

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Cereales de Grano Pequeño bajo Condiciones de Estrés con
Cloruro de Sodio (NaCl)**

POR

MARIO LÓPEZ CARDENAS

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México
Junio del 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Cereales de Grano Pequeño bajo Condiciones de Estrés con
Cloruro de Sodio (NaCl)

Por:

MARIO LÓPEZ CARDENAS

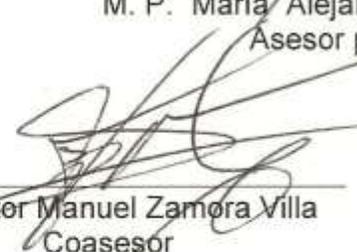
Tesis

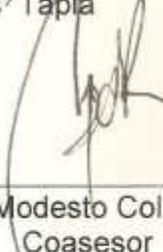
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

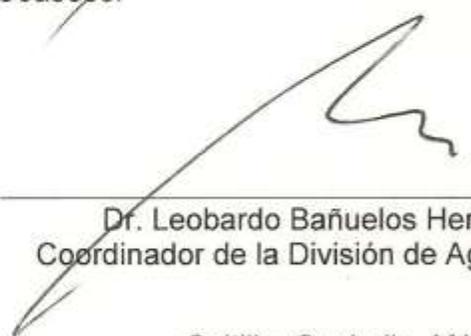
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada

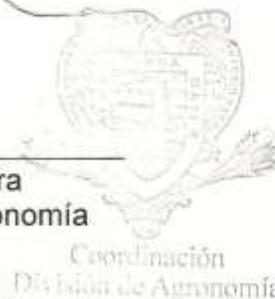

M. P. María Alejandra Torres Tapia
Asesor principal


Dr. Victor Manuel Zamora Villa
Coasesor


M.C. Modesto Colín Rico
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México
Junio, 2012



Coordinación
División de Agronomía

Dedicatoria

A mis padres **Juvencio López González y Antonia Cárdenas Hernández** por darme la vida y brindarme su apoyo incondicional durante todo el lapso de mi carrera y de mi vida. Gracias

A mis Hermanos **Antonio López Cárdenas, Francisco López Cárdenas, Víctor López Cárdenas y Celina López Cárdenas**, porque siempre me hicieron reír en los momentos más difíciles. Gracias

A mis Hermanos **Baldomero López Cárdenas y José Apolonio López Cárdenas** por sus consejos y por el apoyo que siempre me brindaron durante el transcurso de mi carrera por ser para mi un ejemplo a seguir. Gracias

A mi hermana **Elvia López Cárdenas** por darme todo su apoyo en todo momento y acompañarme siempre en el transcurso de mi carrera. Gracias

A mis **amigos**, por su amistad incondicional que me brindaron en este tiempo, por su compañía y comprensión. Gracias

A mi novia **Antonia Hernández Álvarez** por su apoyo incondicional, por formar parte de mi vida, por estar conmigo en los momentos buenos y malos, por su comprensión y cariño. Gracias

Agradecimientos

A Dios por darme la vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro que me permitió formarme como profesionista.

A los maestros que me compartieron sus conocimientos e hicieron posible mi formación.

A mis asesores que me ayudaron en la realización de la presente tesis
M.P. María Alejandra Torres Tapia, Dr. Víctor Manuel Zamora Villa, M.C.
Modesto

Colín Rico y Dr. Alejandro Javier Lozano del Rio.

A todos mis amigos compañeros y maestros que me brindaron su amistad y apoyo incondicional.

INDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	3
Objetivo específico.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Generalidades de los cereales.....	4
Salinidad.....	11
Efectos de la salinidad en las plantas.....	12
Mecanismos de tolerancia en las plantas a condiciones salinas.....	14
Papel del Fitomejorador.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
Localización de los sitios experimentales.....	19
Material genético.....	19
Tratamientos.....	20
Parámetros evaluados.....	21
Diseño experimental y análisis estadístico.....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
Capacidad de germinación.....	27
Vigor mediante índice de velocidad de emergencia.....	49
Vigor mediante longitud media de radícula.....	59

Vigor mediante longitud media de plúmula.....	67
Vigor mediante tasa de crecimiento de plántula (Peso seco de plántula)...	76
CONCLUSIÓN.....	87
RESUMEN.....	89
LITERATURA CITADA.....	92

ÍNDICE DE CUADROS

Nº de Cuadro	Descripción	Página
3.1	Identificación de los materiales evaluados en diferentes condiciones salinas.....	20
3.2	Concentraciones de salinidad con NaCl y gramos de soluto utilizados.....	21
4.1	Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en las variables de capacidad de germinación en 9 genotipos de cereales de grano pequeño sometidos a diferentes concentraciones de NaCl.....	28
4.2	Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en la variable de IVE en 9 genotipos de cereales de grano pequeño sometidos a diferentes concentraciones de NaCl.....	50
4.3	Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en la variable de LMR en 9 genotipos de cereales de grano pequeño sometidos a diferentes concentraciones de NaCl.....	60
4.4	Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en la variable de LMP en 9 genotipos de cereales de grano pequeño sometidos a diferentes concentraciones de NaCl.	68
4.5	Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en la variable de PSP en 9 genotipos de cereales de grano pequeño sometidos a diferentes concentraciones de NaCl.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº de Figura	Descripción	Página
4.1	Respuestas de la capacidad de germinación de las interacciones especies por variedades de cereales de grano pequeño.....	33
4.2	Respuestas de la capacidad de germinación de las interacciones de especies por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	37
4.3	Respuestas de la capacidad de germinación de tres variedades de Cebada por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	41
4.4	Respuestas de la capacidad de germinación de tres variedades de Trigo por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	43
4.5	Respuestas de la capacidad de germinación de tres variedades de Triticale por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	47
4.6	Respuestas de la variable IVE de nueve materiales genéticos al ser sometidos a estrés con NaCl.....	52
4.7	Respuestas de la variable IVE de tres especies de cereales por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	53
4.8	Respuestas de la variable IVE de nueve materiales genéticos por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	55
4.9	Respuestas de la variable LMR de las interacciones variedades por especies al ser sometidas a diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	61
4.10	Respuestas de la variable LMR de tres especies de cereales por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	62
4.11	Respuestas de la variable LMR de nueve variedades de Cebada por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	64

4.12	Respuestas de la variable LMP de las interacciones variedades por especies al ser sometidas a estrés con NaCl.....	70
4.13	Respuestas de la variable LMP de tres especies de cereales por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	71
4.14	Respuestas de la variable LMP de nueve materiales genéticos de cereales por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	74
4.15	Respuestas de la variable PSP de las interacciones variedades por especies al ser sometidas a estrés con NaCl.....	79
4.16	Respuestas de la variable PSP en tres especies de cereales por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	81
4.17	Respuestas de la variable PSP de nueve materiales genéticos por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	83

INTRODUCCIÓN

Actualmente los cereales son la gran fuente de la alimentación humana en todos los continentes, contienen hidratos de carbono, proteínas, grasas, sales, minerales y proteínas, almacenando en su grano una gran cantidad de energía fácilmente asimilable (Carrera, 2005). En México los cereales ocupan la mayor cantidad del total de la superficie sembrada siendo alrededor de 700,585 hectáreas de Trigo, 330,000 de Cebada y 5,000 de Triticale. (SIAP, 2011). Todo esto unido al crecimiento poblacional, el deterioro de los suelos y la notable disminución del agua disponible para riego obligan a los Fitomejoradores a darle especial importancia a estos cultivos.

En condiciones de salinidad, tanto el crecimiento de las plantas, su rendimiento como la sostenibilidad de la agricultura, en sentido general se ven afectados (Royo y Abio, 2002)

Actualmente se estima que los suelos salinos ocupan entre un 40 o 50% de la superficie cultivable total del planeta (Mashali *et al.*, 1999).

Tal situación, ha obligado a los investigadores a desarrollar métodos sostenibles para su uso y rehabilitación dándole especial atención al uso y formación de variedades de plantas tolerantes a la salinidad (González, 2000; Amor *et al.*, 2001; López, 2001), así como involucrar la mayor diversidad de cultivos posible (Nonhebel, 1997), como

una de las vías económicas para incrementar la productividad de los cultivos en dichas condiciones.

Existen evidencias de que el Trigo (González, 2002), la Cebada (Maas y Hoffman, 1977; Epstein y Norlyn, 1980; Greenway y Munns 1980), y el Triticale (Guerrero 1999), son moderadamente tolerantes a la salinidad. Por lo que el uso del mejoramiento convencional sería una herramienta fácil y poco costosa para la selección en el germoplasma disponible de genotipos tolerantes al estrés por salinidad.

Por esta razón en el Programa de Cereales del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro a lo largo de los últimos años se han dado a la tarea de generar materiales con características de tolerancia a suelos salinos en forma convencional mediante, cruza y retro cruza con criollos cultivados en suelos desfavorables y han podido seleccionar genotipos en el cultivo de Trigo, por lo que ahora se pretende comparar con genotipos de otras especies como Cebada y Triticale para determinar su tolerancia al estrés salino; por lo que se establecieron los objetivos general y específico así como las hipótesis siguientes:

Objetivo general

- Estudiar el comportamiento de tres especies de cereales en estrés con cloruro de sodio (NaCl) en cuanto a su calidad fisiológica de semilla.

Objetivo específico

- Identificar el efecto del estrés con distintas concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) aplicado a nueve genotipos de cereales de grano pequeño Trigo, Cebada y Triticale mediante pruebas fisiológicas de germinación y vigor bajo condiciones de laboratorio.

Hipótesis

Los genotipos evaluados dentro de cada cereal de grano pequeño presentan similar calidad fisiológica en las distintas concentraciones de cloruro de sodio (NaCl).

Las tres especies expresan similar tolerancia al estrés con cloruro de sodio (NaCl).

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades de los cereales

Clasificación

La familia de las gramíneas incluye muchas plantas importantes. Esta familia está dividida en dos grupos. El primero es el grupo de los granos chicos al cual pertenecen los pastos. El otro es el de los granos grandes y a este pertenecen los cereales como el trigo, el arroz, el centeno, la avena, la cebada, el sorgo, el mijo y el triticale.

En el grupo de los Trigos se distinguen varias especies. En la producción actual sobresalen las especies de Trigo macarrón (*Triticum durum* L.) y Trigo común o suave (*Triticum aestivum* L.). Con respecto a la Cebada también existen varios tipos siendo los más conocidos el tipo de seis y de dos carreras (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.). El Triticale es un cereal proveniente de una cruce entre Trigo y Centeno por lo que su nombre técnico está formado por la mitad de cada uno de sus progenitores (*X Triticosecale*).

Principales usos de los cereales

El Trigo es el principal ingrediente en la fabricación del pan y su gluten facilita la fabricación de levaduras de alta calidad. Además también se usa en la fabricación de bebidas y la alimentación animal.

