y colecta de verdolaga. En el cv. Americana a Ψ_o de -0.06, -0.15 y -0.69 MPa la germinación fue del 90-87 % sin observarse diferencias significativas ($P>0.001$), pero son diferentes al testigo.

El cv. Mixquic y la colecta Colpos en Ψ_o de 0.0 -0.06 y -0.15 MPa presentó el 91 % de semillas germinadas y sin diferencias significativas con el testigo; sin embargo, a -0.69 MPa la germinación solo alcanzo en promedio el 75 % en Mixquic y 61 % en Colpos y fueron significativamente diferentes con los anteriores ($P>0.001$). La colecta Ometepec presentó una tendencia similar de germinación pero con valores menores, en Ψ_o de -0.06, -0.15 y -0.69 la germinación máxima fue de 82, 82 y 26 % respectivamente (cuadro 16).

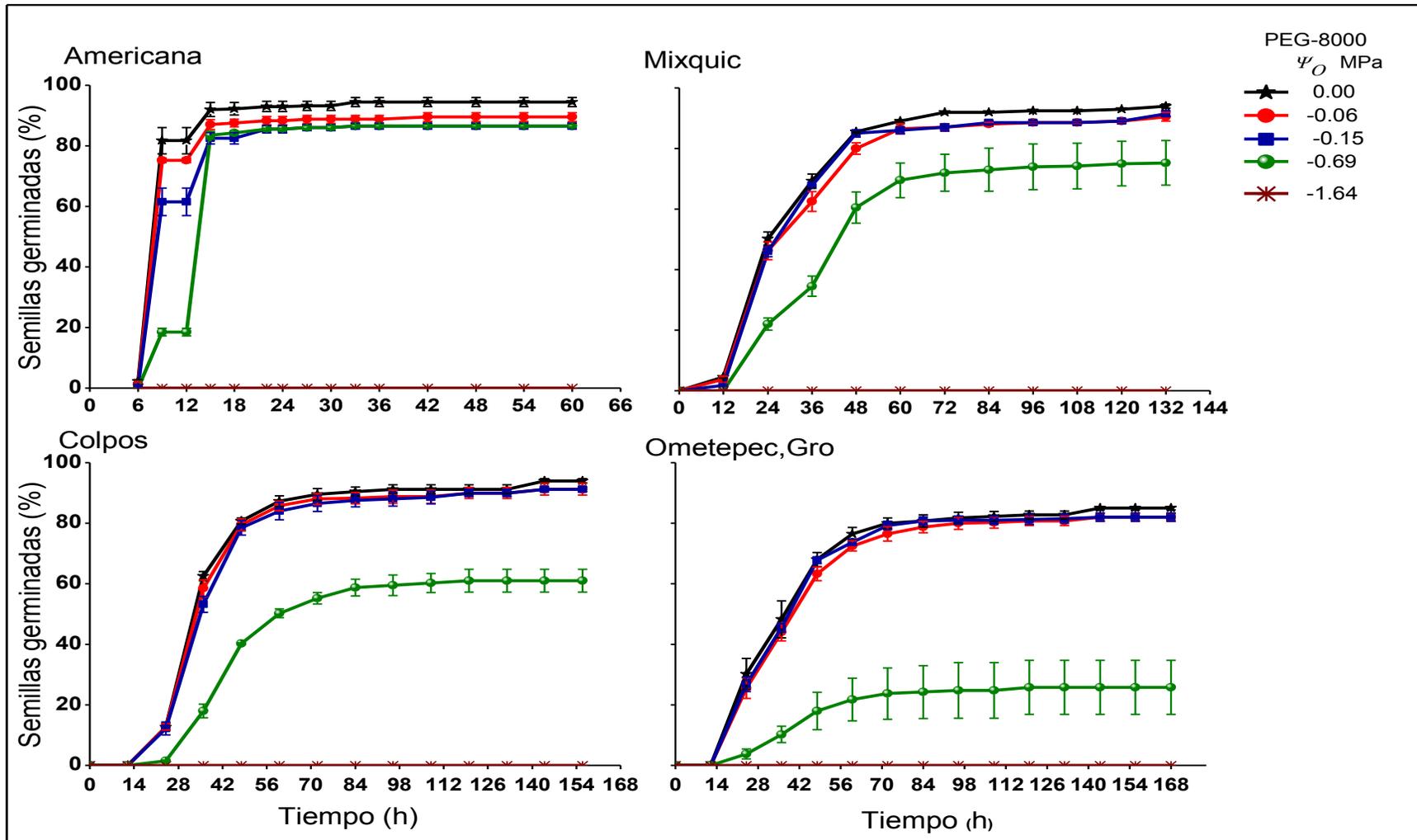


Figura 26. Dinámica de la germinación de semillas en cuatro genotipos de *P. oleracea* L. en diferentes potenciales osmóticos (Ψ_o) generados con polietilén glicol 8000. Promedio de 4 repeticiones \pm el error estándar.

Al Ψ_o de -1.69 MPa no se presentó germinación en las semillas de verdolaga en los cultivares y colectas estudiadas. A partir de -0.69 MPa la germinación disminuyó en mayor grado en Mixquic seguida de Colpos y Ometepec. Sin embargo, en Americana la disminución fue menor.

Cuadro 16. Efecto del potencial osmótico, obtenido con diferentes concentraciones de PEG 8000, en la germinación de semillas de verdolagas.

C_s g L ⁻¹	Ψ_o MPa	Porcentaje de Germinación			
		Americana	Mixquic	Colpos	Ometepec, Gro.
0.0	0.0	94.5±1.5 (a)	94±0.7 (a)	94±0.7 (a)	85±0.5 (a)
50	-0.06	89.5±1.4 (b)	90.5±1.4 (a)	91.25±1.9 (a)	82±1.2 (a)
100	-0.15	86.5±0.95 (b)	91.5±0.9 (a)	91.25±0.7 (a)	82±1.3 (a)
200	-0.69	86.5±0.5 (b)	75.25±7.3 (b)	61±3.8 (b)	25.75±8.9 (b)
300	-1.69	0±0 (c)	0±0 (c)	0±0 (c)	0±0 (c)

Concentración de solutos (C_s), Potencial osmótico (Ψ_o), media y error estándar (\pm), letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ($P \leq 0.01$) entre tratamientos.

De acuerdo a los resultados anteriores, el efecto osmótico tiene una influencia en la germinación pero no tan marcado como en las sales inorgánicas o su mezcla llegando a presentarse un efecto de toxicidad o inhibición de una manera diferencial desde el punto de vista de los iones y de la sensibilidad intrínseca de los materiales. Por lo tanto, la disminución en el porcentaje de la germinación, es razonable suponer que en gran medida, se debe a los iones específicos en las primeras concentraciones y al tipo de salinidad presente en una solución. Sin embargo, a medida que aumentó la concentración y la presión osmótica de la solución el efecto pudo haber sido de ambos (iónico u osmótico).

Algunos autores (Cordero y Di Stéfano, 1991; Tobe *et al.*, 2000; Murillo-Amador *et al.*, 2002; Demir y Mavi, 2008; González *et al.*, 2005; Mora-Aguilar *et al.*, 2006; Rodríguez-Rivera *et al.*, 2007; Delatorre y Pinto, 2009; Garruña-Hernández *et al.*, 2014) consideran que el efecto osmótico es el factor que afecta la germinación y desarrollo de la planta y no el efecto de los iones específicos, por ejemplo en: *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth, *Kalidium caspicum* (L.) Ung.-Sternb., *Vigna unguiculata* (L.) Walp., *Triticum aestivum* L., *Brassica oleracea* L., *Bulnesia retama* (Gillies ex Hook. & Arn.) Griseb., *Capsicum annum* L, *Chenopodium quinoa*

Willd, *Capsicum chinense* Jacq, han reportado que a Ψ_0 de -1.20 MPa las semillas no germinan, así como también impide la elongación de la radícula, similar a lo encontrado en las semillas de verdolaga estudiadas en esta investigación.

En contraste Redmann (1974); Carrasco *et al.* (1992); Bradford (1995); Ungar (1996); Fenner y Tompson (2005); öztürk *et al.* (2006) indican que la reducción de la germinación se debe a un efecto combinado (osmótico y iónico) en diferentes especies, como consecuencia de estos dos procesos se presentó una disminución en los porcentajes de germinación, así como daños en la semilla.

De forma general, se presentó una disminución en la germinación por efecto del incremento de la concentración, y en consecuencia a la disminución del potencial osmótico en la solución, Sánchez-Bernal y Ortega-Escobar (2011) indican que este efecto se debe tanto al potencial osmótico como al efecto de las sales provocando un daño en el embrión de la semilla.

VIII. CONCLUSIONES

1. Las semillas de los cultivares y colectas de *Portulaca oleracea* L., fueron diferentes en tamaño y peso. El cultivar Americana presentó el mayor tamaño de semillas y el menor se encontró en la colecta Ometepec.
2. El potencial osmótico calculado de acuerdo con la formula molar $\Psi_o = MRT$; con la constante $\Psi_o = CE * 0.36$ y él determinado experimentalmente con el osmómetro para los tipos de salinidad, en donde predominan los cloruros fueron similares. En cambio, el potencial osmótico para las salinidades en las concentraciones de bicarbonatos y sulfatos fueron diferentes.
3. El potencial osmótico de los iones cloruros fue menor con respecto a los iones sulfatos.
4. El cv. Americana presentó una tolerancia mayor para las diferentes sales y concentraciones.
5. En las semillas Mixquic, Colpos y Ometepec la reducción del porcentaje de germinación se debió al efecto de los cloruros y salinidades clorhídricas.
6. Los iones más tóxicos en la germinación fueron los bicarbonatos, cloruros y en menor grado los sulfatos expresados de la siguiente manera: $HCO_3 > Cl > SO_4$.
7. La disminución de la germinación se debió a los iones específicos, así como también a la actividad osmótica, que se genera en cada solución salina, por lo tanto hay un efecto combinado toxico-osmótico.

IX. LITERATURA CITADA

- Abrol, I.P., Yadav, J.S.P., y Massoud, F.I. 1988. Salt-affected soils and their management, FAO Soils Bulletin 39. FAO Italy, Rome. 131p.
- Aceves, N. E. 2011. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Mundi Prensa, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Ahti, K., Moustafa, A., Kaefer, H. 1980. Tolerance of turfgrass cultivars to salt. Chapter 20. In: Proceedings of the International Turfgrass Research Conference. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. pp 165-171.
- Aimrun, W. Amin, M. S. M., Rusnam, M., Ahmad, Desa., Hanafi, M. M., y Anuar, A. R. 2009. Bulk Soil Electrical Conductivity as an Estimator of Nutrients in the Maize Cultivated Land. European Journal of Scientific Research. 31(1): 37-51.
- Alcántar, G.G., Etchevers, B. J.D., Aguilar S.A. 1992. Los análisis físicos y químicos: su aplicación en la agronomía. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. 125p.
- Anderson-Cook, C. M., Alley, M.M., Roygard, J.K.F., Khosla, R., Noble, R.B., y Doolittle, J.A. 2002. Differentiating soil types using electromagnetic conductivity and crop yield maps. Soil Science Society of America Journal. 66(5): 1562-1570.
- Anderson, E. K., Voigt, T. B., Kim, S., y Lee, D.K. 2015. Determining effects of sodicity and salinity on switchgrass and prairie cordgrass germination and plant growth. Industrial Crops and Products. 64: 79-87.
- Andrade de R. P. y J. E. Ferguson. 1991. La calidad de la semilla en el establecimiento de las pasturas. En Lascano C. E. y J. M. Spain (Eds.) Establecimiento y Renovación de Pasturas. Conceptos, Experiencias y Enfoque de la Investigación. CIAT. Cali, Colombia. 178: 19-58.
- Argentel, L., López, R.D., González, M.L., López, C.D., y Fonseca, I. 2010. Evaluación de la tolerancia a la salinidad en estadios tempranos y finales del desarrollo en Triticales (*X Triticum secale*). Cultivos Tropicales. 31(1): 48-53.
- Arslan, U., Ilhan, K., y Karabulut, O.A. 2006. Evaluation of Food Additives and Low-toxicity Compounds for the Control of Bean Rust and Wheat Leaf Rust. Journal of Phytopathology. 154(9): 534-541.

- Atia, A.A. 2006. Synthesis of a quaternary amine anion exchange resin and study its adsorption behaviour for chromate oxyanions. *Journal of hazardous materials*. 137(2): 1049-1055.
- Ayala, G.A. V., Schwentesius, R. R., y Carrera, Ch. B. 2012. Hortalizas en México: competitividad frente a EE.UU. y oportunidades de desarrollo. *Georgetown University*. 6(3): 70-88.
- Bayuelo-Jiménez, J.S., Debouck, D.G., y Lynch, J.P. 2002. Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. *Crop Sci*. 42: 2184-2192.
- Bazzigalupi, O., Pistorale, S.M., y André, A.N. 2008. Tolerancia a la salinidad durante la germinación de semillas provenientes de poblaciones naturalizadas de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). *Cien. Inv. Agr*. 35(3): 277-285.
- Bernstein, L. 1963. Osmotic adjustment of plants to saline media II. Dynamic phase. *American Journal of Botany*. 50(4):360-370.
- Bonnet, J.A. 1960. Edafología de los suelos salinos y sódicos. Ed. Estación Experimental Agrícola. Universidad de Puerto Rico. 337p.
- Bradford, K.J. 1995. Water relations in seed germination. In: *Seed Development and Germination*. Jaime Kigel y Gad Galili (ed.). Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp 351-396.
- Can Chulim, Á., Ramírez Guerrero, L.G., Ortega Escobar, H. M., Cruz Crespo, E., Flores Román, D., Sánchez Bernal, E. I., y Madueño Molina, A. 2014. Germinación y crecimiento de plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. en condiciones de salinidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(5): 753-763.
- Cruz, C., Balbontin, C., Paz, F., Etchevers, J. y Krasilnikov, P. 2007. Variabilidad Morfogenética de los Suelos de México y su relación con el Modelo Fisiográfico Nacional. XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León Gto. México.
- Carnevale, N.J., Alzugaray, C., y López, D. 2004. Efecto de la salinidad sobre el establecimiento de plántulas de dos especies arbóreas dominantes en un “quebrachal” de *Schinopsis balansae* ENGL. (Argentina). *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias.UNR*. 4(6): 43-49.

