

Efecto del NaCl y de los termoperiodos sobre la germinación de semillas de *Suaeda mexicana* (Standl.) Standl. (Chenopodiaceae)

Effect of NaCl and thermoperiod on seed germination of *Suaeda mexicana* (Standl.) Standl. (Chenopodiaceae)

Gabriel Sánchez-Tizapantzi¹
Angélica Ruiz-Font²

Fecha de recepción: 8 de enero del 2012
Fecha de aprobación: 25 de mayo del 2012

Sánchez, G; Ruiz, A. Efecto del NaCl y de los termoperiodos sobre la germinación de semillas de *Suaeda mexicana* (Standl.) Standl. (Chenopodiaceae). *Tecnología en Marcha*. Vol. 25, N° 3. Julio-Setiembre 2012. Pág 58-69.

1. Biólogo. Licenciado en Biología, Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala. México. Correo electrónico: gabrieltiza@hotmail.com
2. Bióloga. Máster en Ecología y Ciencias Ambientales. Profesora titular: Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional, Tlaxcala, México. Correo electrónico: convenios22@hotmail.com

Resumen

En el presente trabajo se investigó el efecto del cloruro de sodio (NaCl) y de los termoperiodos en la germinación de la especie *Suaeda mexicana*, en tres tipos de semillas: 1) sin testa, 2) con testa café y 3) con testa negra. Las semillas se sometieron a tres diferentes termoperiodos (0 °C/20 °C, 5 °C/25 °C y 10 °C/30 °C) y a siete diferentes concentraciones de NaCl (200, 400, 600, 800, 1000, 1500 y 3000 mM) y como testigo se usó agua destilada (0 mM NaCl) utilizando un fotoperiodo de 12 h oscuridad/12 h luz.

En los resultados, las semillas sin testa presentaron el mayor porcentaje de germinación en todos los termoperiodos en agua destilada. En los termoperiodos de 5 °C/25 °C y 10 °C/30 °C se obtuvo una germinación de alrededor del 97% para los tres tipos de semillas, mientras que en el de 0 °C/20 °C en semillas sin testa se obtuvo el 72%; en las semillas de testa café fue del 7% y en las de testa negra del 1%.

Las concentraciones de NaCl reducen la germinación de las semillas sin testa en promedio un 12% a 1000 mM de NaCl en todos los termoperiodos. En las semillas de testa café la reducción fue del 3% a 600 mM de NaCl en un termoperiodo de 5 °C/25 °C y en las de testa negra no hubo germinación en concentraciones salinas.

En conclusión, la germinación de *Suaeda mexicana* varía de acuerdo al tipo de semilla, termoperiodo y salinidad expuesta, siendo la semilla sin testa la que mejor responde.

Palabras clave

NaCl, termoperiodo, germinación, *Suaeda mexicana*.

Abstract

In this study, we assessed the effect of NaCl and thermoperiod on germination of halotolerant plant *Suaeda mexicana*, in three types of seeds: without testa, black testa and brown testa. The three thermoperiod were 0° C/20° C, 5° C/25° C and 10° C/30° C. Were evaluated seven concentrations of NaCl (200, 400, 600, 800, 1000, 1500 and 3000 mM) and distilled water as a control under a photoperiod of 12 h light and 12 h darkness.

The best results indicated that germination in the thermoperiods 5° C/25° C and 10° C/30° C are about 97% for the three types of seeds. At 0° C/20° C thermoperiod in seeds without testa 72% was obtained; coffee seed testa was 7% and 1% black.

Adding NaCl reduces the cumulative germination percentage in 20 days, but there is a different response depending on the type of seed. Black testa seed did not germinate from the lowest concentration of NaCl (200 mM).

The brown seed germination was the highest in the thermoperiod 10° C/30° C con 21%, decrease in 5° C/25 °C with 4% and is zero in the thermoperiod of 0° C/20° C. Finally the seed without testa is the best response to salinity, the highest germination was in 10 ° C/30 ° C thermoperiod with 83%, decreases in 5° C/25° C with 50% and 0° C/20° C thermoperiod 30%.

These results provide the basis for *Suaeda mexicana*, will be considered a potentially useful species for biomass generation in irrigated saline environments.

Key words

NaCl, thermoperiod, germination, *Suaeda mexicana*.

Introducción

En el mundo, más de 800 millones de hectáreas (ha) resultan afectados por la salinidad, un problema que se da principalmente en las zonas áridas y semiáridas, incluyendo del 10% al 50% de la superficie de regadío (FAO, 2007).

En México, las zonas áridas y semiáridas ocupan cerca del 40% de la superficie y es muy frecuente encontrar condiciones de salinidad y sodicidad en aproximadamente 3.5 millones de ha afectadas en las zonas áridas y semiáridas, 1 millón en otras zonas no agrícolas, 800 000 en las áreas costeras, un millón en áreas agrícolas de temporal y 500 000 en zonas agrícolas de riego, lo cual totaliza unos 6,8 millones de hectáreas de suelos afectados por sales en todo el país (Ortiz, 1992). Las regiones afectadas por la salinidad pueden llegar a quedar sin vegetación si no son recuperadas, debido a las propiedades desfavorables del suelo salino, y por consiguiente, la erosión de este (Keiffer & Ungar, 2001).

Sin embargo, la salinidad no es perjudicial para todas las plantas y varias especies, las denominadas halófitas, crecen naturalmente en los suelos salinos. El éxito de las poblaciones halófitas depende en gran medida de la respuesta de la germinación de sus semillas (Khan & Gul, 2006), donde una de las etapas más críticas en el ciclo de vida es el periodo de germinación y establecimiento en el campo.