La Cebada se usa como alimento para el ganado y como fuente de malta para la fabricación de cerveza y whisky.

El Triticale se siembra principalmente para consumo animal, especialmente como grano para concentrados, compitiendo exitosamente por calidad y precio con el maíz (*Zea mays* L.) y Cebada (*Hordeum vulgare* L.) (Rojas *et al.*, 1991)

Requerimientos de producción

Clima

El Trigo, la Cebada y el Triticale se cultivan principalmente en zonas templadas. Sin embargo las plantas pueden crecer en áreas con altas temperaturas, a condición de que no haya alta humedad. La temperatura adecuada para el cultivo de estas plantas varía entre 15 y 31 grados centígrados. La óptima depende de la etapa del desarrollo, de la variedad y del tipo de plantas.

Estos cereales necesitan entre 600 y 800 mm de agua por año. Una alta humedad del aire y altas temperaturas limitan el crecimiento porque estas condiciones propician el desarrollo de enfermedades.

Suelo

Se pueden cultivar en una gran variedad de condiciones y tipos de suelo. Sin embargo para obtener una buena cosecha, es necesario que la condición física tenga las siguientes características:

- Una estructura granular, que permite la aireación y el movimiento del agua en el suelo.
- Un perfil de tierra cultivable de hasta unos 30 cm, para un enraizamiento adecuado.
- Que no sea susceptible a la formación de costras que dificulten la germinación y la aireación.
- Que tenga suficiente materia orgánica.

Antes de cultivar, es necesario analizar el suelo para determinar su fertilidad, acidez, y salinidad. La acidez determinara la variedad a cultivar. Los mejores resultados se obtienen con pH de alrededor de 7, aunque el Trigo y la Cebada se pueden cultivar en suelo con un pH de hasta 8. Los cereales requieren un suelo que no presente problemas de salinidad aunque existen variedades de Trigo y Cebada que tiene mejor comportamiento en suelos salinos.

Fertilización

Las recomendaciones para los aportes de N, P y K difieren ampliamente con el tipo y la fertilidad del suelo y el uso esperado del fertilizante por el cultivo. Howard y Gómez (2001) recomiendan aplicar la dosis de 190-60-00 para el

cultivo del Trigo mientras que López (2000) recomienda que una dosis de 180-85-00 será suficiente para Trigo y Cebada.

Para su aplicación se recomienda poner el total de fósforo a la siembra y una cantidad reducida de nitrógeno (menos de 50 kg/ha) para que en una segunda etapa generalmente en la escardilla aplicar el nitrógeno restante (Blackmer *et al.*, 1992)

Descripción botánica de cereales

Cebada

La Cebada tiene un hábito de crecimiento anual, con tendencia a convertirse en perenne bajo condiciones muy especiales. Existen variedades de primavera e invierno. Las primeras tienen un ciclo corto de 80 a 90 días, se siembran a fines de invierno o a principios de primavera, usadas principalmente para la producción de grano. Las variedades de invierno poseen un ciclo hasta de 160 días, utilizadas principalmente para la producción de forraje.

Raíz. El sistema radical de la Cebada es fasciculado, fibroso y alcanza poca profundidad en comparación con otros cereales.

Tallo. Es erecto, grueso, formado por unos seis u ocho entrenudos, los cuales son más anchos en la parte central que en los extremos junto a los nudos. La altura de los tallos depende de las variedades y oscila generalmente desde 0.50 a 1.0 m.

Hojas. Las hojas de la planta de Cebada son más largas y de un color más claro que las de Trigo, siendo en general lisas y rara vez pubescentes; su ancho

varia entre 5 y 15 mm. Los cultivares primaverales se caracterizan por presentar 6 hojas lisas; los invernales, por su parte, presentan hojas rizadas y mas angostas.

Las hojas están compuestas por una vaina, una lámina, dos aurículas y una lígula. La vaina de cada hoja envuelve la sección del tallo ubicada sobre el nudo a partir del cual se originan; en la unión de la vaina con la lámina se observa un par de aurículas largas y abrazadoras, la lígula es lisa, corta y dentada.

Inflorescencia. Las inflorescencias corresponden a espigas, las cuales se caracterizan por ser compactas y generalmente barbadas. La espiga es una extensión de tallo, tiene un raquis en forma de zig-zag de 2.5 a 12.7 cm. De longitud el cual cuenta con 10 a 30 nudos. La espiga esta conformada por estructuras llamadas espiguillas, cada una integrada por el grano y dos glumas con barbas de longitud variable, lisas o aserradas, las espiguillas son alternas y están adheridas al raquis. Las variedades de 6 hileras (*Hordeum vulgare* L.) tienen 25 a 60 granos por espiga mientras que las de 2 hileras (*Hordeum distichum* L.) tienen de 15 a 30.

Grano. El grano de Cebada es un fruto denominado cariósipide, en el cual las paredes del ovario (pericarpio) y cubierta seminal (testa), están estrechamente unidas; siendo generalmente inseparables; el fruto, por lo tanto, es de carácter indehiscente. El grano esta compuesto por pericarpio y embrión, el cual esta localizado en la parte dorsal del mismo, su color puede ser crema, blanco, negro, rojo o azul; los últimos colores son el resultado de pigmentos de antocianina.

Trigo

La altura varía entre 30 y 180 cm. Su tallo es recto, cilíndrico y presenta aproximadamente 6 nudos sólidos. Cada planta tiene de 4 a 6 hojas lanceoladas, con un ancho de 0.5 a 1 cm y longitud de 15 a 25 cm. Presenta lígula de longitud media y aurícula despuntada con pubescencia. Producen un número variable de macollos, generalmente de 2 a 7

Raíz. Posee una raíz fasciculada o raíz en cabellera, es decir, con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad.

Tallo. El tamaño puede ser variable de acuerdo con las variedades, normalmente de 60 a 120 cm; sin embargo en la actualidad existen materiales enanos que tienen altura de 25 a 30 cm y otros muy altos de hasta 180 cm.

Hoja. En cada nudo nace una hoja, esta se compone de vaina y limbo o lamina, entre estas dos partes laterales pueden salir unas prolongaciones que se llaman aurículas y entre la separación del limbo y el tallo existe una parte membranosa que se llama lígula. Cada hoja tiene una longitud que varía entre 15 a 25 cm y de 0.5 a 1.0 cm de ancho.

Espiga. Está formada por espiguillas dispuestas alternadamente en un eje central denominado raquis. Cada espiguilla contiene de dos a cinco flores que posteriormente formaran el grano que queda inserto en la lema y la palea. La primera y segunda flor está cubierta exteriormente por las glumas.

Grano. Son cariósides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. El germen sobresale en uno de ellos y en el otro hay un mechón de pelos finos. El resto del grano, denominado endospermo, es un depósito de alimentos para el embrión, que representa el 82% del peso del grano. A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco): una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas. En el surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada.

Triticale

La morfología del Triticale es muy variable, existen variedades con más similitud a la especie trigo y otros parecidos a la planta de centeno.

Normalmente es más alto y más vigorosos que el trigo, mide entre 0.9 y 1.5 m.

Tallo. Es largo en forma de caña y con nudos estructurales típicos de las gramíneas. Tiene capacidad de macollaje o ahijamiento, aunque menor que el trigo. Además la zona del tallo próxima a la inflorescencia presenta una pubescencia o vellosoidad.

Raíces. Son fasciculadas, mas desarrolladas que las de trigo, pudiendo alcanzar mas profundidad.

Hojas. Son gruesas, grandes y de mayor longitud que las de trigo, de color verde azulado muy oscuro aunque la tonalidad puede variar. La lígula es pronunciada y semidentada. Las aurículas son semiabrazadoras y sin pelos.

Inflorescencia. Es una espiga semicompacta que puede medir de 10 a 14 cm de longitud. Es de color blanco o amarillo, poco curvada a la madurez y con barbas.

Grano o semilla. Es de forma alargada, recorrido en toda su longitud por un surco, parecido al centeno aunque de tamaño poco inferior; es de color pálido amarillento y se caracteriza por una rugosidad en la cubierta que lo diferencia del grano de trigo y de centeno.

Salinidad

La tolerancia a la salinidad es una propiedad desarrollada por las plantas durante el proceso evolutivo, para poder perpetuar la especie en condiciones donde se producen estreses climáticos o edáficos constantes o que se repiten periódicamente. Los ejemplares que no se adaptan a esas condiciones adversas se eliminan de la población, mientras que se conservan y dan descendencia los que logran sobrevivir, hasta que aparecen organismos adaptados a la situación de estrés. Esta adaptación se fija genéticamente y se transmite de generación en generación, asegurando la supervivencia de la especie que conforma una población más tolerante (González, 1996).

En condiciones naturales, las plantas superiores terrestres encuentran altas concentraciones de sal cerca de la orilla del mar y en los estuarios donde el agua de mar y el agua dulce se mezclan o se re-emplazan con las mareas. Tierra adentro la filtración de sal desde los depósitos geológicos marinos puede

pasar a las áreas colindantes lo que las convierte en inútiles para la agricultura. Sin embargo, un problema mucho mayor para la agricultura es la acumulación de sales por agua de regadío (Zeiger y Tais, 2007) que con el uso, la reutilización, la contaminación con fertilizantes de áreas vecinas (Raven, 1991) y la contaminación directa por medio de desechos de fábrica y vertederos de materiales tales como las cenizas pulverizadas de combustibles y los desechos de carbón han convertido progresivamente en suelos con alto contenido salino (Winter, 1977).

Mientras tanto, también la evaporación y la transpiración eliminan el agua pura del suelo (en forma de vapor), y esta pérdida de agua concentra los solutos en el suelo. Cuando el agua de irrigación contiene una gran concentración de solutos y no es posible eliminar las sales almacenadas por un sistema de drenaje, estas sales pueden alcanzar rápidamente niveles perjudiciales para especies sensibles a la sal (Zeiger y Tais, 2007).

Efectos de la salinidad en las plantas

En el análisis de los efectos de la sal distinguiremos entre altas concentraciones de Na^{++} , y altas concentraciones de sales totales, con frecuencia los dos conceptos están asociados, y en algunas zonas tanto los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- como el NaCl contribuyen sustancialmente a la salinidad (Zeiger y Tais, 2007).

Las plantas en suelos salinos, deben mantenerse con una humedad edáfica más elevada que la necesaria en suelos normales. La presencia de sales

provoca un aumento en la presión osmótica, que se añade a la tensión del agua en el suelo e incrementa el contenido hídrico del mismo en el punto de marchitamiento. Desafortunadamente, la capacidad de campo no puede aumentarse y, en consecuencia, la capacidad de retención de agua útil de los suelos salinos es más baja (Thompson y Troech, 2002).