- Carter, M.R. 2002. Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Maintain Soil Function. *Agronomy Journal*. 94:38-47.
- Carrasco, R., Marañón, T., y Arroyo J. 1992. Salinidad y germinación de ecotipos de *melilotus segetalis*. *Pastos*. 22(1): 53-59.
- Casierra, P.F., y Rodríguez, S.Y. 2006. Tolerancia de plantas de feijoa (*Acca sellowiana* [Berg] Burret) a la salinidad por NaCl. *Agronomía Colombiana*. 24(2): 258-265.
- Castillo Pinzón, L. E., y Lora S.R. 1987. Disponibilidad de magnesio y azufre en algunos suelos de la cuenca media del río Suárez (Santander y Boyacá). *Revista ICA (Colombia)*. 22: 5-13.
- Cavalcante, A., y Pérez, S. 1995. Efectos de agua y estrés salino sobre la germinación de semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Witt. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 30(2):281-289.
- Chang Raymond. 2011. *Química General*. 11^a Ed. McGRAW-Hill. México D.F.
- Chapman, J. 1974. Archaeological evidence for precolumbian introduction of *Portulaca oleracea* L. and *Millugo verticillata* in Eastern Northamerica. *Economic Botany*. pp 411-412.
- Chen, C.J., Wang, W.Y., Wang, X.L., Dong, L.W., Yue, Y.T., Xin, H.L., Ling, C.Q., y Li, M. 2009. Anti-hypoxic activity of the ethanol extract from *Portulaca oleracea* in mice. *Journal of Ethnopharmacology*. 124: 246-250.
- Chen, J., Shi, Y.P., y Liu, J.Y. 2003. Determination of noradrenaline and dopamine in Chinese herbal extracts from *Portulaca oleracea* L. by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*. 1003: 127-132.
- Churchman, G.J., Skjemstad, J.O., y Oades, J.M. 1993. Influence of clay minerals and organic matter on effects of sodicity on soils. *Australian Journal of Soil Research*. 31(6): 779-800.
- Cordero, R.A., y Di Stéfano, G.J.F. 1991. Efecto del estrés osmótico sobre la germinación de semillas de *Tecoma stans* (Bignoniaceae). *Rev. Biol. Trop.* 39(1): 107-110.
- Cramer, G. R., Läuchli, A., y Epstein, E. 1986. Effects of NaCl and CaCl₂ on Ion Activities in Complex Nutrient Solutions and Root Growth of Cotton. *Plant Physiology*. 81(3): 792-797.
- Cronquist, A. 1997. *Introducción a la botánica*. Ed. CECSA, México DF. 848p.

- Cros, V., Martínez, S. J.J., Fernández, J.A., Conesa, E., Vicente, M.J., Franco, J.A., y Carreño, S. 2007. Salinity effects on germination and yield of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) in a hydroponic floating system. In VIII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates. Acta de Horticulturae (ISHS). 747: 571-579.
- Cuartero, J., y Fernández, M.R. 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulture*.78: 83-125.
- De la Peña, T.I. 1980. Salinidad de los suelos agrícolas. Su origen, clasificación, prevención y recuperación. Boletín Técnico 10. Distrito de Riego 41. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Cd. Obregón, Sonora. México.
- Delatorre, H.J., y Pinto, M. 2009. Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinoa (*chenopodium quinoa* willd.) selections. *Chilean journal of agricultural research*. 69(4):477-485.
- Delgado, R.G.C. 2006. Agua: Usos y abusos: la hidroelectricidad en Mesoamérica. 1ª ed. UNAM, México.201p.
- Demir, I., y Mavi, K. 2008. Effect of salt and osmotic stresses on the germination of pepper seeds of different maturation stages. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 51(5):897-902.
- Díaz, O. J.E. 2006. Riego por gravedad. Colección Ciencias Físicas, Exactas y Naturales.1ª Ed. Colombia. P.137-140
- Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. 1992. Madrid, España: Espasa-Calpe.
- Diccionario enciclopédico McGraw-Hill Ilustrado. 2001. Interamericana, S.A de C.V.
- Diccionario Pequeño Larousse Ilustrado. 1986. México: Larousse, S.A. de C.V.
- Duan, D., Liu, X., Ajmal K.M., y Gul, B. 2004. Effects of salt and water stress on the germination of *Chenopodium Glaucum* L., seed. *Pakistan Journal of Botany*. 36(4): 793-800.
- El-Habbasha, K.M., Shaheen, A.M., Rizk, F.A. 1996. Germination of some tomato cultivars as affected by salinity stress condition. *Egyptian Journal of Horticulture*. 23(2): 179-190.
- Etchevers, J. D. 1988. Análisis químico de suelo y plantas. Nota de clases. Centro de edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp 88.

- Evangelou, V.P. 1994. Influence of sodium on soil of Humid Regions. In: Handbook of Plant and Crop Stress. Chapter 1. Pessarakli, M (Ed.). Marcel Dekker, New York. pp 31-62.
- FAO-ISRIC-SICS. 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports 84. FAO. Rome. 161 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2008. Land and Plant Nutrition Management Service.
- Fassbender, H. W. 1986. Química de suelos. Con énfasis en suelos de América Latina. Edit. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. pp 199-203.
- Fenner, M., y K. Thompson. 2005. The Ecology of Seeds. Cambridge University Press. pp 110-131.
- 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. 32p.
- Fernández, M.T., Ortega, E. H.M., Arenas, T.A., y Combatt, CE. 2011. Dinámica de sales en el distrito de riego La Doctrina, Colombia. Idesia (Chile). 29(1):83-90.
- Fersman, A. 1973. In Irrigation/Drainage and Salinity. An international source books. Chapter 5: FAO/UNESCO.
- Fitzpatrick, W.R., Boucher S.C., Naidu R., y Fritsch E. 1994. Environmental consequences of soil sodicity. Australian Journal soil Research. 32:1069-1093.
- Flores, R. J.S., Becerril Román, A.E., González Hernández, V.A., Tijerina Chávez, L., y Vásquez Rojas, T. 2005. Crecimiento vegetativo y floral del crisantemo [*Dendranthema x grandiflorum* (Ramat) Kitamura] en respuesta a la presión osmótica de la solución nutritiva. Revista Chapingo, Serie Horticultura. 11(2): 241-249.
- Flores, D.A., Gálvez, V.V., Hernández, L.O., Aguirre, L.G., Obregón, S.A., Orellana, G.R., Otero, G.L., y Valdés, P.M. 1996. Salinidad un nuevo concepto. Universidad de Colima. 134 p.
- Flowers T.J., y Yeo A.R. 1995. Breeding for salinity resistance in crop plants. Where next? Australian Journal of Plant Physiology. 22(6): 875-884.

- Ford, D. I., 1986. Flora de Veracruz: Portulacaceae. Traducción por Moreno, N.P. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos Xalapa, Veracruz, México. Fascículo. 51:17-57.
- Fortmeier, R., y S. Schubert. 1995. Salt tolerance of maize (*Zea mays* L.): The role of sodium exclusion. *Plant Cell and Environment*. 18(9): 1041-1047.
- Francois, L. E. 1987. Salinity effects on asparagus yield and vegetative growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 112(3): 432-436.
- Galizzi, F.A., y Peinemann, N. 1988. Efecto de sales solubles sobre la formación de costras salinas en suelos y su incidencia sobre el movimiento de agua y otras propiedades físicas. *Ciencia del suelo: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*. 6(2):74-83.
- Gao, Y., Li, D., y Chen, Y. 2012. Differentiation of carbonate, chloride, and sulfate salinity responses in tall fescue. *Scientia Horticulturae*. 139:1-7.
- García, J. P. S., Valdés, O.A., Facio, F.P., Arce, G.L., y Burciaga, D. H.C. 2011. Calidad fisiológica de semilla de coquia (*Kochia Scoparia* (L.) Roth) a diferentes niveles de salinidad con KCl. *Revista Agraria Nueva Época*. 8(3): 12-17.
- Garruña-Hernández, R., Latournerie, M. L., Ayala, G. O., Santamaría, J. M., y Pinzón, L. L. 2014. Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*. 48: 413-423.
- González Medrano, F. 2012. Las Zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México. pp 48-51.
- González Romero, S. L., Quero Carrillo, A. R., Franco, Mora, O., Ramírez Ayala, C., Ortega Escobar, H. M., y Trejo López, C. 2010. Tolerancia a la salinidad del pasto Banderita. *Ciencia Ergo Sum*. 17(3): 277-285.
- González Romero, S.L., Franco Mora, O., Ramírez Ayala, C., Ortega Escobar, H. M., Quero Carrillo, A. R., y Trejo López, C. 2011. Germinación y crecimiento de alfalfa bajo condiciones salinas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 2(1): 169-174.
- González, J.A., y Prado, F. 1992. Germination in relation to salinity and temperature in *Chenopodium quinoa* (Willd.). *Agrochimica*. 46(1-2): 101-108.

- González, L. M., Argente, L., Zaldívar, N., y Ramírez, R. 2005. Efecto de la sequía simulada con PEG-6000 sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de dos variedades de trigo. *Cultivos Tropicales*. 26(4): 49-52.
- González, L., y Ramírez, R. 1996. Respuesta de *Terannus labilis* diferentes niveles de salinidad durante la germinación y crecimiento. *Cultivos Tropicales*. 17(3):17-19.
- González, M.D., y Zapata, P.O. 2008. Mecanismos de tolerancia a elementos potencialmente tóxicos en plantas. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 82(1): 53-61.
- González, O.N., Dimaunahan, L.B., Banzon, E.A. 1968. Extraction of protein the leaves of some local plants. *The Philippine Journal of Science*. 97(1): 17-26.
- Gorske, S. F., Rhodes, A. M., y Hopen, H. J. (1979). A numerical taxonomic study of *Portulaca oleracea*. *Weed Science*. 27(1): 96-102.
- Greub, L.J., Drolsom, P.N., Rohweder, D.A. 1985. Salt tolerance of grasses and legumes for roadside use. *Agronomy Journal*. 77(1): 76-80.
- Grossi, C.M., y Esbert, R.M.1994. Las sales solubles en el deterioro de las rocas monumentales. *Revisión bibliográfica. Materiales de construcción*. 44(235):15-30.
- Guerrero Alves, J.P., Pla-Sentis, I., Camacho, R.G., Valera, A., y Ferrer, J. 2007. Génesis de un Suelo Salino-Sódico de Tucupido, Estado Guárico-Venezuela. *Agronomía Trop.* 57(3): 171-188.
- Guil, G, J.L., y Rodríguez, G.I. 1999. Lipids classes, fatty acids and carotenes of the leaves of six edible wild plants. *European Food Research and Technology*. 209(5): 313-316.
- Gulzar, S., Khan, M.A., y Ungar, I.A. 2001. Effect of salinity and temperature on the germination of *Urochondra setulosa* (Trin) CE. Hubbard. *Seed Science and Technology*. 29(1): 21-29.
- Habtemariam, S., Harvey, A.L., y Waterman, P.G. 1993. The muscle relaxant properties of *Portulaca oleracea* are associated with high concentrations of potassium ions. *Journal of Ethnopharmacology*. 40: 195-200.
- Hamdia, M.A., y Shaddad, M.A.K. 1996. Comparative effect of sodium carbonate, sodium sulphate and sodium chloride on the growth and related metabolic activities of pea plants. *Journal of Plant Nutrition*. 19(5):717-728.

- Hameed, A., Zaheer, A.M., y Khan M.A. 2006. Comparative effects of NaCl and seasalt on seed germination of coastal halophytes. *Pakistan Journal of Botany*. 38(5): 1605-1612.
- Has-Werner, K., Geissler, N., Seenivasan, R., y Huchzermeyer, B. 2011. Plant stress Physiology: Physiological and Biochimica Strategies Allowing Plants/Crops to thrive under ionic stress. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*. Pessaraki, M. (eds.) Taylor and Francis Group, LLC. pp 1051-1093.
- Herrero, J. y Ot. 1986. Salinidad en los suelos: aspectos de su incidencia en regadíos de Huesca. Principales aportaciones a las Jornadas sobre Salinidad en el Suelo. Diputación General de Aragón, Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes.
- Hilgard, E. W., 1906. Soils, their formation, properties, composition, and relations to climate and plant growth. New York and London, 593 p., illus
- Horst, G.L., y Beadle, N.B. 1984. Salinity affects germination and growth of tall fescue cultivars. *Journal American Society for Horticultural Scienc*. 109: 419-422.
- Huez, L.M. A., Samani, Z., López, E.J., Álvarez, A.A., y Preciado, F. F. 2008. Efecto de un extracto vegetal en la germinación de semillas de chile (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones salinas. *Biotecnia*. 10(3): 11-19.
- Hughes, T.D., Butler, J.D., Sanks, G.D. 1975. Salt tolerance and suitability of various grasses for saline roadsides. *Journal of Environmental Quality*. 4(1): 65-68.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2006. En: Reglas de Operación y Programa Sectorial 2007-2012 de la SAGARPA.
- Jammes, F.J., Heng-Cheng, H., Villiers, F., Bouten, R., y Kwak, J. 2011. Calcium-permeable channels in plant cells. *FEBS Journal*, 278(22): 4262-4276.
- Kadish, A., y Rholades, J. D. 1989. Saline Water: Sources, Usages, Problems Prospect. *Proceedings of Water, Soil and Crop Management relating to the use of saline water*. FAO Rome (Italy). pp 9-18.
- Karabolut, O. A., Smilanick, J. L., Mlikota, G. F., Mansour, M., y Droby, S. 2003. Near-harvest applications of *Metschnikowia fructicola*, ethanol, and sodium bicarbonate to control postharvest diseases of grape in central California. *Plant Dis*. 87(11):1384-1389.