Estos procesos están controlados por varios factores ambientales, en particular la luz (Gutterman, 1993; Huang & Gutterman, 1998, 1999), la temperatura (Badger & Ungar 1989) y la salinidad (Ungar, 1995; Khan *et al.*, 2002), siendo determinantes del éxito de muchas poblaciones de plantas características de saladares (Keiffer & Ungar, 1997).

Existe un amplio rango de variación en la respuesta de las halófitas a la salinidad, por ejemplo, las semillas de *Salicornia herbacea* germinan a 1700 mM NaCl (Chapman, 1960). La variación de la tolerancia a la salinidad en especies del género *Suaeda* es de 500-1400 mM en las siguientes especies: *S. japonica* (900 mM) (Yokoishi & Tanimoto, 1994), *S. fruticosa* (500 mM) (Khan & Ungar, 1998), *S. moquinii* (1000 mM) (Khan *et al.*, 2001), *S. salsa* (1200 mM) (Li *et al.*, 2005) y *S. aralocaspica* (1400 mM) (Wang *et al.*, 2008).

La temperatura es un factor crítico durante la germinación, que influye especialmente en su velocidad; además, la capacidad germinativa

puede sufrir gravemente a causa de condiciones inapropiadas de temperatura (Benech-Arnold & Sánchez, 2004; Guretzky *et al.*, 2004; Leon *et al.*, 2004).

El dimorfismo y el polimorfismo puede permitirles a las halófitas responder de forma variada a los pantanos salados o a los ambientes desérticos y podrían proveer oportunidades para el establecimiento de la plántula y la supervivencia en ambientes salinos (Khan *et al.*, 2001).

Típicamente se reportan dos tipos de semillas en el género *Suaeda*: las de testa blanda de color café y las de testa dura de color negro; algunos ejemplos son: *S. moquinii* (Khan *et al.*, 2001), *S. salsa* (Li *et al.*, 2005), *S. splendens* (Redondo-Gómez *et al.*, 2008) y *S. aralocaspica* (Wang *et al.*, 2008).

En el presente trabajo se analiza la influencia de NaCl y diferentes termoperiodos sobre la germinación de *Suaeda mexicana*, que es una planta herbácea anual perenne, perteneciente a la familia Chenopodiaceae, erguida o postrada, glabra o casi glabra, de 20 cm a 1 m de alto, con ramas ascendentes o divergentes, flexuosa; hojas lineares cilíndricas o a veces algo aplanadas de 7 a 2,5 cm de largo, mientras que las inflorescencias son reducidas. El tamaño de la semilla es de alrededor de 1 mm, de color negro a rojo intenso (Rzedowski & Rzedowski, 2005).

Metodología

Sitio de recolección y descripción de las semillas

La recolección de las semillas de *S. mexicana* se realizó durante el mes de enero de 2010 en la Laguna Tepeyahualco (El Salado), que se encuentra ubicada al pie del Cerro del Pizarro a una altitud de 2312 metros sobre el nivel del mar (msnm) en el estado de Puebla, en México (figura 1).

Los ejemplares recolectados se depositaron en la colección del herbario TLXM del Centro de Investigaciones en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala como respaldo.

En el laboratorio del CIBA-IPN-Tlaxcala se limpiaron las semillas, pasando por diferentes tamices, entre ellos uno de 0,8 mm y otro de 0,5 mm, observándose que existía variación en el tamaño, el color y la dureza de la testa, por lo que se decidió tomar las semillas >0,8 mm y separarlas con ayuda del estereoscopio, para

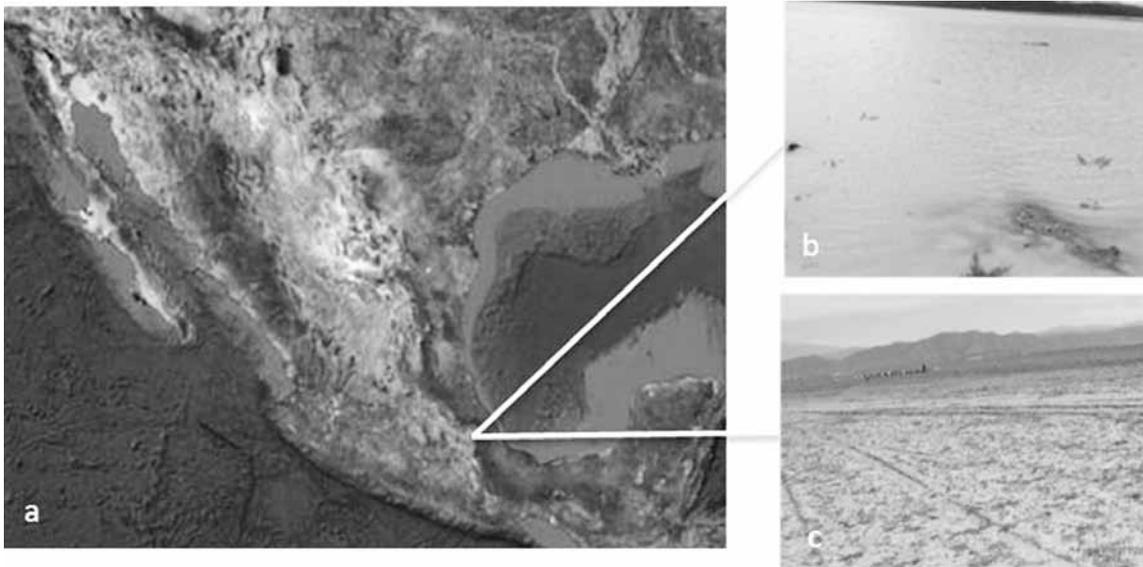


Figura 1. Laguna de Tepeyahualco (El Salado): a) ubicación, b) en verano con agua, c) en invierno seca.

obtener tres diferentes tipos de semillas: sin testa, con testa café y con testa negra. Posteriormente se secaron y se almacenaron en nuevas bolsas de papel estraza, en condiciones ambientales durante tres meses (Herranz *et al.* 2004).