También, los solutos disueltos en la zona radicular reducen el potencial osmótico (lo hacen más negativo) y a su vez el potencial hídrico del agua. Este efecto de los solutos disueltos es similar al que produce el déficit hídrico del suelo y la mayoría de las plantas responden a los niveles excesivos de salinidad en el suelo del mismo modo a como lo hacen frente al déficit hídrico (Zeiger y Tais, 2007). Por otra parte una alta concentración de cloruro sódico puede ser también dañina debido a su efecto sobre la absorción de nutrientes (Russell y Wild, 1992).

Cuando la sal misma o sus iones se acumulan en las células (sobre todo Na^+ , Cl^- o SO_4^{2-}) pueden causar diferentes efectos tóxicos como por ejemplo, una relación anormalmente alta de ($\text{Na} > 10\text{mM}$) y altas concentraciones de sales totales inactiva las enzimas e inhibe la síntesis de proteínas. A altas concentraciones el Na^+ puede desplazar al Ca^{2+} en la membrana plasmática de los pelos radiculares y provocan un cambio en la permeabilidad de la membrana plasmática que puede ser detectado por la pérdida de K^+ de las células (Cramer *et al*, 1985).

Mecanismos de tolerancia en las plantas a condiciones salinas

Entre los mecanismos que explican la capacidad de las especies vegetales para tolerar el estrés salino, existe el ajuste osmótico (Appels y Lagudah, 1990), que es el término utilizado para definir la disminución del potencial osmótico celular en las plantas superiores como resultado de la acumulación activa de solutos en respuesta a una situación estresante por déficit hídrico o salinidad (Ludlow y Muchow, 1990). De este modo las plantas regulan su potencial osmótico hasta conseguir que el potencial hídrico de la célula sea similar al del medio que la rodea (Murillo, 2000).

El ajuste osmótico implica, por una parte, la absorción y acumulación de iones salinos procedentes del medio, y por otra la biosíntesis endógena de solutos orgánicos. Aunque ambos mecanismos, por lo general, operan conjuntamente, su importancia relativa varía entre especies y genotipos e incluso entre distintos tejidos de la misma planta (Torrecillas *et al.*, 1994).

Por otra parte, las plantas minimizan el daño por sal excluyendo las sales de los meristemas, sobre todo, en los brotes, y de las hojas que se están expandiendo y realizando la fotosíntesis activamente. En las plantas sensibles a la sal, la resistencia a niveles moderados de salinidad en el suelo depende de la capacidad de las raíces de evitar que los iones potencialmente perjudiciales lleguen al vástago (Zeiger y Tais, 2007).

Papel del Fitomejorador

En el mejoramiento genético tradicional de las plantas se usa el ciclo sexual para recombinar el DNA por medio de la distribución independiente de cromosomas y atreves de entrecruzamiento meiótico.

El mejoramiento tradicional de plantas autogamas como es el caso de la mayoría de los cereales se basa principalmente en la obtención de líneas puras, las que una vez seleccionadas por sus características de rendimiento, de adaptabilidad y de calidad, pasan a la categoría de variedades mejoradas (Márquez, 1988).

Algunas técnicas requieren de mucho tiempo y trabajo para llegar a formar una variedad monolineal o una multilínea cuando previamente se inicia el programa de fitomejoramiento por cruza entre líneas puras o entre variedades regionales que generalmente en este último caso son poblaciones heterogéneas; con el fin de incorporar caracteres favorables de dos progenitores por medio de la segregación y recombinación genética (Robles 1986).

En otros métodos de fitomejoramiento se planea que se lleve a cabo por medio de cruza múltiples; en las que intervienen muchas líneas con caracteres favorables diferentes, los que se desea incorporar en la integración de una línea pura como variedad mejorada (Robles 1986).

El método de mejoramiento genealógico o de pedigree es el más usual en el que por simple selección individual en especies típicamente autogamas, de cuyas poblaciones la identificación, selección simple y multiplicación de semillas

de una sola planta puede generar una variedad comercial (Christiansen, 1991). También existen otros métodos de mejoramiento tradicional utilizados en plantas autogamas como son; selección intravarietal simple, cruzas y retro-cruzas, método masivo, cruzas múltiples, variedades compuestas o multilineales, cruzas inter-especificas y el mejoramiento por inducción de mutaciones. Actualmente existen otras modernas herramientas de mejoramiento, tal es el caso de la ingeniería genética que no se limita al germoplasma de la especie sino que busca genes de interés en otros organismos, (plantas, animales, hongos, bacterias, virus etc.) mismos que se insertan en la especie a mejorar.

Como se mencionó en el párrafo anterior hay una gran cantidad de métodos de mejoramiento así que la elección del más adecuado a usar en un programa dependerá del conocimiento del mejorador, disponibilidad económica, tipo de cultivo y las características que se deseen mejorar, entre otros.

Diversos autores han conducido experimentos para evaluar la tolerancia a salinidad en estado de plántula de diferentes cultivos, empleando diferentes sales los cuales se describen a continuación.

Elizalde (2008), evaluó el efecto de cinco concentraciones de NaCl en la calidad fisiológica de 19 genotipos de Trigo derivados en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde encontró uno (AN-19) que superó al testigo (Bacanora) en germinación y vigor.

González, *et al.* (2006) trabajaron sobre la respuesta interespecífica a la salinidad en los primeros estadíos de crecimiento en las especies *T. aestivum* y *T. durum*. Tomando como variables el crecimiento y la acumulación de biomasa fresca y seca de las plántulas, encontrando diferencias significativas entre especies y variedades de una misma especie, destacándose la especie *T. aestivum* por tener los mayores índices de tolerancia a la salinidad en los primeros estadíos de crecimiento de plántulas

Camejo y Torres (2000) sometieron las semillas de dos variedades de tomate a cuatro concentraciones de cloruro de sodio (NaCl). Evaluando el porcentaje de germinación, y la producción de materia fresca y seca encontró que una variedad no presentó diferencias significativas conforme aumentaron las concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) con respecto al testigo.

González, *et al.* (2006), hicieron un experimento con 12 variedades de Trigo, aplicando dos niveles de cloruro de sodio (NaCl) y evaluando la absorción de agua por las semillas, altura de las plantas, longitud de raíz y la acumulación de biomasa fresca y seca. Encontrando diferencias significativas demostrando la existencia de variabilidad en cuanto a la resistencia al estrés.

López, *et al.* (2010) estudiaron la tolerancia a un tratamiento salino en siete líneas de Triticale en los estados tempranos y tardíos de desarrollo, donde encontraron una línea de Triticale con un índice de tolerancia mayor al citado por la literatura.

En cebada, Jarat *et al.*, (2004) realizaron un experimento con 2308 genotipos, en la parte de laboratorio sometieron a la semilla a 0 y 20 dS m⁻¹ con NaCl, encontraron que el porcentaje de germinación final a 20 dS m⁻¹ tuvo una correlación negativamente significativa. En promedio el peso seco de plántula y el número de raíces por plántula se redujo drásticamente en respuesta al estrés por salinidad.

En frijol, Jeannette *et al.*, (2002) evaluaron la tolerancia a la salinidad durante la germinación y desarrollo de plántulas de 24 materiales de frijol de cuatro especies silvestres y cuatro materiales de frijol común con concentraciones de 0, 60, 120 y 180 mM de NaCl. Los resultados mostraron que la biomasa de la radícula y el hipocótilo decrecieron con el incremento en la salinidad. Algunos materiales silvestres germinaron más rápido en condiciones de salinidad.

En lo referente a trigo, Mahalati *et al.*, (2005) realizaron un experimento para determinar la etapa fenológica mas sensitiva en salinidad (0, 100, 200 y 300 mol/m⁻³). Encontrando que el número de semillas por espiga fue más sensible a la salinidad que peso de la semilla. La sensibilidad a la salinidad disminuyó durante el periodo de llenado del grano. El número de flores estériles por espiguilla fue más sensible que el número de espiguillas por espiga.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de los sitios experimentales

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de ensayos de semillas “MSc. Leticia A. Bustamante García” perteneciente al Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en el municipio de Saltillo, Coahuila; a una altitud de 1742 msnm cuyas coordenadas geográficas son 25° 22` latitud Norte y 101° 1` longitud Oeste.

Material genético

El material utilizado consistió en 9 genotipos en las especies Trigo, Cebada y Triticale. De las cuales 3 fueron testigos comerciales y 6 fueron desarrolladas por el Programa de Cereales de Grano Pequeño de la UAAAN, producidas en el ciclo Enero-Junio 2010 en la localidad de Navidad, Nuevo León descritos en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Identificación de los materiales genéticos evaluados en diferentes condiciones salinas

Especie	Genotipo	Identificación	Nivel
Trigo	AN- 239	1	Experimental
	AN-264	2	Experimental
	Pavón	3	Comercial
Cebada	Narro-95	4	Experimental
	Narro-221	5	Experimental
	Cerro Prieto	6	Comercial
Triticale	AN-34	7	Experimental
	AN-31	8	Experimental
	Eronga-83	9	Comercial

Tratamientos

Se aplicaron cuatro tratamientos con cloruro de sodio (NaCl) a diferentes concentraciones generando diferentes presiones osmóticas dado en milimoles (mM) a 50, 150, 200 y 250, teniendo un testigo a 0 mM (cero milimolar).

Preparación de los tratamientos

Se prepararon 200 mL de cada concentración de NaCl en recipientes graduados, usando agua destilada como disolvente. Se calculó la equivalencia de Milimoles a gramos de cada concentración como se muestra en el Cuadro 3.2; pesando la cantidad correspondiente de soluto de cada tratamiento en una balanza analítica con precisión al 0.001.

Cuadro 3.2 Concentraciones de salinidad con NaCl y gramos de soluto utilizados

Presión osmótica de NaCl(Mm)	Equivalencia gr de NaCl por 200 ml de agua destilada
0	0.0
50	0.585
150	1.755
200	2.34
250	2.925

Parámetros evaluados

Para conocer la respuesta de los tratamientos se evaluó la calidad fisiológica mediante la prueba de capacidad de germinación, la cual comprende las variables porcentaje de plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA) y semillas sin germinar (SSG); así como vigor mediante las pruebas de índice de velocidad de emergencia (IVE), longitud media de radícula (LMR), longitud media de plúmula (LMP) y tasa de crecimiento de plántula conocido como peso seco (PS) evaluando cuatro repeticiones por cada tratamiento.

Capacidad de germinación

Se realizó siguiendo el principio dado por la ISTA (2006), colocando 25 semillas por repetición en una cinta de doble pegamento sobre una hoja papel de germinación "Anchor", húmedo, cubriendo con otra hoja húmeda y enrollando ambas a formar un "taco", siendo identificados (numero de repetición,

tratamiento y material genético) y colocados en bolsa de plástico, sometiéndolos a un pre tratamiento frío a 4 °C de temperatura por tres días en un refrigerador marca Whirlpool, para posteriormente ser llevados a una cámara germinadora marca BIOTRONETTE a 25°C con 8 horas luz y 16 oscuridad por 7 días, haciendo la evaluación del número de PN, PA y SSG según el manual de evaluación de la AOSA (1992), reportando los resultados en porcentaje.

