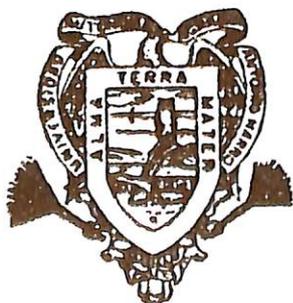


EFEECTO DEL OSMOACONDICIONAMIENTO CON
SOLUCIONES SALINAS SOBRE LA GERMINACION
Y EMERGENCIA DE SEMILLAS DE MAIZ

ANGEL ANTONIO SOQUI GONZALEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
EN TECNOLOGIA DE SEMILLAS



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro
PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coah.
OCTUBRE DE 1989

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial, para obtener el grado de:

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD

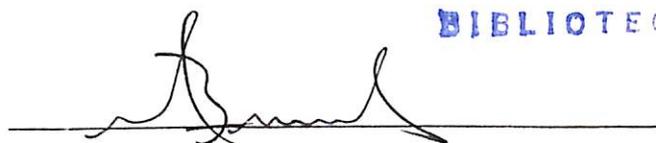
MAESTRO EN CIENCIAS
EN TECNOLOGIA DE SEMILLAS



Comité Particular

BIBLIOTECA

Asesor principal



Dr. Marco A. Bustamante García

Asesor



Ms. Leticia A. Bustamante García

Asesor

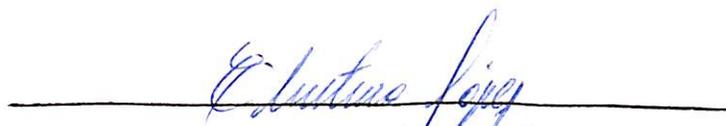


M.C. Gregorio Briones Sánchez

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA



Dr. Eleuterio López Pérez

Subdirector de Asuntos de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre de 1989

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); y al Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora, por el apoyo brindado para la realización de mis estudios y la presente investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, agradeciendo el apoyo moral y económico otorgado.

Al Dr. Marco Antonio Bustamante García, por su gran ayuda en la planeación, dirección, revisión y aportación de sus notables conocimientos para la realización de esta investigación.

A la Ms. Leticia Alejandra Bustamante García, por la revisión acertada del presente trabajo y su colaboración en mi comité particular.

Al M.C. Gregorio Briones Sánchez, por sus valiosas sugerencias y su notable participación en mi comité particular.

DEDICATORIA

A la memoria de mi hermano:

Heriberto Soqui González (+)

Con cariño, porque su recuerdo me lleve siempre por el camino de la superación.

Con especial cariño a mis padres:

Sr. Angel Soqui Tarazón y

Sra. Virginia González Aguilar

Quienes con su ejemplo y apoyo me han sabido encauzar por el camino de la superación.

A mis hermanos:

Rosa Amelia, Martina, Armando, José Ramón, Blanca Lidia, Idaelia, Victor Manuel, Fidelia, Bertha Alicia y Luis Alonso.

Por los lazos que nos unen, con el cariño de siempre.

COMPENDIO

Efecto del Osmoacondicionamiento con Soluciones Salinas
Sobre la Germinación y Emergencia de la Semilla de Maíz

POR

ANGEL ANTONIO SOQUI GONZALEZ

MAESTRIA
EN TECNOLOGIA DE SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO COAHUILA. OCTUBRE DE 1989

Dr. Marco Antonio A. Bustamante García -Asesor-

Palabras clave: Osmoacondicionamiento de semillas,
soluciones salinas, maíz,
germinación, emergencia.

Se realizó un estudio para determinar las condiciones de osmoacondicionamiento de semillas de maíz utilizando soluciones salinas, que permitan una mayor germinación y emergencia de plántulas.

Las sales estudiadas fueron: KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, KH_2PO_4 , NaHPO_4 y Na_2HPO_4 a potenciales osmóticos de -0.5, -1.0 y -1.5 MPa. El mejor potencial osmótico (-1.0 MPa) se utilizó

posteriormente en el osmoacondicionamiento de semillas envejecidas, asimismo, las soluciones salinas fueron evaluadas a diferentes pH. El KH_2PO_4 a -1.0 MPa, fue empleado en el osmoacondicionamiento con varios períodos sin aireación inicial. Evaluando finalmente la germinación y emergencia de semillas osmoacondicionadas con KH_2PO_4 (-1.0 MPa y 4 hr sin aireación) sometidas a bajas temperaturas (5 , 10 y $15 \pm 2^\circ\text{C}$) y a condiciones simuladas de sequía (-0.3 , -0.6 y -1.2 MPa) utilizando polietilenglicol.

Tanto en semillas recién cosechadas como en las envejecidas, el tratamiento con KH_2 a -1.0 MPa, benefició la emergencia de plántulas. El pH de las soluciones ejerció poco efecto excepto con $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, quien presentó efectos negativos a su pH original (8.3). Se encontró que un período de 4 hr sin aireación fue benéfico para la emergencia. Al someter las semillas osmoacondicionadas a condiciones de germinación de 5°C , la emergencia se redujo en comparación con aquellas sin tratar. Sin embargo, el osmoacondicionamiento benefició la emergencia cuando se emplearon temperaturas iniciales de germinación de 10 y $15 \pm 2^\circ\text{C}$. Finalmente cuando las semillas osmoacondicionadas se sometieron a condiciones simuladas de sequía, la germinación decreció a medida que el potencial osmótico del polietilenglicol se incrementó de 0 a -1.2 MPa, siendo menor el efecto en estas semillas que en las que no se osmoacondicionaron.

ABSTRACT

Maize Seed Osmoconditioning With Saline Solutions and Its
Effect on Germination and Seedling Emergence

BY

ANGEL ANTONIO SOQUI GONZALEZ

MASTER OF SCIENCE
SEED TECHNOLOGY

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. OCTOBER, 1989

PhD. Marco A Bustamante Garcia. -Advisor-

Key words: Osmoconditioning maize seed, saline
solutions germination, seedling
emergence.

A study was conducted to determine the conditions for maize seed osmoconditioning using saline solutions so as to improve germination and seedling emergence. The salts used were KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, KH_2PO_4 , NaHPO_4 and Na_2HPO_4 osmotic potentials of -0.5, -1.0 and -1.5 MPa, resulting the best potential -1.0, wich was then used in aged seeds. At the

same time the effect of pH of the solutions on the seedling emergence was investigated.

The salt KH_2PO_4 which resulted the best was used at -1.0 MPa in different periods without initial aeration during treatment. Finally the treatment with KH_2PO_4 at -1.0 MPa and 4 hr without initial aeration was evaluated in germination and seedling emergence at 5, 10 and $15 \pm 2^\circ\text{C}$ and drought conditions using polyethylenglycol at -0.3, -0.6, and -1.2 MPa.

The treatment with KH_2PO_4 at -1.0 MPa resulted in higher seedling emergence at low temperature, while the pH of solutions showed no effect except for the salt $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ which the original pH (8.3) reduced seedling emergence. At the same time 4 hr without initial aeration during the treatment resulted in higher seedling emergence after two days of planting.

When the seeds were planted at 5°C the percentage of seedling emergence was reduced compared with not treated seeds. However the treatment improved seedling emergence at 10 and $15 \pm 2^\circ\text{C}$. Finally when osmoconditioned seeds were germinated in drought conditions using polyethylenglycol germination was decreased as the osmotic potential was increased from 0 to -1.2 MPa, showing a higher effect on not treated seeds.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
Indice de Cuadros.....	xii
Indice de Figuras	xvii
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	5
Procesos Fisiológicos de la Germinación.....	5
Funciones de los Nutrientes Minerales.....	9
- Nitrógeno.....	10
- Fósforo.....	
- Potasio.....	13
- Calcio.....	15
- Azufre	17
- Zinc.....	18
Efectos del Osmoacondicionamiento de Semillas	19
Osmoacondicionamiento con Polietilenglicol.....	20
Osmoacondicionamiento con Soluciones Salinas	25
Efectos del Osmoacondicionamiento Sobre las Semillas Sembradas bajo Condiciones de Estrés.....	31
- Estrés de bajas temperaturas	31
- Estrés de sequía.....	36
MATERIALES Y METODOS.....	40
Ubicación del Sitio Experimental	40

Material Vegetativo.....	40
Tratamientos de Osmoacondicionamiento	40
Efecto del Osmoacondicionamiento con Diversas Soluciones Salinas a Diferente Potencial Osmótico.....	40
Efecto del Osmoacondicionamiento con Diversas Soluciones Salinas, Utilizando Semillas Envejecidas.....	43
Efecto del Osmoacondicionamiento con Diversas Soluciones Salinas a Diferente pH.....	44
Efecto de la Falta de Aireación Durante el Osmoacondicionamiento con KH_2PO_4	45
Efecto del Osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 Sobre la Emergencia a Bajas Temperaturas.....	46
Efecto del Osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 Sobre la Germinación Bajo Condiciones Simuladas de Sequía, Utilizando Polietilenglicol.....	47
Modelos Estadísticos Empleados	49
RESULTADOS Y DISCUSION.....	52
CONCLUSIONES.....	93
RESUMEN.....	95
LITERATURA CITADA.....	97
APENDICE.....	108

INDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 3.1.	pH original de las soluciones salinas a potencial osmótico de -1.0 MPa.	44
Cuadro 4.1.	Concentración de datos de porcentajes de emergencia diaria de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas empleando un potencial osmótico de -1.0 MPa.....	67
Cuadro 4.2.	Concentración de datos de porcentajes de emergencia diaria de semillas de maíz con dos años de almacenamiento, osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas.....	69
Cuadro A.1.	Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -0.5 MPa) sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.....	109

Cuadro A.2. Comparación de medias del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -0.5 MPa).....109

Cuadro A.3. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.....110

Cuadro A.4. Comparación de medias de porcentajes de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa).....110

Cuadro A.5. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.54 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.....111

Cuadro A.6. Comparación de media del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.5 Mpa).....111

Cuadro A.7. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.....112

Cuadro A.8. Comparación de medias del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa).....112

Cuadro A.9. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con diferentes soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz (al tercer día después de la siembra), utilizando semillas envejecidas.....113

Cuadro A.10. Comparación de medias del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas almacenadas por dos años y posteriormente osmoacondicionadas con diferentes soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 Mpa).....113

Cuadro A.11 Análisis de varianza para el efecto del pH a diferentes soluciones osmoacondicionadoras (potencial osmótico de 1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.....114

Cuadro A.12. Comparación de medias de porcentajes de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa) y diferente pH.....114

Cuadro A.13. Análisis de varianza para el efecto de la falta de aireación durante el osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la

siembra.....115

Cuadro A.14. Comparación de medias del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa) y sin aireación inicial.....115

Cuadro A.15. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 hr sin aireación), sobre la emergencia de plántulas de maíz, cuya semilla fue sometida a bajas temperaturas (5 y 10°C) durante el inicio de de la germinación.....116

Cuadro A.16. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 hr sin aireación), sobre la emergencia de plántulas de maíz a $15\pm 2^\circ\text{C}$116

Cuadro A.17. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 hr

sin aireación), sobre la germinación de semillas de maíz, bajo condiciones simuladas de sequía (potencial osmótico de -0.3, -0.6 y -1.2 MPa), utilizando PEG -6000.....117

Cuadro A.18. Comparación de medias del porcentaje de germinación de semillas de maíz, osmoacondicionadas con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa. y 4 hr sin aireación) y posteriormente sometidas a condiciones simuladas de sequía (potencial osmótico de -0.3, -0.6 y -1.2 MPa) durante siete días.....117

INDICE DE FIGURAS

Página

- Figura 4.1. Efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -0.5 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.....
- Figura 4.2. Emergencia de plántulas de maíz, en respuesta al osmoacondicionamiento de la semilla con diversas soluciones salinas a potencial osmótico de -0.5 MPa.....
- Figura 4.3. Efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra. Separación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey, al 5% de probabilidad.....

- Figura 4.4. Emergencia de plántulas de maíz, en respuesta al osmoacondicionamiento de la semilla con diversas soluciones salinas a potencial osmótico de -1.0 MPa..... 58
- Figura 4.5. Efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.5 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra. Separación de media por la prueba de rango múltiple de Tukey, al 5 % de probabilidad..... 61
- Figura 4.6. Emergencia de plántulas de maíz, en respuesta al osmoacondicionamiento de la semilla con diversas soluciones salinas, a potencial osmótico de -1.5 MPa..... 62
- Figura 4.7. Días para alcanzar 75% de emergencia de plántulas de maíz, en respuesta al osmoacondicionamiento de la semilla con diversas soluciones salinas a potencial osmótico de -0.5 , -1.0 y -1.5 MPa..... 65

-1.0 MPa), sobre la emergencia de
 plántulas de maíz, al segundo y
 tercer día después de la siembra.
 Separación de medias en la misma
 fecha por la prueba de rango
 múltiple de Tukey, al 5% de
 probabilidad..... 76

Figura 4.12. Efecto del osmoacondicionamiento
 con KH_2PO_4 (potencial osmótico de
 -1.0 MPa y 4 horas sin aireación),
 sobre la emergencia de plántulas de
 maíz (a 25°C), cuya semilla fue
 sometida a bajas temperaturas (5 y
 10°C) durante el inicio de la
 germinación..... 80

Figura 4.13. Efecto del osmoacondicionamiento
 con KH_2PO_4 (potencial osmótico de
 -1.0 MPa y 4 horas sin aireación),
 sobre la emergencia de plántulas de
 maíz a 15±2°C..... 81

Figura 4.14. Efecto del osmoacondicionamiento
 con KH_2PO_4 (potencial osmótico de

Figura 4.8. Emergencia de plántulas de maíz, en respuesta al osmoacondicionamiento de la semilla con diversas soluciones salinas a potencial osmótico de -1.0 MPa..... 68

Figura 4.9. Efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz (al tercer día después de la siembra), utilizando semillas envejecidas. Separación de medias por la prueba múltiple de Tukey, al 5% de probabilidad..... 70

Figura 4.10. Efecto de pH de diferentes soluciones osmoacondicionadoras (potencial osmótico de -1.0 MPa) sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra..... 74

Figura 4.11. Efecto de la falta de aireación durante el osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de

-1.0 MPa y 4 horas sin aireación), sobre el peso fresco de tallo y altura de plántula de maíz (al quinto día a 25°C), cuya semilla fue sometida a bajas temperaturas (5 y 10°C) durante el inicio de la germinación..... 84

Figura 4.15. Efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 horas sin aireación), sobre el peso fresco de tallo y altura de plántula de maíz, al noveno día a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ 86

Figura 4.16. Efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 horas sin aireación), sobre la germinación de semillas de maíz al tercer, quinto, y séptimo día a 25°C, bajo condiciones simuladas de sequía (potenciales osmóticos de -0.3, -0.6 y -1.2 MPa) utilizando PEG-6000..... 87

Figura 4.17. Efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 horas sin aireación), sobre la altura de plántula, longitud de raíz primaria y número de raíces laterales por plántula de maíz, al séptimo día a 25°C, bajo condiciones simuladas de sequía (potencial osmótico de -0.3, -0.6 y -1.2 MPa), utilizando PEG-6000..... 90

INTRODUCCION

El maíz es un cultivo de gran importancia en México, teniéndose una superficie destinada a este cultivo de aproximadamente 7'469,649 hectáreas; la mayoría de éstas es de temporal, lo que hace que en ocasiones se tengan problemas de germinación y emergencia de plántulas, especialmente cuando la frecuencia de lluvias no es adecuada, o cuando la temperatura del suelo no es lo suficientemente alta. Debido a esto, es importante la necesidad de validar técnicas que aplicadas a la semilla le permitan emerger satisfactoriamente en condiciones desfavorables de escasa humedad, bajas y altas temperaturas, deficiente drenaje, salinidad, e inundación prolongada. Una de estas tecnologías consiste en hidratar las semillas en soluciones osmóticas (osmoacondicionamiento) utilizando sales minerales como KNO_3 o polietilenglicol (PEG), en los cuales se permite que ocurran los procesos preliminares de la germinación pero no la fase final de la emergencia de la radícula.

Sin embargo, el polietilenglicol presenta dificultades en el tratamiento de semilla en gran escala debido a su alta viscosidad y baja difusión del oxígeno

(Mexal, 1975). Presentando además, problemas de toxicidad por los contaminantes o compuestos de descomposición que en este se presentan (Greenway, 1968). Por el contrario, el empleo de sales minerales particularmente una combinación de nitratos y fosfatos con sales de potasio, pueden ser más efectivas que el polietilenglicol, ya que por su baja viscosidad podrían ser reutilizadas; lo que les permite tener el potencial para ser empleadas comercialmente a un menor costo en el tratamiento, tanto de semillas de alto vigor como de semillas envejecidas, permitiéndoles particularmente a estas últimas reiniciar los eventos de la germinación en forma normal.

Pocos son los trabajos de este tipo que se han realizado en semillas de maíz, por lo que aún no se conocen con exactitud las condiciones de su osmoacondicionamiento, haciéndose evidente la necesidad de probar otros potenciales osmóticos que inicien los procesos de la germinación sin que se lleguen a dañar las estructuras internas de la semilla. Además, se conoce que el pH es un factor de importancia en el desarrollo de las plantas, y que en concentraciones muy elevadas o débiles del medio en donde se desarrollan, en algunas ocasiones inhiben su crecimiento (Maximov, 1946). Sin embargo, no se sabe si durante el tratamiento de la semilla el pH de la solución osmoacondicionadora tenga algún efecto que indique la necesidad de ajustarlos para mejorar el establecimiento de

plántulas.

Durante la germinación de la semilla es necesario que el oxígeno esté disponible para que los procesos metabólicos de la germinación se lleven a cabo sin ningún contratiempo. Sin embargo, es evidente que algunos tratamientos con compuestos químicos que inhiben la germinación como el cianuro, tienen efectos estimulantes en la germinación de la semilla; es por eso que no se conoce con certeza si un período sin aireación sería benéfico para iniciar los eventos de la germinación ni el tiempo óptimo que proporcionaría la máxima emergencia de plántulas.

Basándose en estos hechos, se realizó el presente trabajo en el cual se han considerado los siguientes objetivos:

Objetivo General

Determinar las condiciones de osmo-
acondicionamiento de la semilla de maíz, utilizando
soluciones salinas que permitan una mayor germinación y
emergencia de plántulas.

Objetivos Específicos

- Encontrar el tipo de sal y el potencial osmótico de la solución, que permitan una mayor emergencia de plántulas.
- Determinar si el osmoacondicionamiento con soluciones salinas, es capaz de mejorar la emergencia de plántulas de semillas envejecidas.
- Definir si el pH de las soluciones salinas tiene algún efecto sobre la emergencia de plántulas.
- Determinar si un período sin aireación al inicio del osmoacondicionamiento, es benéfico para mejorar la emergencia de plántulas.
- Definir si el osmoacondicionamiento con soluciones salinas, mejora la emergencia de plántulas en condiciones de bajas temperaturas.
- Determinar si el osmoacondicionamiento con soluciones salinas, mejora la germinación bajo condiciones de sequía.

REVISION DE LITERATURA

Procesos Fisiológicos de la Germinación

Las células de las semillas se adaptan a muchas condiciones en su estado seco (menos del 10 por ciento de contenido de humedad), permaneciendo el embrión inactivo pero sus organelos completamente funcionales, así como su citoplasma. Sin embargo, cuando estas absorben agua, se inician algunos procesos bioquímicos y el embrión es activado para iniciar su germinación. En este sentido, Goodwin y Mercer (1972) mencionan que el proceso de germinación comienza con la imbibición de agua y es acompañado por un rápido incremento en la tasa de respiración. Señalan además, que durante el inicio de la imbibición el ADN y ARN de plantas monocotiledóneas (maíz) desaparecen del endospermo y una cantidad similar aparece en el eje embrionario.

También Kozlowski (1972), señala que durante la germinación de la semilla de maíz, primeramente ocurre una absorción de agua a través del pericarpio, provocando en primer lugar la reactivación de las células del meristemo primario de las raíces y coleorriza y posteriormente el

ápice de la plúmula.

Por su parte Leopold y Kriedemann (1975) señalan que la estimulación de la germinación de la semilla involucra la formación de un sistema de enzimas, el comienzo del desarrollo y emergencia de la radícula y finalmente el desarrollo de la plántula. Mencionando que después de la imbibición, la semilla desarrolla sistemas metabólicos necesarios para la germinación y que las enzimas provienen de dos fuentes; éstas pueden ser liberadas o activadas a partir de las proteínas existentes o pueden ser sintetizadas a través de los ácidos nucleicos.

Rojas (1959) señala que la germinación es una serie compleja de cambios bioquímicos y fisiológicos que implican la iniciación del crecimiento y movilización de los alimentos de reserva dentro de la semilla, para ser utilizados por el embrión en su crecimiento. El primer fenómeno aparente es la absorción de agua, ablandando sus cubiertas e hidratando el protoplasma. Esto es seguido por un aumento en la actividad enzimática, así como también en la respiración. Este rápido crecimiento trae consigo la intensa oxidación de azúcares y por ende la rápida hidrólisis de las reservas del endospermo. Para que continúe la germinación, los complejos insolubles de reserva deben ser diferidos enzimáticamente, para formar

materiales solubles más simples y ser trasladados a regiones de crecimiento o para su conversión en nuevo material celular. Señalando además, que por lo general en los primeros estados de la germinación, la cantidad de azúcar del endospermo aumenta tan rápidamente, que el embrión no alcanza a oxidarla debido a la transformación del almidón y las grasas en glucosa por los sistemas enzimáticos. Según James (1967) parte de ésta es desintegrada durante la respiración; y otra fracción va a parar a las células que se están dividiendo en el embrión en donde son convertidos en nuevo material celular, especialmente en celulosa para formación de nuevas paredes celulares. Mientras estos cambios están realizándose, las proteínas insolubles presentes en el endospermo, han adquirido solubilidad y los diversos productos de la hidrólisis de las proteínas, peptonas, polipeptidos y aminoácidos, aparecen como resultado de la actividad de las proteasas, que al igual que la actividad de las otras enzimas aumenta notablemente en esta fase.

Córdova (1976) señala que la hidratación de la semilla viene acompañada por una dispersión de los coloides celulares e iniciación de los procesos enzimáticos de la germinación, siendo una de las primeras consecuencias notables, el rápido incremento de los fenómenos respiratorios, lo que es lógico si se supone que las células del embrión comienzan a crecer y que el aumento de

volumen, uno de los efectos del crecimiento celular, debe ser irreversible. Por ello, a la entrada de agua en la célula debe sumarse la síntesis de materiales protéicos a partir de aminoácidos que han sido liberados de las proteínas de reservas del endospermo, o han sido sintetizados por aminación directa de cetoácidos.

Copeland y McDonald (1985) mencionan que la germinación es gobernada por un balance entre promotores e inhibidores y que la vía para el inicio de la germinación, es mediante la liberación de giberelinas del escutelo, las cuales son transportadas a través del endospermo a las capas de aleurona, para la síntesis de enzimas hidrolíticas incluyendo α -amilasa y ribonucleasa. La α -amilasa degrada los almidones en azúcares esenciales para la germinación, mientras que la ribonucleasa es esencial para la hidrólisis de ácidos nucleicos, los cuales posteriormente serán utilizados en los procesos finales de la germinación, en donde las enzimas proteolíticas juegan un papel muy importante junto con las celulasas para degradar la pared celular, que es el primer paso esencial en la ruptura de la cubierta de la semilla, previo a la emergencia de la radícula.

Duffus y Slaughter (1985) al analizar la bioquímica de la germinación de la semilla de cebada, reportan que los primeros incrementos en la tasa metabólica están

relacionados con la glicólisis, la vía de la pentosa fosfato y el ciclo del ácido tricarbóxico, seguido por la síntesis de los ácidos nucleicos y posteriormente las proteínas.