- Keenan, W. Ch., Kleinfelter, D., y Wood, H. J. 1990. Química General Universitaria. Harper y Row; Trad. Antonio Eroles Gómez. Continental, S. A. de C. V. México. pp 222-252.
- Khan, M. A., Gul, B., y Weber, D. J. 2000. Germination responses of *Salicornia rubra* to temperature and salinity. *Journal of Arid Environments*. 45(3): 207-214.
- Khan, M. A., y Ungar, I. A. 1996. Influence of Salinity and Temperature on the Germination of *Haloxylon recurvum* Bunge ex. Boiss. *Annals of Botany*. 78(5): 547-551.
- Kijne, J. W. 2006. Abiotic stress and water scarcity: identifying and resolving conflicts from plant level to global level. *Field Crops Research*. 97(1): 3-18.
- KIK, C. 1989. Ecological genetics of salt resistance in the clonal perennial, *Agrostis stolonifera* L. *New phytologist*. 113(4): 453-458.
- Kimura, M., Murase, J., Topark, N.B., Adachi, T., y Kuwatsuka, S. 1992. Studies on Saline Soils in Khon Kaen Region, Northeast Thailand. IV. Effect of Chemical and Physical Properties of Saline Soils on Microorganisms. *Soil Science and Plant Nutrition*. 38(2): 245-252.
- Knudsen, M., Forch, C., y Sorensen, S. P. L. 1902. Bericht über die chemische und physikalische Untersuchung des Seewassers und die Aufstellung der neuen hydrographischen Tabellen. Kommission zur wissenschaftlichen Untersuchung der deutschen Meere. Afd. XII, 1, 151 pp.
- Kovda, V.A., 1947, Origin and regime of salt-affected soils. Volumes I and II. Izdatelstvo Akademii Nauk, Moscow, USSR.
- Kovda, V. A., 1973. Chemistry of Saline and Alkali Soils of Arid Zone. In: An International Source Book, Irrigation Drainage and Salinity. Food and Agricultural Organization/UNESCO. Hutchinson Publishers. London, UK. pp 122-204.
- Kumamoto, J., Scora, R.W., Clerx, W.A., Matsumura, M., Layfield, D. y Grieve, C.M. 1990. *Purslane*: a potential new vegetable crop rich in omega-3 fatty acid with a controllable sodium chloride content. In *Proceedings of the First International Conference on New Industrial Crops and Products*. Naqvi, H.H., Estilai, A., y Ting, I.P. (Ed.). Riverside, CA. pp 229-233.

- Lamz Piedra, A., y González Cepero, M.C. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*. La Habana, Cuba. 34(4): 31-42.
- Larreta, M.M., Upton, J.L., Hernández, J.J. V., y Hernández, A. 2008. Germinación y vigor de semillas en *Pseudotsuga menziesii* de México. *Ra Ximhai*. 4(1):119-134.
- Layne Garsaball, J.A., Méndez Natera, J.R., Mayz Figueroa, J. 2007. Influencia del tamaño de la semilla de maíz (*Zea mays* L.) en el crecimiento de la plántula en condiciones de salinidad. *IDESIA (Chile)*. 25(2):23-35.
- Layne Garsaball, J.A., Méndez Natera, J.R., Mayz Figueroa, J. 2008. Efecto de la salinidad y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. *Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 11(1):17-25.
- Li-Ling, L., Wang, N., Zhang, Y. H., Li, Yang, X. L., y Chen, X. 2008. Effect of Extraction Reagents on the Content of Phenolics and Antioxidant Activity of *Portulaca oleracea* L. *Acta Hort. (ISHS)*.765: 269-272.
- Lim, Y. Y., y Quah, E. P. L. (2007). Antioxidant properties of different cultivars of *Portulaca oleracea* L. *Food chemistry*. 103(3): 734-740.
- Liu, J., Guo, W.Q., y Shi, D.C. 2010. Seed germination, seedling survival, and physiological response of sunflowers under saline and alkaline conditions. *Photosynthetica*. 48(2): 278-286.
- Liu, L., Howe, P., Zhou, Y. F., Xu, Z. Q., Hocart, C., y Zhang, R. 2000. Fatty acids and β -carotene in Australian Purslane (*Portulaca oleracea*) varieties. *Journal of Chromatography A*. 893(1): 207-213.
- López Mosquera, M.E. y Macías, F. 1993. Salinización secundaria en suelos agrícolas de Galicia. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*. 4:101-110.
- López, V.Carmen., Estrellés, E., Soriano, P., y Picó, J. 2007. Respuesta germinativa de *Lotus creticus* a distintas temperaturas y condiciones de salinidad. *Lotus Newsletter*. 37(2): 69-70.
- Luthin, James N. 1979. Drenaje de tierras agrícolas. Teoría y aplicaciones. 2ª ed. Limusa. México. 684 p.

- Mass, E.V., y Hoffman, G.J. 1977. Crop salt-tolerance current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage division. 103(2): 115-134.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop science. 2(2):176-177.
- Mancilla Villa, O. R., Bautista Olivas, A. L., Ortega Escobar, H. M., Sánchez Bernal, E. I., Can Chulim, Á., Guevara Gutiérrez, R.D. y Ortega Mikolaev, Y.M. 2014. Hidrogeoquímica de salinas Zapotitlán y los lagos-cráter Alchichica y Atexcac, Puebla. Idesia (Chile). 32(1): 55-69.
- Marcar, N.E. 1987. Salt tolerance in the genus *Lolium* (ryegrass) during germination and growth. Australian Journal Agronomy Research. 38(2): 297-307.
- Martí, A. L. 2010. Efecto de la salinidad y de la temperatura en la germinación de semillas de *Limonium mansanetianum*. Trabajo final de carrera. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Politécnica Superior de Gandia. 63 pp.
- Martínez, S.J., Virgen, V.J., Peña, O.M.G., y Santiago, R.A. 2010. Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 1(3): 289-304.
- Matilla, A. 2003. Ecofisiología de la germinación de semillas. En: La Ecofisiología Vegetal. Capítulo 29. Reigosa, M., Pedrol, N., y Sánchez, A. (Eds.). 1ª ed. 2ª reimpresión. Paraninfo, Madrid S.A. pp 901-922.
- Matthews, J. F. y Levins, P. A. 1985. The genus *Portulaca* in the Southeastern United States. Castanea. 50(2): 96-104.
- Mehes, M., Nkongolo, K. K., y Michael, P. 2009. Assessing genetic diversity and structure of fragmented populations of eastern white pine (*Pinus strobus*) and western white pine (*P. monticola*) for conservation management. J. Plant Ecol. 2:143-151
- Meloni, D.A., Gulotta, M.R., Martínez, C.A., y Oliva, M.A. 2004. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. Brazilian Journal of Plant Physiology. 16: 39-46.
- Méndez, N. J., Ybarra, P. F., Merazo, P.J. 2010. Germinación y Desarrollo de Plántulas de Tres Híbridos de Maíz bajo Soluciones Osmóticas. VI. Comparación entre cinco soluciones osmóticas. Revista Tecnológica ESPOL-RTE. 23(1): 55-60.
- Mera Ovando, L.M., Castro, Lara. D., Bye Boettler R. A. 2011. El cultivo de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) ejemplo en la promoción, producción y el comercio de

- alimentos sanos y de calidad. En: Especies vegetales poco valoradas: una alternativa para la seguridad alimentaria. UNAM-SNICS-SINAREFI, México D.F. 215 pp.
- Mert, H. H., Dogan, Y., Baslar, S., Aydin, H., y Yorek, N. 2008. The effect of NaCl on some parameters influencing the soil-plant interactions in *Salicornia herbacea*. Gen. Appl. Plant Physiology, Special Issue. 34(3-4): 169-176.
- Meza, N., Arizaleta, M., y Bautista, D. 2007. Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de semillas de parchita (*Pasiflora edulis* f. *flavicarpa*). Revista de la Facultad de Agronomía (Luz). 4(24):69-80.
- Meza, N., Pereira, A., y Bautista, D. 2004. Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de semillas de níspero (*Manilkara achras* Miller Fosberg). Revista de la Facultad de Agronomía (Luz). 21(1):60-66.
- Mitsuo, Y.O., y Carneiro, G.S. 2011. Efecto del estrés salino sobre la germinación de las semillas de *Conyza canadensis* y *Conyza bonariensis*. Bioagro. 23(3): 169-174.
- Mora-Aguilar, R., Ireta, H. M. F., Rodríguez, P. J. E., Martínez, S. J. 2006. Acondicionamiento osmótico en semilla de *Brassica oleracea* L. Serie Horticultura. 12(1): 105-112.
- Moreira De Carvalho, N., y Nakagawa, J. 1988. Semillas. Ciencia y Tecnología de Producción. 1ª ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 406 p.
- Mozafar, A., y Goodin, J.R. 1986. Salt tolerance of two differently drought-tolerant wheat genotypes during germination and early seedling growth. Plant and Soil. 96(3): 303-316.
- Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist. 167(3): 645-663.
- Munns, R., y Tester, M. 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59: 651-681.
- Murillo-Amador, B., López-Aguilar, R., Kaya, C., Larrinaga-Mayoral, J., y Flores-Hernández, A. 2002. Comparative effects of NaCl and polyethylene glycol on germination, emergence and seedling growth of cowpea. Journal of Agronomy and Crop Science. 188(4): 235-247.

- Murillo-Amador, B., y Troyo-Diéguez, E. 2000. Effects of salinity on the germination and seedlings characteristics of cowpea [*Vigna unguiculata* L. Walp.]. Australian Journal of Experimental Agriculture. 40(3): 433-438.
- Nakagawa, 1999. Teste de vigor baseados no desempenho das plantulas. Cap.2 de Vigor de sementes: conceitos e testes. Ed. ABRATES. Londrina, PR Brasil.
- Namuche, V.R., Saucedo, R.H., Pulido, M.L., Lázaro, Ch.P., Fuentes, R.C., Palacios, V.O., Herrera, V.F., González, C.A., Nikolski, G.I., y González, M.J. 2000. Drenaje Agrícola y recuperación de suelos salinos. Identificación de problemas de salinidad y drenaje en el ámbito de un distrito de riego. 2ª ed. México. pp 12-20.
- Nasim, Muhammad., Qureshi, R.H., Saqib, M., Aziz, T., Nawaz, S., Akhtar, J. y Anwar-ul-Haq, M. 2007. Properties of salt affected soil under *Eucalyptus camaldulensis* plantation in field conditions. Pak. J. Agri. Sci. 44(3):401-414.
- Navarro, G.G. y Navarro, G.S. 2013. Química Agrícola: Química del Suelo y de los Nutrientes Esenciales para las Plantas. 3ª ed. Mundi Prensa. Madrid. 639p.
- Nevena S., y Miroslava, K. 2008. Effect of salt stress on the growth and photosynthesis rate of Bean plants (*Phaseolus Vulgaris* L.). Journal of Central European Agriculture. 9(3): 385–392.
- Nicusor, G.M., Toma, C., y Zamfirache, M.M. 2011. An ecological approach for proposing and describing a new type of soil salinization. In: Proceedings of the Global Forum on Salinization and Climate Change (GFSCC2010). Rhodri P. Thomas ed. World Soil Resources Reports 105. FAO. Rome.
- NOM-021-SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana, Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. México. 72p.
- Nordestgaard, A., y Andersen, S. 1991: Stability of high production efficiency in perennial herbage seed crops. Journal of Applied Seed Production (Supplement). 9: 27-32.
- Ocampo A.G. 2002. Una especie nueva de *Portulaca* (Portulacaceae) del estado de Guanajuato (México). Acta Botánica Mexicana. 58:1-6.
- Ocampo A.G. 2003. Nota sobre la presencia de *Portulaca rubricaulis* hbk (Portulacaceae) en la Península de Yucatán. Acta Botánica Mexicana. 63: 59-66.
- Ocampo A.G. 2013. Morphological characterization of seeds in Portulacaceae. Phytotaxa. 141(1):1-24.

- Ocampo, A.G., y Columbus, J. T. 2008. Nota sobre *Portulaca californica* Legrand (Portulacaceae), una especie endémica poco conocida de Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana*. 83: 25-32.
- Olivier, C., Halseth, D. E., Mizubuti, E. S. G., y Loria, R. 1998. Postharvest application of organic and inorganic salts for suppression of silver scurf on potato tubers. *Plant disease*. 82(2): 213-217.
- Olsson, O., y Hibbs, A.J.D. 2001. Biogeography and long-run economic development. *European Economic Review*. 49: 909 -938.
- Ortega, Escobar H.M. 1983. Algunos aspectos teóricos de carácter geoquímico, físico químico y químico involucrados en la génesis de los suelos de salinidad sódica. Colegio de posgraduados. Chapingo, México. 65p.
- Origin Pro. 2013. About Origin Pro, version 9.1.0. Software, Copyright 1991-2013, Origin Lab Corporation, www.originlab.com.
- Özturk, M., Baslar, S., Dogan, Y., y Sakcali, M. 2006. Alleviation of Salinity Stress in the Seeds of some Brassica Species. In: *Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants*. Chapter 10. Khan, M. A and Weber, D. (eds.). Springer. pp 145-156.
- Palmer, C. L., Horst, R. K., y Langhans, R. W. 1997. Use of bicarbonates to inhibit in vitro colony growth of *Botrytis cinerea*. *Plant disease*. 81(12): 1432-1438.
- Palou, L., Smilanick, J. L., Usall, J., y Viñas, I. 2001. Control of postharvest blue and green molds of oranges by hot water, sodium carbonate, and sodium bicarbonate. *Plant Dis*. 85(4): 371-376.
- Pascualides, AL., y Ateca, NS. 2013. Germinación y vigor de morfotipos de semillas de *Crotalaria juncea* L. (Fabaceae). *Phyton (B. Aires)*. 82(2): 313-319.
- Patchampreecha, P., Topark Ngarom, B., Goto, I., y Kimura, M. 1990. Studies on Saline Soils in Khon Kaen Region, Northeast Thailand. III. Effects of amelioration treatments on physical and chemical properties of saline soil. *Soil. Sci. and Plant Nutrition*. 36 (3): 363-374.
- Peralta, M.A. 2004. *Brachiaria*: Potencial y oportunidades de mejoramiento. En: *Boletín informativo*, Iguala, Guerrero. pp 4-12.