Plántulas normales

En esta clasificación entran plántulas con tamaño mayor a una pulgada, plúmula intacta, hipocotilo y sistema radicular bien desarrollado, además de presentar una hoja verde dentro o emergiendo del coleóptilo.

Plántulas anormales

Plántulas deformes, con desarrollo débil o desequilibrado de las estructuras primordiales: plúmulas retorcidas en espiral; plúmulas, epicotilos poco desarrollados; talluelos hinchados y raíces sin desarrollo; coleóptilos sin hojas verdes; plantas acuosas o bien que no presentan desarrollo después de haber salido de los cotiledones.

Semillas sin germinar

En general son aquellas que no presentaron ningún signo de desarrollo y comúnmente se encontraron flácidas, decoloradas y con presencia de hongos.

Pruebas de Vigor

Índice de velocidad de emergencia

Siguiendo la metodología de la prueba de capacidad de germinación utilizando 25 semillas por taco (repetición), tratamiento y genotipo, evaluando el número de plántulas emergidas por día a partir del momento en que fueron llevados a la cámara de germinación a 25°C (cuarto día desde la siembra) y el término de la prueba fue hasta los 7 días de la prueba de germinación, calculando el índice mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IVE} = \sum \frac{\text{No. plántulas}}{\text{Día}} + \dots + \frac{\text{No. plántulas}}{\text{Día}}$$

Longitud media de raíz

De las plántulas normales resultantes de cada repetición, tratamiento y genotipo de la prueba de capacidad de germinación, se midió la raíz de cada plántula en centímetros con una regla graduada, considerando desde la parte inferior de la semilla hasta la prolongación más extensa de las raíces; determinando el promedio de cada repetición.

Longitud media de plúmula

Se realizó conforme a las reglas internacionales de la ISTA (2006), trazando líneas paralelas cada dos centímetros desde la mitad superior de una hoja de

papel de germinación “Anchor”; en la primera línea trazada se pegaron con ayuda de una cinta de doble pegamento 25 semillas por repetición, tratamiento y genotipo, se humedeció el papel y se cubrió con otro, enrollando ambos para formar un “taco”, identificados por número de repetición, tratamiento y genotipo, se colocaron en bolsas de plástico de 1 kilogramo pasando por un pretratamiento a una temperatura de 4 °C por 3 días, posteriormente se llevaron a una cámara germinadora marca BIOTRONETTE a 25 °C con 8 horas luz y ocho oscuridad por 7 días; evaluando el número de plántulas normales en cada paralela, comenzando por la número 3, y posteriormente se calculó la variable con la siguiente fórmula:

$$L = \frac{(nx1+nx3+.....nx13)}{25}$$

Donde:

L = Longitud media de plúmula en cm.

n = Número de plúmulas entre dos paralelos.

x = Distancia del punto medio de paralelas a línea central.

Tasa de crecimiento de plántula (Peso seco de plántulas)

De las plántulas normales evaluadas en la prueba anterior de cada repetición, tratamiento y genotipo a los 10 días después de la siembra se desechó los restos de semilla y se colocaron las plántulas (radícula y plúmula) en un sobre

de papel manila y fueron llevados a una estufa de secado marca BIOTRONETTE a 65 °C por 24 horas.

Después del secado, se llevó a un desecador con sílica gel para enfriarlos por 10 minutos y se pesaron en una balanza analítica con precisión al 0.0001 g; determinando el peso total de las plántulas en miligramos y dividiendo entre el número de plántulas normales, reportando en mg/plántula.

Diseño experimental y análisis estadístico

Los ensayos se establecieron bajo el diseño experimental completamente al azar con 4 repeticiones.

El análisis estadístico de la información generada se realizó como un factorial en completamente al azar con anidamiento, considerando como factor A las especies estudiadas, como factor B variedades dentro de cada especie y como factor C las concentraciones de cloruro de sodio, bajo el siguiente:

Modelo estadístico:

$$Y_{ij/k} = \mu + e_k + V_i/e_k + C_j + C_j * e_k + V_i C_j / e_k + EE_{ij/k}$$

Donde:

Y_{ij/k}=variable observada de la i-ésima variedad, en la j-ésima concentración dentro de la k-ésima especie.

μ =Efecto de la media general

e_k = efecto de la k -ésima especie

V_i/e_k = efecto de la i -ésima variedad dentro de la k -ésima especie

C_j = efecto de j -ésima concentración

$C_j * e_k$ =efecto de la interacción entre la j -ésima concentración con la k -ésima especie

$V_i C_j / e_k$ = Efecto de la interacción de la i -ésima variedad y la j -ésima concentración dentro de la k -ésima especie.

$EE_{ij/k}$ = Error Experimental

Se realizaron análisis de varianza individuales para cada una de las variables, midiendo el efecto de cada especie, variedades dentro de especie, concentración, concentración por especie, y variedad por concentración dentro de cada especie.

También se hicieron pruebas de comparación de medias dadas por DMS ($p \geq 0.05$) en cada una de las variables; entre especies y concentraciones.

Todos los análisis de varianza y pruebas de medias, se realizaron mediante el uso del paquete computacional Statistical Analysis System (SAS, 2004),

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se describen los resultados obtenidos de las pruebas de calidad fisiológica, después de aplicar los diferentes potenciales de estrés con cloruro de sodio (NaCl).

Capacidad de germinación

El análisis de varianza (ANVA) encontró que existe una alta diferencia significativa en las variables plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), y semillas sin germinar (SSG) entre las especies estudiadas, lo que indica que al menos una de ellas tuvo una respuesta diferente a los tratamientos aplicados, con coeficientes de variación para cada variable de 17.2, 30.9 y 51.7% respectivamente, como se muestra en el Cuadro 4.1.

Efecto entre especies

La comparación de medias (DMS al 0.05 de probabilidad) para la variable PN, mostró que Cebada fue el cereal con mejor respuesta fisiológica al estrés provocado por las concentraciones de salinidad con un valor de 92.3 % siendo estadísticamente

superior a Trigo cuyo valor fue 44.5 %, teniendo a Triticale, como la especie mayormente afectada por el estrés con 27.7 %.

El efecto del estrés en las especies no es igual dado que existen cultivos más tolerantes que otros a la salinidad y su respuesta está condicionada por mecanismos a nivel celular (ajuste osmótico) o con mecanismos de exclusión que intentan colocar las sales en raíces y tallos, de manera que no lleguen las sales como fue en caso de Cebada. Por otra parte, Torrecillas *et al.* (1994) afirma que la importancia de cada mecanismo varía entre especies y genotipos e incluso entre distintos tejidos de una misma planta.

Cuadro 4.1 Cuadrados medios, significancia y comparación de medias (DMS) en las variables de capacidad de germinación en 9 genotipos de cereales de grano pequeño sometidos a diferentes concentraciones de NaCl.

Fuentes de variación	GL	PN	PA	SSG
Especie	2	67552.4**	34799.3**	7431.5**
Variedad(Especie)	6	681.9**	442.0**	945.2**
Concentración	4	10443.2**	7456.2**	303.5**
Especie*Concentración	8	2625.9**	2324.9**	63.1*
Variedad*Concentración(Especie)	24	410.1**	427.7**	35.6 ^{NS}
Error	135	88.5	107.3	36.9
Total	179			
% C.V		17.2	30.9	51.7
Especies				
Trigo		44.5 B	46.2 A	9.3 B
Triticale		27.7 C	48.5 A	23.9 A
Cebada		92.3 A	5.7 B	2.0 C
Concentraciones				
0		70.2 A	20.8 D	9.0 C
50		72.8 A	18.4 D	8.8 C
150		55.0 B	31.9 C	13.1 BA
200		42.4 C	45.4 B	12.1 B
250		33.7 D	50.7 A	15.7 A

** =Nivel de significancia (0.01 %), * =Nivel de significancia (0.05 %), NS =No significativo, GL= Grados de libertad, DMS= diferencia mínima significativa 0.05%

En cuanto a la variable PA en la prueba de DMS, las especies Trigo y Triticale presentaron un efecto negativo en la capacidad de germinación dado por altos porcentajes en esta variable con 46.2 y 48.8 % respectivamente, siendo ambas especies estadísticamente iguales; mientras que Cebada, como era de esperarse se encontró en el segundo grupo estadístico con solo 5.7%; coincidiendo con lo descrito por los diferentes autores que mencionan que existen por parte de algunas especies la facilidad de adaptación a condiciones estresantes como fue con Cebada, de la cual se ha visto su capacidad de adaptación a condiciones estresantes sobre todo en salinidad y sequía (Colín, 2005).

Para la variable SSG, se obtuvieron tres grupos estadísticos entre las especies, donde Triticale tuvo mayor porcentaje de semillas sin germinar con 23.9 %, mostrando ser la mayormente afectada por el estrés, lo que nos puede indicar que esta especie es más susceptible al estrés salino como fue en este estudio. El siguiente grupo estadístico fue el Trigo con 9.3%, apreciándose que su mayor efecto negativo fue en plántulas anormales dado que las semillas sin germinar que se encontraron en este estudio no fueron muchas. Por último Cebada quien obtuvo un porcentaje de solo 2 %, confirmando su gran capacidad de adaptación a las condiciones estresantes tal y como menciona Céspedes, (1996) en una clasificación que hace de algunos cultivos en cuanto a su tolerancia a salinidad en la que define a la Cebada como altamente tolerante y al Trigo como medianamente tolerante

Efecto entre las concentraciones

Según el ANVA (Cuadro 4.1), existieron diferencias altamente significativas entre las concentraciones estudiadas, por lo cual se hizo una prueba de comparación de medias por DMS; encontrando que en PN, las concentraciones de Cloruro de sodio a 0 y 50 mM formaron el primer grupo estadístico con 70.2 y 72.8%, lo que sugiere que la concentración de 50 mM impone poco estrés, debido a lo cual no se diferencia del testigo. Sin embargo, al aumentar las concentraciones se formó un grupo estadístico por cada una, sugiriendo que impusieron distintas condiciones de estrés a las especies estudiadas, donde a 150 mM la respuesta de germinación mostró un 55 %; a 200 mM fue de 42.4 %, y por último a 250 mM dando una germinación de 33.7 %; confirmando que concentraciones altas de sal provocan efectos negativos en la capacidad germinativa de los cultivos, debido a que causan un aumento en la presión osmótica, (Thompson y Troech 2002). Además cuando sus iones (Na^+ , Cl^-) se acumulan en las células pueden causar efectos tóxicos, inactivar enzimas e inhibir la síntesis de proteínas.