Funciones de los Nutrientes Minerales

En algunos estudios se ha mencionado que la entrada de las sales nutritivas al interior de las células es en forma de iones, y que los dos iones en que se descompone una sal, no son necesariamente absorbidos a la misma velocidad. En este sentido Maximov (1946) señala que dependiendo de la solución nutritiva empleada, los tejidos de las plantas algunas veces asimilan los aniones en menor proporción que los cationes, acumulándose aquellos en la solución nutritiva, de modo que la reacción se vuelve cada vez más ácida. Ejemplificando esto mediante el empleo de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ como solución nutritiva, en la cual primeramente se absorbe el amonio, concentrándose el sulfato, el cual puede aminorar el desarrollo de plántulas y hasta causarle la muerte.

Los elementos minerales pueden funcionar como constituyentes celulares, componentes de enzimas o coenzimas, antagónicos en el balance eléctrico, amortiguadores en el pH y como factores osmóticos; y por supuesto, cada uno de ellos tienen su papel metabólico

específico (Meyer *et al.*, 1973; Devlin, 1975; Bidwell, 1979; Bonner y Varner 1976).

Nitrógeno

Rojas (1959) menciona que el nitrógeno se encuentra formando parte del 16 al 18 por ciento de las proteínas y es el elemento principal del protoplasma. Por su parte, Meyer *et al.* (1973) señalan que este elemento es un componente estructural de aminoácidos, enzimas, coenzimas y ácidos nucleicos, y que las plantas lo absorben en forma de nitratos (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) dependiendo de la especie y de las condiciones del medio.

A este elemento se le encuentra formando parte de los pigmentos de la clorofila, favorece el crecimiento vegetativo y regula considerablemente el uso de otros nutrientes como el potasio, fósforo y calcio entre otros (Black, 1975).

Devlin (1975) señala que el papel más importante del nitrógeno, es su participación en la estructura de la molécula proteica. Además, se le encuentra en moléculas tan importantes como las purinas, pirimidinas, porfirinas y coenzimas, y que las purinas y pirimidinas se encuentran en los ácidos nucleicos ADN y ARN, esenciales para la síntesis de proteína y en el anillo de las porfirinas en compuestos

tan importantes desde el punto de vista metabólico como son las clorofilas y las enzimas del grupo de los citocromos esenciales para la fotosíntesis y la respiración.

Por su parte, Bidwell (1979) señala que aún y cuando el nitrógeno es parte esencial de muchas sustancias importantes para el buen funcionamiento de las plantas, este elemento no parece poseer ninguna función específica catalítica o electroquímica, aparte del hecho de estar estructuralmente implicado en la mayoría de las moléculas catalíticas.

Fósforo

El fósforo es uno de los macroelementos más importantes para la nutrición de las plantas, debido a la diversidad de funciones y procesos en que interviene, incluyendo actividades metabólicas como el metabolismo respiratorio, el metabolismo de carbohidratos, en la síntesis de ácidos ribonucleicos (ARN) y en la síntesis de proteína. Epstein (1972) señala que el fósforo es absorbido principalmente como $H_2PO_4^-$ y que es uno de los elementos nutritivos que son tomados como aniones complejos, junto con el nitrógeno (nitrato) y azufre (sulfato); pero que a diferencia de los nitratos y sulfatos, este elemento no es reducido en la célula a un estado más bajo de oxidación. Encontrándosele además, como parte del adenosin trifosfato

(ATP), adenosin difosfato, fosfolípidos (incluyendo los de las membranas), varios nucleótidos y en algunas enzimas.

Según James (1967) el fósforo en forma de iones ortofosfato, tiene una actividad de primer orden como catalizador metabólico y se le encuentra también en el líquido citoplasmático a concentraciones suficientes para tener importancia osmótica. Por su parte, Miller (1967) señala que este elemento aparte de ser un componente de la lícitina y de los ácidos nucleicos, es necesario para ciertos procesos enzimáticos como la producción de alcohol a partir de azúcares y la transformación de azúcares en almidón y viceversa.

Rojas (1959) menciona que el fósforo es muy esencial en las células de las plantas, porque forma los fosfatos de hexosa y triosa, coenzimas y transportadores de energía y enfatiza en términos generales que la energía celular depende del fósforo a través del enlace de pirofosfato.

Por otro lado, Meyer *et al.* (1973) indican que una vez que el fosfato es absorbido, éste participa activamente en la composición de ácidos nucleicos y nucleótidos; teniéndose que la energía de las ligaduras de fosfato son de importancia primaria en el metabolismo de carbohidratos, respiración y en muchos otros procesos metabólicos.

Devlin (1975) menciona que este elemento se encuentra en las plantas formando parte de los fosfolípidos y como parte importante de la integración del (ATP) a través del cual se lleva a cabo la activación de aminoácidos en la síntesis de las proteínas.

Potasio

James (1967) al referirse al papel que desempeña el potasio en las células de las plantas, establece que este elemento influye sobre la eficacia de muchas reacciones de síntesis como la formación de almidón y de proteínas, probablemente a través de un efecto sobre la síntesis y la actividad de las enzimas que intervienen en aquellos procesos; en donde puede ser parcialmente substituído por el rubidio pero no por el calcio. Se le encuentra también en abundancia en el jugo citoplasmático, por lo que desempeña un papel importante como regulador osmótico y, junto con el calcio, tiene profundos efectos sobre las propiedades de las membranas celulares. A las concentraciones normales, el potasio tiende a hacerlas más permeables y el calcio menos permeables.

Sin embargo, Miller (1967) asegura que el potasio no forma compuestos orgánicos de importancia fisiológica y que actúa como catalizador, siendo necesario en los siguientes procesos: síntesis de azúcar y almidón,

transporte de hidratos de carbono, reducción de nitratos, síntesis de proteínas y en la división celular.

Goodwin y Mercer (1972) afirman que mucho del potasio, fósforo y calcio de la semilla, es almacenado en forma de fitina y que durante la germinación existe un marcado incremento en la actividad de varias fosfatasas e incluyendo fitasa, cuya actividad en cereales es más alta en el escutelo y capas de aleurona, resultando en una liberación de cantidades considerables de potasio, calcio y fosfato inorgánico, lo que es de importancia fundamental, porque la liberación de iones inorgánicos pueden activar un buen número de enzimas esenciales.

Según Rojas (1959), el potasio puede ser absorbido en las mitocondrias, formando parte de enzimas activas en la fosforilación oxidativa, y tal vez en la síntesis protéica. Por su parte, Meyer *et al.* (1973) afirman que definitivamente no se le conoce como componente estructural en algún compuesto orgánico esencial; y que su papel principal en el metabolismo es que este elemento suele ser un gran regulador o catalizador de ciertas reacciones enzimáticas.

Por su parte, Bonner y Verner (1976) señalan que el papel del potasio en el metabolismo de las plantas no está muy bien definido, pero que una de sus funciones probables

es mantener un ambiente iónico apropiado, para preservar la correcta estructura tridimensional para una óptima actividad enzimática.

Calcio

James (1967) afirma que el calcio al encontrarse en forma de pectato de calcio, constituye un importante componente de la lámina media que cementa entre sí a las células de los tejidos, siendo su principal papel el mantenimiento de las membranas en estado funcional.

Por su parte, Rojas (1959) enfatiza que este elemento es esencial, aunque algunas veces puede ser parcialmente substituído por el estroncio, encontrándose como cofactor de muchas enzimas importantes en la hidrólisis de los ATP y fosfolípidos, teniendo un papel importante en la formación de las zonas meristemáticas y formación de las hojas.

Según Meyer *et al.* (1973) mucho del calcio en los tejidos de las plantas puede ser permanentemente fijado en las paredes de la célula. En muchas especies de plantas este elemento está presente en forma de cristales insolubles de oxalato de calcio, pudiendo formar sales con otros ácidos orgánicos. Probablemente entre en las combinaciones químicas con moléculas de proteínas y en esta

forma iónica, generalmente está presente como un constituyente de la savia vacuolar.

Devlin (1975) asevera que el calcio estimula el crecimiento del coleóptilo el cual se debe al aumento de plasticidad provocado por la extracción de calcio unido al pectato. Sin embargo, también se puede deber a un incremento en la permeabilidad celular causada por la pérdida de calcio. Además, es importante en la formación de membranas celulares y de estructuras lípidas, existiendo la posibilidad de que este elemento intervenga en la organización de la cromatina o del aparato mitótico, produciéndose en algunas ocasiones mitosis anormal por efecto de una deficiencia de este elemento sobre la estructura de los cromosomas.

Por su parte Bonner y Varner (1976) establecen una relación muy compleja entre el crecimiento y el calcio, ya que muchos de los procesos en donde este elemento interviene, están involucrados en el desarrollo. Por ejemplo, podría influir en el crecimiento directa o indirectamente a través de la regulación de la división celular y de la formación de la lámina media de la célula y mediante la regulación de las funciones de la estructura de las paredes celulares y membranas de éstas.

Azufre

Rojas (1959) y Epstein (1972) mencionan que el azufre es absorbido principalmente en forma de iones sulfato, reducido en las plantas e incorporado como compuesto orgánico, en donde se le encuentra formando parte de la molécula de cisteína y por ende de muchas proteínas.

James (1967) señala que este elemento se encuentra en las células en cantidades mucho más reducidas que el nitrógeno y fósforo, formando parte de la cadena lateral de aminoácidos por lo que está normalmente presente en las proteínas en forma de compuestos orgánicos derivados de los alcoholes por substitución del grupo OH o por el sulfhídrido SH (grupo TIOL). El cual es necesario que esté libre para que muchas enzimas de muy diversas clases se activen para reaccionar con su substratos.

Por su parte, Devlin (1975) y Bidwell (1979) mencionan que el azufre es un importante constituyente de algunos compuestos de actividad biológica como el glutation, la biotina, la tiamina y la coenzima A. De este modo la función de este elemento va ligada en parte a las actividades metabólicas de estos compuestos. Participando también en los grupos sulfhídridos que se encuentran en muchas enzimas y que en algunos casos son necesarios para la actividad de éstas, y en establecer puentes que en la

molécula proteica ayudan a los enlaces peptídicos y a los puentes hidrógeno a estabilizar la estructura de la proteína.

Zinc

Con respecto a la función de este elemento en las células de las plantas Miller (1967); Rojas (1959) y Devlin (1975) coinciden en señalar que el zinc es un activador de muchos sistemas enzimáticos, formando parte de la anhidrasa carbónica, la cual cataliza la descomposición del ácido carbónico en anhídrico carbónico y agua; y que la deshidrogenasa del piridín-nucleótido, así como una enzima de la ruta metabólica para la formación del ácido indolacético, son otras enzimas que dependen de la presencia de este elemento.

Por su parte Meyer *et al.* (1973) menciona que muchos elementos minerales en su forma iónica como el zinc, tienen un marcado efecto tóxico sobre el protoplasma que ha menudo le ocasionan una desorganización y algunas veces la muerte, aun cuando se presentan en muy bajas concentraciones.

Se conoce que el zinc es un activador de numerosas e importantes enzimas en las que se incluyen las deshidrogenasas del ácido láctico, ácido glutámico y

alcohol, aunque algunas veces es altamente tóxico cuando se presenta en concentraciones altas (Bidwell, 1979).

Así mismo, Van Steveninck *et al* (1987) en trabajos para observar la elongación de la raíz en ecotipos de *Deschampsia caespitosa* tolerantes o no tolerantes al zinc, encontraron evidencias de que este elemento está presente en glóbulos encerrados en pequeñas vacuolas en el citoplasma de la corteza de la raíz, ya que conteos preliminares, indicaron que estos glóbulos son mucho más frecuentes en los ecotipos tolerantes al Zn, cuando estos se expusieron en un medio nutritivo con altas concentraciones. Por otra parte, señalan la presencia de proporciones fijas de K, Mg, Zn, y una cantidad relativamente alta de P presentes en los glóbulos, por lo cual se establece que sus propiedades son similares a los cristales globoides de fitate, a los cuales se les conoce que intervienen en el almacenamiento de minerales en la semilla.

Efectos del Osmoacondicionamiento de Semillas

Haigh *et al* (1986) definen al osmoacondicionamiento como un proceso que implica la hidratación de semillas en una solución osmótica que permite los procesos preliminares de la germinación, pero no la fase final de la emergencia de la radícula, con el fin de incrementar los porcentajes

de germinación, uniformidad y establecimiento de plántulas y que depende de la solución osmótica, de la concentración, de la temperatura de imbibición utilizada, así como de la duración del tratamiento.

Come y Tissaoui (1975) coinciden en que la imbibición de la semilla coloca al embrión en condiciones muy críticas con respecto al abastecimiento de oxígeno y que esto probablemente es el motivo de que este fenómeno siempre es acompañado por un proceso de fermentación, lo que con frecuencia provoca incrementos en los cocientes de respiración, afirmando que las condiciones de anaerobiosis parciales durante la hidratación no necesariamente son perjudiciales para la germinación de la semilla si no se prolongan demasiado. Sin embargo, cuando la temperatura de imbibición se incrementa, el requerimiento de oxígeno del embrión se eleva y la cantidad de oxígeno disponible en la solución bajo estas condiciones, puede llegar a perder solubilidad provocando por lo tanto daños al embrión que inhiben la germinación de la semilla.

Osmoacondicionamiento con Polietilenglicol

Varios investigadores han estudiado el efecto del osmoacondicionamiento de semillas con polietilenglicol sobre la germinación y emergencia de plántulas. La mayor parte de estos trabajos se ha efectuado en semillas

hortícolas u otras especies de semilla pequeña, con resultados positivos en beneficio de un rápido y mejor establecimiento de plántulas.

Heydecker *et al.* (1973) en trabajos donde utilizaron polietilenglicol de alto peso molecular* en el tratamiento de semillas de cebolla con el fin de acelerar la germinación, encontraron que para todos los tratamientos osmóticos hubo un incremento en el porcentaje de emergencia de la radícula, el cual dependía de la magnitud de los tres componentes de los tratamientos (potencial osmótico, temperatura y duración).

Igualmente en semillas de tomate Alvarado *et al.* (1987) al evaluar el comportamiento de este agente osmótico (-1.25 MPa) para detectar efectos en la germinación, emergencia en campo, crecimiento de plántula y rendimientos de fruto, encontraron que bajo condiciones de laboratorio las semillas tratadas a 20 y 30°C germinaron más rápidamente que las semillas sin tratar, aunque no mejoró el tiempo a madurez ni el rendimiento final del cultivo.

Estudiando el efecto del polietilenglicol -6000, Coolbear (1979) dedujo que existe un gran incremento en el total de ácidos nucleicos durante el pretratamiento osmótico de la semillas de tomate. Reportando además,

*Carbowax -6000

niveles de ácido nucléico que van de 8.0 a 3.9 μg por semilla, para semillas tratadas y semillas sin tratar respectivamente; señalando también que el tiempo a 50 por ciento de germinación fue de 39 hr para semillas sin tratar y de 19 hr para semillas pretratadas. Por otra parte, al estudiar los cambios en el ADN durante el pretratamiento, se encontraron diferencias no significativas entre semillas tratadas y no tratadas, demostrando que el inicio de la síntesis de ADN ocurrió alrededor de las 40 hr para semillas sin tratar y aproximadamente a las 20 hr para las semillas pretratadas.

Por su parte, Wolfe y Simens (1982) encontraron que semillas de tomate mejoraron significativamente el tiempo de emergencia cuando fueron pretratadas en una solución de polietilenglicol -6000 a -5 bares durante siete días, previo a la siembra de semillas pregerminadas y sembradas en forma líquida. Además, reportaron que el tratamiento no presentó ningún efecto en el rendimiento, pero que las semillas sembradas en forma líquida que habían sido prehumedecidas en la solución osmótica, mantuvieron un mejor desarrollo sobre el testigo, desde el principio hasta el final del período de crecimiento, presentando además, un porcentaje significativamente mayor de frutos rojos a la cosecha.

Bennet y Waters (1987) al estudiar el efecto de la hidratación de la semilla de maíz dulce con el fin de mejorar la germinación y establecimiento de plántulas en el campo, utilizando humedecimiento y secado antes de la siembra en vermiculita, así como polietilenglicol -8000 a potencial osmótico de -1.1 MPa. Encontraron que con el primer tratamiento se mejoró la uniformidad en la emergencia de plántulas y se redujo el número de días requeridos para alcanzar 50 o 75 por ciento de plántulas emergidas; reportando como inexplicable el hecho de que el tratamiento con polietilenglicol redujera significativamente la emergencia.

Sin embargo, Fu et al. (1983) afirman haber encontrado respuesta favorable en los porcentajes de germinación y longitud de embriones y raíces al humedecer semillas de *Phaseolus vulgaris* y *Amaranthus tricolor* con 20 y 26 por ciento de polietilenglicol -6000; observando al mismo tiempo, que este mismo agente osmótico a 30 y 36 por ciento en semillas de soya aparte de incrementar la germinación y longitud del embrión, mejoró los índices de vigor.

También en semillas de perejil (*Petroselinum crispum* L.) tratadas con soluciones de polietilenglicol a diferentes temperaturas Akers et al. (1987) encontraron que el empleo de esta solución osmótica en completa oxigenación

durante el tratamiento de la semilla, tiene como resultado un incremento en la germinación y mayor uniformidad en el establecimiento de plántulas.

Albernethy (1987) al osmoacondicionar cinco diferentes lotes de semilla de una leguminosa forrajera (*Astragalus cicer* L.) empleando diferentes niveles de polietilenglicol (0, 200, 250 y 300 g por l de agua) a 15°C durante 12 días, seguido de cuatro períodos de secado después del osmoacondicionamiento (1.5, 24, 48 y 168 hr) para evaluar germinación y emergencia en campo, encontró que los niveles más bajos de polietilenglicol, redujeron significativamente la germinación de dos lotes de semilla, pero que por lo general el tratamiento incrementó los porcentajes de germinación, ya que redujo aproximadamente en un 45 por ciento el tiempo medio de germinación de todos los lotes de semilla en comparación con el testigo. Por otra parte, menciona que la respuesta del osmoacondicionamiento a la emergencia de plántulas en el campo, presentó gran variabilidad entre los diferentes lotes de semilla ya que uno de ellos logró incrementar en un 40 por ciento los porcentajes de emergencia sobre el testigo cuando se utilizaron 250 g de polietilenglicol por litro de agua con 1.5 hr de secado después del osmoacondicionamiento, señalando diferencias no significativas en los porcentajes de emergencia para los cuatro lotes restantes, al utilizar cualquier otra

combinación de los tratamientos.

Así mismo en semillas de zacate Adegbuyi *et al.* (1981) señalan que el uso de este agente osmótico a diversas concentraciones y períodos de imbibición, no presentaron efecto en ninguna de las especies estudiadas antes del tercer día, y de ahí en adelante la germinación fisiológica se incrementó hasta los 14 días, indicando que por el contrario después de este mismo período de tiempo, la germinación fisiológica de todas las especies disminuyó significativamente a medida que se incrementó la concentración, teniéndose por lo tanto una mayor germinación en el testigo (0 bares).

Osmoacondicionamiento con Soluciones Salinas

El uso de soluciones salinas como CaCl_2 , MgSO_4 y CuSO_4 y particularmente a base de potasio KH_2PO_4 , KNO_3 , K_2HPO_4 y K_3PO_4 en el tratamiento osmótico de la semilla, han sido utilizadas frecuentemente en semillas de diferentes especies con resultados positivos en la germinación y velocidad de emergencia, y aspectos como concentración, temperatura de imbibición, duración del tratamiento y oxigenación de la solución osmoacondicionadora, han mostrado cierta influencia, que en la mayoría de los casos hacen que este procedimiento resulte con frecuencia notable. En este sentido Idris y Aslam (1975) lograron acelerar la

germinación y desarrollo de plántulas de semillas de trigo tratadas con soluciones de CaCl_2 .

Por su parte al comparar una solución de K_3PO_4 y agua, Guedes y Cantliffe (1980) encontraron que la imbibición de semillas de lechuga en soluciones de K_3PO_4 por períodos cortos de tiempo, incrementaron significativamente los valores de germinación con respecto a las humedecidas en agua. Sin embargo, Szoke y Szentpetery (1984) no encontraron diferencias en los altos niveles de germinación obtenidos al someter semillas de maíz a humedecimientos durante 24 hr antes de la siembra, con agua y soluciones de CuSO_4 , ZnSO_4 y MnSO_4 en concentraciones de 0.01, 0.03 y 0.1 por ciento.

Kenneth y Sanders (1987) observaron variación significativa en los porcentajes de germinación de semillas de chile (*Capsicum annuum* L.) después de haberlas humedecido con agua destilada y soluciones de $\text{KNO}_3 + \text{K}_2\text{HPO}_4$ (al 1 y 1.5 por ciento) a 21°C durante 72 y 96 hr, las cuales posteriormente fueron germinadas a 15, 20 y 25°C , encontraron que el índice de germinación de las semillas decreció tanto en semillas tratadas como en las no tratadas al incrementarse la temperatura, y que tanto en semillas humedecidas con agua y soluciones salinas de potasio, los valores del índice de germinación fueron más bajos con respecto al testigo absoluto, cuando se incrementó la

temperatura. Por otra parte, con respecto a la influencia de la duración del pretratamiento, los autores coinciden en señalar que tanto en el humedecimiento con agua o soluciones de potasio, el índice de germinación tiene una mejor respuesta cuando el tiempo de tratamiento es de 96 hr.

Por otra parte Rivas *et al.* (1984) al trabajar con semillas de la misma especie, reportaron como sobresaliente el hecho de que el tratamiento de la semilla en soluciones osmóticas de KNO_3 (0.3 m) durante 144 hr, mejoraron la germinación y la emergencia e incrementaron el peso fresco de las plántulas.

También en el cultivo de girasol, Kathiresan y Gnanarethnam (1985a) obtuvieron incrementos en la germinación, los índices de vigor y peso seco de raíz y plántula; utilizando en el tratamiento osmótico de la semilla soluciones de KNO_3 y CaCl_2 .

Firgany *et al.* (1984) mencionan que después de probar durante dos años el efecto del humedecimiento antes de la siembra de semilla de cebolla, con soluciones de Mn y Cu en concentraciones de 200, 400 y 800 ppm, encontraron que la mejor germinación (93-94 por ciento), el más alto peso de materia seca de plántulas, diámetro promedio de bulbo (44-45 cm) y total de rendimiento (17.71-17.78

ton/ha) se obtuvo al tratar la semilla con 400 ppm de cada una de las soluciones.

Con respecto a estudios de osmoacondicionamiento bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas para observar su efecto en la germinación, Khan *et al.* (1983) al utilizar soluciones de $MgSO_4$ en la imbibición de semillas de remolacha en condiciones aeróbicas y anaeróbicas, encontraron que el osmoacondicionamiento fue pobre "en ausencia de oxígeno, debido a que el $MgSO_4$ como otras sales de bajo peso molecular penetran, rápida y fácilmente dentro de las células, ejerciendo ciertos efectos tóxicos en los procesos de desarrollo, los cuales evidentemente se acentúan bajo condiciones anaeróbicas.

Confirmando así mismo Holley *et al.* (1984) la importancia de la aereación de la solución, al encontrar que la emergencia en campo de semillas de zanahoria imbibidas en soluciones aireadas de KNO_3 , se aceleró de tal manera que el tiempo medio de emergencia se redujo en cuatro días con respecto a las semillas sin tratar; pero que sin embargo, el porcentaje final no varía en ambos casos. Lográndose además, incrementar en un 33 por ciento tanto el rendimiento total de raíces así como peso fresco de hojas.

Por otra parte Haigh *et al.* (1986) en pruebas realizadas para detectar la respuesta de semillas de

tomate, zanahoria y cebolla al tratamiento con soluciones osmóticas en completa oxigenación, encontraron que cuando se imbibieron las semillas en $K_3PO_4 + KNO_3$ (-1.6 MPa) por 7, 14 y 21 días a 15, 20 y 25°C, los porcentajes de emergencia no cambiaron en tomate, se incrementaron en zanahoria y decrecieron en cebolla. Sin embargo, en experimentos donde se utilizaron soluciones adecuadas para tomate ($K_2HPO_4 + KNO_3$, -1.0 MPa) y para zanahoria ($K_3PO_4 + KNO_3$, -1.5 MPa), se encontró que fueron necesarios 18 días de tratamiento de la semilla de tomate para reducir el tiempo de germinación de 73 a 12 horas, y que para zanahoria se obtuvo la máxima respuesta después de 16 días de tratamiento a la semilla.