La temperatura ambiental anual de El Salado se obtuvo del promedio de datos de tres estaciones meteorológicas cercanas (Alchichica, Tepeyahualco y Totalco) de los años 1971-2001 del Servicio Meteorológico Nacional (2009).

La temperatura varía de $-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un valor medio de $13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. El clima es templado seco, con verano seco y poca oscilación térmica (García, 1988), con una precipitación anual menor a 451 mm y una tasa de evaporación de 1722.53 mm (figura 2).

Prueba de imbibición

La prueba de imbibición se hizo para tres tipos de semillas en el laboratorio, a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, usando cuatro réplicas de 25 semillas

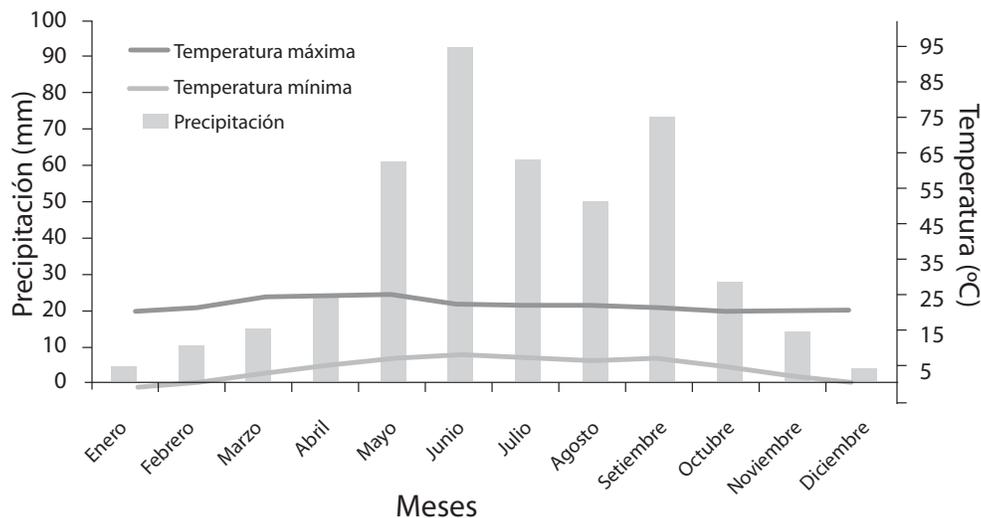


Figura 2. Promedio de la precipitación y temperaturas máximas y mínimas de El Salado (promedio de Alchichica, Tepeyahualco y Totalco de los años 1971-2001 del Servicio Meteorológico Nacional de México, 2009).

secas de cada tipo. Se pesó la masa seca de cada grupo de 25 semillas para determinar el tiempo 0, y posteriormente las semillas se colocaron en cajas de Petri de 9 cm de diámetro con papel filtro Whatman de poro medio, saturado con agua destilada.

Después de una hora, las semillas fueron removidas de las cajas, se pesaron nuevamente y se secaron con papel filtro, posteriormente se pusieron de nuevo en las cajas de Petri. Esto se volvió a repetir a las 3, 6, 9, 12 y 22 horas para determinar la absorción de agua. El incremento relativo en peso fresco (W_r) de semillas está calculado como $W_r = (W_f - W_i) / W_i * 100$, donde W_i es el peso inicial de la semilla y W_f el peso después de un determinado tiempo (Baskin et al., 2004).

Efecto de la salinidad y temperatura sobre la germinación

Antes de someter las semillas a los diferentes tratamientos, se rompió la tensión superficial con Tween 80 y se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril. Después se desinfectaron con cloro comercial al 10% durante 10 minutos en constante agitación, en una campana de flujo laminar; enjuagándose tres veces con agua destilada estéril.

Ya desinfectadas, se colocaron 25 semillas en cada caja de Petri de 9 cm de diámetro con dos capas de papel filtro Whatman de poro medio. Se realizaron siete tratamientos con diferentes concentraciones de NaCl (200 mM, 400 mM, 600 mM, 800 mM, 1000 mM, 1500 mM y 3000 mM) y un testigo con agua destilada (0 mM NaCl), agregando 5 ml de cada solución (Khan & Gulzar, 2003).

Las cajas se sellaron con Parafilm para evitar la evaporación. Se realizaron cuatro repeticiones para cada tratamiento, considerando esto para someterlas a tres diferentes termoperiodos (0-20 °C, 5-25 °C y 10-30 °C) durante 20 días con 12 horas de fotoperiodo, haciendo coincidir la temperatura más alta con la luz y la más baja con la oscuridad, en cámaras de germinación (Scorpion Scientific®); el termoperiodo y el fotoperiodo se controlaron de forma manual. Todos los lotes de semillas tratados de esta forma tenían la misma edad, descartando así que las diferencias en la capacidad germinativa estuvieran influenciadas por ese factor (Baskin y Baskin, 1998).

La tasa de germinación se estimó utilizando una versión modificada del índice Timson de velocidad de germinación: índice de germinación $I_g = \sum G/t$, donde G es el porcentaje de germinación de las semillas a intervalos de 2 días y t es el periodo de germinación total (Khan y Ungar, 1984), considerando como germinadas las que tenían más de 2 mm. El máximo valor posible para los datos usando este índice fue de 50 (es decir, 1000-20). Cuanto mayor sea el valor, más rápida es la germinación.