La variable PA se comportó de forma contraria a la variable anterior (PN), donde la concentración de 250 mM presentó un efecto negativo al obtener el valor más alto de 50.7%, seguido por 200 mM quien obtuvo el siguiente valor alto con 45.5 % y por 150 mM con 31.9 %, mostrando que a estas concentraciones afectan fisiológicamente a la plántula causando poca

germinación y desecación en la misma como lo mencionan Cramer, *et al* (1985) que altas concentraciones de iones como Na^+ Mg y Cl^- puede desplazar al Ca^{2+} en la membrana plasmática de los pelos radiculares y provocar un cambio en la permeabilidad de la membrana plasmática, motivo por el cual las plántulas pueden tener comportamiento anormal después de emerger de la semilla.

Mientras que en las concentraciones de 0 y 50 mM, quienes se encontraron en el mismo grupo estadístico, mostrando ser similares en su respuesta y obteniendo porcentajes mas bajos con 20.8 y 18.4 %, lo que sugiere que estos porcentajes se debieron propiamente a los atributos de calidad dados por la semilla y no al efecto de la concentración de sal.

El porcentaje de SSG se dividió en tres grupos estadísticos, donde la concentración de 250 mM con 15.7 % obtuvo el mayor número de semillas sin germinar encontrándose en el primer grupo junto con 150 mM (13.11 %), el siguiente grupo estadístico lo conformo la concentración de 200 mM con 12.1 % de SSG mostrando los efectos negativos de la salinidad que según explica Baskin (1998), pudo deberse a que si el potencial osmótico de la solución es más grande que el potencial de crecimiento del embrión la germinación de la semilla no ocurre. Por otro lado mencionan Dell' Aquila y Spada (1993) que el efecto del estrés salino sobre la síntesis de proteínas en embriones en germinación en genotipos de semillas de Trigo al ser imbibidos con NaCl por 72 hr reducen la germinación, determinando que la expresión de las proteínas frente al estrés salino esta relacionada con el proceso de adaptación de las

semillas a la salinidad así como a la constitución genética de un genotipo seleccionado a tolerancia a la salinidad.

Sin embargo, en las concentraciones de 0 y 50 mM en el presente estudio, nuevamente mostraron que estadísticamente fueron iguales comprendiendo el tercer grupo con valores de 9 y 8.8 %, corroborando lo anteriormente mencionado que a condiciones de estrés iguales o menores a 50 mM se obtiene una capacidad de germinación similar a la ausencia del mismo.

Efecto de la interacción variedades por especies

Cebada

Como ya se mencionó anteriormente, los genotipos estudiados de la especie Cebada presentaron la mejor respuesta fisiológica en el estudio. Sobresaliendo en la variable de PN, el genotipo experimental Narro 95 con un 94.4 %, siguiéndole las variedades Cerro Prieto y Narro-221 con 91.6 y 91 %, como se observa en la Figura 4.1, el genotipo experimental Narro-95 generado dentro de la Universidad supera a la variedad comercial Cerro Prieto debido al mayor número de PN encontradas con casi 4 % de diferencia, por lo que puede ser conveniente realizar otros estudios a mayor escala y en otras etapas de crecimiento para confirmar que puede convertirse en una variedad comercialmente competitiva dada a su respuesta favorable ante estas condiciones de estrés, coincidiendo con Vargas (2010); quien logró identificar genotipos con características de tolerancia a la salinidad sobre todo en la fase

de germinación a emergencia aplicando diferentes potenciales osmóticos de NaCl como seleccionadores en condiciones de laboratorio.

En la variable PA, el genotipo Cerro Prieto alcanzó el mayor porcentaje con 6.8% seguido de Narro-221 con 5.6 % y Narro-95 con 4.6 %, la mejor respuesta fisiológica por contener menor número de PA fue nuevamente Narro-95, lo cual confirma que tiene mayor capacidad de adaptación a condiciones de salinidad. Aunque, no se pierde la posibilidad de considerar también a Narro-221 como un buen candidato competitivo en la tolerancia a estas condiciones por sus valores similares en la prueba de capacidad de germinación.

Por último en SSG, Narro-221 obtuvo la mayor cantidad con 3.4 %, posteriormente Cerro Prieto con 1.6 % y el genotipo con la menor cantidad fue Narro-95 con solo el 1 %.

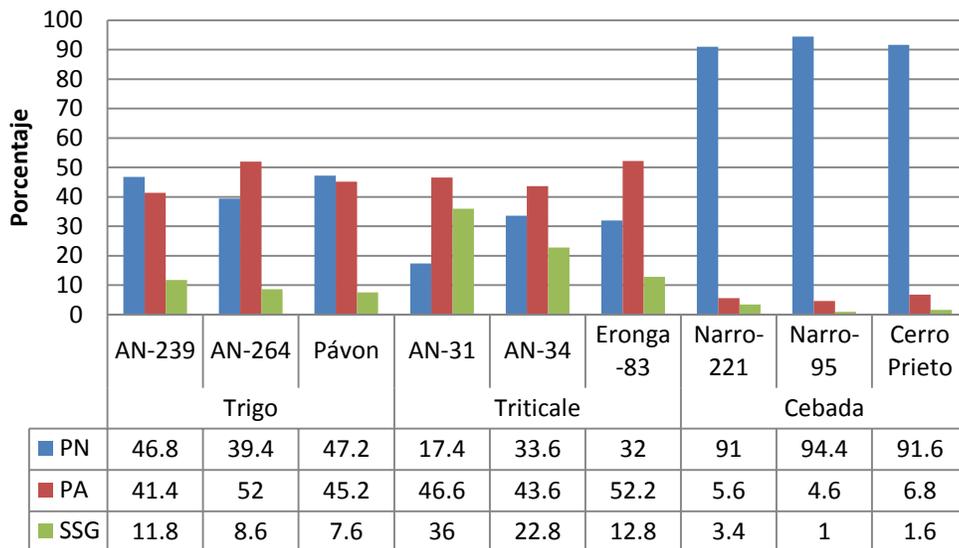


Figura 4.1. Respuestas de la capacidad de germinación de las interacciones variedades dentro de especies de cereales de grano pequeño.

Trigo

En esta especie la variedad comercial Pavón y el genotipo experimental AN-239 obtuvieron porcentajes muy parecidos de PN, 47.2 y 46.8 % respectivamente, dejando en tercer lugar al genotipo experimental AN-239 con un 39.4 %, dada esta respuesta de los genotipos en Trigo, muestra que las condiciones estrés estudiadas, les provocaron efectos negativos en la germinación, considerando posiblemente que estos genotipos no sean tolerantes. Sin embargo, existen otros factores que pueden estar interviniendo en la respuesta como lo mencionan Thompson (1973) y Díaz (1993), que en la germinación de semillas depende de varios factores, tales como el ciclo biológico de las especies, el porte, el tamaño de las semillas, las variaciones diarias de la temperatura, la latencia, etc. y con ello de lugar a diferente respuesta fisiológica en las especies.

Continuando con PA, en el genotipo experimental AN-264 es claro que el mayor efecto del estrés por salinidad se expresó en un incremento de esta variable ya que obtuvo el mayor porcentaje de su especie (52 %), siguiéndole la variedad comercial Pavón con 45.2 % y por último el genotipo AN-239 con 41.4 %

En SSG el genotipo AN-239 presentó el porcentaje más alto con 11.8 % dejando en segundo y tercer lugar con solo un punto porcentual de diferencia entre cada uno los genotipos AN-264 y Pavón con 8.6 y 7.6 % respectivamente.

Triticale

En Triticale el genotipo experimental AN-34 presentó la mayor cantidad de plántulas normales con 33.6 % superando al testigo comercial Eronga-83 que tuvo el 32 % y el genotipo AN-31 con 17.4 % estuvo casi 15 % por debajo del testigo comercial.

En cuanto a PA la variedad comercial Eronga-83 obtuvo el valor más alto del total de los materiales estudiados con un 52.2 %, lo cual no significa que haya tenido el mejor comportamiento sino al contrario, que fue el más afectado por las concentraciones de NaCl en su capacidad de germinación, seguido por AN-31 con 46.6 % y AN-34 con 43.6 %.

Sin embargo cabe resaltar que en SSG la variedad AN-34 con 22.8 % tuvo 10 % más que la variedad Eronga-83 que presentó solo 12.8 %, por lo que se puede decir que en Eronga-83 el daño por sal se reflejó en el incremento de anomalías, mientras que en AN-34 en el incremento de muerte en la semilla; en cuanto al genotipo AN-31 con 36 % fue el material con mayor porcentaje en esta variable.

Interacción de las especies por concentraciones

Cebada

La Figura 4.2, muestra el efecto promedio de los diferentes potenciales osmóticos de NaCl aplicados a las diferentes especies. En la variable PN, la

tendencia de la aplicación de concentraciones de sal fue en descenso, a 0 mM se presentó el mayor porcentaje con 96 %, seguido de la concentración de 50 mM, luego 150, 200, y 250 mM, sucesivamente con porcentaje de 95, 93, 91 y 85 % respectivamente, corroborando que el efecto de la concentración al aumentar provoca un descenso en el número de PN.

En la variable PA, las concentraciones de 0 y 50 mM obtuvieron un porcentaje igual de 3.6 %, y como era de esperarse este valor fue incrementándose ligeramente en las siguientes presiones osmóticas con NaCl, correspondientes a 150, 200 y 250 mM obteniendo valores de 4.6, 6.0 y 10 % respectivamente.

En la variable SSG se presentó un comportamiento muy similar a la variable anterior (PA) aunque con valores mas bajos, donde a medida que incrementó la condición estresante con NaCl también aumentó el número de semillas incapacitadas para tener una germinación normal, presentando los valores de 0.3, 0.7, 2.0, 2.6 y 4.6 % para las respectivas concentraciones de 0, 50, 150, 200 y 250 mM, confirmando el comportamiento dado en PA.