Las sales minerales pues, en general han mostrado efectos sobresalientes en el osmoacondicionamiento de semillas, aún sobre compuestos como el polietilenglicol (Bussell y Gray, 1976). No obstante, Salter y Darby (1976) y Alvarado *et al.* (1987) no encontraron diferencias al utilizar soluciones salinas y polietilenglicol en el tratamiento de semillas de apio (*Apium graveolens*) y tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), en la reducción del tiempo a 50 por ciento de germinación.

Otros autores sin embargo, han encontrado efectos deletereos de algunas soluciones, Mikkelsen y Sinah (1961) afirman que particularmente algunas soluciones como H_3PO_4 , $CO(NH_2)_2$, $NH_4H_2PO_4$, NH_4NO_3 , así como altas concentraciones

de KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y KH_2PO_4 , presentaron efectos negativos sobre los porcentajes de germinación al prehumedecer semillas de arroz (*Oryza sativa*).

En semillas envejecidas, el tratamiento osmótico con soluciones a base de potasio, ha beneficiado el reinicio de los eventos de la germinación para un buen establecimiento de plántulas.

Asimismo, semillas de pepino y chile almacenados por cuatro años, pudieron reiniciar su germinación al ser tratados antes de la siembra con KH_2PO_4 y K_3PO_4 de tal manera que los porcentajes de germinación obtenidos tanto en pepino como en chile, fueron 92 y 78.6 por ciento respectivamente para semillas tratadas con KH_2PO_4 ; mientras que en la semilla sin tratar los porcentajes de germinación no sobrepasaron al 42.6 por ciento para pepino y 23.5 en chile (Solanski y Joshi, 1985).

Otras sales que han sido empleadas son K_3BO_3 , KMnO_4 , CuSO_4 y $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$, las que utilizadas para tratar por 20 hr a 5°C semillas de abeto que habían sido almacenadas en la nieve, mostraron una efectividad positiva al mejorar excelentemente la cantidad de plántulas emergidas. Observando que el mejor agente osmótico utilizado fue KMnO_3 , el cual proporcionó 732 plántulas por m^2 , en comparación con 298 plántulas por m^2 del testigo

(Kopylov, 1988).

Efectos del Osmoacondicionamiento Sobre las Semillas Sembradas Bajo Condiciones de Estrés

Estrés de bajas temperaturas

Cuando la semilla es sembrada en suelos fríos, es a menudo expuesta a numerosos peligros durante su germinación, algunas investigaciones se han realizado con el fin de reducir el tiempo entre la siembra y la emergencia para exponer a la semilla el menor tiempo posible a condiciones de baja temperatura y obtener un mejor establecimiento de plántulas.

Dentro de las semillas sensitivas a las bajas temperaturas se encuentra la soya, que es susceptible a 10°C o menos, Hobbs y Obendorf (1972) señalaron que la mayor sensibilidad ocurre durante las primeras horas de imbibición, y muestran que el daño se expresa en una reducción de la emergencia de plántulas, de vigor y rendimiento del cultivo.

William *et al.* (1978) en base a un estudio sobre el efecto del estrés de frío durante la imbibición de embriones de semilla de soya, observaron que periodos cortos de imbibición por debajo de 12 a 14°C , reducen su

germinación, pudiéndose impartir cierta resistencia al daño por frío si la imbibición de los embriones se realiza cuando éstos presentan de 35 a 50 por ciento de humedad, ya que esto reduce la pérdida de solutos durante la hidratación; concluyendo estos autores, que el período de profusa filtración de solutos es interpretado como una etapa de reorganización de las membranas, y que el daño por frío durante el humedecimiento de embriones puede ocurrir durante los primeros minutos de la hidratación, el cual evidentemente interfiere con la habilidad del embrión a ser transformado de un cuerpo en reposo a un órgano activamente metabólico.

En semillas de algodón dos períodos de sensibilidad al daño por frío fueron identificados por Christiansen (1967); el primer período ocurrió durante la hidratación inicial de la semilla y el segundo después de la elongación de la radícula, empezando entre las 18 a 30 hr de germinación, lo que provoca deformación de radículas, hinchazón de la base del hipocotilo y una profusa producción de raíces laterales. Este mismo autor (1968) menciona que la exposición de las semillas a temperaturas de 5°C durante la hidratación y germinación pueden dañarlas de tal manera, que los subsecuentes procesos de la germinación para la sobrevivencia de la semilla, pueden inhibirse. Sin embargo, el tratamiento de semillas como las de algodón a 31° por 4 a 6 hr antes de exponerlas a

bajas temperaturas (24 hr en agua a 5°C), reduce la sensibilidad al daño por bajas temperaturas durante su germinación (Thomas y Christiansen, 1971).

Las pruebas realizadas hasta la fecha, han demostrado que el osmoacondicionamiento de la semilla conduce a una más rápida germinación y desarrollo de plántulas en suelos fríos a nivel de campo (Bodsworth y Bewley, 1981).

Knypl y Khan (1981) al examinar con detalle las condiciones óptimas necesarias para el osmoacondicionamiento de la semilla de soya, utilizando varias concentraciones de polietilenglicol -6000, para mejorar su germinación y emergencia en suelos con temperaturas de 8 y 15°C, encontraron que estos tratamientos incrementaron la germinación y el porcentaje de plántulas emergidas en un menor período de tiempo, que el logrado en semillas sin tratar, señalando además, que el período de tiempo óptimo de osmoacondicionamiento (germinación a 15°C) fue de 4 a 8 días y las mejores concentraciones del agente osmótico se encuentran en un rango de -8.6 a -11.9 bares. Concluyeron que de acuerdo a los resultados de este estudio, podría ser posible la siembra de semillas osmoacondicionadas en suelos húmedos y

fríos para ampliar el período de siembra y/o mejorar la uniformidad en el establecimiento de plántulas del cultivo de soya.

Asimismo, Rennick y Tiernan (1978) al emplear soluciones de polietilenglicol en el tratamiento de semillas de apio (*Apium graveolens*) durante 14 días, encontraron que después de incubarse a 6 y 15°C la emergencia de plántulas de semillas tratadas fueron significativamente mejor que el testigo especialmente a la temperatura más baja, pero que al incrementarse a 15°C, la emergencia mejoró a niveles aceptables después de cuatro semanas.

Sin embargo, existen evidencias del mejor desempeño de las sales minerales para mejorar la emergencia de plántulas en suelos fríos en comparación de cuando el tratamiento se hace con polietilenglicol, tal y como lo reportan Sullivan y Bouw (1984) quienes al utilizar en semillas de chile estos dos tipos de agentes osmóticos, encontraron que los tratamientos con sales ($\text{KNO}_3 + \text{K}_3\text{PO}_4$), presentaron una más rápida emergencia que las semillas tratadas con polietilenglicol.

Por su parte Bradford (1985) al utilizar KNO_3 (0.3 M) en el tratamiento durante seis días a 25°C de semillas de cuatro variedades de melón, antes de sembrarse en condiciones de bajas temperaturas, encontró que la

germinación en laboratorio fue completa después de cinco días; mientras que en el mismo tiempo el testigo presentó de 0 a 10 por ciento de germinación. Por otra parte, en pruebas de campo donde la temperatura máxima fue menor de 20°C, tres de las cuatro variedades empleadas mostraron aumentos en el porcentaje de emergencia final, en rangos de 30-260 por ciento con respecto al testigo; concluyendo que el osmoacondicionamiento de la semilla puede ser un método efectivo para mejorar el establecimiento del cultivo en siembras tempranas.

En este sentido Flower (1979) al evaluar el efecto del osmoacondicionamiento de semillas de algodón con soluciones saturadas de CaSO_4 , sobre la germinación y establecimiento de plántulas a bajas temperaturas, encontró incrementos benéficos en ambas variables evaluadas en condiciones de laboratorio, demostrando además, que bajo condiciones de campo los efectos fueron no aparentes y que en lugar de beneficio, el tratamiento a la semilla redujo el vigor de plántulas y su establecimiento. Concluyó que probablemente la pérdida de vigor de las plántulas en el campo ocasionó una mayor susceptibilidad de éstas a daños por enfermedades y desecación, lo cual se reflejó en un pobre establecimiento de plántulas por unidad de área. Corroborando lo encontrado anteriormente. por Buxton *et al.* (1977) quienes publicaron evidencias de que los tratamientos de imbibición incrementaron la resistencia a

bajas temperaturas durante la germinación de semillas de algodón en laboratorio, pero no fueron efectivos en mejorar la emergencia en suelos fríos en campo.

Estrés de sequía

De hecho el establecimiento de plántulas en zonas de baja precipitación está íntimamente relacionado con la eficiente utilización de la humedad del suelo, por lo que un tratamiento a semilla antes de la siembra, que acelere su germinación, podría ser de suma importancia para lograr estos propósitos.

Algunas investigaciones interesadas en estos pretratamientos, han encontrado beneficios considerables cuando las semillas se sometieron a estrés hídrico. Así pues, Liptay y Schopfer (1983) dedujeron que la habilidad de germinación de las semillas a potenciales hídricos reducidos, puede ser una buena medida de la efectividad de un tratamiento osmótico o de la capacidad de la semilla a germinar bajo condiciones adversas.

Sharma (1973) al estudiar el efecto de sequía simulada en laboratorio en cinco especies de pastos, utilizando cloruro de sodio, manitol y polietilenglicol, encontró que la germinación de todas las especies estudiadas declinó al disminuir el nivel de potencial de

agua y que la magnitud de tal reducción varió según la especie y el tipo de medio osmótico utilizado. Concluyó, que de acuerdo a la severidad de la reducción de la germinación, que el empleo del polietilenglicol como agente osmótico para estudiar el efecto de sequía, verdaderamente es más conveniente que cualquier otro.

Igualmente Parmar y Moore (1966) al simular sequía en laboratorio, utilizando soluciones acuosas de polietilenglicol -6000 con presiones osmóticas de 1-10 atmósferas, observaron que los porcentajes de germinación, emergencia y características de plántulas en dos lotes de semillas de maíz, decrecieron progresivamente al incrementar la presión osmótica, siendo más marcado el efecto en los lotes de semilla de bajo vigor, que en los de vigor alto.

En este sentido Kathiresan y Gnanarethinam (1985a) encontraron que el prehumedecimiento y secado de semillas de girasol antes de someterlas a varios niveles de humedad creados con polietilenglicol, mejoraron significativamente la germinación en todos los niveles de humedad utilizados; mientras que aquellas semillas que no recibieron el tratamiento, su germinación fue deficiente.

Por otro lado, Nagapada (1985) observó mejoras en la germinación y vigor de plántulas, las cuales incrementaron la acumulación de prolina y contenido de agua relativa en las hojas, cuando las semillas de girasol osmoacondicionadas con CaCl_2 fueron sembradas bajo estrés de humedad, encontrando además, incrementos de CO_2 tanto en plántulas sometidas a estas condiciones como en las que no se sometieron.

Somers *et al.* (1983) al trabajar con potenciales mátricos del suelo ajustados a -4, -6, -7, -11 y -14 bares para la siembra de semillas de girasol imbibidas en polietilenglicol, encontraron que no existen diferencias significativas en la emergencia de plántulas a potenciales mátricos del suelo de -4, -6, y -7 bares; pero al incrementarse a -11 y -14 bares, la emergencia se redujo para el primero y se inhibió en el segundo.

Chowdhory y Choudhuri (1987) al evaluar el efecto del estrés de humedad simulado con polietilenglicol -5000, utilizando semillas de dos especies de cáñamo previamente prehumedecidas en agua por diversos períodos, afirman que los períodos de imbibición de 4, 8 y 12 horas no variaron los porcentajes de germinación bajo condiciones óptimas de humedad; pero que al someterse a condiciones de estrés hídrico, los porcentajes de germinación se redujeron significativamente, estableciendo además, que 3 y 6 horas

de prehumedecimiento presentaron bajo condiciones simuladas de sequía, mejor germinación y un rápido establecimiento de plántulas en las dos especies estudiadas.

Lyles y Fanning (1964) al estimar el efecto de prehumedecimiento y tensión de humedad del suelo en la emergencia de semillas de sorgo, encontraron que la emergencia no excedió de 40 por ciento en suelos cuya tensión de humedad fue 0.33 atmósferas y que por el contrario, el prehumedecimiento de la semilla incrementó levemente la emergencia a los más altos valores de tensión de humedad con respecto al testigo. Concluyeron que la baja emergencia de plántulas a estas condiciones de humedad, se debió probablemente a que el suelo extrajo humedad de las semillas hidratadas o que este no pudo suministrar la humedad necesaria, para que los procesos de germinación no se interrumpieran.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del Sitio Experimental

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación del Departamento de Horticultura, así como también en el Laboratorio de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Material Vegetativo

El material vegetativo empleado constó de semillas de maíz del híbrido AN-310, seleccionado de dos lotes de producción con ciclo (primavera-verano 85 y primavera-verano 87), propiedad de la Universidad y proporcionado por el Instituto Mexicano del Maíz de la misma Institución.

Tratamientos de Osmoacondicionamiento

Efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas a diferente potencial osmótico

Para determinar si una sal nitrada o amoniacal era más efectiva en el osmoacondicionamiento de la

semilla de maíz, se utilizaron las siguientes sales:
 KNO_3 , $Ca(NO_3)_2$, $Zn(NO_3)_2$, NH_4NO_3 , $(NH_4)_2SO_4$, $NH_4H_2PO_4$ y
 $(NH_4)_2HPO_4$.

Antes de iniciar los tratamientos de osmoacondicionamiento, las semillas seleccionadas se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 10 por ciento durante 5 min, para posteriormente lavarse con agua destilada hasta que desapareció el característico olor a cloro.

Las semillas (150 por tratamiento) se colocaron en vasos de precipitado de 300 ml, conteniendo la solución de cada una de las sales minerales a potenciales osmóticos de -0.5, -1.0 y -1.5 megapascales (MPa) (1.0 MPa = 10 bares). Las semillas fueron osmoacondicionadas durante 32 hr con aireación constante, utilizando bombas de acuario y manteniendo una temperatura constante de 25°C, mediante el uso de un baño maría.

Posterior al período de osmoacondicionamiento, las semillas fueron lavadas rápidamente con agua destilada con el fin de remover residuos de sales sobre su superficie, e inmediatamente secados sobre papel secante en el laboratorio, hasta alcanzar su contenido de humedad original (10.8 por ciento), en seguida se sembraron en macetas de plástico conteniendo el mismo peso de suelo,



formado por una mezcla de arena-suelo en relación (1:1), colocando las semillas a una distancia entre sí de 1 cm y a una profundidad aproximada de 2 cm. Posteriormente, las macetas se colocaron en un cuarto de crecimiento, iluminado constantemente con lámparas fluorescentes ($50 \mu \text{ moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y en el cual se mantuvo una temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, manteniendo la mezcla de arena-suelo a una humedad apropiada, mediante la aplicación diaria de 50 ml de agua destilada a cada unidad experimental (macetas con 50 semillas).

En este caso se tuvieron tres experimentos (diferente potencial osmótico) sembrados en fechas distintas, los cuales estuvieron constituidos por nueve tratamientos, de los cuales dos fueron testigos (semillas imbibidas únicamente en agua destilada y semillas sin recibir ningún tratamiento), los que al evaluarse en tres repeticiones proporcionaron 27 unidades experimentales por experimento.

La evaluación de los tratamientos consistió en cuantificar en cada una de las unidades experimentales de cada ensayo el número diario de plántulas emergidas, considerándose como tales cuando el coleóptilo fue visible sobre la superficie del suelo.

Una vez detectado que el potencial osmótico de -1.0 MPa proporcionó una mayor uniformidad en la emergencia de plántulas, este se utilizó para determinar el efecto de las siguientes sales fosfatadas: KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 y Na_2HPO_4 .

Efecto del Osmoacondicionamiento con Diversas Soluciones Salinas, Utilizando Semillas Envejecidas

Para evaluar el efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas utilizando semillas envejecidas, se consiguió semilla del híbrido AN-310 cosechada durante el ciclo primavera-verano 85, las cuales fueron desinfectadas y osmoacondionadas, siguiendo el mismo procedimiento anterior, con soluciones salinas de: KNO_3 , NH_4NO_3 , $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 y Na_2HPO_4 , todas a potencial osmótico de -1.0 MPa.

La siembra, así como la cuantificación de los porcentajes diarios de emergencia, se realizó siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente. En este caso se tuvieron 12 tratamientos, incluyendo los dos testigos (semillas imbibidas en agua destilada y semillas sin ningún tratamiento), los cuales al contarse con tres repeticiones, proporcionaron 36 unidades experimentales.

Efecto del Osmoacondicionamiento con Diversas Soluciones Salinas a Diferente pH

Con la finalidad de definir si el pH de diversas soluciones salinas presentaba algún efecto sobre la emergencia de plántulas, del total de sales utilizadas anteriormente se seleccionaron aquellas que indujeron la más rápida y lenta emergencia de plántulas, y que sus pH oscilara entre altos y bajos.

Las características de las soluciones salinas empleadas se muestran en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. pH original de las soluciones salinas a potencial osmótico de -1.0 MPa.

Tipo de sal	pH original de la solución
Na_2HPO_4	9.424
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	8.240
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	5.163
KH_2PO_4	4.300
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	4.204

El pH de las diversas soluciones salinas se ajustó a 3, 4, 5 y 6 con la ayuda de un potenciómetro y la aplicación del HCl al 10 por ciento o NaOH al 5 por ciento según se requirió.

El procedimiento de siembra de las semillas, así como la evaluación del porcentaje de emergencia se realizó en forma similar a los descritos anteriormente.

El número total de tratamientos fueron 25, que resultaron de la combinación de cinco soluciones salinas con cinco niveles de pH (incluyendo el pH original de cada solución), los que al ponerse en tres repeticiones, presentaron al momento de la siembra 75 unidades experimentales.

Efecto de la Falta de Aireación Durante el Osmoacondicionamiento con KH_2PO_4

Para determinar si un período sin aireación inicial durante el osmoacondicionamiento de la semilla aumentaba su efectividad, se utilizó una sola solución salina de KH_2PO_4 a potencial osmótico de -1.0 MPa.

Las semillas se sometieron a las mismas condiciones anteriores, pero con la diferencia de que durante las 32 horas que duró el osmoacondicionamiento, estas se sometieron a siete períodos sin aireación inicial que fueron 0, 1, 2, 4, 8, 16 y 32 hr; para lo cual se quitaron las bombas de acuario durante estos períodos, para después volverse a colocar durante 32, 31, 30, 28, 24, 16 y 0 hr respectivamente. De esta forma se generaron ocho

tratamientos incluyendo dos testigos (semillas osmoacondicionadas con cero horas sin aireación inicial y un testigo absoluto, que fueron semilla sin ningún tratamiento). El procedimiento de siembra de la semilla, así como la cuantificación de los porcentajes de emergencia fueron similares al ya mencionado en las fases anteriores.

Efecto del Osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 Sobre la Emergencia a Bajas Temperaturas

Para determinar el efecto del osmoacondicionamiento sobre la emergencia a bajas temperaturas, este se realizó con soluciones de KH_2PO_4 a un potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 hr sin aireación inicial, siguiendo un procedimiento similar al de las fases anteriores.

La germinación de semilla se hizo igualmente en macetas que contenían la misma cantidad de arena-suelo (1:1) bajo condiciones adecuadas de humedad y empleando temperaturas de 5, 10 y $15 \pm 2^\circ\text{C}$. Para las temperaturas de 5 y 10°C se siguió una modificación de la prueba fría de vigor (Perry, 1981), proporcionando estas temperaturas por nueve días, poniendo las macetas en una cámara fría y después de este período de estrés se cambiaron a una cámara germinadora a 25°C por un período adicional de cinco días, donde se mantuvo una adecuada humedad del suelo mediante la aplicación diaria de 50 ml de agua destilada a cada unidad

experimental. Para la siembra a $15 \pm 2^{\circ}\text{C}$ las macetas se mantuvieron en un cuarto frío a esta temperatura por un período de nueve días. En este experimento al igual que los anteriores, se utilizó como testigo semilla sin tratar sembrándose exactamente bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura que las semillas osmoacondicionadas. Se tuvieron un total de seis tratamientos, incluyendo los tres testigos con tres repeticiones, por lo que se contó con 18 unidades experimentales.

Los parámetros evaluados fueron: el porcentaje diario de emergencia, altura de plántulas y el peso fresco de plántula. El registro del porcentaje de emergencia se realizó en la misma forma que en los experimentos anteriores y para la cuantificación de la altura y el peso fresco de plántula, al quinto día a 25°C (primeros nueve días a 5 y 10°C) o al noveno día a $15 \pm 2^{\circ}$, se tomaron cinco plántulas de cada repetición, de tal manera que se tuvieron 15 plántulas por tratamiento.

Efecto del Osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 Sobre la Germinación Bajo Condiciones Simuladas de Sequía, Utilizando Polietilenglicol

Para determinar el efecto del osmoacondicionamiento sobre la germinación bajo condiciones simuladas de sequía, éste se realizó con soluciones de KH_2PO_4 a potencial

osmótico de -1.0 MPa y 4 hr sin aireación inicial siguiendo un procedimiento similar al del experimento anterior.

Las condiciones de sequía fueron simuladas mediante la utilización de soluciones de polietilenglicol -6000 (PEG) a potenciales osmóticos de 0, -0.3 , -0.6 y -1.2 MPa, obtenidos mediante la dilución de 0, 172, 230, y 328 g de PEG en un litro de agua destilada, respectivamente. La germinación de la semilla se hizo de acuerdo a una modificación de la prueba de germinación estándar International Seed Testing Association (ISTA) (1985), esta modificación incluyó la siembra de la semilla entre toallas de papel secante previamente saturadas en cada una de las soluciones de PEG, las que se enrollaron y colocaron en bolsas de polietileno para minimizar la evaporación, colocándose en una cámara germinadora a una temperatura de 25°C , durante siete días.

En este caso, el número de unidades experimentales (toallas de papel enrolladas con 50 semillas cada una) fueron 24, que resultaron de la combinación de dos lotes de semillas (osmoacondicionadas y sin osmoacondicionar) y cuatro niveles de humedad, generándose ocho tratamientos, los cuales se tuvieron en tres repeticiones.

Los parámetros evaluados fueron: el porcentaje de germinación, altura de plántula, longitud de raíz primaria

y el número de raíces laterales por plántula. El porcentaje de germinación se determinó en todas las unidades experimentales (toallas de papel enrolladas) a los 3, 5 y 7 días después de la siembra; considerándose como germinadas cuando las plántulas satisficieron los siguientes tres criterios: 1) longitud de plúmula de 5mm mínimo; 2) presencia de raíz primaria normal y 3) desarrollo normal completo. Para medir el resto de los parámetros al finalizar el experimento (séptimo día), se tomaron cinco plántulas por repetición, teniéndose 15 plántulas por tratamiento.