Análisis estadístico

Todos los datos se expresaron como media de la desviación estándar (+/- DE). Los datos se transformaron a arcoseno antes del análisis estadístico para la homogeneidad de varianza (no se transformaron los datos que aparecen en todas las figuras). Los datos se analizaron usando el programa estadístico PASW Statistics 18 Versión 18.0.0 para Windows (SPSS Inc., 2009).

Se utilizó un modelo lineal general (MLG) para el análisis de varianza (ANOVA) para comparar los efectos de los tratamientos. El ANOVA de dos vías se utilizó para determinar las diferencias significativas en agua destilada entre la temperatura, el tipo de semillas y su interacción; y para determinar las diferencias entre la salinidad y la temperatura y su interacción en semillas sin testa, omitiendo las concentraciones salinas donde no hubo germinación. La prueba de Tukey HSD se utilizó para determinar diferencias ($p < 0.05$) entre los tratamientos individuales.

Resultados

Descripción de las semillas

Suaeda mexicana varía en el diámetro de sus semillas de 0,5 mm a 0,8 mm, de acuerdo con el tamaño de los tamices utilizados para separarlas de los restos vegetales. Para el experimento se utilizaron las semillas mayores a 0,8 mm, encontrándose variación en el color y la dureza de la testa de la semilla, lo cual se observó mediante el estereoscopio, obteniendo tres diferentes tipos de semillas: sin testa, el 24%; con testa café, el 23%; y con testa negra, el 41% (figura 3).

Prueba de imbibición

La absorción inicial de agua manifestó un aumento en la masa de las semillas sin testa del 28,1% después de 1 h y del 63,1% a las 3 h; se dejó de tomar el peso

Figura 3. Semillas de Suaeda mexicana a) sin testa, b) de testa café y c) de testa negra.

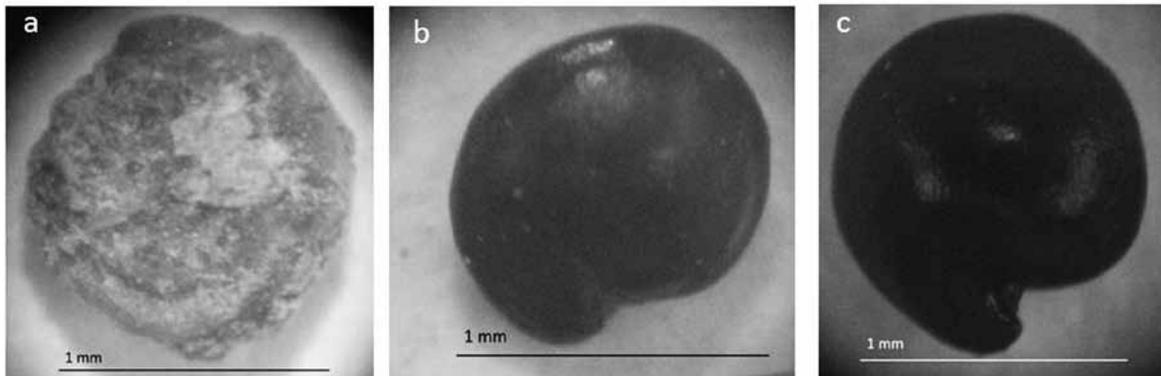
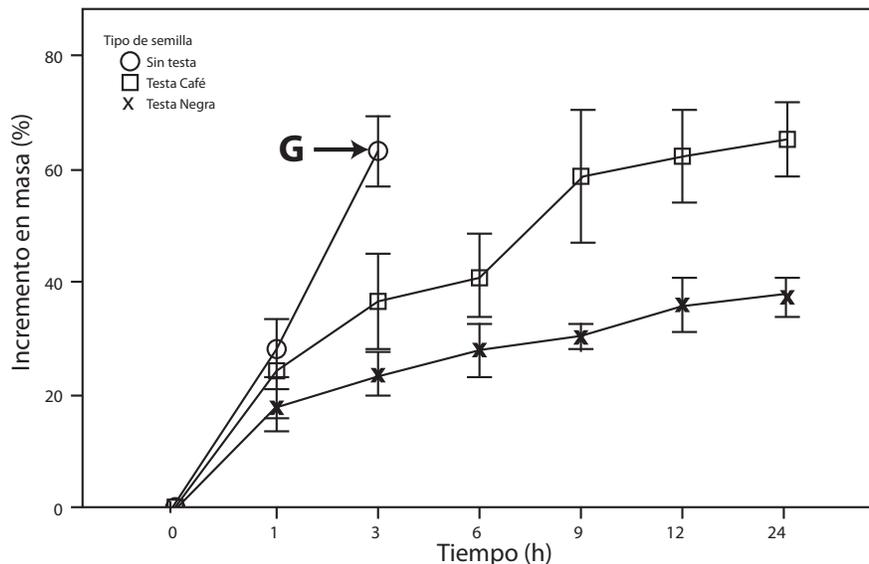


Figura 4. Curvas de imbibición de semillas de Suaeda mexicana (semillas sin testa, de testa café y de testa negra) en agua destilada. 'G', tiempo en que empieza la germinación en semillas sin testa.



debido a que algunas semillas habían germinado (figura 4). En las semillas de testa café, después de 1 h se registró un aumento en su masa del 24,5%, a las 3 h del 36%, y a las 24 h del 65,6% (figura 4). En las semillas de testa negra, después de 1 h se observó un aumento en su masa del 17,4%, a las 3 h del 24% y a las 24 h del 37,7% (figura 4).

Germinación

Se registró la germinación inicial a los 2 días en agua destilada (0 mM NaCl), siendo el termoperiodo de 10 °C/30 °C en el que se obtuvo el mayor porcentaje de germinación, con un 35% en semillas sin testa (figura 5a), un 15% en semillas de testa café (figura 5b) y un 4% en semillas de testa negra (figura 5c).