- Pérez V., O. A. 1999. Influencia de factores físicos en la germinación de semillas de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 44 pp.
- Pizarro, F. 1985. Drenaje y recuperación de suelos salinos. 2ª Ed. Agrícola Española. Madrid. 542 p.
- Plaster, E.J. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Ed. Paraninfo. Madrid. Pp. 180-248.
- Porta, C.J., López-Acevedo, R.M. y Roquero, I.B.C. 1999. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Mundi-Prensa. Madrid, España. 849 pp.
- Porta, C.J. 2010. Introducción a la edafología: uso y protección de suelos. 2ª ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 535p.
- Prisco, J.T., y O'Leary, J.W. 1970. Osmotic and toxic effects of salinity on germination of *Phaseolus vulgaris* L., seeds. Turrialba. 20(2): 177-84.
- Proaño, S.J., Del Cioppo, M.J., y Correa, M.M. 2004. La Salinidad de los suelos y sus efectos en la Agricultura. Técnica R-D6. Universidad Agraria-PROMSA MAG. Ecuador-Guayaquil. 33 p.
- Procházková, D., y Wilhelmová, N. 2011. Antioxidant protection during abiotic stresses. In: Handbook of Plant and Crop Stress. Chapter 2. Pessaraki, M. (Ed.). Taylor and Francis Group, LLC. pp 139-155.
- Puchulu, María Elena. 2008. Salinización de los suelos. Su incidencia en la provincia de Tucumán y en la República Argentina. Acta geológica lilloana. 21(1): 81-94.
- Qiao Yua., Zhihui, Ch., y Deying, L. 2013. Physiological Responses of Creeping Bentgrass Cultivars to Carbonate, Chloride, and Sulfate Salinity. Crop Sci. 53(4): 1734-1742.
- Ramírez, Montero, O.M., Ortega Escobar, H.M., Rodríguez Ontiveros, J.L., Ramirez Ayala, C., y Rone Puello, J.L. 1989. Determinación experimental de la capacidad germinativa de algunos cultivos agrícolas en soluciones salinas de diferente concentración total y composición cualitativa. Agrociencia. 78: 249-264.
- Ramírez, A.C. 2001. Respuesta de algunos cultivos forrajeros a la salinidad y características de los suelos de Montecillo, Estado de México. Colegio de Postgraduados, Montecillo. Instituto de Recursos Naturales Especialidad en Hidrociencias. 239p.

- Ramírez, M., Piña, Y., Ordoñez L., Bracho, B., y García, D. 2014. Efecto del NaCl en plántulas de curarí (*Tabebuia serratifolia*) en condiciones de laboratorio. Pastos y Forrajes. 37(1): 17-23.
- Ramírez, S.S. E., López, U.J., García, S.G., Vargas, H. J., Hernández, L. A., y Ayala, G.O.J. 2011. Variación morfológica de semillas de *Taxus globosa* Schlttdl. provenientes de dos regiones geográficas de México. Rev. Fitotec. Mex. 34(2): 93-99.
- Ramos B. R., Cajuste, L.J., Flores, R.D., García, C.N.E. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de Chinampa en México. Agrociencia. 35(4): 385-395.
- Rázuri, R.L., Linares, D., Grismaldo, J., Romero, CE., Galindo, R.A., Hernández, J.D. 2005. Evolución de la salinidad en un suelo del Valle de Quibor, Venezuela; utilizando riego localizado en el cultivo de cebolla. Agricultura Andina. 10: 23-33.
- Redmann, R. E. 1974. Osmotic and specific ion effects on the germination of alfalfa. Canadian Journal of Botany. 52(4): 803-808.
- Regalado, C. M., Ritter, A., Rodríguez, G. R.M., y Socorro, A. R. 2005. Diseño experimental para la extracción de solución del suelo en régimen de insaturación (≤ 600 kPa). Estudios de la Zona No Saturada del Suelo. 7(1): 95-100.
- Rengasamy, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. J. Experimental Botany. 57(5): 1017-1023.
- Reyes Gómez, V.M. 1999. Dinámica de sales con simulación de lluvias en suelos salinos en el norte árido de México. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo. Texcoco, Edo. de México.
- Richards, L. A. 1965. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos: Manual 60. 4ª ed. Departamento de Agricultura de los EE. UU. Laboratorio de Salinidad. Cvltvra, T.G.S.A., Av. República de Guatemala 96. México. 172 p.
- Richards, L.A. 1970. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 1ª ed. Centro Regional de Ayuda Técnica, México. 172 p
- Ries, R. E., y Hofmann, L. 1983. Effect of Sodium and Magnesium Sulfate on Forage Seed Germination Journal of Range Management. 36(5): 658-662.
- Ríos, G.R., Salas, G.C. E., Monroy, A.A., y Solano, E. 2010. Salinity effect on *Prosopis laevigata* seedlings. Terra Latinoamericana. 28(2): 99-107.

- Rivera, G.D., Plata, M.L., Castro, M.L., Guzmán, L.C., y Escalante, H.H. 2012. Aprovechamiento del subproducto sólido de la digestión anaerobia del bagazo de fique (*furcraea macrophylla*) para el acondicionamiento de suelos. Revista ION. Bucaramanga (Colombia). 25(1): 25-34.
- Robledo-Santoyo E., Espinosa Hernández, V., Maldonado Torres, R., Rubiños Panta, J. E., Hernández Acosta, E., Ojeda Trejo, E., y Corlay Chee, L. 2010. Sales solubles y metales pesados en suelos tratados con biosólidos. Rev. Chapingo. 16(2): 241-251.
- Roca, N., y Pazos, M. S. (2007). Clasificación comparada de los suelos salino-sódicos de Fray Mamerto Esquiú (Argentina) con la WRB y la taxonomía de suelos. Terra Latinoamericana. 25(3): 231-238.
- Rodríguez-Rivera, M.F., Sosa, L.R., Fernández, E.A., Reale, M.I., Villarreal, V. 2007. Efecto del estrés hídrico a distintas temperaturas sobre la germinación de semillas de *Bulnesia retama* (Gill. ex. Hook.) Griseb. Zigofiláceas en San Luis, Argentina. Internacional de Botánica Experimental. 6: 5-17.
- Rodríguez, M.I., Granero, M., Bustamante, M.A., Avena, M., Bonfanti, E., Busso, F., y Girbal, A. 2002. Análisis de la composición iónica de las aguas del embalse San Roque, Córdoba. XIX Congreso Nacional del Agua, Córdoba, Argentina. Instituto Nacional del Agua.
- Román Palacios Ruth. 2000. Efecto de iones y otros factores físicos sobre la germinación de Semillas. Journal of the Mexican Chemical Society. 44(3): 233-236.
- Royo, A., y Aragüés R. 2002. Establecimiento de nuevos índices de tolerancia de los cultivos a la salinidad: la cebada como caso de estudio. Invest. Investigación Agraria. Producción y protección vegetales. 17(3): 409-421.
- Ruiz Vera, V.M. 1995. Respuesta del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la salinidad sulfático-clorhídrica en diferentes etapas de crecimiento. Tesis de Maestría, Programa de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. 138p.
- Ruiz, M., y Terenti, O. 2012. Evaluación comparativa de cuatro especies forrajeras bajo condiciones de estrés hídrico y salino durante la germinación. Agriscientia. 29(2):91-97.
- Rumbaugh, M. D., Johnson, D. A., y Pendery, B. M. 1993. Germination Inhibition of Alfalfa by Two-Component Salt Mixtures. Crop Sci. 33(5):1046-1050.

- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Limusa. México. 432 p.
- Rzedowski, J. 1992. Diversidad del universo vegetal de México: perspectivas de un conocimiento sólido. En: Sarukhán, J. y R. Dirzo (comps.). México ante los retos de la biodiversidad. Conabio. México.
- Rzedowski, G. C., y J. Rzedowski. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª ed., 1ª reimpr., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), pp. 142-147.
- SAGARPA. 2009. Estudio bibliográfico sobre la salinidad del valle de Mexicali. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. pp. 1-27.
- Salisbury, F. B. y C.W. Ross. 1994. Difusión, termodinámica y potencial hídrico. In: Fisiología Vegetal. F Salisbury, C Ross (eds). Grupo Editorial Iberoamérica, S.A de C.V. México, D.F. pp. 29-46.
- Sánchez-Bernal, E., Ortega, E. M., González, H. V., Ruelas, A. G., Kohashi, S. J., y García, C. N. 2003. Tolerancia de Tubérculos de papa cv. Alpha en etapa de brotación a condiciones de salinidad. Terra Latinoamericana, 21(4): 481-491.
- Sánchez-Bernal, E., Ortega Escobar, H.M., González Hernández, V., Camacho Escobar M., y Kohashi Shibata, J. 2008. Crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) Cv. Alpha, inducido por diversas soluciones salinas. Interciencia. 33(9): 643-650.
- Sánchez-Bernal, E., y Ortega Escobar, H.M. 2011. Emergencia de brotes de tubérculos de papa en condiciones salinas. Terra Latinoamericana. 29(2): 153-160.
- SAS Institute Inc. 2010. SAS versión 9.3 para Windows. Cary, NC, USA.
- SEFOA. 2009. Estudio bibliográfico sobre la salinidad del Valle de Mexicali. En: Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. 27 p.
- Segal B. G. 1989. Chemistry: Experiment and Theory. 2ª ed. Wiley. New York: Wiley. 1008p.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2004. La Gestión Ambiental en México. 375p.
- Serrato S.R., Ortíz, A.A., Dimas, L.J., y Berúmen, P.S. 2002. Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la comarca lagunera, México. Terra. 20(3): 329-336.

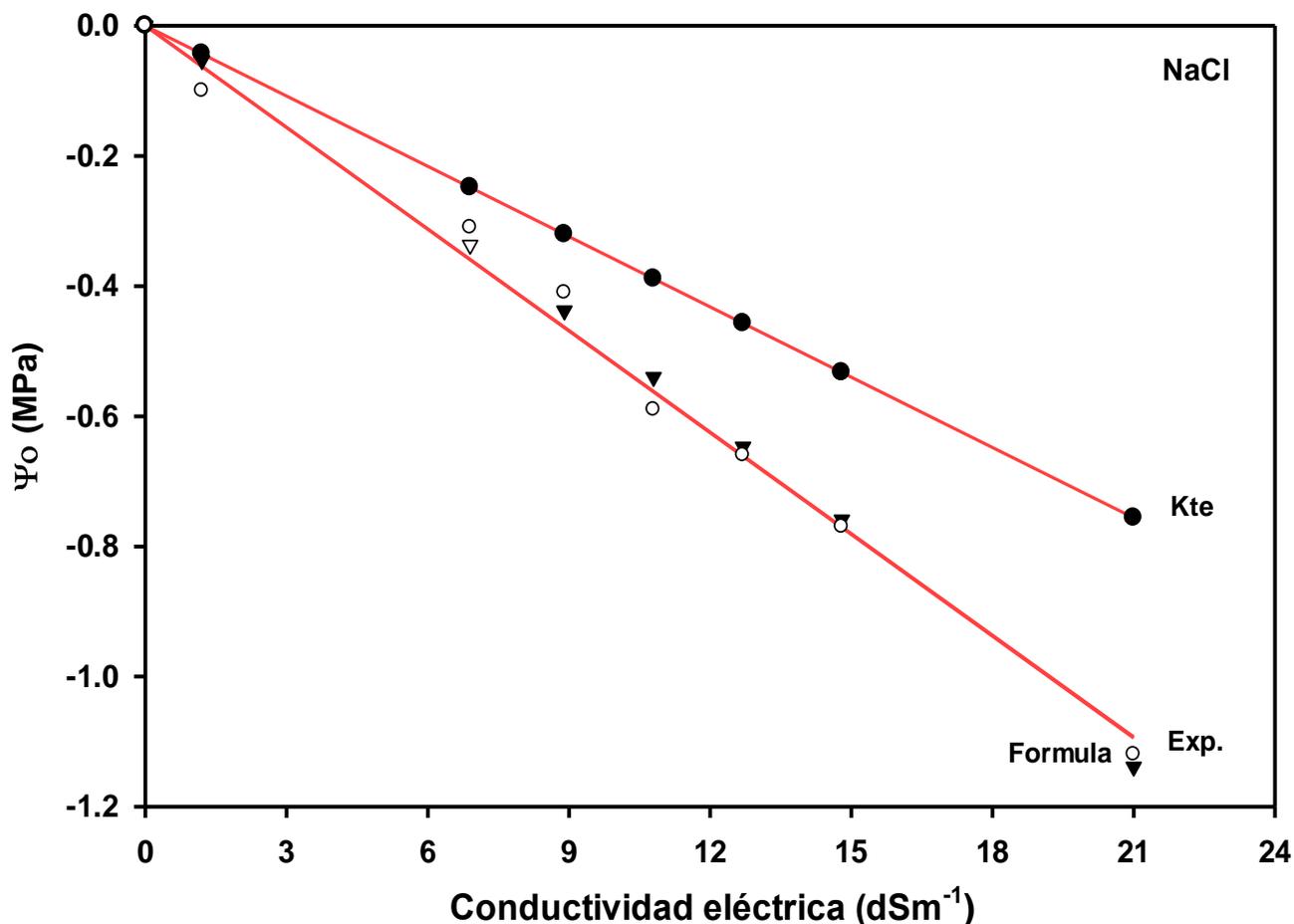
- Shaikh, F., Gul, B., Li, W.Q., Liu, X.J., y Khan M.A. 2007. Effect of calcium and light on the germination of *Urochondra setulosa* under different salts. *Journal of Zhejiang University Science B*. 78(1):20-26.
- Shannon, M. C., y C. M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*. 78(1): 5-38.
- Shao, H. B., Song, W.Y., y Chu, L.Y. 2008. Advances of calcium signals involved in plant anti-drought. *Comptes rendus biologiques*. 331(8): 587-596.
- Shonjani, S. 2002. Salt sensitivity of rice, maize, sugar beet, and cotton during germination and early vegetative growth. Institute of Plant Nutrition. Justus Liebig University Giessen. 164p.
- Silva, R. N. D., Lopes, N. F., Moraes, D. M. D., Pereira, A. L. D. A., y Duarte, G. L. 2007. Physiological quality of barley seeds submitted to saline stress. *Revista Brasileira de Sementes*. 29(1): 40-44.
- Singer, S.M. 1994. Germination responses of some tomato genotypes as affected by salinity and temperature stress. *Egyptian Journal of Horticulture*. 21(1): 47-64.
- SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta). 2008. Producción de hortalizas en México.
- Soltero Díaz, L., Pérez Domínguez, J.F., y Valencia Botín, A.J. 2009. Evaluación de herbicidas para el control de malezas en garbanzo (*Cicer arietinum* L.) de riego en la región Ciénega de Chapala, México. *Revista UDO Agrícola*. 9(4): 831-836.
- Strogonov, B.P. 1964. Physiological basis of salt tolerance of plants (as affected by various types of salinity). Jerusalem Israel Program for Scientific Translations. 256p.
- Subbarao, G. V., y Johansen, C. 1994. Potential for genetic improvement in salinity tolerance in legumes. Chapter 6. In: *Handbook of plants and crop stress*. Pessarakli, M. (Ed.). Marcel Dekker, New York. pp 581-595.
- Szabolcs, I. 1994. Soils and Salinization. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*. Chapter 1. Pessarakli, M. Marcel Dekker, New York. pp 3-12.
- Tadeo, F.R. 2008. Fisiología de las plantas y el estrés. En: *Fundamentos de la fisiología vegetal*. Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2ª ed. Mc-Graw-Hill, Madrid. pp 481-498.