Modelos Estadísticos Empleados

Los resultados de todas las fases de investigación se analizaron bajo un diseño de bloques al azar, excepto en aquellos donde se evaluó el efecto del pH de las soluciones salinas y cuando las semillas osmoacondicionadas se sometieron a condiciones de sequía, ya que en estos casos se emplearon más de un solo factor, por lo que fue necesario un modelo en bloques al azar con arreglo de los tratamientos en parcelas divididas y cuyos modelos a continuación se describen:

Bloques al azar

$$Y_{ij} = M + T_i + B_j + E_{ij}$$

$i = 1.2\dots t$ (tratamiento)

$j = 1.2\dots r$ (bloque)

donde:

Y_{ij} = variable dependiente

M = efecto de la media general

T_i = efecto del tratamiento

B_j = efecto de bloques

E_{ij} = error experimental

Bloques al azar en parcelas divididas

$$Y_{ijk} = M + T_i + B_j + R_k + E_{ik} + [TB]_{ij} + E_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = variable dependiente

M = efecto de la media general

T_i = efecto verdadero de i -ésimo nivel del factor a

B_j = efecto verdadero del j -ésimo nivel del factor b

R_k = efecto del k -ésimo bloque

E_{ik} = error experimental de la parcela grande

$(TB)_{ij}$ = efecto verdadero de la interacción

E_{ijk} = error experimental de la parcela chica

Los datos referentes a los porcentajes de emergencias fueron ajustados por transformación angular o arco-seno para someterse a un análisis de varianza y posteriormente efectuar las comparaciones de medias en pruebas de rango múltiple y clasificarlas de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del Osmoacondicionamiento con Diversas Soluciones Salinas a Diferente Potencial Osmótico

Se encontró que la emergencia de plántulas (Figura 4.1) al tercer día después de la siembra varió, dependiendo de la solución salina utilizada cuando se empleó un potencial osmótico de -0.5 MPa, siendo mejor cuando el tratamiento a la semilla se hizo con NH_4NO_3 (69.3 por ciento) y reduciéndose cuando se utilizó $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ y en el testigo absoluto con 19.3, 20 y 31 por ciento de emergencia, respectivamente. Sin embargo, estas diferencias fueron estadísticamente similares.

Por otra parte, en la Figura 4.2 se observa que a partir del cuarto día después de la siembra la emergencia de plántulas se uniformizó de tal manera, que los porcentajes para todos los tratamientos oscilaron entre un 92 por ciento con agua y un 100 por ciento con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NH_4NO_3 y $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ y que el único tratamiento que no alcanzó estos valores, fue el $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, con un porcentaje final de emergencia de 82 por ciento.

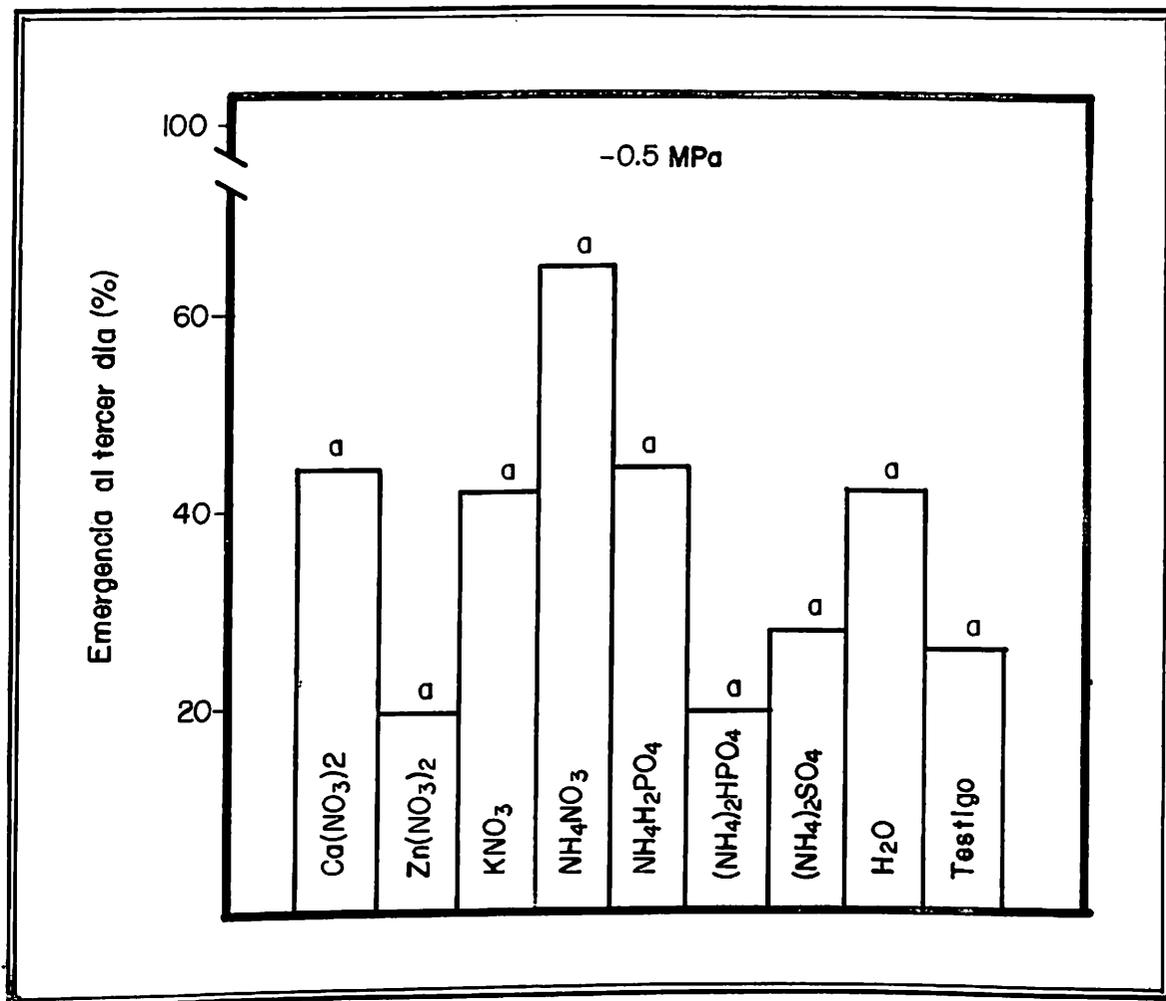


Figura. 4.1. Efecto del osmocondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -0.5 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.

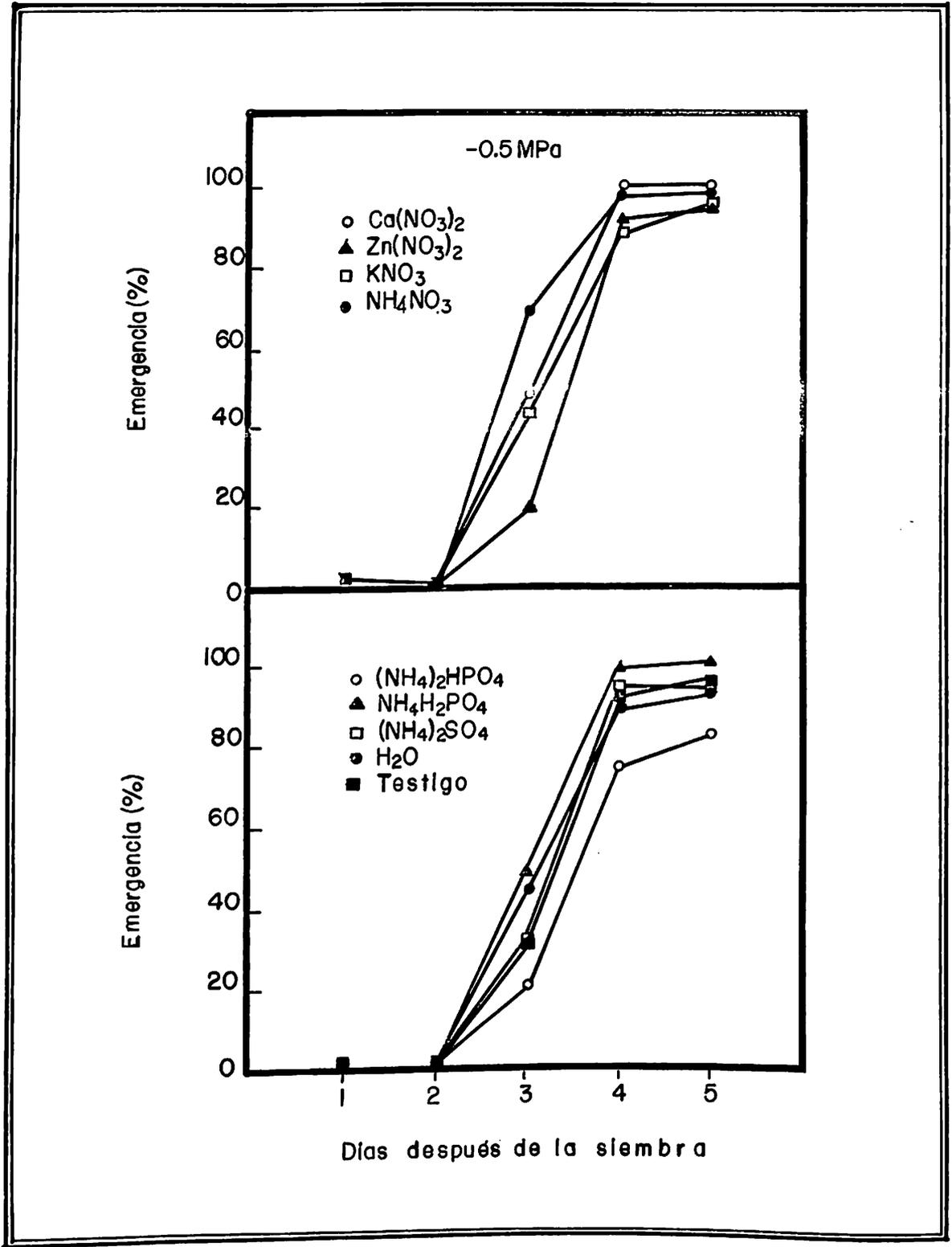


Figura. 4.2. Emergencia de plántulas de maíz, en respuesta al osmocondicionamiento de la semilla con diversas soluciones salinas a potencial osmótico de -0.5MPa .

Estos resultados demuestran que pequeñas cantidades de NH_4NO_3 durante el osmoacondicionamiento de la semilla de maíz tienen un efecto positivo en la obtención de una rápida emergencia en comparación con otras sales nitradas y amoniacales. Esto es particularmente con $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, al que se le podrían atribuir efectos negativos debido al zinc, de acuerdo a lo reportado por Meyer *et al.* (1973) y Bidwell (1979) quienes señalan que cuando este elemento penetra a las células, presenta efectos tóxicos sobre el protoplasma al que frecuentemente le ocasiona desorganización y algunas veces hasta la muerte, aun y cuando se presenten en muy bajas concentraciones. En este caso al penetrar a la semilla, la consecuencia es que retrasa la germinación y emergencia de plántulas.

El análisis de varianza para porcentaje de emergencia en estas condiciones (Cuadro A.1), resultó no significativo, lo que indica que no existe diferencia estadística entre los tratamientos estudiados en este experimento; por lo que la prueba de comparación de medias (Tukey al 0.05 de probabilidad), señala que numéricamente el tratamiento con NH_4NO_3 fue el mejor, pero que estadísticamente su comportamiento fue el mismo que el resto, incluyendo a los testigos (Cuadro A.2). Resultados similares fueron obtenidos por Szoke y Szentpetery (1984) quienes no encontraron diferencias significativas al tratar semillas de maíz con agua y soluciones de CuSO_4 , ZnSO_4 y

$MnSO_4$ a concentraciones de 0.01, 0.03 y 0.1 por ciento.

En lo que respecta al empleo de un potencial osmótico de -1.0 MPa, se encontró (Figura 4.3) una buena respuesta para la mayoría de los tratamientos, observándose porcentajes a los tres días después de la siembra superiores al 80 por ciento, y que únicamente cuando el osmoacondicionamiento se hizo con $(NH_4)_2HPO_4$ y $Zn(NO_3)_2$, la emergencia no sobrepasó el 60 por ciento en el mismo periodo de tiempo. Es importante notar que la emergencia de plántulas obtenidas con todos los tratamientos, fue generalmente superior a lo logrado en el experimento anterior (-0.5 MPa). Cabe mencionar que los dos experimentos se realizaron en fechas diferentes, por lo que las condiciones de temperatura en el cuarto de crecimiento pudieron ser diferentes al no tenerse un control estricto de este factor. Esto probablemente ocasionó que la emergencia en este último experimento, se viera favorecido, ya que los tratamientos con H_2O y el testigo absoluto mostraron una mejor respuesta que en el experimento anterior (-0.5 MPa), por lo que aquí no hubo mucha diferencia con respecto a los otros tratamientos, excepto con el $Zn(NO_3)_2$ y el $(NH_4)_2HPO_4$.

Por otro lado en la Figura 4.4 se muestra que a partir del cuarto día la diferencia de emergencia entre los tratamientos se fue reduciendo, oscilando entre 99.3 por ciento cuando el osmoacondicionamiento se hizo con $Ca(NO_3)_2$

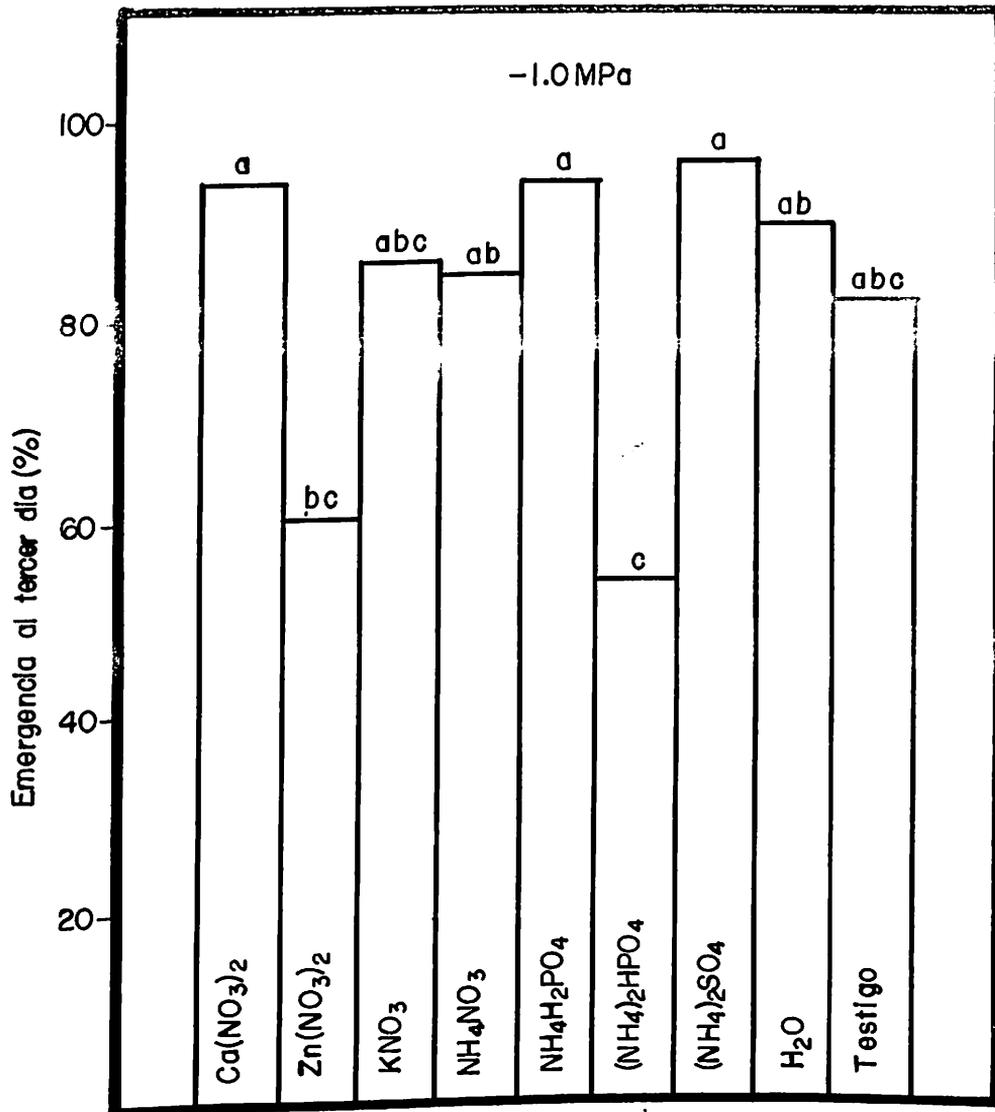


Figura. 4.3. Efecto del osmocondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.
Separación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey, al 5% de probabilidad.

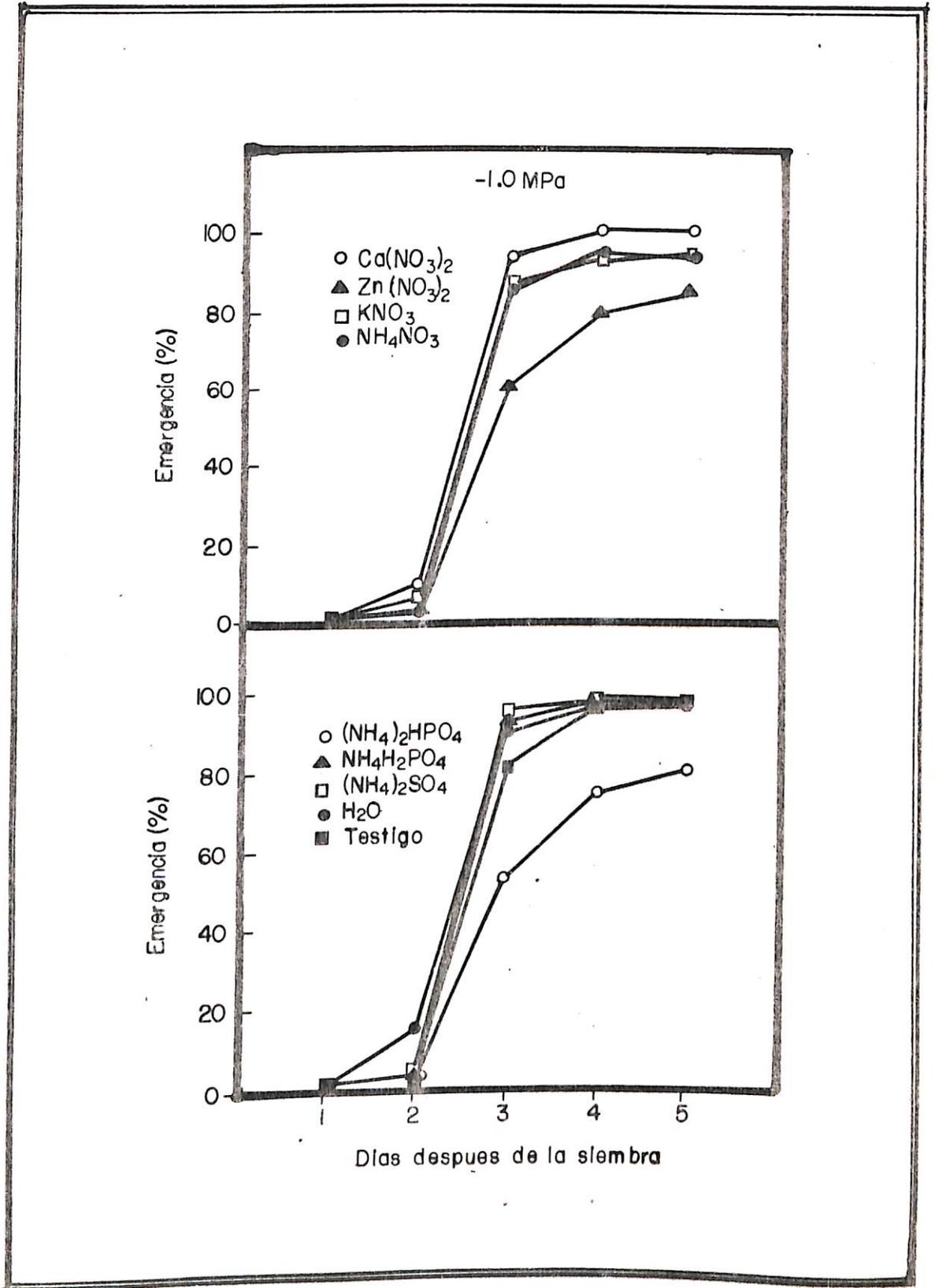


Figura. 4.4. Emergencia de plántulas de maíz, en respuesta al osmoacondicionamiento de la semilla con diversas soluciones salinas, a potencial osmótico de -1.0MPa .

hasta 96.7 por ciento en el testigo absoluto; mientras que con $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ y $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ la emergencia final fue de aproximadamente 80 por ciento para ambos tratamientos.

El análisis de varianza para porcentaje de emergencia (Cuadro A.3) indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que al realizar las comparaciones de medias de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad (Cuadro A.4); los tratamientos fueron distribuidos en tres niveles, incluyéndose en el primer nivel al $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ y en el último (tercer nivel) al testigo absoluto, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ y $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.

Al hacer un análisis de los resultados se deduce que todas las sales que contienen nitratos en su molécula, presentan un porcentaje de emergencia muy uniforme, exceptuando al $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ quien los redujo, infiriendo que esta reducción se debió al efecto tóxico del Zn, como ya fue discutido anteriormente. Por otro lado, al comparar las sales amoniacales con una sola molécula de este ion (NH_4NO_3 y $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), se deduce que el efecto ligeramente negativo sería ejercido por el nitrato, y al comparar el $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ que presentan dos moléculas de amonio, se pensaría que el efecto perjudicial fue ejercido por HPO_4^- .

Resultados similares fueron reportados por Szoke y Szentpetery (1984) quienes al emplear varias soluciones

salinas sulfatadas en el tratamiento de semilla de maíz, lograron mejorar los niveles de germinación. Por otra parte, dependiendo de la concentración del agente osmótico utilizado, ha sido el efecto en la emergencia de plántulas, longitud de raíces, e índice de vigor de semillas de diferentes especies empleando sales minerales, (Firgany *et al.*, 1984; Haigh *et al.*, 1986) o utilizando polietilenglicol, (Adegbuyi *et al.* 1981; Fu *et al.*, 1983; Alvarado *et al.*, 1987.)

Cuando el potencial osmótico de las soluciones salinas fue de -1.5 MPa, se encontró (Figura 4.5) que el mejor tratamiento proporcionado a la semilla fue cuando éstas se imbibieron en agua, donde se obtuvo un 86 por ciento de plántulas emergidas, seguido muy de cerca por las soluciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ con 80, 81 y 77.3 por ciento respectivamente. En base a esto se deduce que a estas concentraciones las soluciones salinas comienzan a presentar toxicidad, afectando las células de la semilla, particularmente cuando son acompañadas por iones HPO_4^- , esto se puede observar también en la Figura 4.6. donde el tratamiento con $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, presenta los porcentajes de emergencia finales más bajos respecto a los testigos y otras sales.