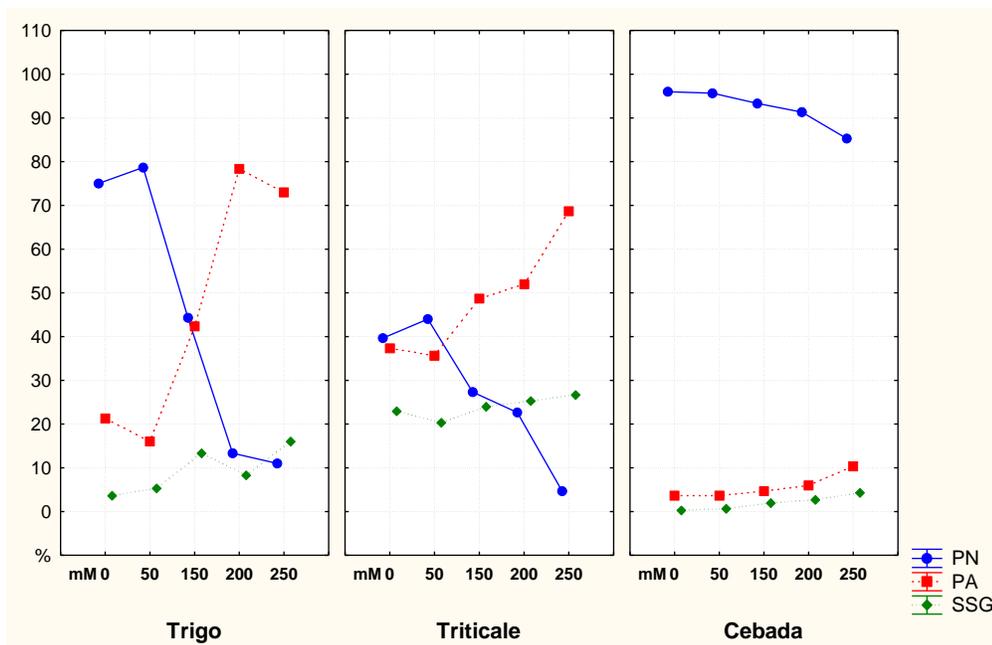


Figura 4.2 Respuestas de la capacidad de germinación de las interacciones de especies por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

Trigo

En Trigo se presentó el mayor porcentaje de PN en la concentración de 50 mM con 79 % superando a la de 0 mM que presentó 75 % tal y como se observa en la Figura 4.2, aunque según la prueba de comparación de medias DMS ambos fueron estadísticamente iguales. En un estudio realizado por Vargas (2010) comenta que el aumento en el número de PN a una concentración baja de NaCl (50 mM) puede deberse a que hubo una pequeña entrada de iones sodio y cloruro hacia el interior de la semilla, creando un ambiente osmótico favorable para un proceso de imbibición mas rápido y por tanto un mayor porcentaje de germinación. Continuando con la misma Figura y variable se observó que para la concentración de 150 mM con un valor de 44 % el número de PN descendió

de forma significativa con respecto a la concentración anterior (50 mM) pasando algo similar en las concentraciones de 200 y 250 mM con valores de 13 y 11 % respectivamente.

En la variable PA el valor más bajo se encontró en la concentración de 50 mM con 16 % cuyo valor fue mas bajo que el testigo absoluto de 0 mM que presentó 21% y a partir de 150 mM (42 %) se notó claramente un aumento en el porcentaje de esta variable en las concentraciones de 200 y 250 mM con 78 y 73 % respectivamente.

En SSG el menor porcentaje lo presentó el testigo absoluto (0 mM) con 3.6 %, seguido de las concentraciones 50 y 150 mM con 5.3 y 13 % respectivamente, después en la concentración de 200 mM se dio una ligera disminución obteniendo un 8.3 % para después incrementar nuevamente alcanzando un valor de 16 % como se observa en la Figura 4.2.

Triticale

En el promedio general de la especie Triticale al igual que la anterior (Trigo), presentó el valor más alto en porcentaje de PN en la condición de estrés a 50 mM de NaCl con 44 % seguido por la de 0 mM con 40 %, debido posiblemente a que la semilla no contaba con suficiente calidad fisiológica y por lo tanto los resultados no fueron confiables en esta especie; y como era de esperarse se observó el mismo efecto negativo de la germinación a las concentraciones de 150, 200 y 250 mM de NaCl con los porcentajes correspondientes de 27, 23 y 4.6 % como se observa en la Figura 4.2.

En la variable PA para esta misma especie se encontró que la concentración de 50 mM obtuvo un porcentaje de anormalidades de 35 % seguido del testigo absoluto (0 mM) con 37 %; así como una vez más las concentraciones de 150, 200 y 250 mM incrementaron de forma muy significativa los porcentajes hasta 49, 52 y 68 % respectivamente, mostrando un efecto aún más severo en el aumento de concentración de salinidad.

En la variable SSG, la concentración de 50 mM y el testigo absoluto (0 mM) obtuvieron los valores más bajos con 20 y 23 %, teniendo una tendencia similar como en las variables anteriores, al aumentar las concentraciones a 150, 200 y 250 mM se da un incremento en el porcentaje presentando 24, 25.3 y 26.6 % respectivamente pero incrementos no son tan drásticos como en las variables anteriores (PN y PA).

Interacción de las variedades por concentraciones en cada especie

Cebada

Narro-221. En esta variedad, la tendencia de la germinación disminuyó a medida que la concentración de sal aumentaba generando menor porcentaje de plántulas normales a excepción de la última concentración donde existió un ligero aumento; a 0 y 50 mM se observó un porcentaje de 96 y 94 % como se muestra en la Figura 4.3, lo cual indica una alta calidad fisiológica de la variedad, sin verse afectada por la poca concentración de sal; pero a partir de la concentración de 150 mM en adelante (200 y 250 mM) se obtuvieron valores

menores de 93, 85 y 87 % respectivamente; marcando un ligero efecto negativo por la concentración de sal. Sin embargo, estos valores son significativamente importantes de resaltar por mostrar muy poco efecto negativo en la germinación, reflejando que esta variedad tiene características de tolerancia a salinidad.

En el caso de la variable PA y SSG, se logra observar que la tendencia de la variedad al ser sometida a las diferentes concentraciones dada en la Figura 4.3, existió un aumento en el número de anomalías y consecuencia de semillas sin germinar. Sin embargo, no fue significativa la respuesta negativa por la poca diferencia.

Narro-95. En la respuesta de esta variable a las concentraciones, se encontró que el efecto fue de manera constante en descenso; comenzando a 0 y 50 mM se obtuvieron porcentajes de 98 y 99 %; y a 150, 200 y 250 mM se presentaron valores de 95, 92 y 88 % (Figura 4.3), el efecto de la salinidad fue negativo a medida que se tenía mayor concentración. Sin embargo, estos porcentajes de germinación siguen siendo aceptables para considerar la semilla de alta calidad fisiológica por lo que también puede ser una variedad recomendada para estos suelos de tipo salinos o sódicos.

Con respecto a las variables PA y SSG, a medida que aumenta la concentración de sal aumenta el valor de plántulas anormales como se muestra en la Figura 4.3, lo que indica que el efecto de la sal se refleja en el grado de anomalía en la plántula, pero los valores en SSG no muestran un efecto

negativo indicando que concentraciones menores o iguales a 250 mM de salinidad no causan muerte en la semilla.

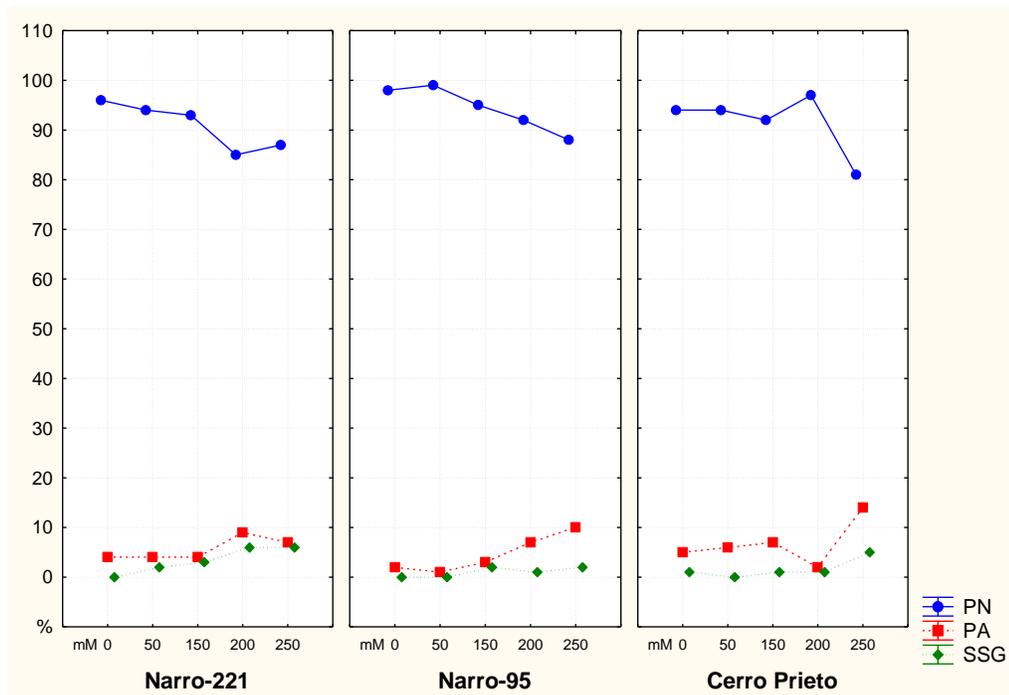


Figura 4.3 Respuestas de la capacidad de germinación de tres variedades de Cebada por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

Cerro Prieto. En el caso de la variedad comercial Cerro Prieto, su respuesta es favorable, encontrando que a 0 y 50 mM su germinación fue de 94 % y a 150, 200 y 250 mM los valores fueron de 92, 97 y 81 % dado en la Figura 4.3, sobresaliendo la concentración de 200 mM que obtuvo el mayor porcentaje, lo cual puede ser el punto de comparación o referencia de las variedades estudiadas para poder describir una característica sobresaliente en tolerancia a salinidad en un proceso de registro de nuevas variedades.

En las concentraciones de 0, 50, 150, y 200 mM para las variables PA y SSG en esta variedad, se mostraron valores muy similares (Figura 4.3); pero en la concentración de 250 mM existió un aumento considerable en ambas variables de 14 % (PA) y 5 % (SSG), lo que se puede mencionar que a esta concentración la variedad Cerro Prieto puede sufrir estrés y bajar su capacidad de germinación.

Trigo

AN-239. El efecto en este genotipo ante las diferentes presiones osmóticas de sal, resulto ser negativo en todas concentraciones ya que presentó los porcentajes de PN más bajos, aún en las concentraciones de 0 y 50 mM (65 y 67 %). Sin embargo, la respuesta obtenida en las siguientes concentraciones fue menos negativa en comparación de los demás materiales genéticos de Trigo, como se observa en la Figura 4.4, donde a 250 mM que es la más alta concentración, se obtuvo un 24 % de germinación. Cabe señalar que este genotipo tuvo una tendencia negativa a medida que aumentaban las concentraciones pero sin llegar a perder totalmente su germinación como fue en los siguientes casos.