- Tamayo, E. L. M. 1991. La maleza y su manejo integrado en México. En: Memorias del Curso sobre Manejo y Control de Malas Hierbas. Asociación Mexicana de la Ciencia de la Maleza. Acapulco, Gro. pp133-153.
- Tapia, F.Lu., y Rita L. J. 1983. Posibilidades de cultivo y aprovechamiento de *Portulaca oleracea* L. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. ARXIUS. 4:67-79.
- Tobe, K., Li, X., y Omasa, K. 2000. Seed germination and radicle growth of a halophyte, *Kalidium capsicum* (Chenopodiaceae). Annals of Botany. 85:391-396.
- Tutin T.G, Heywood V.H., Burges, N.A., Valentine D.H., Walters, S.M., Webb, D. A FLORA EUROPEA. 1996. Volume 1: Psilotaceae to Platanaceae. 2ª ed. Cambridge University Press. pp 136-138.
- Tyagi, N.K. 2003. Managing saline and alkaline water for higher productivity. JW, Kijne, R., Barker, D., Molden (eds.). Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. CAB International. pp 69-87.
- Udovenko, G.V. 1977. Resistencia de las plantas cultivadas a la salinidad. Ed. Kolos. Leningrado, URSS. 215 p.
- UNESCO. 1984. La escala de salinidades prácticas de 1978 y la ecuación internacional de estado del agua del mar de 1980. Documento Técnico de la UNESCO sobre ciencias del mar. 36:7-25.
- Ungar, I. A. 1996. Effect of salinity on seed germination, growth, and ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae). American Journal of Botany. 83(5): 604-607.
- Ungar, I.A. 1995. Seed germination and seed-bank ecology of halophytes. In: Seed development and germination, J. Kigel and G. Galili (eds.). Marcel and Dekker. New York. pp 599-628.
- Uno, Y., Kanechi, M., Inagaki, N., Sugimoto, M., y Maekawa, S. 1996. The evaluation of salt tolerance during germination and vegetative growth of asparagus, table beet and sea aster. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 65(3): 579-585.
- Urbano-Terrón, P. 2002. Fitotecnia: ingeniería de la producción vegetal. Capítulo II: Capítulo III: Acondicionamiento de los suelos ácidos. Mundi-Prensa (Madrid). 528p.
- Valverde, V.T., Meave, C.J.A., Carabias, L.J. y Cano, S.Z. 2005. Ecología y Ambiente: Influencia del Medio Ambiente en los Organismos. Pearson educación, México. pp28-32.

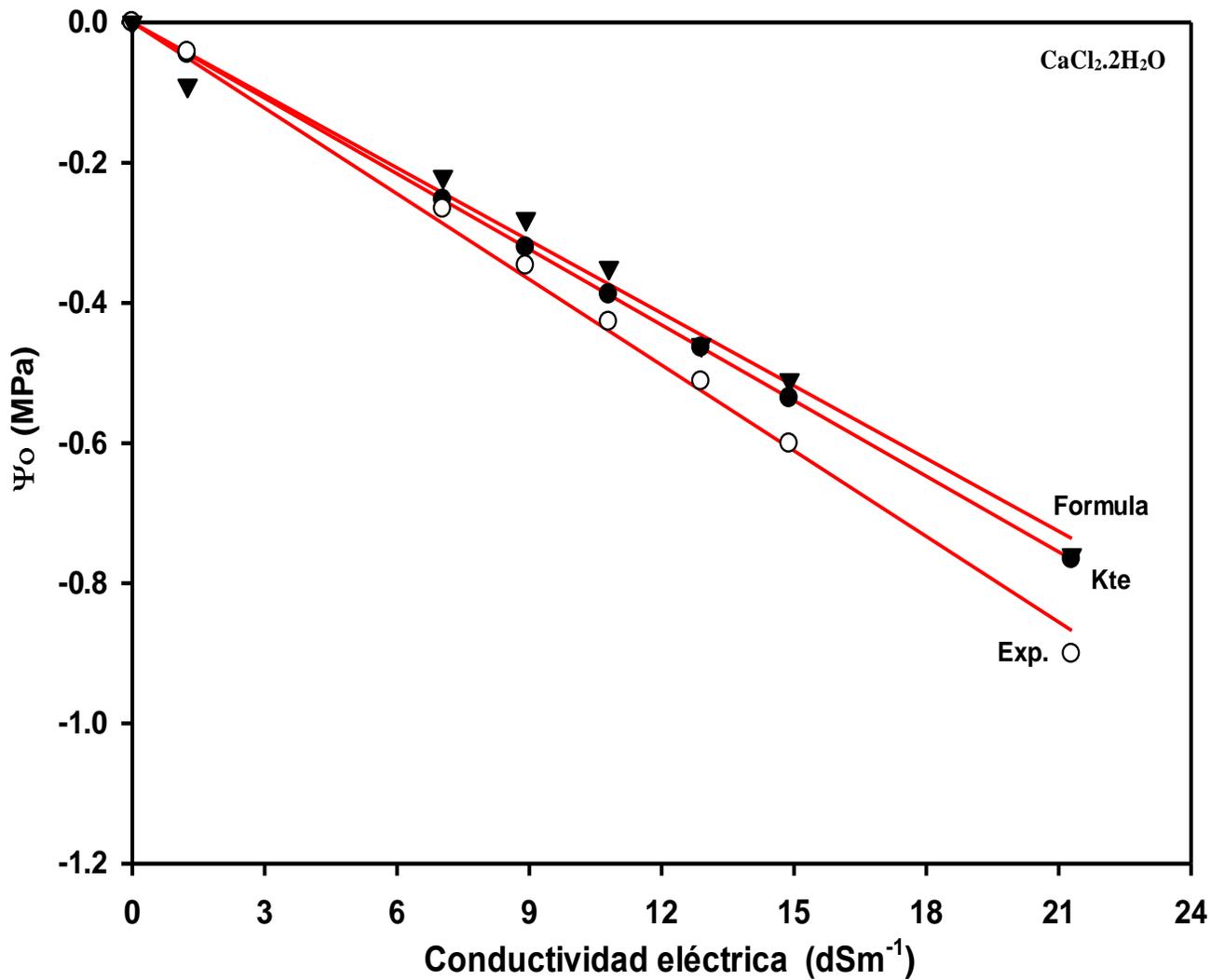
- Velarde, F. 2008. Manual de técnicas de jardinería II. Mantenimiento. 2ª ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 336p.
- Villafañe, R., Abarca, O., Azpúrua, M., Ruiz, T., y Dugarte, J. 1999. Distribución espacial de la salinidad en los suelos de quíbor y su relación con las limitaciones de drenaje y la calidad del agua. *Bioagro*. 11(2): 43-50.
- Villagra, Pablo. 1997. Germination of Prosopis Argentina and *P. alpataco* seeds under saline conditions. *Journal of Arid Environments*. 37: 261-67.
- Vogel, A.I. 1969. Química analítica-cuantitativa. 5ª ed. Kapeluz, Buenos Aires.
- Wahid, A., Rasul, E., y Rao, A. R., 1999. Germination of Seeds and Propagules Under Salt Stress. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*. 2ª ed. Pessarakli, M. (eds). Marcel Dekker, New York. Inc. pp.153-163.
- Wallihan, F. E. 1960. Effect of sodium bicarbonate on iron absorption by orange seedlings. *Plant Physiol*. 36(1): 52-53.
- Wetzel, R. 1981. Limnología. Eds. Omega. Barcelona, España. 678p.
- Wollenweber, B., Porter, J.R., y Lübberstedt T. 2005. Need for multidisciplinary research towards a second green revolution. *Current Opinion in Plant Biology*. 8(1): 337-341.
- Yazici Ismail, T.I., Sekmen, A.H., Demiral, T. 2007. Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environmental and Experimental Botany*. 61(1): 49-57.
- Zhou, D., y Xiao, M. 2010. Specific ion effects on the seed germination of sunflower, *Journal of Plant Nutrition*. 33(2): 255-266.

X. ANEXO

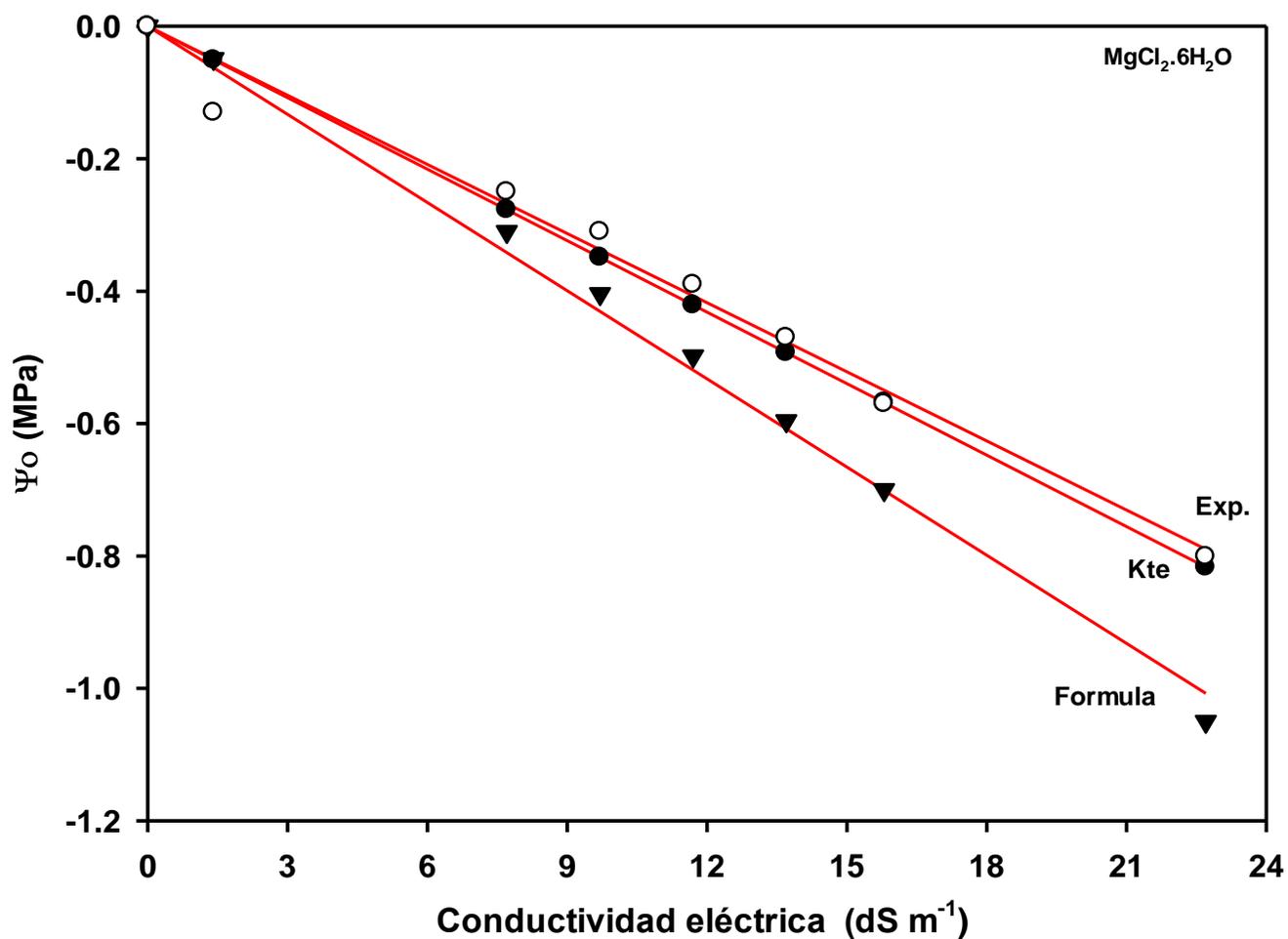
Anexo 1. Relación de la concentración (CE) y el potencial osmótico (MPa) de acuerdo con $\Psi_o = 0.36 \cdot CE$; $\Psi_o = MRT$, y el Ψ_o obtenido en el Osmómetro, para los diferentes tipos de salinidades con iones cloruros.