El análisis de varianza para porcentaje de emergencia (Cuadro A.5) indica diferencia significativa

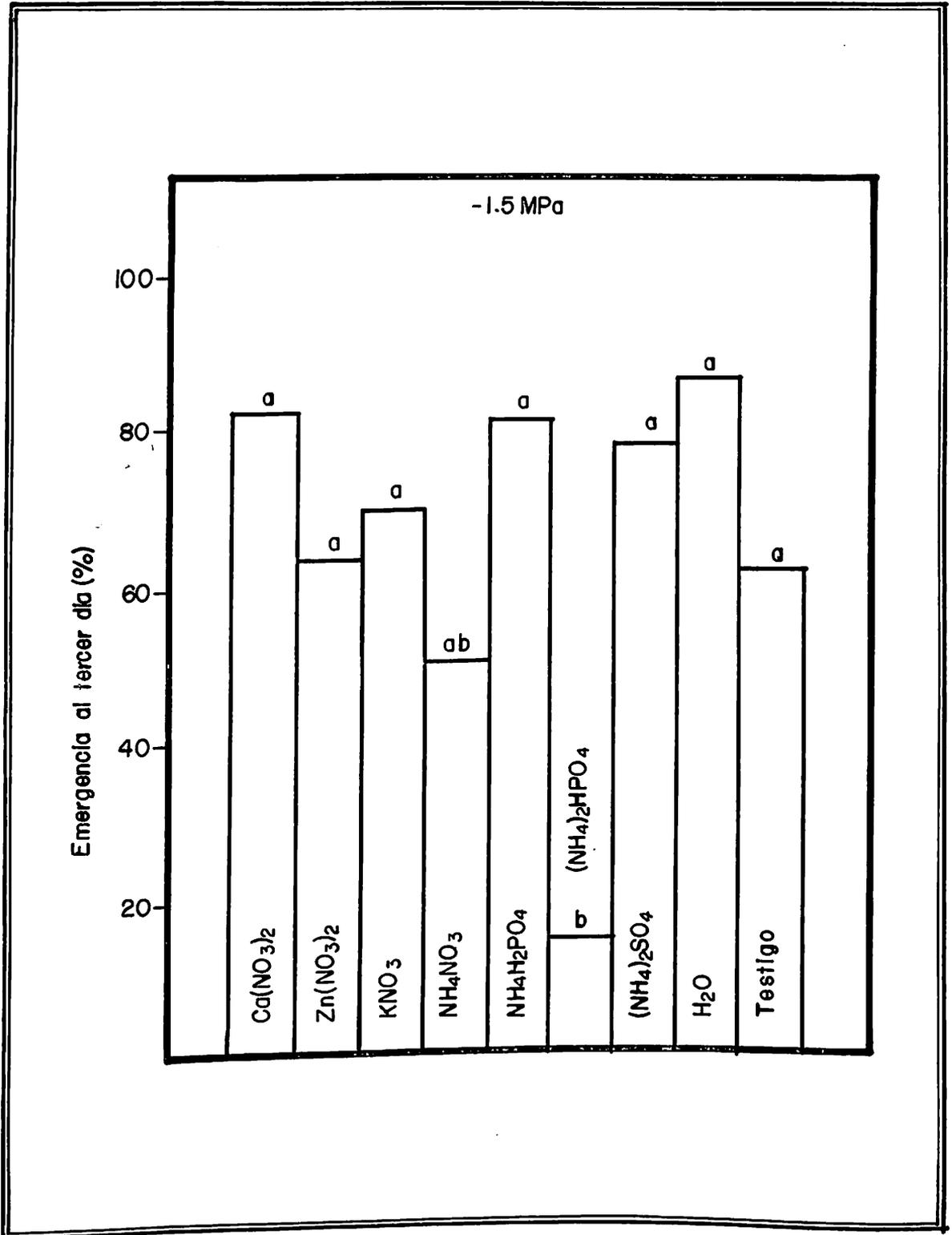


Figura. 4.5. Efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.5MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra. Separación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey, al 5% de probabilidad.

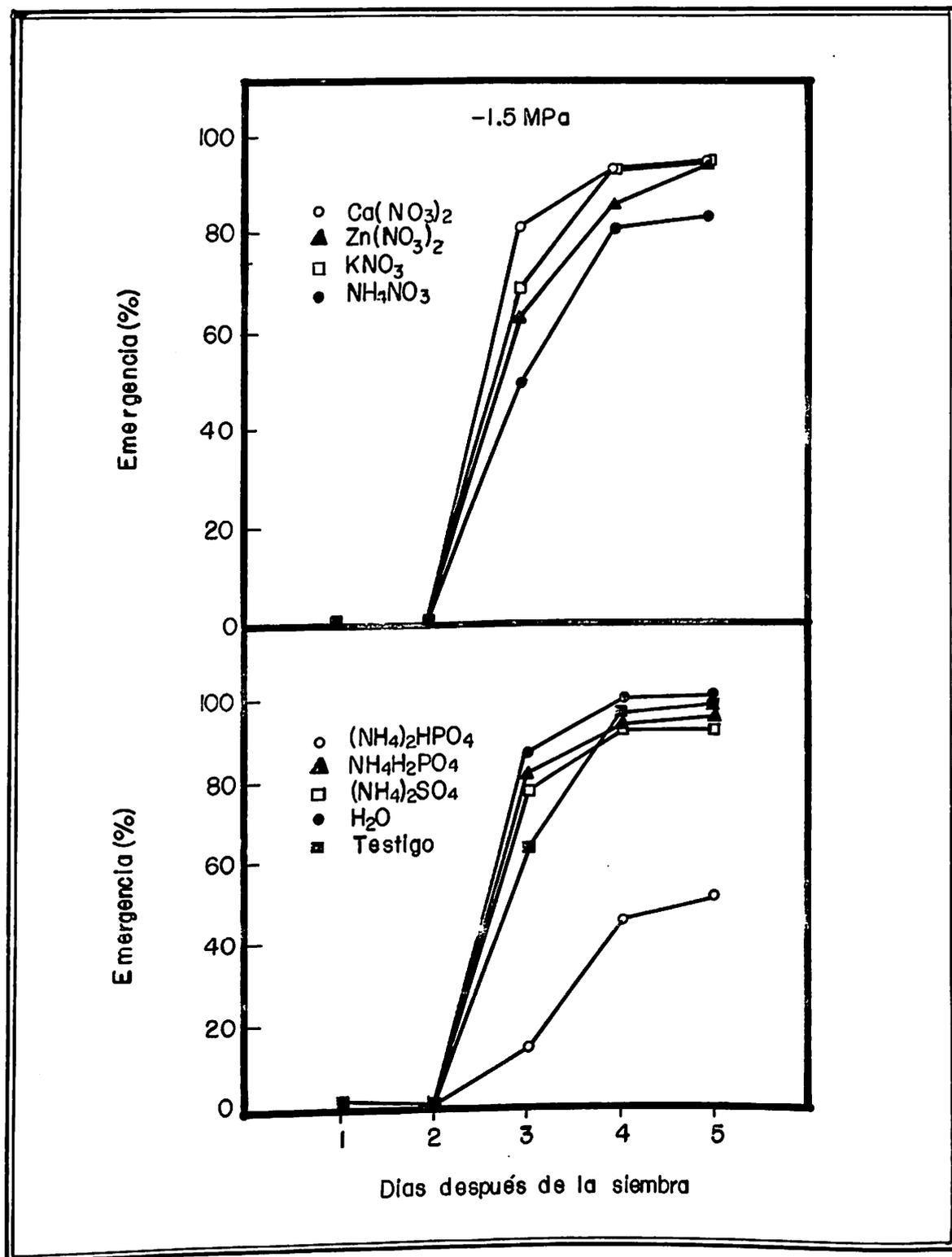


Figura. 4.6. Emergencia de plántulas de maíz, en respuesta al osmocondicionamiento de la semilla — con diversas soluciones salinas, a potencial osmótico de -1.5 MPa .

entre los tratamientos y en donde una prueba de comparación de medias de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad, señala al tratamiento con agua numéricamente superior al resto (Cuadro A.6).

Estos resultados muestran que el potencial osmótico de -1.0 MPa, resultó en una mayor velocidad de emergencia y establecimiento de plantulas con respecto a -0.5 y -1.5 MPa. Lo que coincide con lo encontrado por otros investigadores, cuando lograron reducir el tiempo de germinación de semillas de tomate, al reducir el potencial osmótico de las soluciones salinas de -1.6 a -1.0 MPa (Haigh *et al.*, 1986), y con lo obtenido en otros estudios en donde los niveles más bajos de polietilenglicol redujeron significativamente la germinación de semillas de una leguminosa forrajera *Astragalus cicer* L. con respecto a los niveles superiores (Albernethy, 1987). Además, parece existir una cierta tendencia con el $Zn(NO_3)_2$, de que a medida que la solución está más concentrada, hay un incremento paulatino en la emergencia de plántulas y por el contrario, a una mayor concentración de $(NH_4)_2HPO_4$ y NH_4NO_3 la emergencia de plántulas se reduce drásticamente, siendo el efecto más perjudicial con $(NH_4)_2HPO_4$. Esto concuerda con lo obtenido por Mikkelsen y Sinah (1961) quienes mencionan que particularmente algunas soluciones a base de amonio como $NH_4H_2PO_4$, NH_4NO_3 y $(NH_4)_2SO_4$, utilizadas en altas concentraciones para osmoacondicionar semillas de

arroz, presentaron efectos deletereos sobre los porcentajes de germinación.

Por último, es importante volver a mencionar el hecho de que los testigos (prehumedecimiento con agua y testigo absoluto) en los experimentos realizados variando el potencial osmótico, mostraron porcentajes de emergencia muy diferentes. Con esto se infiere que pudieron existir efectos de factores como temperatura y luz entre otros, debido a que estos ensayos tuvieron fechas diferentes que pudieron provocar variación en el ambiente, haciendo que la emergencia de plántulas no fueran similares aun y cuando el tratamiento a las semillas testigo fueron los mismos en cada experimento.

En la Figura 4.7 se puede observar claramente que la mayoría de las soluciones salinas redujeron el tiempo a 75 por ciento de emergencia de plántulas, cuando se utilizaron potenciales osmóticos de -1.0 MPa. Con respecto al $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, aun y cuando incrementó drásticamente el tiempo de emergencia, guardó la misma relación que el resto de sales exceptuando al $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, cuya respuesta no fue en el mismo sentido que la mostrada por las demás soluciones.

Los resultados de estos experimentos sirvieron para determinar dos de las mejores sales y potencial osmótico,

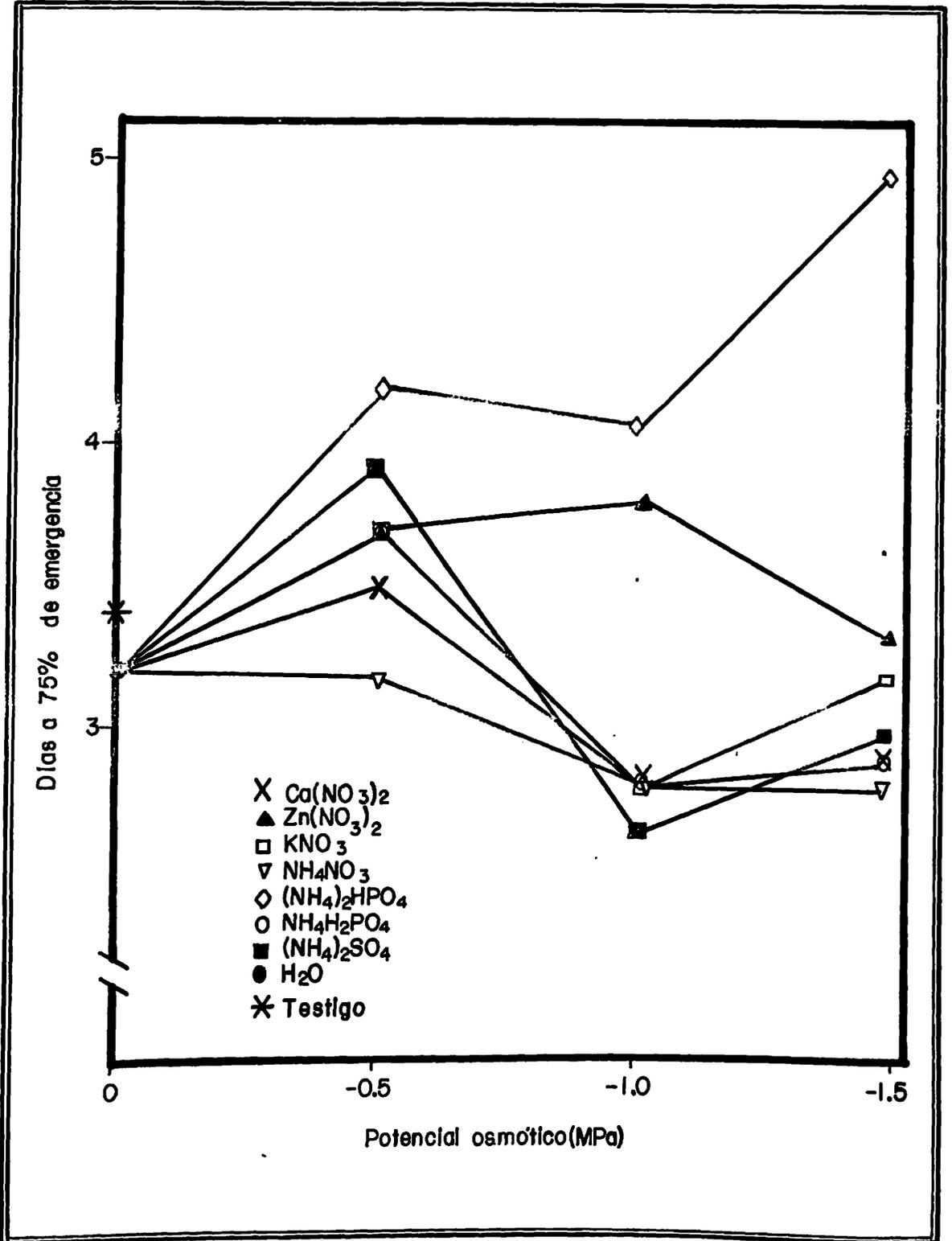


Figura.4.7. Días para alcanzar 75% de emergencia de plántulas de maíz, en respuesta al osmocondicionamiento de la semilla con diversas soluciones salinas, a potenciales osmóticos de -0.5, -1.0 y -1.5 MPa.

para utilizarlas como medio de comparación con tres soluciones salinas fosfatadas (KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 y Na_2HPO_4), con el fin de ampliar el número de sales minerales en estudio y encontrar la más representativa para utilizarla en los experimentos posteriores.

Los resultados se muestran en el Cuadro 4.1 y Figura 4.8, donde se observa un 30.7 y 31.3 por ciento de plantas emergidas al segundo día después de la siembra, cuando las semillas fueron osmoacondicionadas con KH_2PO_4 y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ respectivamente, mientras que el testigo absoluto únicamente logró en este mismo período de tiempo un 16.7 por ciento, uniformizándose la emergencia de plántulas en todos los tratamientos incluyendo a los testigos, a partir del tercer día.

El análisis de varianza para porcentaje de emergencia al tercer día después de la siembra (Cuadro A.7) indica diferencia significativa entre los tratamientos y en donde una prueba de comparación de medias de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad (Cuadro A.8), mostró que el tratamiento con KH_2PO_4 resultó numéricamente superior, pero estadísticamente fue igual al resto, exceptuando a Na_2HPO_4 , quien ocupó un segundo grupo de significancia.

En base a lo observado se puede decir que el ion H_2PO_4^- fue muy efectivo cuando estaba en compañía con el K^+ y no con el NH_4^+ o Na^+ . Asimismo, el ion HPO_4^- vuelve a ser

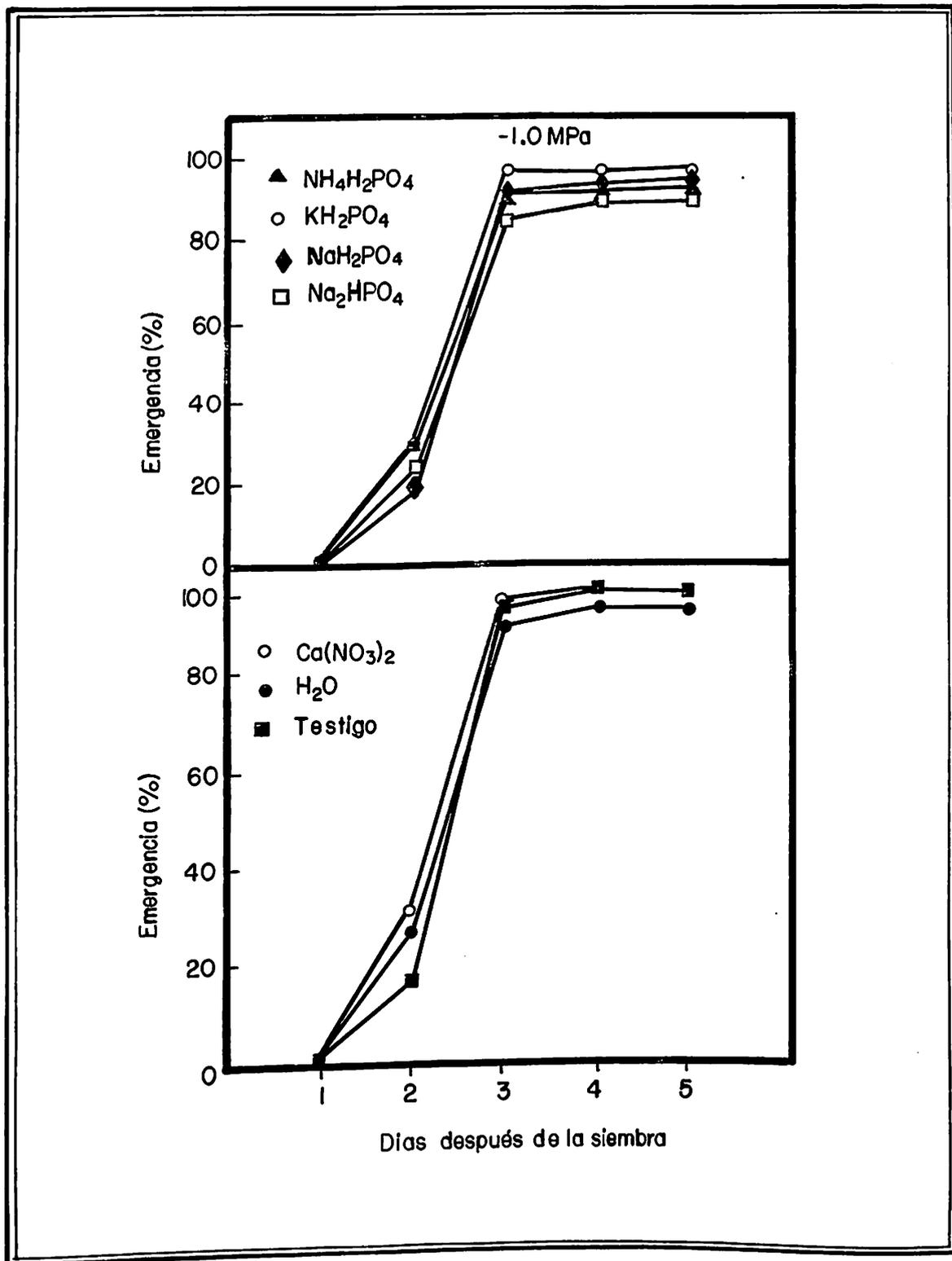


Figura. 4.8. Emergencia de plántulas de maíz, en respuesta al osmocondicionamiento de la semilla con diversas soluciones salinas, a potencial osmótico de -1.0MPa .

el menos efectivo ahora que estuvo en compañía del Na_2 .

Cuadro 4.1. Concentración de datos de porcentajes de emergencia diaria de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas empleando un potencial osmótico de -1.0 MPa.

Tratamiento	Días después de la siembra			
	2	3	4	5
	% de emergencia			
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2^*$	31.3	94.7	97.3	97.3
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4^*$	29.3	91.3	92.7	92.6
KH_2PO_4	30.7	97.3	97.3	98.0
NaH_2PO_4	19.3	91.3	94.3	95.3
Na_2HPO_4	24.6	85.3	89.3	90.0
<u>Testigos</u>				
H_2O	27.3	90	94	94.0
T. absoluto**	16.7	94	97.3	97.3

*Sales minerales sobresalientes en anteriores experimentos

**Semillas sin recibir ningún tratamiento

Efecto del Osmoacondicionamiento con Diversas Soluciones Salinas, utilizando Semillas Envejecidas

En el estudio realizado para determinar el efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas, utilizando semillas de maíz almacenadas durante dos años, se encontró (Cuadro 4.2) que la mejor respuesta fue con KH_2PO_4 ; observándose que para el tercer día después de la siembra (Figura 4.9) se obtuvieron porcentajes de

Cuadro 4.2 Concentración de datos de porcentajes de emergencia diaria de semillas de maíz con dos años de almacenamiento, osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas.

Tratamiento (-1.0 MPa)	Días después de la siembra				
	2	3	4	5	6
	Porcentaje de emergencia				
KNO_3	7.3*	63.3	70.6	71.6	71.6
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	3.3	60.6	72.6	74.0	74.0
NH_4NO_3	0.6	45.3	56.0	56.6	56.6
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	0.0	43.3	58.0	61.3	62.6
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	3.3	59.3	70.0	70.0	72.0
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1.3	59.3	65.3	71.3	71.3
KH_2PO_4	13.3	79.3	84.6	84.6	85.3
Na_2HPO_4	0.6	42.6	59.3	62.0	64.0
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	0.0	22.0	30.0	32.0	35.0
NaH_2PO_4	6.6	63.3	70.6	72.6	73.3
<u>Testigos</u>					
H_2O	10.6	70.0	84.0	86.0	86.6
T. absoluto	0.0	43.3	76.8	80.3	81.3

*Cada valor es el promedio de tres repeticiones

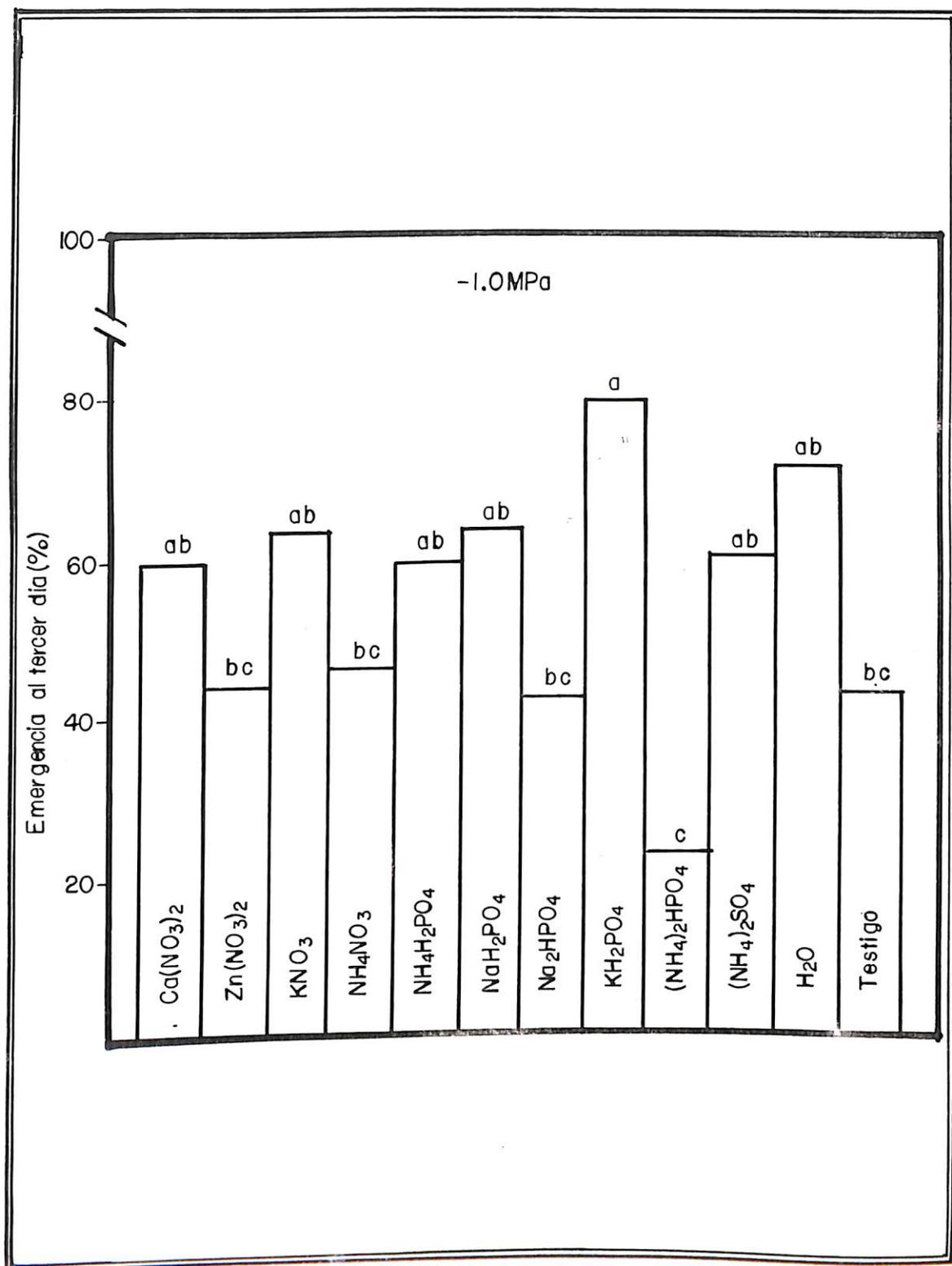


Figura 4.9. Efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz (al tercer día después de la siembra), utilizando semillas envejecidas. Separación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey, al 5% de probabilidad.

emergencia del 79.3 por ciento con KH_2PO_4 y hasta 22 por ciento cuando el tratamiento se hizo con $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.