Durante 20 días de incubación en agua destilada, el porcentaje de germinación acumulada y la velocidad de germinación de las semillas sin testa fue mayor que el de las semillas de testa café y de testa negra en el termoperiodo 0 °C/20 °C. La germinación de semillas sin testa en agua destilada en un termoperiodo de 0 °C/20 °C se ve menos afectada, con un 72% de germinación a los 20 días (figura 5a), en semillas de testa café y testa negra en agua destilada en un termoperiodo de 0 °C/20 °C fue del 7% y 1%, presentándose en los días 2 y 6 respectivamente, sin modificarse hasta los 20 días (figura 5b y c).

El índice de germinación en agua destilada en el termoperiodo 0 °C/20 °C de las semillas sin testa

Figura 5. Porcentaje de germinación acumulada en agua destilada de Suaeda mexicana. a) semillas sin testa, b) semillas de testa café y c) semillas de testa negra incubadas a diferentes termoperiodos (0 °C/10 °C, 5 °C/25 °C y 10 °C/30 °C) y sometidas a un fotoperiodo 12:12 (media ± DE, n=4). Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas en el día 20 para todos los termoperiodos, de acuerdo con la prueba de Tukey HSD (p<0.05).

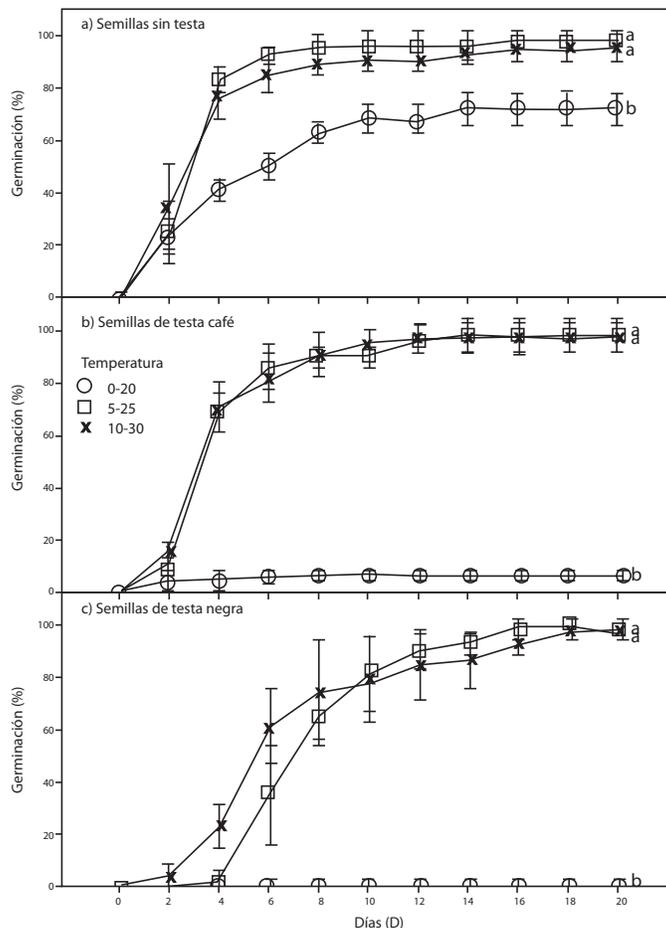


Figura 6. Índice de germinación en agua destilada de Suaeda mexicana, semillas sin testa, semillas de testa café y semillas de testa negra incubadas a diferentes termoperiodos (0 °C/20 °C, 5 °C/25 °C, y 10 °C/30 °C) y sometidas a un fotoperiodo 12:12 (media ± DE, n=4). Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas en el día 20 para todos los termoperiodos, de acuerdo con la prueba de Tukey HSD (p<0.05).

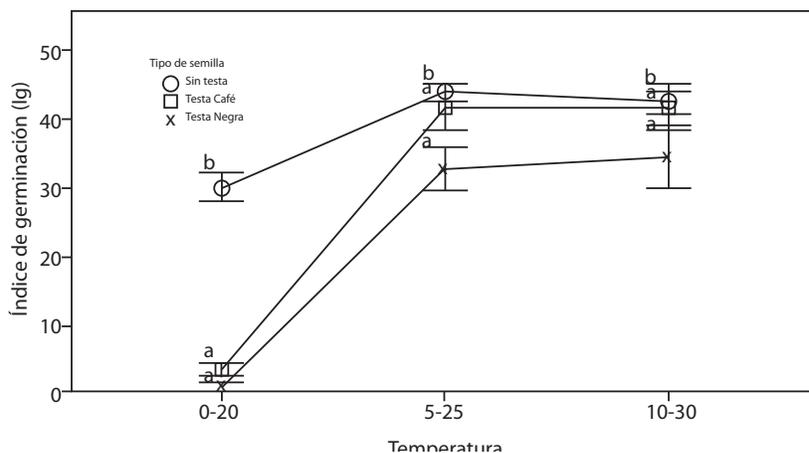
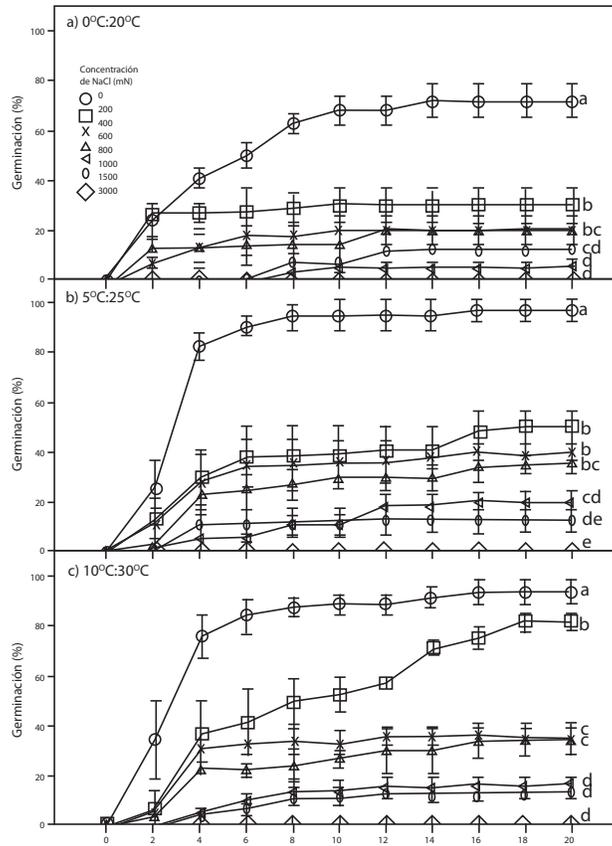