En la variable PA, se encontró que a las concentraciones de 0 y 50 mM se observaron porcentajes de 29 y 27 % respectivamente, que posteriormente ascendió en las siguientes concentraciones (150 y 200 mM) hasta a tomar valores de 32 y 65 % de anormalidades y en la última concentración de 250 mM

se obtuvo un porcentaje de 54 % observándose el efecto del daño que causa la cantidad de sal en el medio (Figura 4.4)

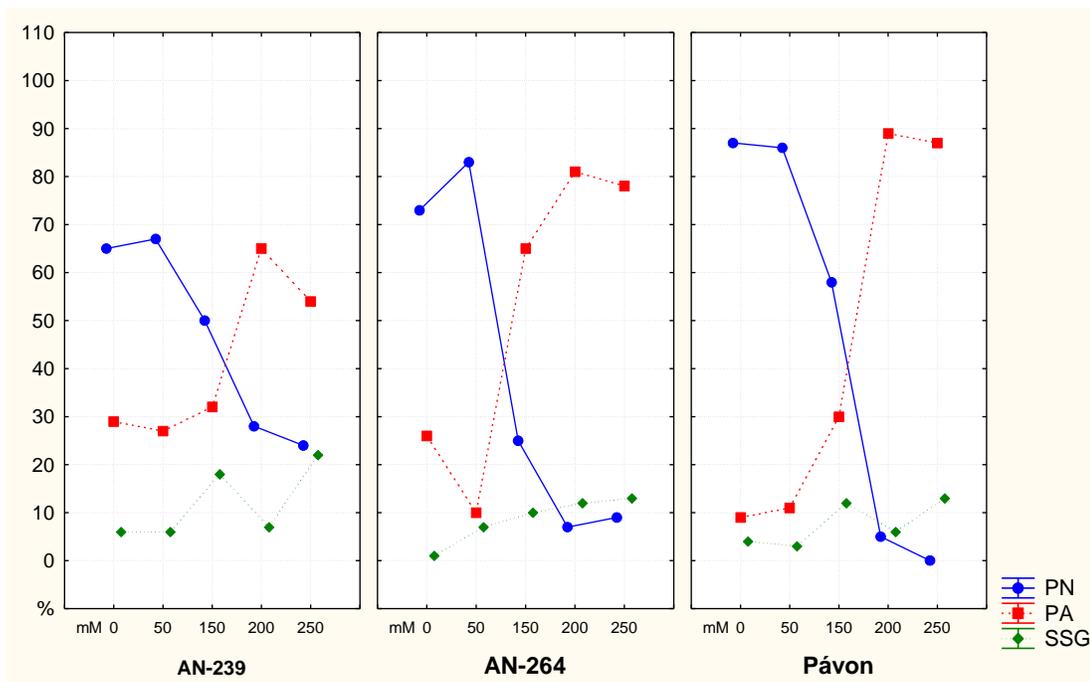


Figura 4.4 Respuestas de la capacidad de germinación de tres variedades de Trigo por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

Con respecto a la variable SSG en este genotipo (AN-239), mostró que en las concentraciones de 0 y 50 mM se tuvieron valores iguales de 6 %, mientras que a la concentración de 150 mM se reflejó el efecto negativo del aumento de la presión osmótica llegando a aumentar hasta un 18 % de SSG, para las concentraciones de 200 y 250 mM como de era de esperarse aumentó el daño hasta sobrepasar el 20 % de SSG, como se muestra en la Figura 4.4, esto nos indica que este genotipo es susceptible a las condiciones de presiones osmóticas con sal elevadas por lo que no es recomendable su utilización en

suelos de esta naturaleza, ya que su producción y rendimiento serán inferiores a los de otros genotipos.

Pavón. Como se observa en la Figura 4.4 la variedad comercial Pavón obtuvo un porcentaje similar de PN en las concentraciones de 0 mM y 50 mM con 87 y 86 % respectivamente, sugiriendo que esta variedad tiene un alto porcentaje de capacidad de germinación en ausencia o con bajas concentraciones de NaCl; así mismo se observa en la misma Figura que al incrementar la concentración a 150, 200 y 250 mM, sufre un efecto muy negativo porque este valor disminuye drásticamente llegando a inhibir por completo su capacidad de germinación obteniendo valores de 58, 5 y 0 % respectivamente, reflejando la susceptibilidad de la variedad ante potenciales osmóticos elevados de sal.

Para las variables PA y SSG, nuevamente las concentraciones de 0 y 50 mM presentaron porcentajes muy similares en ambas variables (con 9 y 11 % en PA y 4 y 3 % en SSG); y posteriormente se presentó un aumento muy notable de anomalías a las siguientes concentraciones de 150, 200 y 250 mM alcanzando valores hasta de 30, 89 y 87 % respectivamente, generando el aumento de los potenciales osmóticos efectos muy negativos al llevar a la plántula a normalidades de carencia de parte aérea (coleoptilo y plúmula) y solo contar con poca raíz; mientras que en la variable SSG el aumento no fue considerable por lo que el efecto del estrés por salinidad en esta variedad se le atribuye principalmente al aumento de PA.

AN-264. Este genotipo presentó el mayor porcentaje de PN en la concentración de 50 mM (83 %) como se observa en la Figura 4.4; y al incrementar la salinidad a solo 150 mM, su capacidad de germinación disminuye drásticamente hasta 25 %, lo que nos muestra que el efecto de la sal es muy perjudicial para este genotipo; ya que esta tendencia de daño continúa en la concentración de 200 y 250 mM alcanzando tan solo porcentajes de 7 y 9 % respectivamente.

En variable PA, se observa que en las concentraciones de 0 y 50 mM hubo una respuesta de 26 y 10 %, lo cual muestra que la semilla no tenían buena calidad fisiológica y por esa razón las respuesta en las diferentes concentraciones de sal fue muy diferente, ya que al aumentar la concentración a 150 y 200 mM ascendió el efecto negativo de manera muy significativa llegando a tomar valores de hasta el 80%. Por último, a 250 mM el porcentaje registrado fue de 78 % marcando notablemente un efecto de anomalía dado por carencia de parte aérea (sin coleoptilo y plúmula) y poca radícula sin llegar a tener sus estructuras esenciales.

Con respecto a la variable SSG, el valor más bajo se presentó a 0 mM con 1 %, como se observa en la misma Figura 4.4, y en las concentraciones siguientes (50, 150, 200 y 250 mM) se dieron pequeños aumentos de forma homogénea en el valor de esta variable, por tal motivo el efecto negativo del estrés por salinidad en esta variedad se le atribuye al incremento de PA.

Triticale

AN-31. Este genotipo presentó los valores de PN más bajos de los materiales en estudio de esta especie, mismos que se debieron principalmente a la calidad fisiológica inicial de la semilla y no al efecto del estrés por salinidad; resultando valores muy similares en las concentraciones de 0 y 50 mM con 25 y 28 % respectivamente; para posteriormente en las siguientes de 150, 200 y 250 presentarse los efectos negativos de la salinidad al disminuir hasta tomar porcentajes de 10, 19 y 5 % respectivamente.

En las variables PA y SSG se presentaron valores muy altos en todas las concentraciones de salinidad, por lo que como se mencionó anteriormente los resultados obtenidos en estas variables se debieron principalmente a las malas condiciones fisiológicas de la semilla y no al efecto estresante dado por las concentraciones de salinidad.

AN-34. Como se observa en la Figura 4.5 este genotipo presentó porcentajes de germinación muy similares en las concentraciones de 0 y 50 mM con 49 y 45 %, valores que muestran que la semilla no tenía suficiente calidad fisiológica inicial y por esa razón la respuesta en las diferentes concentraciones de sal fue muy diferente, ya que al aumentar la concentración a 150, 200 y 250 mM se obtuvieron valores muy bajos hasta de 28, 37 y 9.0 % respectivamente, indicando un gran daño a la semilla por estas condiciones. La tendencia de las concentraciones reflejó el efecto dañino a la poca germinación con que contaba el material. Por lo que esta variedad posiblemente es susceptible a estos

condiciones de estrés y hay que tener cuidado en recomendarla para suelos con problemas salinos, sódicos o salino sódicos.

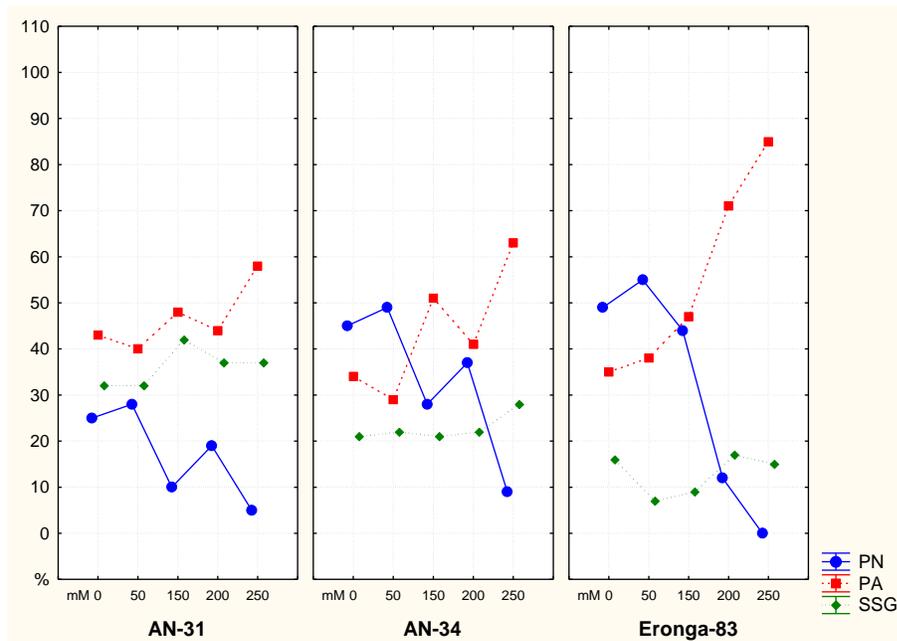


Figura 4.5 Respuestas de la capacidad de germinación de tres variedades de Triticale por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

Para la variable PA, nuevamente las concentraciones de 0 y 50 mM presentaron porcentajes muy similares de 34 y 29 % respectivamente; y después se notó claramente el efecto negativo de la salinidad, ya que se obtuvo un aumento muy notable en las siguientes concentraciones de 150, 200 y 250 mM alcanzando valores hasta de 30, 89 y 87 % respectivamente. Donde las anomalías presentadas fueron en general ausencia de parte aérea y radícula poco desarrollada, causando la muerte de la plántula a los pocos días de haber emergido

En la variable SSG no se presentó un efecto negativo por la salinidad en las concentraciones de 50, 150 y 200 mM mismas que obtuvieron valores muy similares. Sin embargo, fue hasta la concentración de 250 mM donde se presentó un ligero aumento a 28 %, marcando una notable muerte en la semilla a esta condición, como se observa en la Figura 4.5

Eronga-83. En esta variedad los porcentajes de germinación más altos dados por el número de plántulas normales, fueron las primeras concentraciones de 0 y 50 mM con 49 y 55 % respectivamente; seguidos de 150, 200 y 250 mM, quienes presentaron nuevamente el efecto negativo del estrés por salinidad al ir descendiendo de forma drástica hasta llegar a valores de 44, 12 y 0 % respectivamente. Como es de observar, por tener en el testigo tan solo 49 % de germinación, se deduce que la calidad de la semilla de esta variedad fue en un inicio de baja calidad, lo que pudo haber influido que tuviera este efecto negativo llegando a tomar un porcentaje de 0 % en la concentración más alta. Por lo que esta variedad posiblemente es susceptible a estas condiciones de estrés y hay que tener cuidado en no recomendarla para suelos con concentraciones moderadas de salinidad.