Es importante señalar el hecho de que los resultados obtenidos con semillas envejecidas (Figura 4.9) presentan la misma tendencia que los obtenidos con las de alto vigor (Figura 4.3) utilizando las mismas soluciones salinas y potencial osmótico, únicamente que los porcentajes de emergencia en este caso son más reducidos, pero guardan la misma relación entre ellos. Por lo que se infiere que el efecto de cada una de las soluciones sobre la emergencia de plántulas es el mismo, sin importar la edad de la semilla.

El análisis de varianza para porcentaje de emergencia (Cuadro A.9) indica la diferencia significativa entre tratamientos, por lo que se deduce que la emergencia de plántulas al tercer día después de la siembra utilizando semillas envejecidas dependerá del tratamiento osmótico que se le proporcione.

Por otra parte la comparación de medias mediante una prueba de rango múltiple de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad (Cuadro A.10) detectó que los tratamientos de KH_2PO_4 , KNO_3 y agua fueron superiores.

Se sabe que el potasio aparte de actuar como regulador osmótico debido a que se le encuentra en abundancia en el jugo citoplásmico, tiene profundos efectos sobre las propiedades de las membranas celulares, por lo cual se deduce que el tratamiento de semillas envejecidas con soluciones salinas que contengan iones potasio, permiten la restauración de algunos daños en las membranas celulares, causados por el tiempo y condiciones de almacenamiento a las que son sometidas estas semillas. Solanski y Joshi (1985) y Kopylov (1988) señalan el beneficio que se obtiene en los porcentajes de emergencia de plántulas de semillas envejecidas, que fueron osmoacondicionadas con soluciones a base de potasio como KH_2PO_4 y KMnO_4 .

En base a estos resultados, se deduce que el osmoacondicionamiento de semillas envejecidas y de reciente cosecha, utilizando soluciones a base de potasio como KH_2PO_4 , reduce el tiempo requerido para lograr un mejor establecimiento de plántulas en el menor tiempo posible.

Efecto del Osmoacondicionamiento con Diversas Soluciones Salinas a Diferente pH

En el estudio realizado para determinar el efecto del pH de las diversas soluciones salinas, se encontró (Figura 4.10) que al tercer día después de la siembra, no

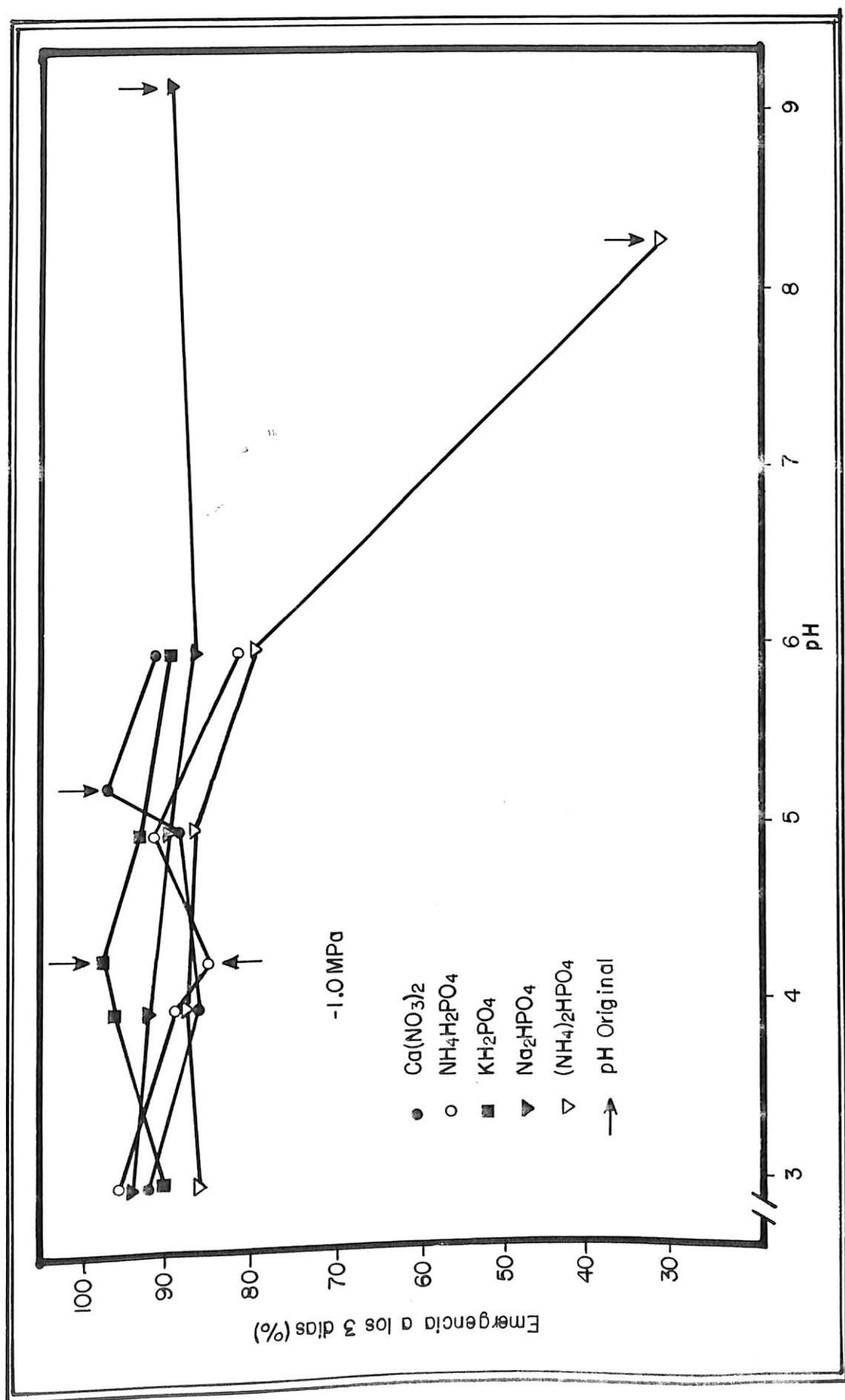


Figura. 4.10. Efecto del pH de diferentes soluciones osmocondicionadoras (potencial osmótico de -1.0MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.

hubo mucha variación en los porcentajes de emergencia para todas las soluciones empleadas a los diferentes niveles de pH; ya que los valores son de 81.3 por ciento el más bajo y 96.7 por ciento el más alto, apreciándose en la mayoría de los casos una leve tendencia a incrementarse cuando se empleó el pH original de las soluciones. La excepción es $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, cuyos efectos fueron mejores cuando su pH se ajustó a 3, 4, 5 y 6, que a su pH original, donde los porcentajes de emergencia permanecieron en un nivel muy bajo (31.3 por ciento).

En el Cuadro A.11 se presentan los resultados del análisis de varianza para los porcentajes de emergencia después del tercer día de siembra, donde se observa significancia estadística entre soluciones salinas, niveles de pH y la interacción de ambos factores.

En el caso de los niveles de pH se realizó una prueba de comparación de medias (Tukey al 5 por ciento de probabilidad), encontrándose (Cuadro A.12) que por lo general los niveles de pH de 3 a 5 fueron estadísticamente superiores al resto incluyendo el pH original de cada una de las soluciones, el cual quedó incluido en un tercer grupo, junto con los dos niveles más altos (5 y 6). Por lo tanto, debido a que en tres de las cinco soluciones salinas empleadas, sus pH originales estuvieron por debajo de estos valores, éstas fueron agrupadas en el primer grupo de clasificación estadística como tratamientos superiores.

Estos resultados demuestran el porque en los experimentos anteriores, el $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ a cada uno de los potenciales osmóticos empleados, fue siempre una de las soluciones menos efectivas para estimular la emergencia de plantulas, probablemente debido al alto pH original (8.3), el cual al ser absorbida por la semilla en estas condiciones, ejerció cierta acción tóxica en sus células, ocasionando una reducción en los porcentajes de emergencia. Esto es factible de acuerdo a las aseveraciones de algunos investigadores, al sugerir que valores de pH cercanos o por encima de nueve de las soluciones nutritivas pueden ser perjudiciales dependiendo del tipo de sal empleada y de la velocidad de absorción de sus aniones y cationes, que hacen que el pH de la solución se eleve o reduzca dependiendo del ion asimilado con mayor rapidez (Maximov, 1946). Al comparar la respuesta obtenida con Na_2HPO_4 y $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, se puede deducir que el Na ejerce un efecto menos negativo que el NH_4 , y que el efecto de este último se mejora al reducirse el pH de la solución. Esto también nos indica que el anion HPO_4 tendrá un efecto negativo, dependiendo del cation que lo acompaña.

Efecto de la Falta de Aireación Durante el Osmoacondicionamiento con KH_2PO_4

Los resultados de este experimento muestran (Figura 4.11) que a los dos días después de la siembra existe un

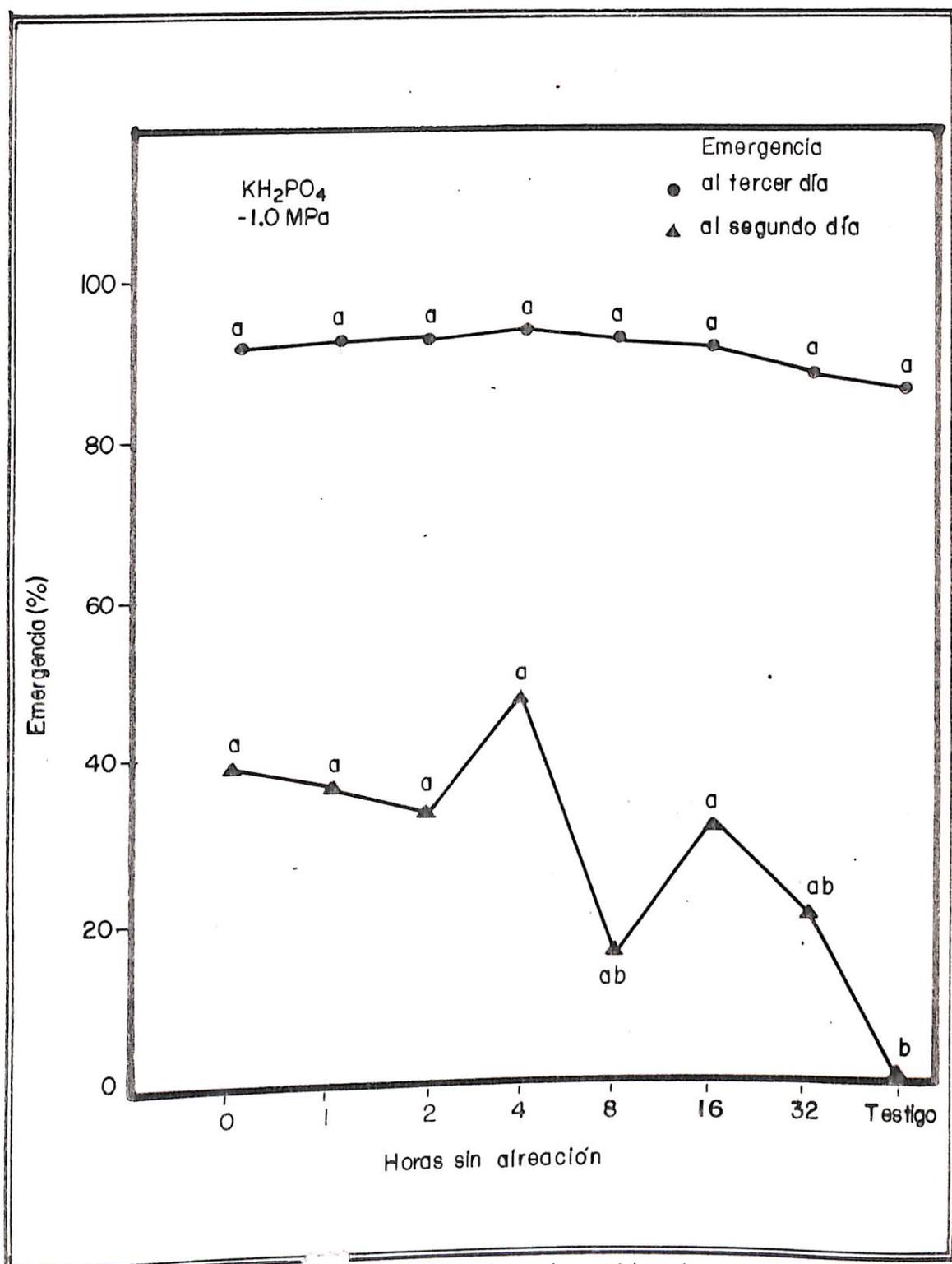


Figura 4.11. Efecto de la falta de aireación durante el osmocondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al segundo y tercer día después de la siembra.
 Separación de medias en la misma fecha por la prueba de rango múltiple de Tukey al 5% de probabilidad.

pequeño decremento en los porcentajes de emergencia a medida que el tiempo sin aireación (al inicio del osmoacondicionamiento) se incrementó de cero a 2 hr, así como un incremento y una reducción drástica cuando se emplearon 4 y 8 hr respectivamente, a partir de donde la emergencia se redujo notablemente cuando se emplearon 16 y 32 hr, las cuales son consideradas como la mitad del tiempo y el tiempo completo sin aireación durante el período de osmoacondicionamiento de la semilla. Además se muestra que el testigo (semilla sin osmoacondicionamiento) no registró ninguna plántula emergida en este período de tiempo. Esto nos indica que realmente existe una gran dependencia entre la utilización de períodos reducidos sin aireación al inicio del osmoacondicionamiento y la rápida emergencia de plántulas, tomando en cuenta el hecho de que con períodos menores de 4 hr, los porcentajes de emergencia fueron superiores al resto.

Por otra parte, al tercer día después de la siembra, los resultados obtenidos para cada período sin aereación inicial fueron bastante similares e incluyendo al testigo absoluto, observándose pequeños incrementos en los porcentajes de emergencia a medida que el tiempo sin aireación se incrementó de cero a 4 hr, y un decremento paulatino cuando se emplearon períodos de 4 a 32 hr.

El análisis de varianza para porcentajes de emergencia a los tres días después de la siembra (Cuadro A.13), muestra que no existe diferencia estadística entre tratamientos, pero de acuerdo a la comparación de medias (Cuadro A.14) se observa que numéricamente el tratamiento que proporcionó el más alto valor de plántulas emergidas, sigue siendo aquel de 4 hr sin aireación al inicio del osmoacondicionamiento. Observándose además, que el tratamiento con aireación durante todo el tiempo que duró el osmoacondicionamiento, presentó los valores más bajos al igual que cuando el período sin aireación fue de solamente una hora. Esto difiere en cierto modo con lo encontrado por otros investigadores al osmoacondicionar semillas de remolacha con soluciones de $MgSO_4$ en condiciones aeróbicas y anaeróbicas, quienes observaron que las ventajas del osmoacondicionamiento se redujeron cuando se hizo en condiciones anaeróbicas (Khan *et al.*, 1983). Sin embargo, los resultados de este estudio van de acuerdo con lo observado por Come y Tissaoui (1975) quienes afirman que las condiciones de anaerobiosis parciales al inicio de osmoacondicionamiento no necesariamente son perjudiciales para la germinación de la semilla, siempre y cuando no se prolonguen demasiado.

Efecto del Osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 Sobre la Emergencia a Bajas Temperaturas

En los experimentos llevados a cabo para determinar el efecto del osmoacondicionamiento sobre la emergencia de plántulas a bajas temperaturas, se encontró que un estrés de frío al inicio de la germinación (nueve días) empleando temperaturas de 5 y 10°C inhibió completamente la emergencia de plántulas, pero al colocarse después de este período a condiciones óptimas de temperatura (25°C), se observó (Figura 4.12) que la semilla osmoacondicionada presentó mejores porcentajes de emergencia, cuando la temperatura inicial fue de 5°C, comparado con el testigo (semilla sin tratar) el cual al tercer día después de colocarse en condiciones óptimas de germinación (25°C) presentó un 65.3 por ciento de plántulas emergidas contra 43.3 de las semillas osmoacondicionadas. Esta diferencia representó un 22 por ciento de incremento en la emergencia de plántulas de semillas sin osmoacondicionar, con respecto a las osmoacondicionadas con KH_2PO_4 .

Sin embargo, cuando la temperatura inicial fue de 10°C, el osmoacondicionamiento de la semilla incrementó los porcentajes de emergencia con respecto al testigo en un 36, 28, 26, y 23 por ciento a los 11, 12, 13 y 14 días después de la siembra. Por otra parte, en la Figura 4.13 también se muestra el beneficio del osmoacondicionamiento cuando la

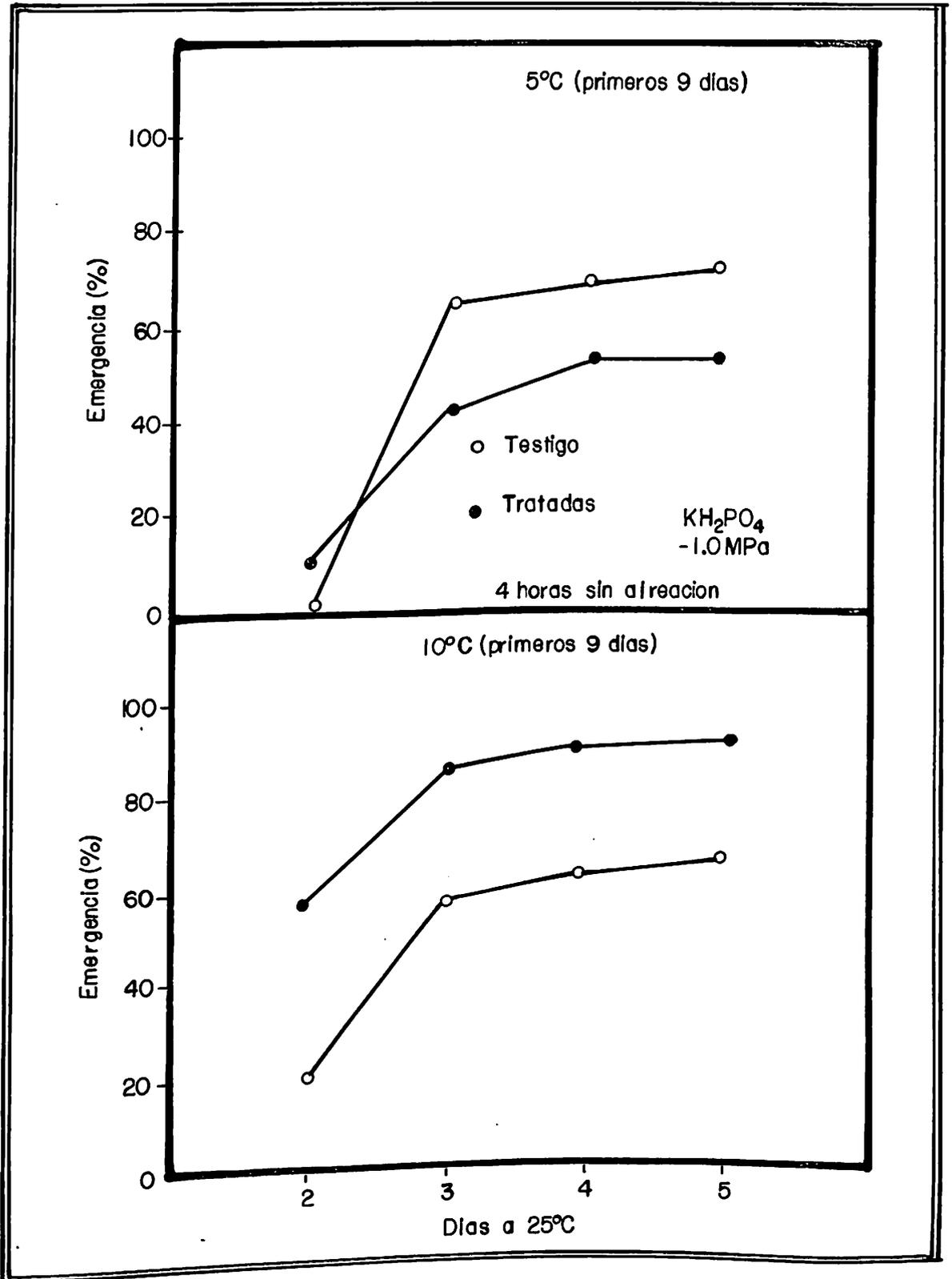


Figura. 4.12. Efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 horas sin aireación), sobre la emergencia de plántulas de maíz (a 25°C), cuya semilla fue sometida a bajas temperaturas (5 y 10°C) durante el inicio de la germinación.

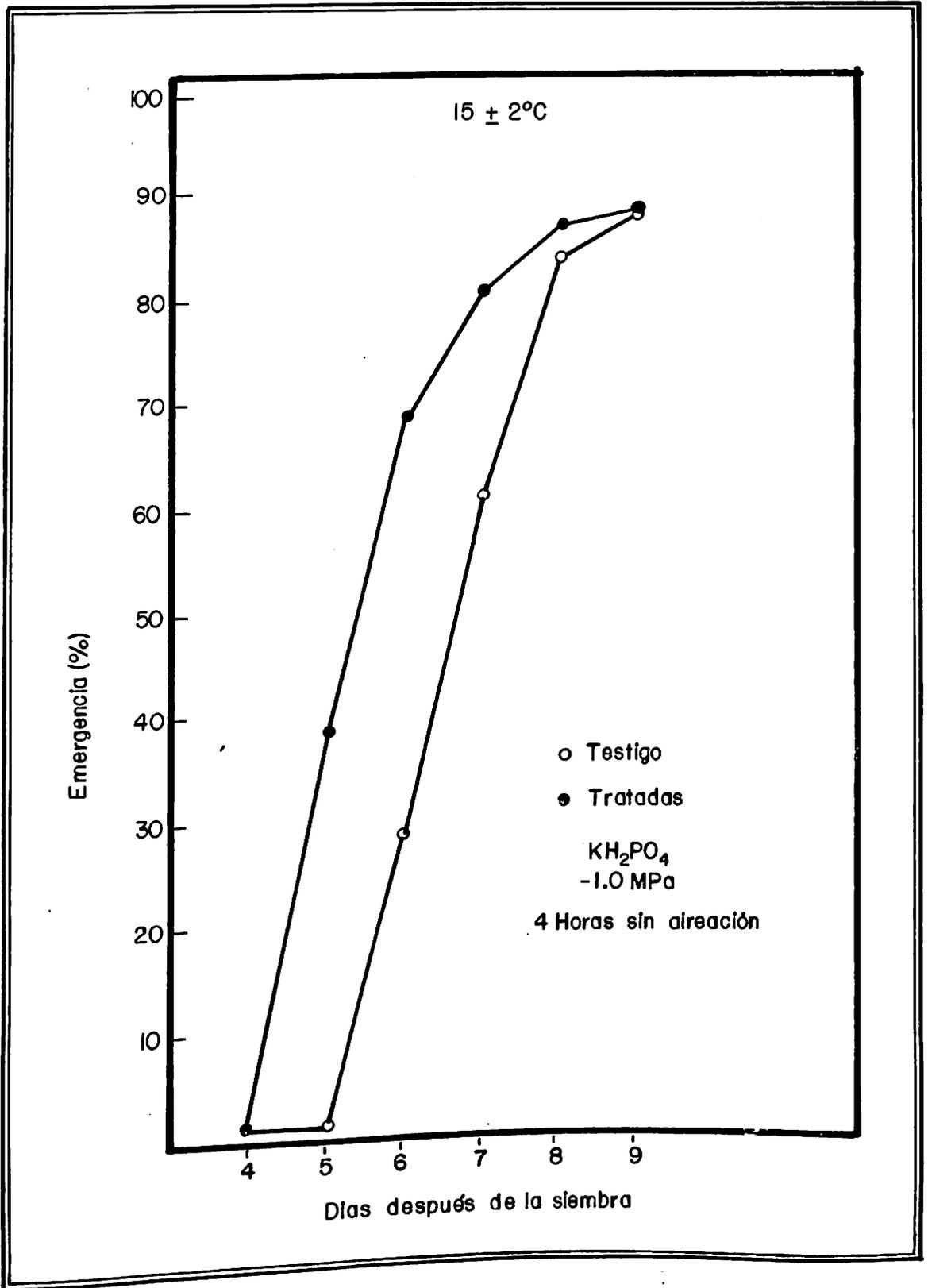


Figura. 4.13 Efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 horas sin aireación), sobre la emergencia de plántulas de maíz a $15 \pm 2^\circ\text{C}$.

temperatura de germinación fue de $15 \pm 2^{\circ}\text{C}$, ya que al quinto y sexto día después de la siembra se obtuvieron 39 y 69 por ciento de plántulas emergidas, respectivamente, en comparación al testigo, que en el mismo período de tiempo tuvo porcentajes de emergencia de 0.7 y 29 por ciento. A los nueve días después de la siembra, la emergencia fue similar en testigo y semilla osmoacondicionada.