Figura 7. Porcentaje de germinación acumulada de semillas sin testa de Suaeda mexicana en diferentes concentraciones de NaCl a diferentes termoperiodos a) 0 °C/20 °C, b) 5 °C/25 °C y c) 10 °C/30 °C, sometidas a un fotoperiodo 12:12 (media ± DE, n=4). Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas en el día 20 para todas las concentraciones de NaCl, de acuerdo con la prueba de Tukey HSD ($p < 0.05$).



fue del 30%, mientras que las de testa café y testa negra tuvieron solo un 3% y 0,4% respectivamente; en los termoperiodos de 5 °C/25 °C y 10 °C/30 °C en semillas sin testa y con testa café en promedio fue del 42%, mientras que en las de testa negra fue del 33% (figura 6).

El ANOVA de dos vías demuestra que aunque los termoperiodos tienen 20 °C de diferencia entre el día y la noche, y 5 °C entre los diferentes termoperiodos, la germinación se ve significativamente afectada por la temperatura ($F=153.2$, $p < 0.001$), el tipo de semilla ($F=8.6$, $p < 0.001$) y la interacción entre la temperatura y el tipo de semilla ($F=8.4$, $p < 0.001$), en agua destilada (cuadro 1).

La germinación inicial de las semillas sin testa se da a los dos días en concentraciones de 200 mM a 600 mM de NaCl en todos los termoperiodos (figura 7a, b y c). En concentraciones de 800 mM y 1000 mM de NaCl, la germinación inicial es a los cuatro días

en los termoperiodos de 5 °C/25 °C y 10 °C/30 °C (figura 7b y c); en el termoperiodo de 0 °C/20 °C, la germinación inicia a los ocho días (figura 7a).

La germinación inicial en concentraciones de 200 mM a 1000 mM de NaCl varía de un 3% a un 26% (figura 7a, b y c); el mayor porcentaje de germinación inicial se registró en el termoperiodo de 0 °C/20 °C a 200 mM (figura 7a). Las semillas sin testa tienen una germinación en promedio del 13% en 1000 mM de NaCl en todos los termoperiodos a los 20 días (figura 7a, b y c).

Las semillas sin testa tienen la capacidad germinar a 0 mM a 1000 mM de NaCl. El ANOVA de dos vías mostró que la germinación fue significativamente afectada por la temperatura ($F=68.4$, $p < 0.001$), salinidad ($F=261.7$, $p < 0.001$) y la interacción entre la temperatura y la salinidad ($F=114.6$, $p < 0.001$) (cuadro 2), lo que sugiere que las semillas sin testa

Cuadro 1. ANOVA de 2 vías para determinar los efectos de la temperatura y del tipo de semilla y sus interacciones en la germinación en agua destilada de las semillas de Suaeda mexicana.

	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	p≤0.05
Temperatura (T)	9.600	2	4.800	153.297	0.000
Tipo de semilla (TS)	0.540	2	0.270	8.616	0.001
T×TS	1.059	4	0.265	8.453	0.000
Error	0.845	27	0.031		
Total	12.043	35			

Cuadro 2. ANOVA de 2 vías para determinar los efectos de la temperatura y la salinidad y sus interacciones en la germinación de semillas café claro de Suaeda mexicana.

	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	p≤0.05
Temperatura (T)	1.020	2	0.510	68.406	0.000
Salinidad (S)	9.760	5	1.952	261.732	0.000
T × S	1.091	10	0.109	14.635	0.000
Error	0.403	54	0.007		
Total	12.274	71			

tienen la capacidad de germinar inmediatamente después de desprenderse de la planta.

La germinación de semillas de testa café a 600 mM en un termoperiodo de 5 °C/25 °C fue del 3% a los 20 días (cuadro 3) y su germinación inicial se da a los 10 días; en estas mismas condiciones las semillas sin testa tienen una germinación del 35% a los 20 días (cuadro 3), mientras que las semillas de testa negra no registraron germinación en ninguna concentración salina.

Discusión

La evolución de mecanismos para la supervivencia en ambientes impredecibles y estresantes en plantas halófitas ha llevado al desarrollo de una serie de cambios en su morfología y fisiología (Kan et al., 2001), que se ven reflejados en el dimorfismo y polimorfismo de las semillas de diferentes géneros

de halófitas, incluyendo *Suaeda: S. moquini* (Khan et al., 2001), *S. salsa* (Li et al., 2005), *S. splendens* (Redondo-Gómez et al., 2008) y *S. aralocaspica* (Wang et al., 2008).

En todas las especies solo se mencionan dos tipos de semillas: las blandas de color café y las duras de color negro. En *S. mexicana* las semillas son de dos tipos: sin testa y con testa, dicha variación permite que esta especie responda de forma distinta a las condiciones ambientales durante la germinación y el establecimiento de la plántula en suelos salinos.