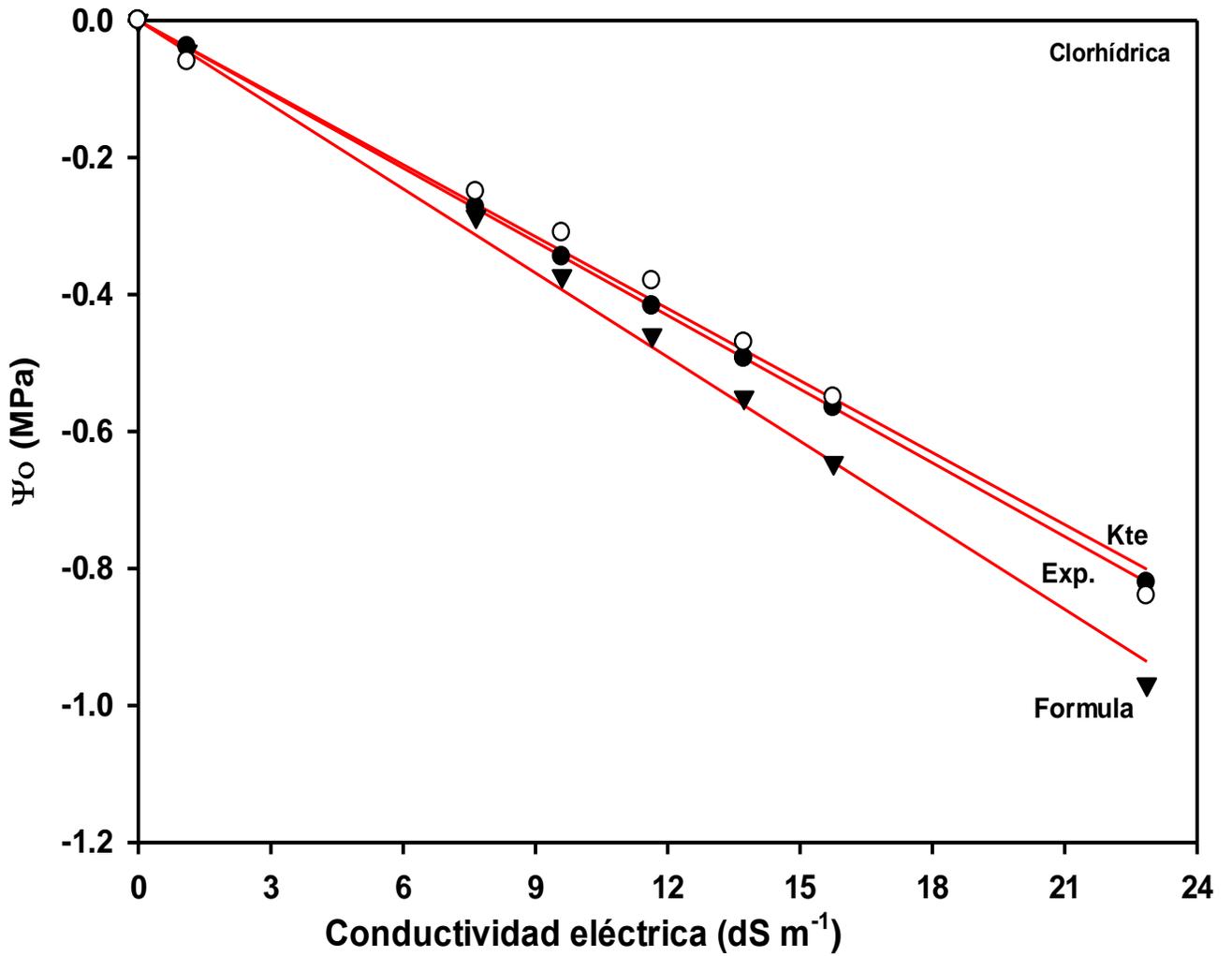
El modelo lineal resultante del potencial osmótico y CE por constante (Kte) presento una $R^2 = 1.0$ $y = -0.036x + -0.496^{-16}$, por Formula $R^2 = 0.997$ $y = -0.053x + 0.0022$, y medido en el osmómetro $R^2 = 9.99$ $y = -0.052x + 6.7^{-3}$, en conjunto se establece una $R^2 = 0.921$ $y = -0.0474x + 9.83^{-3}$.



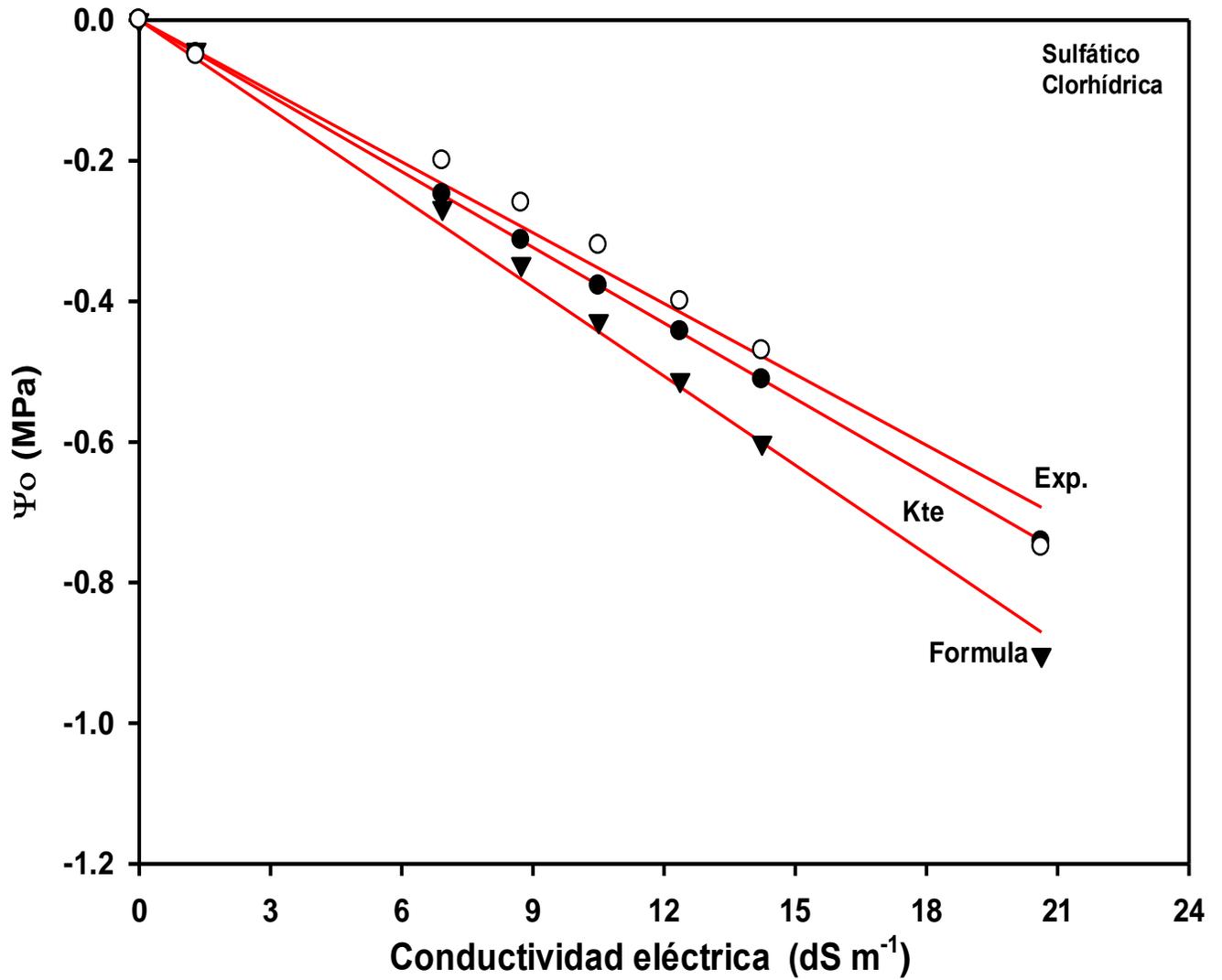
El modelo lineal resultante del potencial osmótico y CE por constante (Kte) presento una $R^2=0.99$ $y= -0.035 x+ 2.372^{-5}$, por Formula $R^2= 0.997$ $y= -0.042 x+ 0.017$, y medido en el osmómetro $R^2= 0.988$ $y= -0.043 x+ -1.751^{-3}$, en conjunto se establece una $R^2= 0.980$ $y= -0.037 x+ 5.377^{-3}$.



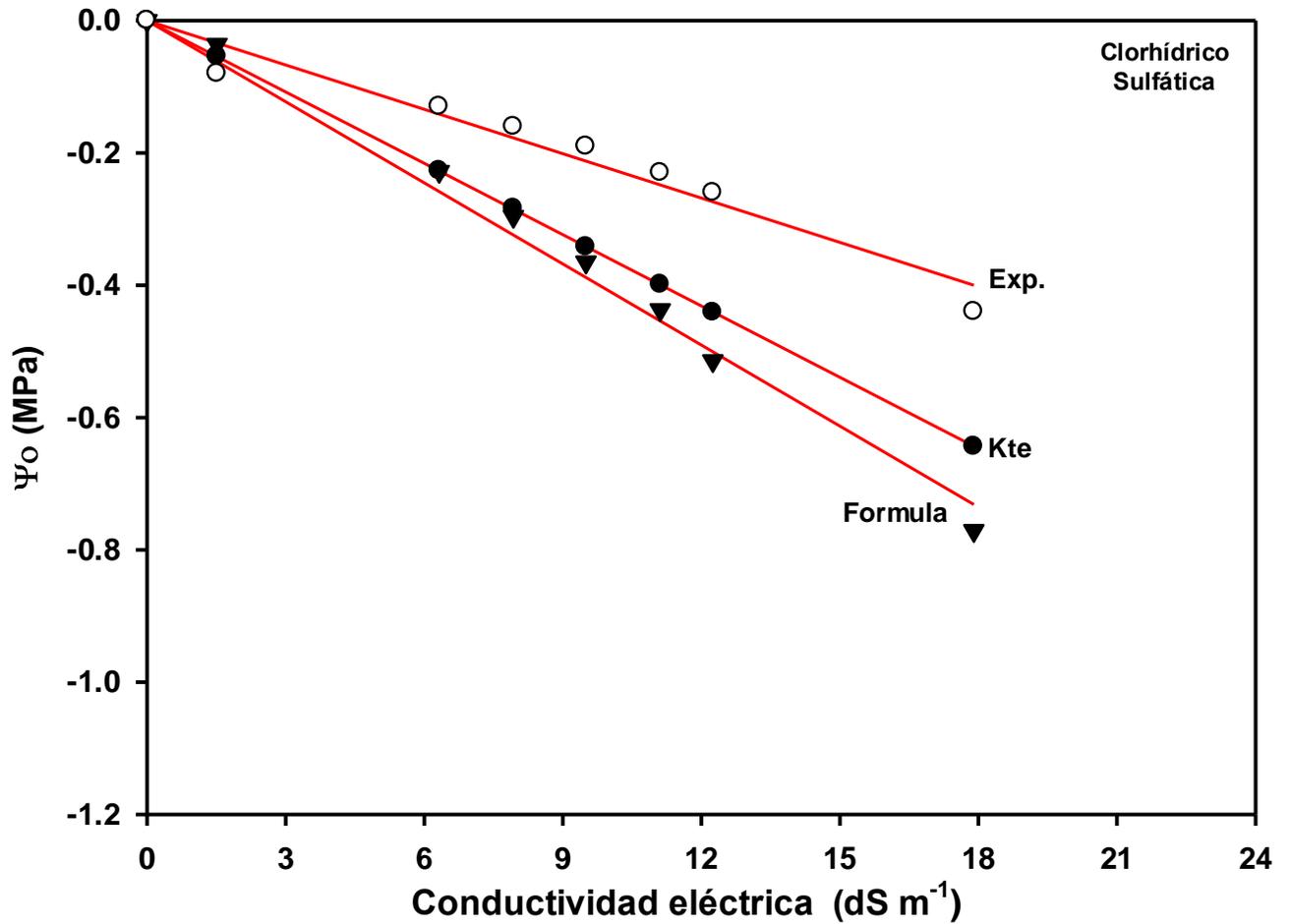
El modelo lineal resultante del potencial osmótico y CE por constante (Kte) presenta una $R^2 = 0.99$ $y = -0.035 x + -509^{-5}$, por Formula $R^2 = 0.996$ $y = -0.046 x + 0.0258$, y medido en el osmómetro $R^2 = 0.982$ $y = -0.033 x + -0.017$, en conjunto se establece una $R^2 = 0.955$ $y = -0.038 x + 2.759^{-3}$.