El análisis de varianza para el porcentaje de emergencia de semillas sometidas a estrés inicial de frío (5 y 10°C), nos muestra que a los 12 días después de la siembra (Cuadro A.15) la respuesta de las semillas osmoacondicionadas y sin osmoacondicionar fue estadísticamente diferente.

Por otra parte, el análisis de varianza para el porcentaje de emergencia a $15 \pm 2^{\circ}\text{C}$ después de cinco días de sembrado (Cuadro A.16) señala diferencias significativas entre tratamientos, por lo que se considera que el rápido establecimiento de plántulas dependió del tratamiento osmótico proporcionado a la semilla antes de la siembra.

Con estos resultados se infiere que el osmoacondicionamiento de la semilla de maíz proporciona beneficios considerables para lograr incrementar hasta en un 40 por ciento el número de plántulas emergidas, al sembrarse ésta a temperaturas por debajo de las óptimas.

Sin embargo, también se demuestra la incapacidad del osmoacondicionamiento para estimular la emergencia, cuando las temperaturas del suelo descienden a valores cercanos a 5°C durante el inicio de la germinación. Esto puede ser debido a que estas semillas al haber iniciado los procesos preliminares de la germinación y al someterse repentinamente a temperaturas tan bajas como 5°C , son mayormente susceptibles a sufrir un deterioro a nivel celular, reduciéndose los porcentajes de germinación y emergencia. Por el contrario, las semillas sin osmoacondicionar pueden entrar en un estado de reposo causado por la baja temperatura, iniciando su germinación en forma normal al someterse después a temperaturas óptimas de 25°C . Esto corrobora en parte lo encontrado por Christiansen (1968) quien menciona que la exposición de las semillas a temperaturas de 5°C durante su germinación puede dañarlas de tal manera que las subsecuentes funciones de la germinación pueden inhibirse. Además estos resultados también van de acuerdo con los encontrados por otros investigadores, cuando al someter semillas osmoacondionadas a temperaturas entre 10 y 20°C para su germinación y emergencia, éstas se estimularon significativamente en las semillas tratadas con respecto a las que no recibieron ningún tratamiento (Sullivan y Bouw, 1984; Bradford, 1985).

En la figura 4.14 se presentan los resultados obtenidos del peso fresco de tallo y altura de plántula de

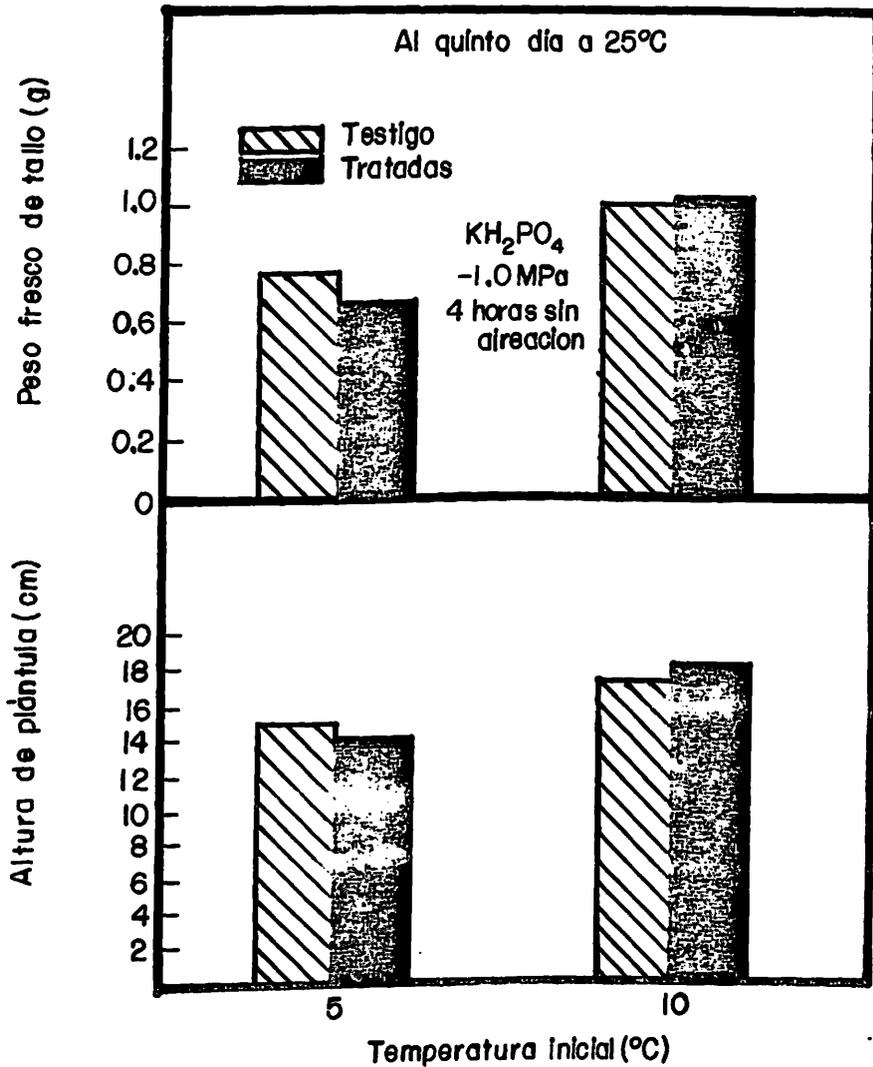


Figura. 4.14. Efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0MPa y 4 horas sin aireación), sobre el peso fresco de tallo y altura de plántula de maíz (al quinto día a 25°C), cuya semilla fue sometida a bajas temperaturas (5°C o 10°C) durante el inicio de la germinación.

semillas tratadas y sin tratar, después de haberse sometido a temperaturas iniciales de germinación de 5 y 10°, detectándose que las semillas que no se trataron produjeron plántulas de mayor peso y más altura cuando se les proporcionó un estrés inicial de 5°C. Sin embargo, cuando se sometieron a temperaturas de 10°C, consideradas aun críticas para la emergencia de plántulas de maíz, el osmoacondicionamiento de la semilla mejoró el peso de tallos y altura de plántulas. El beneficio del tratamiento fue mayor cuando se empleó una temperatura de germinación de 15±2°C (Figura 4.15). Esto coincide con lo encontrado por Kathiresan y Gnanarethinam (1985a) quienes incrementaron los porcentajes de germinación, peso seco de raíz y peso seco de plántulas, cuando trataron semillas de girasol con KNO₃, la cual también fue confirmado por Holley *et al.* (1984).

Lo anterior indica que la siembra de semillas osmoacondicionadas, a temperaturas iniciales de germinación cercanas a 5°C, aparte de reducir los porcentajes de emergencia también afectan el desarrollo de las plántulas. Por otra parte, considerando que la temperatura óptima de germinación y crecimiento de plantas del maíz se encuentra entre los 25 y 30°C, el hecho de que los parámetros anteriores se hayan visto favorecidos por el osmoacondicionamiento de la semilla que fue sometida para su germinación a temperaturas de 10 y 15±2°C, puede ser un hecho alentador para aquellas áreas agrícolas

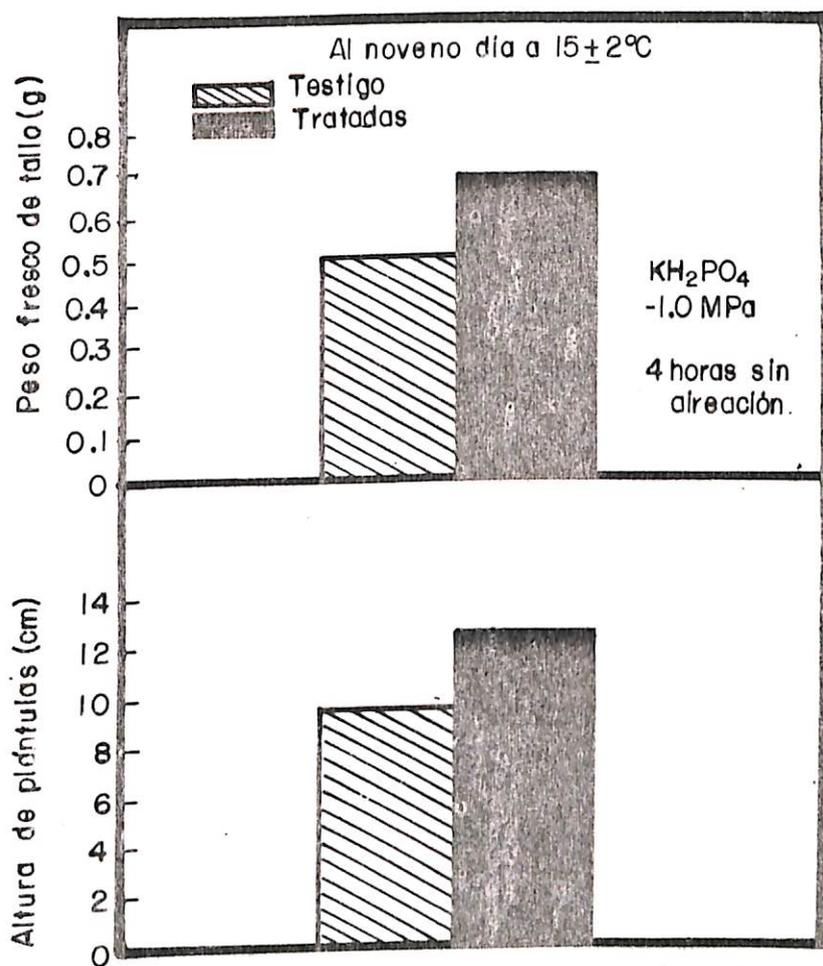


Figura. 4.15. Efecto del osmoacondicionamiento KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 horas sin aireación), sobre el peso fresco de tallo y altura de plántula de maíz, al noveno día a $15 \pm 2^\circ\text{C}$.

caracterizadas por la presencia de temperaturas frías la mayor parte del año, o para realizar siembras tempranas con inviernos fríos.

Efecto del Osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 Sobre la Germinación Bajo Condiciones Simuladas de Sequía, Utilizando Polietilenglicol

Se encontró (Figura 4.16) una reducción progresiva de la germinación en semillas osmoacondicionadas y sin osmoacondicionar, a medida que se incrementó el potencial osmótico del polietilenglicol de tal manera que las semillas osmoacondicionadas con KH_2PO_4 y que fueron germinadas en agua destilada (potencial osmótico de cero), presentaron porcentaje de germinación al tercer día después de la siembra de casi 100 por ciento, mientras que con el resto de los potenciales osmóticos (-0.3, -0.6 y 1.2 MPa), la germinación se inhibió por completo. La misma tendencia se aprecia al quinto y séptimo día, donde en este último los porcentajes de germinación de las semillas osmoacondicionadas fueron 100, 67.3, 23.3 y 6.7 a 0, -0.3, -0.6 y -1.2 MPa, respectivamente; mientras que en semillas sin osmoacondicionar, este parámetro alcanzó valores de 99.3, 52.6, 16.7 y 0.0 por ciento, bajo las mismas condiciones de potencial osmótico. La reducción en los porcentajes de germinación fue mayor a -0.6 y -1.2 MPa, donde hubo una reducción de 76.7 y 93.3 por ciento,

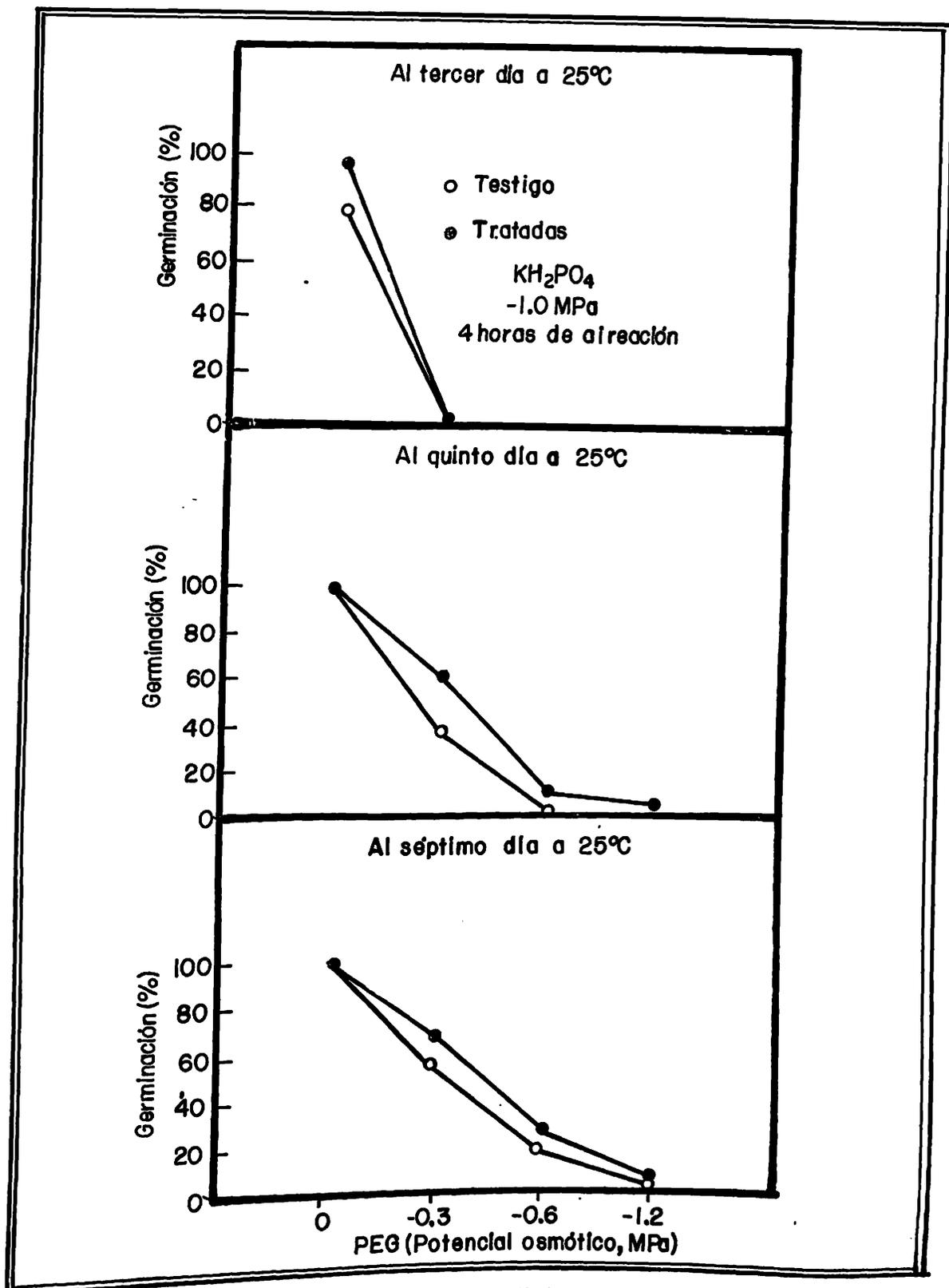


Figura. 4.16. Efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 horas sin aireación), sobre la germinación de semillas de maíz al tercer, quinto y séptimo día a 25°C, bajo condiciones simuladas de sequía (potenciales osmóticos de -0.3, -0.6 y -1.2 MPa) utilizando PEG-6000.

respectivamente, en semillas osmoacondicionadas, contra 83.3 y 100 por ciento en las que no recibieron el tratamiento, esto con respecto a los valores obtenidos cuando la siembra se hizo en agua (cero MPa). Esto concuerda con lo reportado por Parmar y Moore (1966) quienes al someter en el laboratorio semillas de maíz de alto y bajo vigor a condiciones simuladas de sequía, utilizando polietilenglicol -6000, observaron decrementos de la germinación a medida que la presión osmótica de la solución se incrementó de 1 a 10 atmósferas, siendo el efecto más perjudicial en semillas de bajo vigor que en las de vigor alto.

El análisis de varianza para el porcentaje de germinación nos muestra (Cuadro A.17) que a los 7 días después de la siembra se encontró diferencia estadística entre lotes de semilla y potenciales osmóticos y que el efecto de la interacción de estos factores resultó no significativo.

En base a la diferencia estadística encontrada para los niveles de potencial osmótico, se realizó una prueba de comparación de medias (Tukey al 5 por ciento de probabilidad). Los resultados se presentan en el Cuadro A.18, donde se observa que el efecto de cada nivel es diferente, teniéndose un decremento en los porcentajes de germinación a medida que se incrementó el potencial osmótico.

Estos resultados indican que cuando una semilla es sembrada en un medio en donde tiene que ejercer un mayor esfuerzo para absorber humedad, los procesos bioquímicos y fisiológicos de la germinación se retrasan o se inhiben por completo. En este sentido, Rojas (1959); Leopold y Kriedemann (1975) y Córdova (1976) señalan que para que se inicien estos procesos en la semilla, es necesario una buena hidratación del protoplasma que facilite la activación enzimática y permita la emergencia y desarrollo de la radícula; lo que no sucede en forma adecuada cuando en el medio las condiciones de humedad son críticas, pudiéndose contrarrestar este problema mediante el osmoacondicionamiento de la semilla, que le permitiría llevar ya iniciados estos procesos, aprovechando la humedad existente para finalizar la germinación. Estos resultados son apoyados por los encontrados por Kathiresan y Gnanarethinam (1985b) quienes reportan que tratamientos osmóticos a la semilla antes de someterse a estrés de humedad, mejoraron los porcentajes de germinación. Esto también fue confirmado por Sharma (1973), Somers *et al.* (1983); Nagapada (1985) y recientemente por Chowdhory y Choudhuri (1987).

En la figura 4.17 se muestran los resultados de altura de plántulas, longitud de raíz primaria y número de raíces laterales por plántula registrados al séptimo día después de la siembra. Se puede que observar el

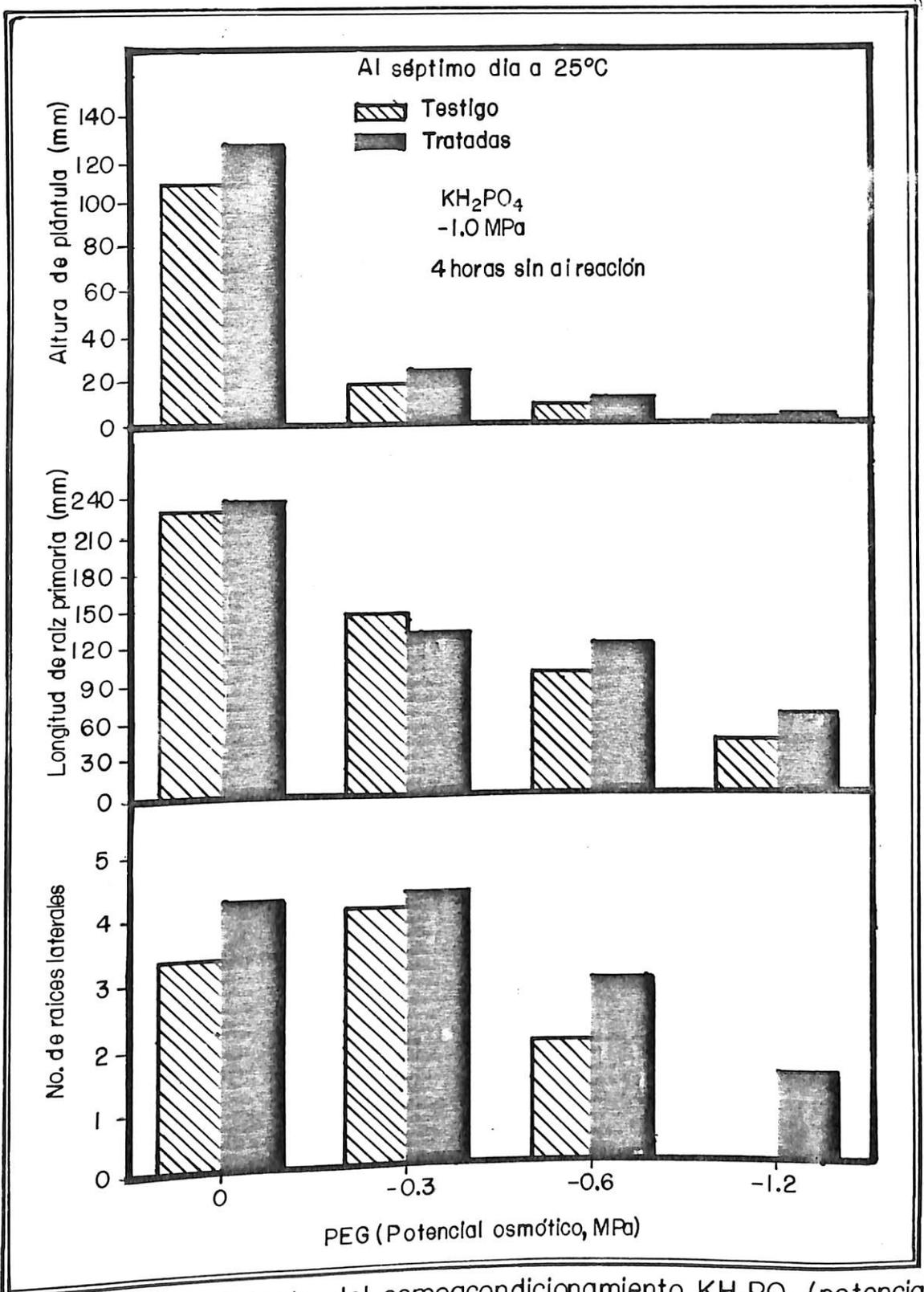


Figura. 4.17. Efecto del osmoacondicionamiento KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 horas sin aireación), sobre la altura de plántula, longitud de raíz primaria y número de raíces laterales por plántula de maíz, al séptimo día a 25°C, bajo condiciones simuladas de sequía (potenciales osmóticos de -0.3, -0.6 y -1.2 MPa), utilizando PEG -6000.

osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 , proporcionó plántulas y raíces primarias más alargadas y con mayor número de raíces laterales en todos los niveles de sequía, excepto cuando las semillas germinaron en un potencial osmótico de -0.3 MPa, donde la longitud de raíces primarias fue menor en semillas osmoacondicionadas que en semillas sin tratar. También en este mismo potencial osmótico, el número de raíces laterales por plántula se incrementó en ambos lotes de semilla, comparado con las semillas germinadas en agua (cero MPa). Sin embargo, a medida que se incrementó el potencial osmótico del polietilenglicol, la altura de plántulas decreció en mayor proporción que la longitud de raíz en los dos lotes de semillas, lo que se explica en base a la fuerte demanda de la radícula por las reservas alimenticias de la semilla, comparada con la demanda ejercida por el tallo y la poca dependencia en la toma de agua por parte de la raíz, durante las primeras etapas de desarrollo de las plantas.