Li et al. (2005) y Wang et al. (2008) encontraron que las semillas de color café absorben el agua más rápidamente que las de color negro. En las semillas de *S. mexicana* existe un comportamiento similar; ya que en las semillas sin testa absorben el agua más rápidamente, germinando a las 6 horas; sin embargo, a pesar de que las semillas con testa café y negra

Cuadro 3. Efecto de la temperatura en la germinación de semillas de *Suaeda mexicana* en diferentes concentraciones de NaCl.

Termoperiodo (°C)	Tipo de semilla	Concentración de NaCl (mM)			
		0	200	400	600
0:20	Sin testa	72±6.5a	30±6.9 a	20±5.6 a	20±8 a
	Testa café	7±2 b	0±0 b	0±0 b	0±0 b
	Testa negra	1±2 b	0±0 b	0±0 b	0±0 b
5:25	Sin testa	98±4 a	50±6.9 a	40±3.2 a	35±3.8 a
	Testa café	97±6 a	4±3.2 b	1±2 b	3±2 b
	Testa negra	97±3.8 a	0±0 b	0±0 b	0±0 b
10:30	Sin testa	95±5 a	83±3.8 a	36±3.2 a	35±6.8 a
	Testa café	96±5.6 a	21±3.8 b	0±0 b	0±0 b
	Testa negra	96±3.2 a	0±0 c	0±0 b	0±0 b

- Los valores se expresan en porcentaje (%) y son medias ± DE (n = 4).

- Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas en el día 20 para los diferentes tipos de semillas en cada termoperiodo, de acuerdo con la prueba de Tukey HSD (p<0.05).

de *S. mexicana* son menos permeables al agua, tienen una germinación inicial a los dos días en los termoperiodos de 5 °C/25°C y 10 °C/30 °C en agua destilada.

La temperatura es un factor crítico durante la germinación, que influye especialmente en la velocidad de esta; además, la capacidad germinativa puede sufrir gravemente a causa de condiciones inapropiadas de temperatura (Benech-Arnold & Sánchez, 2004; Guretzky *et al.*, 2004; Leon *et al.*, 2004).

En la germinación de *S. mexicana* la temperatura juega un papel importante, ya que los tres tipos de semillas tienen una germinación ≥91% en los termoperiodos más altos de 5 °C/25 °C y 10 °C/30 °C en agua destilada, teniendo diferencias significativas en los tres tipos de semillas (p<0.005) con respecto a los termoperiodos.

En el termoperiodo más bajo, de 0 °C/20 °C, es afectada en combinación con la testa, esto se refleja en semillas sin testa donde hay una germinación del 72%, mientras que las de testa café y negra es ≤7%, lo que sugiere que las semillas sin testa de *S. mexicana*

tienen la capacidad de germinar en un amplio rango de termoperiodos.

La variación de la temperatura en condiciones de salinidad tiene diferentes efectos sobre la germinación de las plantas halófitas y podría deberse a las condiciones ecológicas del hábitat al que pertenecen (Khan & Ungar 1996). De acuerdo con García (1988) *S. mexicana* pertenece a un clima templado seco, siendo afectada la tolerancia a la salinidad en la germinación por el termoperiodo más bajo.

Los termoperiodos y las diferentes concentraciones de NaCl influyen en la germinación inicial de semillas sin testa de *S. mexicana*; iniciando a los dos y cuatro días en los termoperiodos de 5 °C/25 °C y 10 °C/30 °C y a los 8 días en 0 °C/20 °C en 1000 mM de NaCl, con una germinación a los 20 días en promedio del 13% en todos los termoperiodos, teniendo los porcentajes más altos de germinación y del índice de germinación en los termoperiodos de 5 °C/25 °C y 10 °C/30 °C.

Las semillas de testa café y negra son las más afectadas por la salinidad, principalmente las de

color negro, donde no hay germinación en ninguna concentración salina, mientras que en las de color café hay una germinación a los 20 días del 3% a 600 mM de NaCl en el termoperiodo de 5 °C/25 °C y del 21% a 200 mM de NaCl en un termoperiodo de 10 °C/30 °C.

La variación de la tolerancia a la salinidad en otras especies del género *Suaeda*: *S. japonica* (900 mM) (Yokoishi & Tanimoto 1994), *S. fruticosa* (500 mM) (Khan & Ungar 1998), *S. moquinii* (1000 mM) (Khan et al. 2001), *S. salsa* (1200 mM) (Li et al. 2005) y *S. aralocaspica* (1400 mM) (Wang et al. 2008), siendo la germinación más alta en semillas cafés en especies que tienen polimorfismo; estos resultados coinciden con *Suaeda mexicana*.

Después de someter *S. mexicana* a los tratamientos de salinidad y agua destilada, los resultados coinciden con los trabajos realizados por Woodell (1985), Khan y Ungar (1997), Houle et al. (2001) y Khan y Gulzar (2003), que han puesto de manifiesto que la mayoría de las especies halófitas germinan mejor en agua dulce que en agua salada.

Guan et al. (2010) sugieren que *S. corniculata* y *S. salsa* pueden ser utilizadas como plantas pioneras para la recuperación ecológica y la explotación de los suelos salinos y sódicos, teniendo una menor tolerancia a la salinidad (500 mM NaCl) y recuperación con respecto a *S. mexicana*, por lo que sería recomendable usarla con este fin en México.

Con base en los resultados, es posible concluir que la temperatura, la salinidad y el tipo de semilla y sus interacciones juegan un papel importante en la germinación de *S. mexicana*, permitiéndole establecerse en diferentes épocas del año.