El modelo lineal resultante del potencial osmótico y CE por constante (Kte) presento una $R^2=0.999$ $y= -0.035 x+ 7.318^{-4}$, por Formula $R^2= 0.997$ $y= -0.042 x+ 0.016$, y medido en el osmómetro $R^2= 0.992$ $y= -0.0357 x+ -0.01$, en conjunto se establece una $R^2= 0.982$ $y= -0.0379 x+ 9.319^{-3}$.

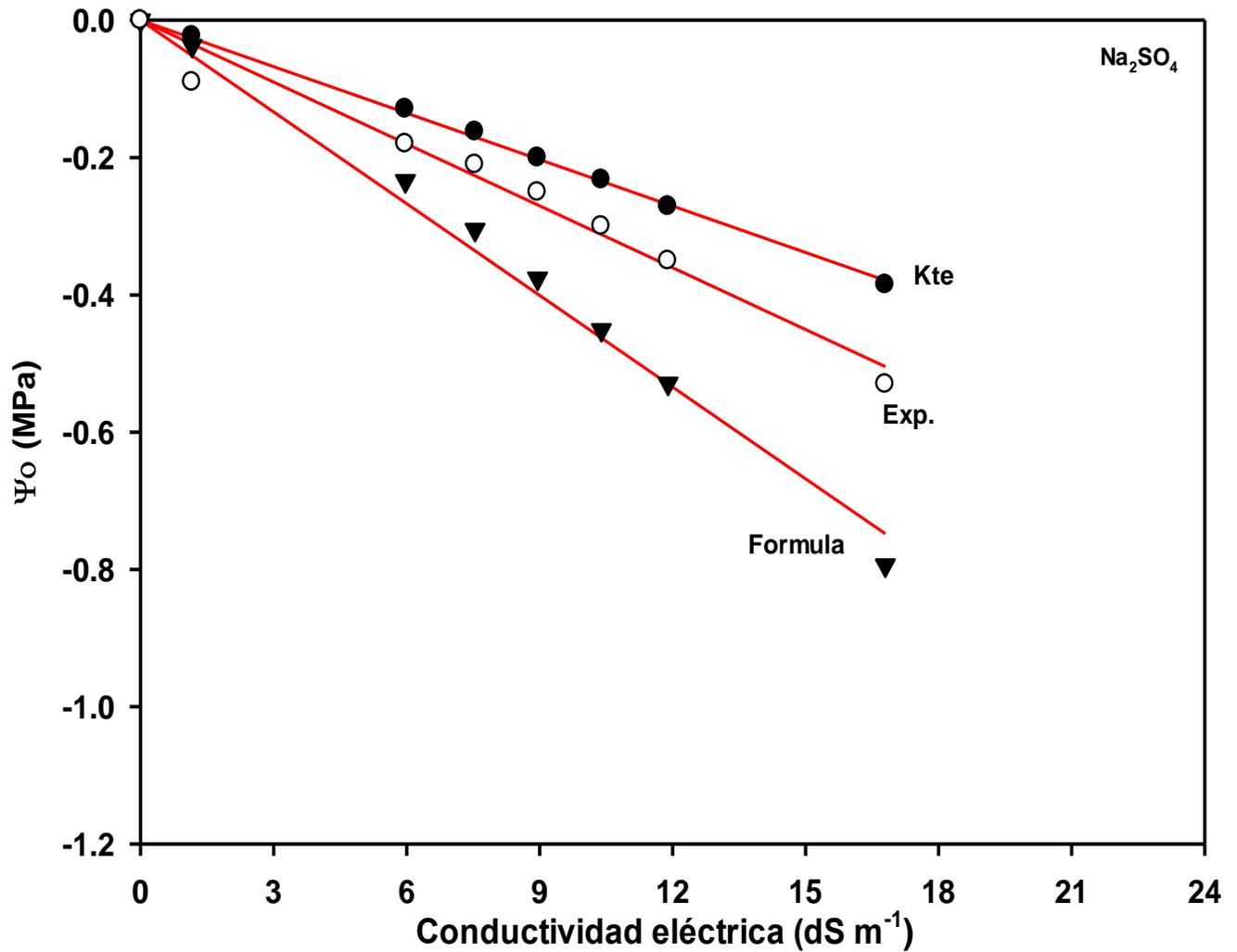


El modelo lineal resultante del potencial osmótico y CE por constante (Kte) presento una $R^2=0.999$ $y= -0.035 x+ 3.153^{-4}$, por Formula $R^2= 0.997$ $y= -0.043 x+ 0.021$, y medido en el osmómetro $R^2= 0.986$ $y= -0.035 x+ -0.023$, en conjunto se establece una $R^2= 0.967$ $y= -0.038 x+ 0.015$.

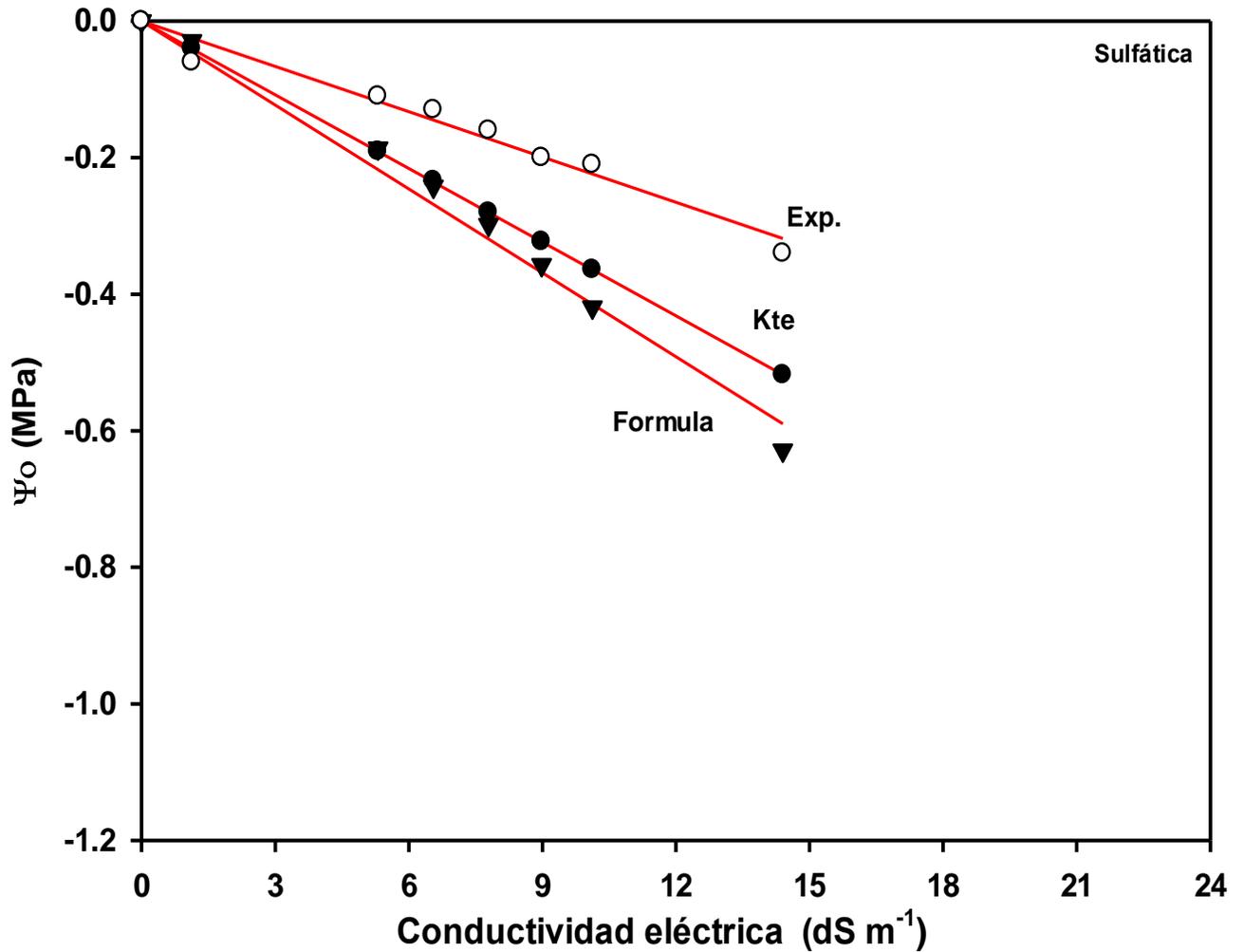


El modelo lineal resultante del potencial osmótico y CE por constante (Kte) presento una $R^2=0.999$ $y= -0.035 x+ 3.153^{-4}$, por Formula $R^2= 0.993$ $y= -0.043 x+ 0.030$, y medido en el osmómetro $R^2= 0.957$ $y= -0.022 x+ -1.633^{-3}$, en conjunto se establece una $R^2= 0.839$ $y= -0.0338 x+ 9.626^{-3}$.

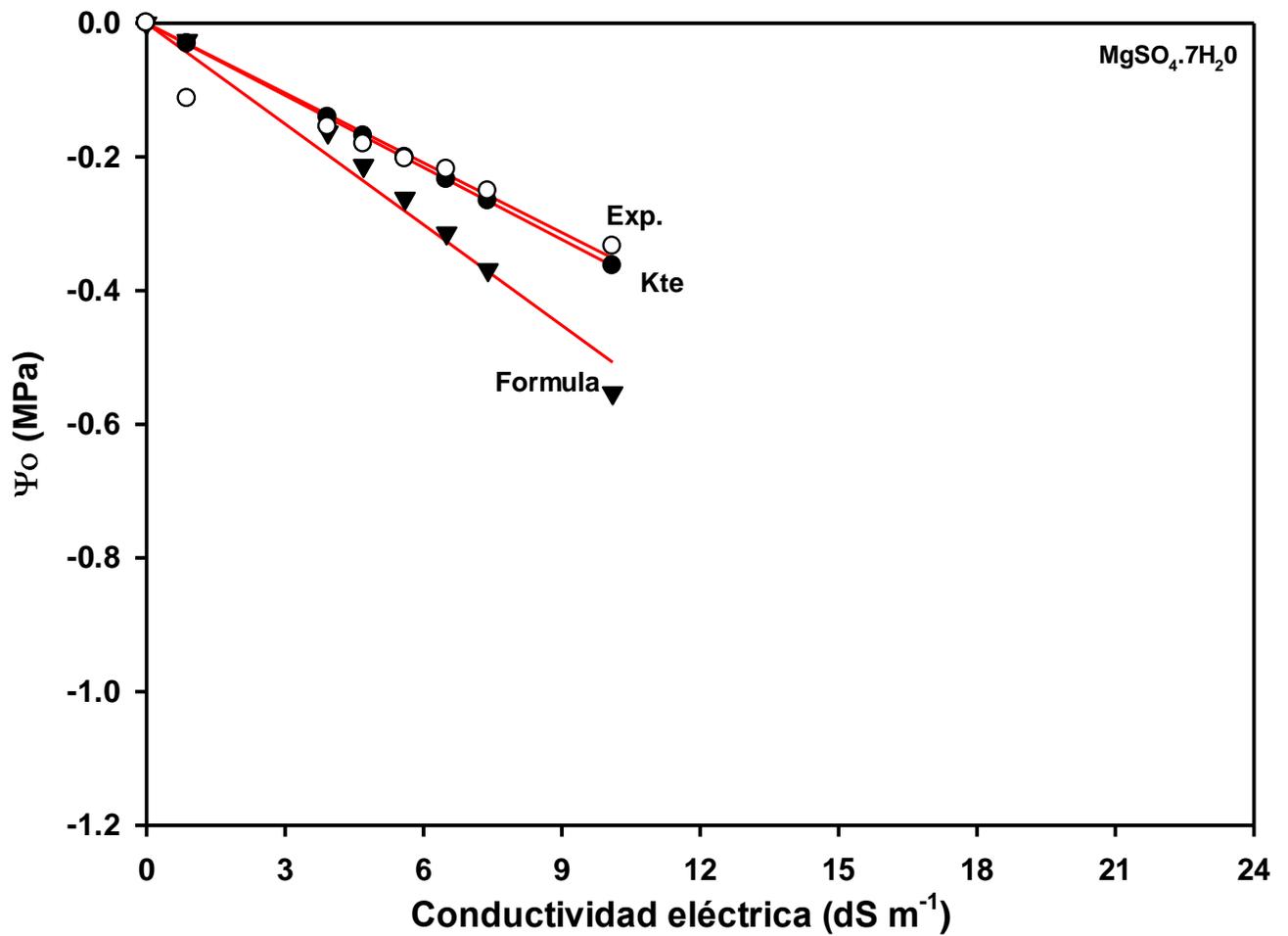
Anexo 2. Relación de la concentración (CE) y el potencial osmótico (MPa) de acuerdo con $\Psi_o = 0.36 \cdot CE$; $\Psi_o = MRT$, y el Ψ_o obtenido en el Osmómetro, para los diferentes tipos de salinidades con iones sulfatos.



El modelo lineal resultante del potencial osmótico y CE por constante (Kte) presenta una $R^2 = 0.999$ $y = -0.022x + 4.884 \cdot 10^{-3}$, por Formula $R^2 = 0.993$ $y = -0.0469x + 0.027$, y medido en el osmómetro $R^2 = 0.977$ $y = -0.029x - 0.0113$, en conjunto se establece una $R^2 = 0.790$ $y = -0.0329x + 6.959 \cdot 10^{-3}$.