En general estos resultados indican que el osmoacondicionamiento de la semilla con KH_2PO_4 además de mejorar la germinación, benefician el desarrollo de las plántulas en condiciones de escasa humedad. Esto también fue confirmado por Nagapada (1985) quien utilizó CaCl_2 en el osmoacondicionamiento de semillas de girasol.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se derivaron las siguientes conclusiones:

- El osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 a -1.0 MPa, mejoró la emergencia de plántulas de semillas de maíz, en comparación con los efectos negativos obtenidos cuando el tratamiento se hizo con $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ y $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$.
- La emergencia de plántulas de semillas envejecidas se ve positivamente favorecida cuando son osmoacondicionadas con KH_2PO_4 a -1.0 MPa.
- El pH de las soluciones salinas tiene poco efecto en la emergencia de plántulas, por lo que se pueden utilizar en su forma original, exceptuando a sales como $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ cuyo efecto se mejoró al reducir su pH a valores cercanos a 5.
- Períodos de 4 hr sin aireación al inicio del osmoacondicionamiento KH_2PO_4 a -1.0 MPa, benefician la rápida emergencia de plántulas.

- El osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 a -1.0 MPa y 4 hr sin aireación, redujo la emergencia cuando la temperatura al inicio de la germinación fue cercana a 5° . Sin embargo, cuando estas temperaturas oscilan entre 10 y 15°C la emergencia se ve considerablemente favorecida con el osmoacondicionamiento.

- El tratamiento osmótico con KH_2PO_4 a -1.0 MPa y 4 hr sin aireación, mejoró la germinación de semillas de maíz sometidas a condiciones simuladas de sequía, utilizando polietilenglicol a potenciales osmóticos de -0.3 , -0.6 y -1.2 MPa.

- Los resultados anteriores muestran claramente la posibilidad de obtener un rápido establecimiento de plántulas con el osmoacondicionamiento de la semilla, por lo que se establece la necesidad de ampliar la investigación en esta área, involucrando otros factores que permitan perfeccionar esta práctica, evaluando el efecto hasta la etapa de floración y rendimiento, y cuya información sería de gran utilidad para la producción del cultivo de maíz.

RESUMEN

El tratamiento osmótico de la semilla con sales minerales (osmoacondicionamiento), es una práctica utilizada para asegurar una rápida y buena emergencia de plántulas, particularmente si son sometidas a condiciones ambientales poco favorables. En esta investigación, se probaron 10 sales (KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 y Na_2HPO_4) a tres potenciales osmóticos (-0.5, -1.0 y -1.5 MPa) en el tratamiento de semillas de maíz del híbrido AN-310. El mejor potencial osmótico (-1.0 MPa) se utilizó para determinar si el osmoacondicionamiento mejoraba los porcentajes de emergencia de plántulas utilizando semillas envejecidas; y si el pH de las soluciones salinas tenía algún efecto sobre este parámetro. El KH_2PO_4 a un potencial osmótico de -1.0 MPa, fue empleado en el osmoacondicionamiento de la semilla con varios períodos iniciales sin aireación (0, 1, 2, 4, 8, 16 y 32 hr) con el fin de determinar si esto mejoraba los efectos del osmoacondicionamiento. Semillas osmoacondicionadas con KH_2PO_4 (-1.0 MPa y 4 hr sin aireación) fueron evaluadas en su germinación y emergencia, cuando se sometieron a bajas temperaturas (5° , 10° y $15+2^\circ\text{C}$) o a condiciones simuladas

de sequía (0, -0.3, -0.6 y -1.2 MPa) utilizando polietilenglicol -6000.

Los resultados indican que tanto en semillas recién cosechadas como en las envejecidas, el tratamiento con una solución de KH_2PO_4 a un potencial osmótico de -1.0 MPa, benefició la emergencia de plántulas y que el pH de las soluciones ejerció poco efecto, excepto con $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, quien mostró efectos negativos en la emergencia cuando estuvo a su pH original (8.3). Por otra parte, se encontró que en un período de 4 hr sin aireación al inicio del tratamiento, benefició la emergencia de plántulas al segundo día después de la siembra. Al someterse las semillas tratadas (con KH_2PO_4 a -1.0 MPa y 4 hr sin aireación inicial) a condiciones de bajas temperaturas, el osmoacondicionamiento aumentó los porcentajes de emergencia cuando la temperatura de germinación fue de 10° y $15 \pm 2^\circ\text{C}$; mientras que a 5°C , los porcentajes de emergencia fueron mayores en semillas sin tratar. Finalmente, cuando las semillas tratadas (con KH_2PO_4 a -1.0 MPa y 4 hr sin aireación) se sometieron a condiciones simuladas de sequía, la germinación decreció a medida que el potencial osmótico del polietilenglicol se incrementó de 0 a -1.2 MPa, siendo mayor el efecto en semillas que no recibieron el tratamiento.

LITERATURA CITADA

- Adegbuyi, E., S.R. Cooper and R. Don. 1981. Osmotic priming of some herbage grass seed using polyethylene glycol. Seed Sci. Technol. 9: 867-878. U.S.A.
- Albernethy, R.L. 1987. Response of Cicer Milkevetch Seed to osmocotining. Crop Sci. 27(1):117-121. U.S.A.
- Alvarado, A., J.K. Bradford and D.J. Hewitt. 1987. Osmoting priming of tomato seeds: Effects on germination field emergence, Seedling Growth, and Fruit yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112(3): 427-432. U.S.A.
- Akers, W.S., A.G. Berkowite and J. Rabin. 1987. Germination of parsley seed primed in aerated solutions of polyethylene glycol. HortScience. 22(2):250-252. U.S.A.
- Bennet, M.A., and L. Waters. 1987. Seed hidrations treatments for improved sweet corn germination and stand establishment. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112(1):45-49. U.S.A.

- Bidwell R., G.S. 1979. Fisiología Vegetal. AGT. S.A. México. p.272-286.
- Black, C.A. 1975. Relación suelo-planta. Hemisferio Sur. Tomo II. Argentina. p. 446-612.
- Bodsworth, S., and D.J. Bewley. 1981. Osmotic priming of seed of crop species with polyethylene glycol as a means of enhancing early an' synchronous germination at cool temperatures. Can. J. Bot. 59:672-676. U.S.A.
- Bonner, J., and J.E. Varner. 1976. Plant Biochemistry. 3 ed. Academic Press, Inc. p.561-598. U.S.A.
- Bradford, J.K. 1985. Seed priming improves germination and emergence of cantaloupe at low temperature. Seed Abstracts. 7(5):220. U.S.A.
- Bussel, W.T., and D. Gray. 1976. Effects of presowing seed treatments and temperatures on tomatoes seed germination and seedling emergence. Sci. Hortic. 5:101-109. U.S.A.
- Buxton, D.R., P.J. Melick, I.L. Patterson and C.A. Godinez. 1977. Evaluation of seed treatments to enhance pima cotton seedling emergence. Agron. J. 69:672-676. USA.

- Come, D., and T. Tissaoui. 1975. Interrelated effects of imbibition temperature and oxígeno on seed germination. *Seed Ecology* p. 157-167. U.S.A.
- Coolbear, P. 1979. Studies on the changes in the major nucleic acid component of tomato seed (*Lycopersicon esculentum* Mill) Resulting from osmotic presowing treatment. *J. Exp. Bot.* 30 (119):1153-1162. U.S.A.
- Copeland, L.O., and M.B. McDonald. 1985. Principles of Seeds Science and Technology. 2a. Ed. Burgess Publishing Company. p. 63-65. U.S.A.
- Córdoba C., V. 1976. Fisiología Vegetal. H. Blume. España. p. 1-17.
- Chowdhory, S.R., and M.A. Choudhuri. 1987. Effects of presoaking and dehydration on germination and early seedling growth performance of two jute species under water stress condition. *Seed. Sci. Technol.* 15:23-33. U.S.A.
- Christiansen, M.N. 1967. Periods of sensitivity to chilling in germinating cotton. *Plant physiol.* 42:431-433. U.S.A.

- _____. 1968. Induction and revention of chilling injury to radicle tips of imbibing cotton seed. Plant physiol. 43:743-746. U.S.A
- ✓ Devlin, R.M. 1975. Fisiología Vegetal. 2a. ed. Omega. S.A. España p. 280-291
- Duffus, C., and C. Slaughter. 1985. Las Semillas y sus Usos. AGT. S.A. México. p. 127-128.
- Epstein, E. 1972. Mineral Nutrition of Plant: Principles and Perspectives. John Wiley and Sons, Inc. p. 288-313. U.S.A.
- Firgany, A.M., M.H. El-Hindi and S.A. El-Moursy. 1984. Effect of seed soaking in manganese and cooper solution on onions crop. Seed Abstracts. 7(4):60. U.S.A.
- Flower, J.L. 1979. Laboratory and field response of preconditioned upland cotton seed to minimal germination temperatures. Agron. J. 71(2):223-228. U.S.A.
- Fu, J.R., D.Y. Ji and B.Z. Zhang. 1983. Preliminary report on the promotive effects of osmoconditioning on the germination of several Crop Seed. Seed Abstracts 6(11):355. U.S.A.

Goodwin, T.W., and E.I. Mercer. 1972. Introduction to Plant Biochemistry. Pergamon Press. p. 331-337. U.S.A.

Greenway, H.G. 1968. Respiratory inhibition in chlorella produced by "purified" polyethylene glycol 1540. Science 159:984-985. U.S.A.

Guedes, A.C. and D.J. Cantliffe. 1980. Germination of lettuce seeds at high temperature after seed priming. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105(6):777-781. U.S.A.

Haigh, A.M., E.W.R. Barow and F.L. Milthorpe. 1986. Field emergence of tomato, carrot and onion seed primed in a aerated salt solution. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111(5):660-665. U.S.A.

Heydecker, W.J., J. Higgins and R.L. Gultiver. 1973. Acelerated germination by osmotic seed treatment. nature 246:42-44. U.S.A.

Hobbs, P.R., and R.L. Obendorf. 1972. Interaction of initial seed moisture and imbibitional temperature on germination and productivity of soybean. Crop Sci. 12:664-667. U.S.A.



- Holley, K.E., S.W. Akers, J.E. Moates and R.W. McNew. 1984. Field emergency and yield of carrot *Daucus carota* L. seed primed in aerated KNO_3 solution. HortScience. 19:214. U.S.A.
- Idris, M., and M. Aslam. 1975. The effects of soaking and drying seed before planting on the germination and growth of *Triticum vulgare* under normal and saline conditions. Can. J. Bot. 53:1328-1332. U.S.A.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1985. International rules for seed testing. Seed Sci. Technol. 13(2):520. The Netherland.
- James W., O. 1967. Introduction a la Fisiología Vegetal. Omega, S.A. España. p. 233-240.
- Kathiresan, K., and J.L. Gnanarethnam. 1985a. Effect of different durations of drying on the germination of pre-soaked sunflower seed. Seed Sci. Technol. 13:213-217. U.S.A.
- _____. 1985b. Seed treatments for alleviating water stress on germinability on sunflower. Seed Abstracts. 8(12):396. U.S.A.

Kenneth, W.J., and D.C. Sanders. 1987. The influencia of soaking pepper seed in water or potassium salt solutions on germination at three temperature. J. Sci. Technol. 11(1):97-101. U.S.A.

Khan, A.A., N.H. Peck, A.G. Taylor and C. Samimy. 1983. Osmoaconditioning of beet seeds to improve emergence and yield in cold soil. Agron. J. 75:788-794. U.S.A.

Knypl, J.S., and A.A. Khan. 1981. Osmoaconditioning of soybean seed of improve performance at suboptimal temperature. Agron. J. 73:112-116. U.S.A.

Kopylov, V.F. 1988. Soaking seed of norway spruce in solutions of trace elements. Seed Abstracts. 11(1):14. U.S.A.

Kozlowski, T.T. 1972. Seed Biology. Academia Press. Vol. I. p. 232. U.S.A.

Leopold, C.L., and P.E. Kriedemann. 1975. Plant Growth and Development. 2a. ed. McGraw-Hill Book Company. p. 224-226. U.S.A.

Lyles, L., and C.D. Fanning. 1964. Effects of presoaking, moisture tention and soil salinity on the

emergence of grain sorghum. Agron. J. 56:518-520.
U.S.A.

Lyptay, A., and P. Schopfer. 1983. Effect of water stress, seed coat restraint and abscisic acid upon different germination capabilities of two tomato lines at low temperature. Plant Physiol. 73:935-938. U.S.A.

Maximov, N.A. 1946. Plant Physiology. 2a. ed. McGraw-Hill Book Company, Inc. p. 219-276. U.S.A.

Mexal, J. 1975. Oxygen availability in polyethylene glycol solutions and its implications in plant-water relations. Plant Physiol. 55:20-24. U.S.A.

Meyer, B.S., D.B. Anderson, R.H. Bonning and D.G. Fratianne. 1973. Introduction to Plant Physiology. 2a. ed. D. Van Nostrand Company. p. 308-318. U.S.A.

Mikkelsen, D.S., and M.N. Sinah. 1961. Germination inhibition in *Oryza sativa* and control by preplanting soaking treatments. Crop Sci. 1:332-335. U.S.A.

Miller E., V. 1967. Fisiología Vegetal. UTHEA. México. p. 134-143.

- Nagapada, D. 1985. Studies on presowing seed hardening in sunflower: Effect on growth and productivity. Seed Abstracts. 8(11):350. U.S.A.
- Parmar, M.T., and R.P. Moore. 1966. Effects of simulated drought by polyethylene glycol solutions on corn (*Zea mays* L.) germination and seedling development. Agron. J. 58:391-392. U.S.A.
- Perry, D.A. 1981. Handbook of vigour test. Methods International Seed Testing Association (ISTA). p. 72. Switzerland.
- Rennick, G.A., and P.I. Tiernan. 1978. Some effects of osmopriming on germination growth and yield of celery (*Apium graveolens*). Seed Sci. Technol. 6:695-700. U.S.A.
- Rivas, M., J.F. Sundstrom and L. R. Edwards. 1984. Germination and crop development of hot pepper after seed priming. HortScience. 19(2):279-280. U.S.A.
- Rojas G., M. 1959. Principios de Fisiología. UNAM. México. p. 103-171.

- Salter, P.J. and R.J. Darby. 1976. Synchronization of germination of celery seeds. *Ann Appl. Biol.* 64:415-424. U.S.A.
- Sharma, M.L. 1973. Simulation of drought and its effect on germination on five pasture species. *Agron. J.* 65:982-986. U.S.A.
- Solanski, S.S., and R.P. Joshi. 1985. Effect of different chemicals on invigoration in seed germination of cucumber (*cucumis sativus* L.) and capsicum (*Capsicum annuum*). *Progressive Horticulture* 17(2):122-124. U.S.A.
- Somers, D.A., S.E. Ullrich and M.F. Ramsay. 1983. Sunflower germination under simulated drought stress. *Agron. J.* 75:570-572. U.S.A.
- Sullivan, J., and W.J. Bouw. 1984. Pepper seed treatments for low-temperature germination. *Can. J. Plant Sci.* 64(2):387-393. U.S.A.
- Szoke, P., and Z. Szentpetery. 1984. Effect of presowing trance element treatment of maize seeds on germination. *Seed Abstracts.* 7(4):59. U.S.A.

Thomas, R.O., and M.N. Christiansen. 1971. Seed hydration-chilling treatment effects on germination and subsequent growth and fruiting of cotton. *Crop. Sci.* 11:454-455. U.S.A.

Van Steveninck, R.F.M., M.E. VanSteveninck, D.R. Fernando, D.L. Goodbold, W.J. Horst and H. Marschmer. 1987. Identification of zinc-tolerant ecotype of *Deschampsia caespitosa*. *J. Plant Nutr.* 10(9-16):1239-1246. U.S.A.

William, J.B., A.C. Leopold and D.J. Parrish. 1978. Chilling stress to soybeans during imbibition. *Plant Physiol.* 61:525-529. U.S.A.

Wolfe, D.W., and W.L. Simens. 1982. Effects of osmoconditioning and fluid drilling of tomato seed on emergence rate and final yield. *Hort Science.* 17(6):936-937. U.S.A.

APENDICE A

Cuadro A.1. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -0.5 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz al tercer día después de la siembra.

F.V.	GL	SC	CM	FC	F α	
					0.05	0.01
Tratamientos	8	2926.51	365.81	2.18NS	2.59	3.69
Bloques	2	5488.41	2744.41	16.38		
Error	16	2680.24	167.51			
Total	26	11095.17				

NS No significancia entre tratamientos

Cuadro A.2. Comparación de medias del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -0.5 MPa).

Tratamiento	Emergencia (%)	Clasificación
NH_4NO_3	56.70	a
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	43.97	
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	40.63	
KNO_3	37.70	
H_2O	36.90	
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	34.23	
T. Absoluto	28.46	
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	22.67	
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	21.13	a

CME = 107.51

DMH = 37.58
C. V. = 30.01%

Cuadro A.3. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa), al tercer día después de la siembra.

F.V.	GL	SC	CM	FC	F α	
					0.05	0.01
Tratamientos	8	3370.8	421.4	6.70**	2.59	3.69
Bloques	2	593.4	296.7	4.72		
Error	16	1004.9	62.8			
Total	26	4969.1				

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A.4. Comparación de media del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa).

Tratamiento	Emergencia (%)	Clasificación
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	81.17	a
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	78.30	
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	75.07	
H_2O	73.57	b
NH_4NO_3	72.87	
KNO_3	69.17	c
T. Absoluto	65.40	a
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	51.03	b
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	46.93	c

CME = 02.8

DMH = 23.01
CV = 11.6%

Cuadro A.5. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.5 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.

FV	GL	SC	CM	FC	F α	
					0.05	0.01
Tratamientos	8	5308.10	663.51	6.16**	2.59	3.69
Bloques	2	1051.04	525.52	4.87		
Error	16	1723	107.69			
Total	26	8082				

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A.6. Comparación de medias del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.5 MPa).

Tratamiento	Emergencia (%)	Clasificación	
H ₂ O	68.63	a	
(NH ₄) ₂ SO ₄	65.33		
Ca(NO ₃) ₂	65.27		
NH ₄ H ₂ PO ₄	67.07		
KNO ₃	56.57		
T. Absoluto	53.36		
ZN(NO ₃) ₂	52.76		
NH ₄ NO ₃	44.23	a	b
(NH ₄) ₂ HPO ₄	21.17		b

CME = 107.69

DMH = 30.13
C. V. = 18.90%

Cuadro A.7. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.

FV	GL	SC	CM	FC	F_{α}	
					0.05	0.01
Tratamientos	6	316.68	52.78	4.17*	3.00	4.82
Bloques	2	19.93	9.96	0.87		
Error	12	151.66	12.63			
Total	20	488.28				

*Diferencia significativa

Cuadro A.8. Comparación de medias del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa).

Tratamiento	Emergencia (%)	Clasificación
KH_2PO_4	80.77	a
$Ca(HO_3)_2$	76.87	b
T. Absoluto	75.97	
$NH_4H_2PO_4$	73.27	
NaH_2PO_4	73.27	
H_2O	71.93	a
Na_2HPO_4	67.47	b

CME = 12.63

DMH = 10.16
CV = 4.79 %

Cuadro A.9. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con diferentes soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz (al tercer día después de la siembra), utilizando semillas envejecidas.

FV	GL	SC	CM	FC	F α	
					0.05	0.01
Tratamientos	11	2888.33	262.57	8.10**	2.26	3.19
Bloques	2	72.45	36.22	1.11		
Error	22	712.46	32.38			
Total	35	3673.25				

** Diferencia significativa

Cuadro A.10. Comparación de medias del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas almacenadas por dos años y posteriormente osmoacondicionadas con diferentes soluciones salinas (potencial osmótico de -1.0 MPa).

Tratamiento	Emergencia	(%) Clasificación
KH_2PO_4	62.93	a
H_2O	56.87	b
KNO_3	52.83	
NaH_2PO_4	52.80	
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	50.90	
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	50.53	
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	50.40	a
NH_4NO_3	42.47	c
T. Absoluto	41.13	
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	41.13	
Na_2HPO_4	40.67	b
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	27.60	c

DMH = 17.24
C. V. = 11.97%

CME = 32.38

Cuadro A.11. Análisis de varianza para el efecto del pH de diferentes soluciones osmoacondicionadoras (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de las plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.

FV	GL	SC	CM	FC	F_{α}	
					0.05	0.01
Bloques	2	202.65	101.32	6.59		
Tipo de sal (A)	4	1834.03	458.50	29.82**	3.84	7.01
Error A	8	123.00	15.37			
Nivel de pH (B)	4	458.34	114.58	5.23**	2.60	3.83
Interacción	16	3346.37	209.14	9.55**	1.90	2.48
Error B	40	875.40	21.88			
Total	74	6839.81				

**Diferencia Significativa

Cuadro A.12. Comparación de medias del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con diversas soluciones salinas (potencial osmótico de 1.0 MPa) y diferente pH.

pH	Emergencia (%)	Clasificación
3	74.06	a
4	72.07	b
5	71.93	a c
6	68.55	b
8-9.5	67.34	c

CME = 21.88

DMH = 4.87
C. V. = 6.60%

Cuadro A.13. Análisis de varianza para el efecto de la falta de aireación durante el osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa), sobre la emergencia de plántulas de maíz, al tercer día después de la siembra.

FV	GL	SC	CM	FC	F α	
					0.05	0.01
Tratamientos	7	60.14	8.59	0.3322NS	2.77	4.28
Bloques	2	94.50	47.25	1.8270		
Error	14	362.06	25.86			
Total	23	516.70				

NS no significancia entre tratamiento

Cuadro A.14. Comparación de medias del porcentaje de emergencia de plántulas de maíz, a partir de semillas osmoacondicionadas con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa) y sin aireación inicial.

Horas sin aireación	Emergencia (%)	Clasificación
4	75.96	a
2	75.30	
8	75.03	
0	74.70	
1	74.67	
16	73.67	
32	72.26	
T. Absoluto	70.93	B

CME = 25.86

DMH = 14.65
C. V. = 6.86%

Cuadro A.15. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y cuatro horas sin aireación), sobre la emergencia de plántulas de maíz, cuya semilla fue sometida a bajas temperaturas (5 y 10°C) durante el inicio de la germinación.

FV	GL	CM		FC		F α	
		5°C	10°C	5°C	10°C	0.05	0.01
Tratamientos	1	256.10	518.94	4.30 _{NS}	30.42*	18.51	98.49
Bloques	2	62.85	10.09	1.05	0.59		
Error	2	59.54	17.05				
Total	5						

C. V. para 5°C = 16.23%

C. V. para 10°C = 7.05%

NS = no significativo entre tratamientos

* = diferencia significativa

Cuadro A.16. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 horas sin aireación), sobre la emergencia de plántulas de maíz a $15 \pm 2^\circ\text{C}$.

FV	GL	SC	CM	FC	F α	
					0.05	0.01
Tratamientos	1	1600.66	1600.66	189.84**	8.51	98.42
Bloques	2	64.62	32.31	3.83		
Error	2	16.86	8.43			
Total	5	1682.15				

C. V. = 13.17%

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A.17. Análisis de varianza para el efecto del osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 horas sin aireación), sobre la germinación de semillas de maíz bajo condiciones simuladas de sequía (potenciales osmóticos de -0.3 , -0.6 y -1.2 MPa), utilizando PEG-6000.

FV	GL	SC	CM	FC	F α	
					0.05	0.01
Bloques	2	25.16	12.58	0.522		
Potenciales osmóticos (A)	3	20955.80	6985.26	298.81**	4.76	9.78
Error A	6	144.61	24.10			
Lotes de semilla (B)	1	323.38	323.38	19.44**	5.32	11.26
Interacción	3	47.82	15.94	0.98NS	4.07	7.59
Error B	8	129.67	16.20			
Total	23	21626.48				

** Diferencia altamente significativa
NS No significancia entre tratamientos

Cuadro A.18. Comparación de medias de porcentaje de germinación de semillas de maíz osmoacondicionadas con KH_2PO_4 (potencial osmótico de -1.0 MPa y 4 horas en aireación) y posteriormente sometidas a condiciones simuladas de sequía (potenciales osmóticos de -0.3 , -0.6 y -1.2 MPa) durante 7 días.

Potencial osmótico (MPa)	Germinación %	Clasificación
0	88.65	a
-0.3	50.88	b
-0.6	27.61	c
-1.2	9.59	d

CME = 24.10

DMH = 9.82