Bibliografía

- Badger, K.S. & Ungar, I.A. (1989). The effects of salinity and temperature on the germination of the inland halophyte *Hordeum jubatum*. *Canadian Journal of Botany* 67: 1420-1425.
- Baskin C.C. & Baskin J.M. (1998). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. USA: Acad. Press.
- Baskin, J. M.; Davis, B. H.; Baskin, C. C.; Gleason S. M. & Cordell, S. (2004). Physical dormancy in seeds of *Dodonaea viscosa* (Sapindales, Sapindaceae) from Hawaii. *Seed Science Research* 14: 81-90.
- Benech-Arnold, R. & Sánchez R.A. (2004). *Handbook of seed physiology: Applications to agriculture*. New York: Food Products Press.
- Chapman, V.J. (1960). *Salt marshes and salt deserts of the world*. New York: Interscience Publishers.
- FAO (2007). *FAO Land and Plant Nutrition Management Service*. Sitio oficial en línea. Obtenido desde: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>
- García, E. (1988). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. México: García.
- Gutterman, Y. (1993). *Seed Germination of Desert Plants*. Springer (Adaptations of Desert Organisms). New York: Springer-Verlag.
- Guretzky, J. A.; Moore, K. J.; Knapp, A. D. & Brummer E. C. (2004). Emergence and survival of legumes seeded into pastures varying in landscape position. *Crop Science* 44, 227-233.
- Herranz, J. M.; Ferrandis, P. & Copete, M. A. (2004). Germinación de tres halófitas amenazados en Castilla-La Mancha en condiciones de estrés salino. *Inv. Agr. Prod. Prot. Veg.* 13(2): 357-367.
- Huang, Z. & Gutterman, Y. (1998). *Artemisia monosperma* achene germination in sand: effects of sand depth, sand/water content, cyanobacterial sand crust and temperature. *Journal of Arid Environments* 8: 27-43.
- Huang, Z. & Gutterman, Y. (1999). Germination of *Artemisia sphaerocephala* (Asteraceae) occurring in the sandy desert areas of Northwest China. *South African Journal of Botany* 65: 187-196.
- Keiffer, C. H. & Ungar, I. A. (1997). The effect of extended exposure to hypersaline conditions on the germination of five inland halophyte species. *American Journal of Botany* 84: 104-111.
- Keiffer, C. H. & Ungar, I. A. (2001). The effect of competition and edaphic conditions on the establishment of halophytes on brine affected soils. *Wetland Ecology and Management* 9: 469-481.
- Khan, M. A. & Ungar I. A. (1984). Effects of salinity and temperature on the germination and growth of *Atriplex triangularis* Willd. *American Journal of Botany* 71: 481-489.
- Khan, M. A. & Ungar I. A. (1998). Germination of salt tolerant shrub *Suaeda fruticosa* from Pakistan: Salinity and temperature responses. *Seed Science and Technology* 26: 657-667.
- Khan, M. A.; Gul, B. & Weber, D. J. (2001). Germination of dimorphic seeds of *Suaeda moquinii* under high salinity stress. *Australian Journal of Botany* 49: 185-192.

- Khan, M. A.; Gul, B. & Weber, D. J. (2002). Seed germination in the great basin halophyte *Salsola iberica*. *Canadian Journal of Botany* 80: 650-655.
- Khan, M.A. & Gulzar, S. (2003). Light, salinity, and temperature effects on the seed germination of perennial grasses. *American Journal of Botany* 90: 131-134.
- Khan, M. A. & Gul, B. (2006). *Halophyte seed germination*. En: Khan, M.A. & Weber, D.J. (eds.). *Ecophysiology of high salinity tolerant plants*. Netherlands: Springer.
- Leon, R. G.; Knapp, A. D. & Owen, M. D. K. (2004). Effect of temperature on the germination of common waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*), giant foxtail (*Setaria faberi*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science* 52: 67-73.
- Li, W. Q.; Liu, X. J.; Khan, M. A. & Yamaguchi, S. (2005). The effect of plant growth regulators, nitric oxide, nitrate, nitrite and light on the germination of dimorphic seeds of *Suaeda salsa* under saline conditions. *Journal of Plant Research* 118: 207-214.
- Ortiz, O.M. (1992). *Distribución y extensión de los suelos afectados por sales en México y en el mundo*. México: Publicaciones del Depto. de Suelos, UACH, Chapingo.
- Redondo-Gómez, S.; Mateos-Naranjo, E.; Cambrollé, J.; Luque, T.; Figueroa, M.E. & Davy, A.J. (2008). Carry-over of Differential Salt Tolerance in Plants Grown from Dimorphic Seeds of *Suaeda splendens*. *Annals of Botany* 102: 103-112.
- Rzedowski, G. C. & Rzedowski, J. (2005). *Flora Fanerogámica del Valle de México*. (2a. ed.). México: Instituto de Ecología, A. C. y CONABIO.
- Servicio Meteorológico Nacional de México. (2009). Sitio oficial en línea. Obtenido desde: <http://smn.cna.gob.mx/>
- SPSS Inc. (2009). PASW Statistics 18 Versión 18.0.0 para Windows. SPSS Inc., USA.
- Ungar, I. A. (1995). *Seed germination and seed-bank ecology of halophytes*. En: Kigel, J. & Galili, G. *Seed Development and Germination*. New York: Marcel and Dekker Inc.
- Wang, L.; Huang Z.; Baskin, C. C.; Baskin, J. M. & Dong, M. (2008). Germination of Dimorphic Seeds of the Desert Annual Halophyte *Suaeda aralocaspica* (Chenopodiaceae), a C4 Plant without Kranz Anatomy. *Annals of Botany* 102: 757-769.
- Yokoishi, T. & Tanimoto, S. (1994). Seed germination of the halophyte *Suaeda japonica* under salt stress. *Journal of Plant Research* 107: 385-388.