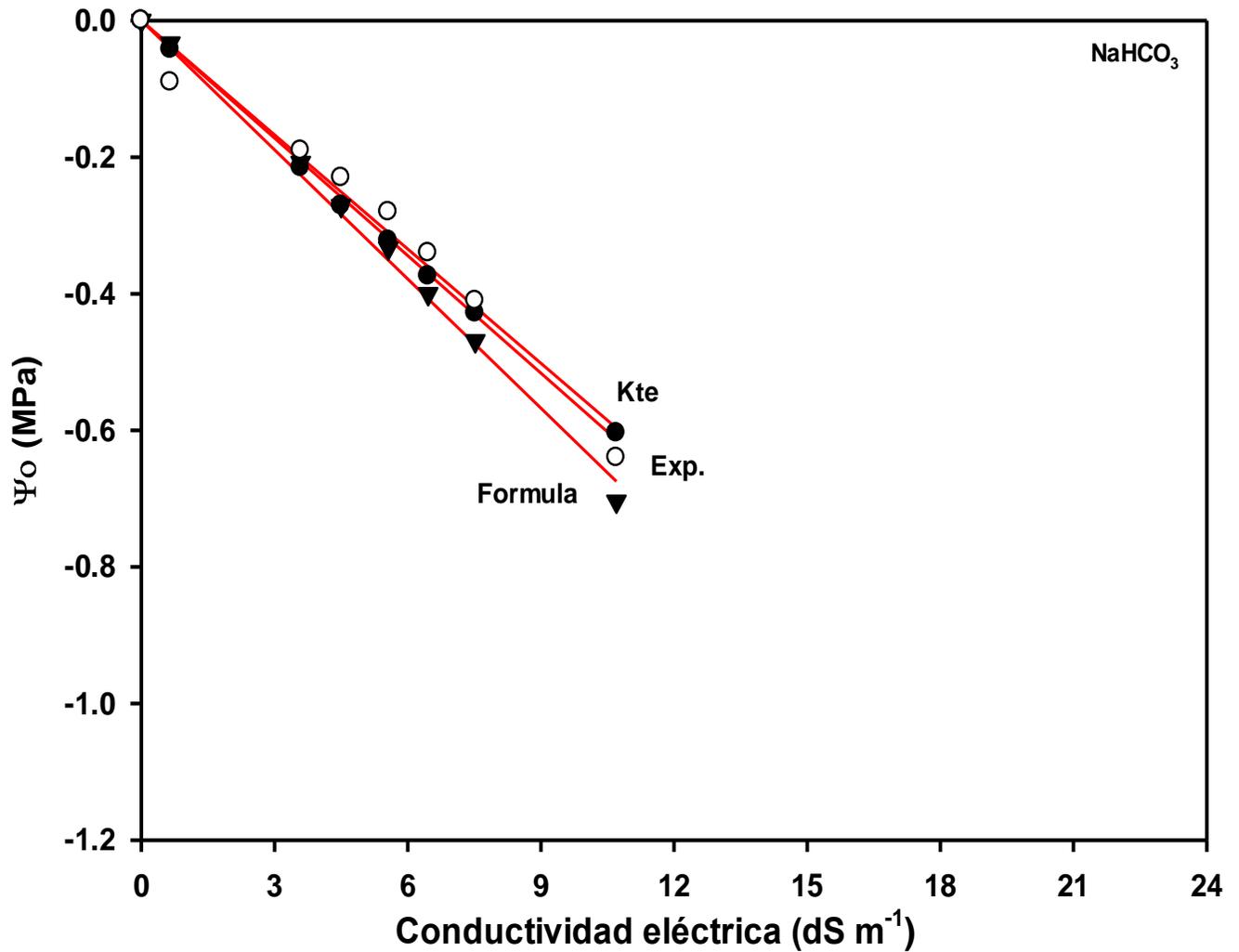


El modelo lineal resultante del potencial osmótico y CE por constante (Kte) presento una $R^2=0.999$ $y= -0.035x+ 4.750^{-4}$, por Formula $R^2= 0.991$ $y= -0.0436 x+ 0.0262$, y medido en el osmómetro $R^2= 0.969$ $y= -0.0216 x+ -4.470^{-3}$, en conjunto se establece una $R^2= 0.833$ $y= -0.0337 x+ 7.406^{-3}$.

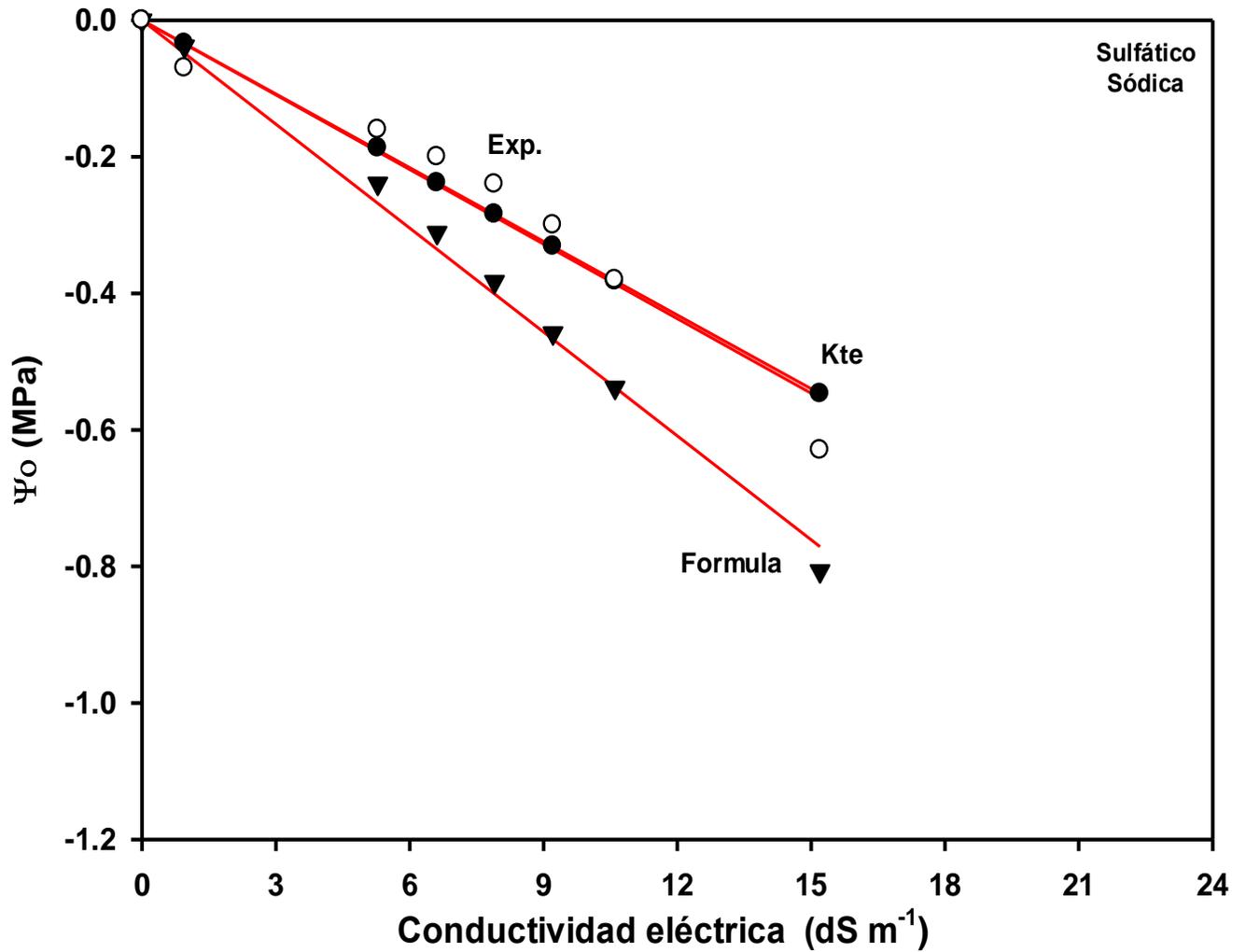


El modelo lineal resultante del potencial osmótico y CE por constante (Kte) presento una $R^2=0.999$ $y= -0.035 x+ 2.858^{-4}$, por Formula $R^2= 0.987$ $y= -0.0452 x+ 0.0274$, y medido en el osmómetro $R^2= 0.941$ $y= -0.028 x+ -0.0411^{-3}$, en conjunto se establece una $R^2= 0.875$ $y= -0.0396 x+ 4.458^{-3}$.

Anexo 3. Relación de la concentración (CE) y el potencial osmótico (MPa) de acuerdo con $\Psi_o = 0.36 \cdot CE$; $\Psi_o = MRT$, y el Ψ_o obtenido en el Osmómetro, para los diferentes tipos de salinidades con iones bicarbonatos y sodio.

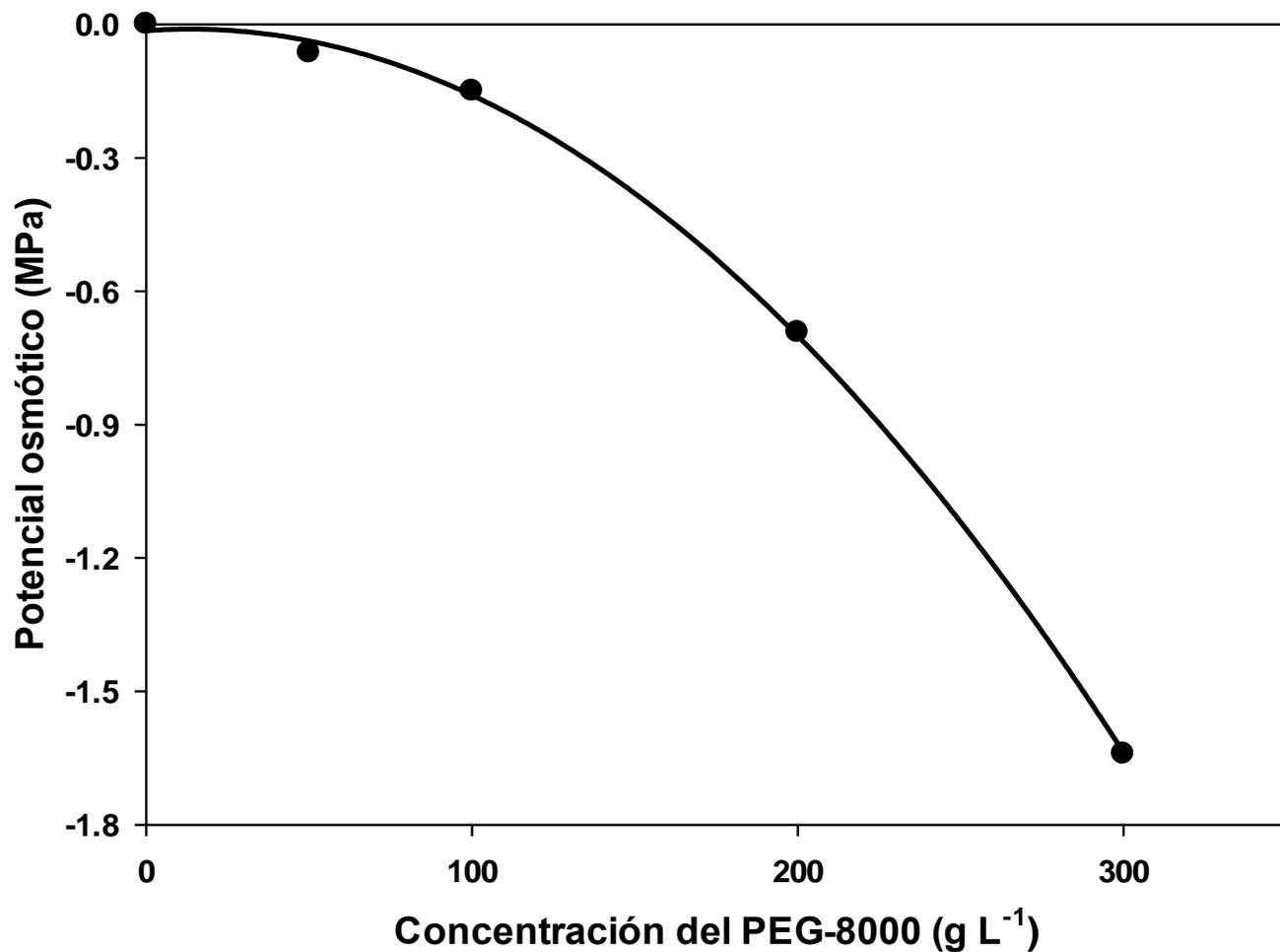


El modelo lineal resultante del potencial osmótico y CE por constante (Kte) presento una $R^2 = 0.999$ $y = -0.0562 x + -7.783 \cdot 10^{-3}$, por Formula $R^2 = 0.996$ $y = -0.069 x + 0.0158$, y medido en el osmómetro $R^2 = 0.975$ $y = -0.0554 x + -2.528 \cdot 10^{-3}$, en conjunto se establece una $R^2 = 0.981$ $y = -0.0396 x + 4.458 \cdot 10^{-3}$.



El modelo lineal resultante del potencial osmótico y CE por constante (Kte) presento una $R^2=0.999$ $y= -0.036 x+ 6.82^{-4}$, por Formula $R^2= 0.995$ $y= -0.0528 x+ 0.0218$, y medido en el osmómetro $R^2= 0.954$ $y= -0.038 x+ 0.0198$, en conjunto se establece una $R^2= 0.908$ $y= -0.0424 x+ 0.014$.

Anexo 4. Relación de la concentración y el potencial osmótico (MPa) del polietilenglicol 8000, obtenido en el Osmómetro. Cada punto es el promedio de seis repeticiones.



El modelo lineal resultante del potencial osmótico y la concentración del PEG-8000, presento una $R^2 = 0.999$ $y = -1.979 \cdot 5 x + -0.0139$.