Con respecto a las variables PA y SSG, a medida que la concentración de sal aumentaba, incrementaba el número de anormalidades, como se observa en la Figura 4.5, donde 0 y 50 mM presentaron 43 y 40 % y en 150, 200 y 250 mM se obtuvieron valores de 48, 44 y 58 % respectivamente, lo que indica que el efecto de la sal se refleja en el grado de anormalidad en la plántula con poco crecimiento menos de 1 cm; en cambio, el porcentaje de SSG no se vió

afectado por las concentraciones, porque no mostraron un cambio tan negativo al incrementarse salinidad, teniendo valores desde 32 a 37 %.

Vigor mediante Índice de velocidad de emergencia (IVE)

El análisis de varianza (ANVA) encontró que existe una diferencia altamente significativa entre los genotipos, especies y concentraciones estudiados, con un coeficiente de variación de 9.44%.

Efecto entre especies

Según el ANVA en el Cuadro 4.2, hubo diferencias altamente significativas entre las tres especies estudiadas en la respuesta o efecto de la salinidad; por tal motivo se hizo una prueba de comparación de medias (DMS al 0.05 de probabilidad) en la que se observó que la Cebada fue notablemente superior en vigor mediante el IVE a los otros cereales, mostrando un total de 91.9 plántulas emergidas por día, dejando en segundo lugar el Trigo con una diferencia de 20 plántulas por día, mismo que presentó un total de IVE de 70.8 y por último el Triticale que presentó el valor más bajo en esta variable de solo 63.5 confirmando que efectivamente esta especie fue la de menor calidad fisiológica de las estudiadas.

Cuadro 4.2 Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en la variable de IVE en 9 genotipos de cereales de grano pequeño sometidos a diferentes concentraciones de NaCl.

Fuentes de variación	GL	IVE
Especie	2	13037.7**
Variedad(Especie)	6	619.49**
Concentración	4	4879.61**
Especie*Concentración	8	352.33**
Variedad*Concentración(Especie)	24	384.77**
Error	135	50.75
Total	179	
C.V		9.44
Especies		
Trigo		70.84 B
Triticale		63.542 C
Cebada		91.928 A
Concentraciones		
0		88.639 A
50		84.654 B
150		75.038 C
200		68.909 D
250		59.939 E

** =Nivel de significancia (0.01 %), GL= Grados de libertad, DMS= diferencia mínima significativa 0.05%

Efecto entre las concentraciones

Para esta fuente de variación se encontró una diferencia altamente significativa mostrado en el mismo Cuadro 4.2, resultando en la prueba de comparación de medias que todas las concentraciones fueron estadísticamente diferentes, siendo el testigo absoluto (0 mM) el que obtuvo el mayor número de plántulas emergidas por día con un valor de 88.6; encontrándose en segundo lugar la concentración de 50 mM con un índice de 84.6, dejando en tercero, cuarto y quinto lugar las concentraciones de 150 200 y 250 mM con índices de velocidad de emergencia de 75.038, 68.909 y 59.9 respectivamente.

Efecto de la interacción variedades por especies

En la presente fuente de variación variedad por especie, el genotipo experimental de Cebada, Narro-95 sobresalió con un IVE de 96.1 obteniendo la mayor cantidad de plántulas emergidas por día, dejando en segundo y tercer lugar a los materiales Cerro Prieto y Narro-221 con 92.3 y 87.4 respectivamente (Figura 4.6)

Dentro de la especie Trigo, el genotipo experimental AN-239 con 75.6 fue ligeramente superior a la variedad comercial Pavón que obtuvo 72.7 plántulas emergidas por día (Figura 4.6); y por último el genotipo experimental AN-264 que presentó el IVE mas bajo con 64.3.

Como se indicó anteriormente, los materiales evaluados de Triticale se encontraron de manera general en el último lugar por su calidad fisiológica baja, donde el genotipo AN-34 obtuvo el valor más alto (69.9) entre los materiales de esta especie, comparativamente fue solo ligeramente superior al trigo AN-264 quien obtuvo el más bajo IVE dentro de su especie. El siguiente grupo estadístico dentro de la especie Triticale fue la variedad comercial Eronga-83 con un número de plántulas por día de 64.315; y por último el genotipo experimental AN-31 con solo 56.92, quien presentó el más bajo índice en esta especie, mostrado en el Figura 4.6.

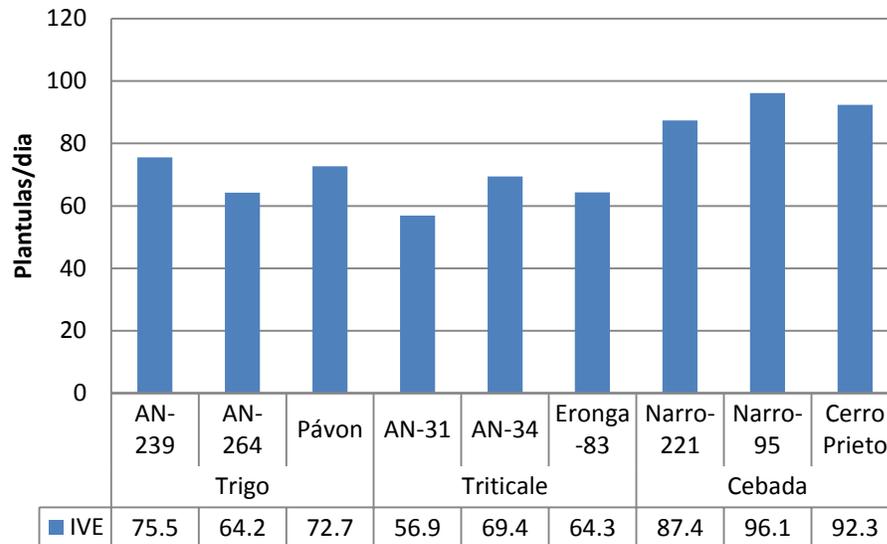


Figura 4.6 Respuestas de la variable IVE de nueve materiales genéticos al ser sometidos a estrés con NaCl

Interacción de las especies por concentraciones

Cebada

En la Figura 4.7, se presentan las diferentes respuestas de las tres especies estudiadas, mostrando nuevamente que los efectos del estrés por salinidad son en general negativos, siendo la Cebada el cereal con menor variación al incrementar los potenciales osmóticos 0, 50, 150, 200 y 250 mM. Obteniendo valores de plántulas emergidas por día de 99.3, 98.3, 95.9, 89.9 y 76.1 respectivamente.

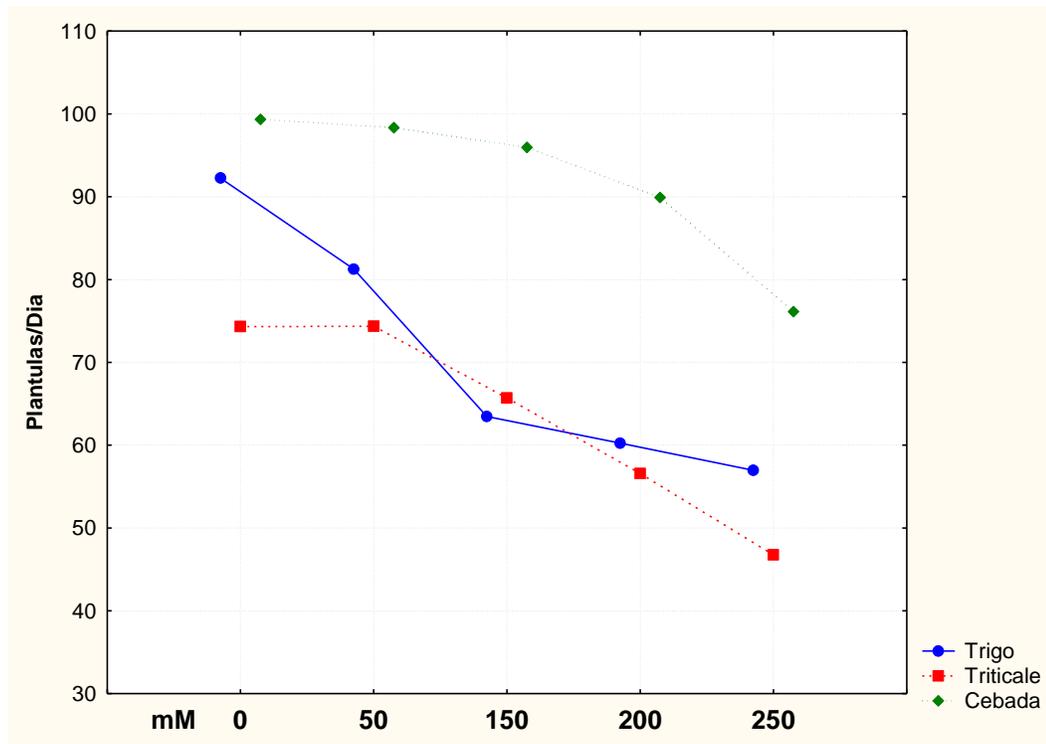


Figura 4.7 Respuestas de la variable IVE de tres especies de cereales por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

Trigo

En Trigo mostrado en la Figura 4.7, el testigo absoluto (0 mM) obtuvo el mayor número de plántulas emergidas por día con un valor de 92.2, y a partir de esta, se observó una marcada tendencia descendente principalmente al aumentar la concentración tan solo de 50 mM donde el valor disminuyó hasta 81.2; a la siguiente concentración de 150 mM que llegó a ser de 63.4 plántulas emergidas por día, habiendo un valor de poco más de 19 de diferencia debido a que en esta última se da un aumento de 100 mM y no de 50 mM como se hizo en las otras concentraciones. Por último a 200 y 250 mM también existió un

descenso en el IVE que cambió de 60.2 a 56.9 respectivamente siendo como era de esperarse, los valores más bajos.

Triticale

En Triticale destacó, que las concentraciones de 0 y 50 mM mostraron el mismo IVE de 74.3, lo que sigue confirmando que esta semilla no contaba con calidad fisiológica, y que al incrementarse a 150, 200 y 250 mM, el IVE disminuyó de una forma uniforme, con una diferencia muy cercana a 10 plántulas emergidas por día , entre cada una, obteniendo los valores de 65.7, 56.5 y 46.7 respectivamente; lo cual indica que esta especie no es apta para soportar estas condiciones estresantes de salinidad (Figura 4.7)..

Interacción de las variedades por concentraciones en cada especie

Trigo

AN-239. Se encontró que el efecto de las diferentes concentraciones de salinidad fue de manera negativa, disminuyendo conforme se incrementaban las concentraciones de salinidad como se observa en la Figura 4.8. Cuando la concentración fue de 0 mM (testigo) se obtuvo un IVE de 93.5 y en las siguientes concentraciones de 50, 150, 200 y 250 mM se hicieron presentes los efectos negativos de este estrés obteniendo valores de 89.5, 75.3, 78.4, y 40.9 respectivamente, en el número de plántulas emergidas por día.

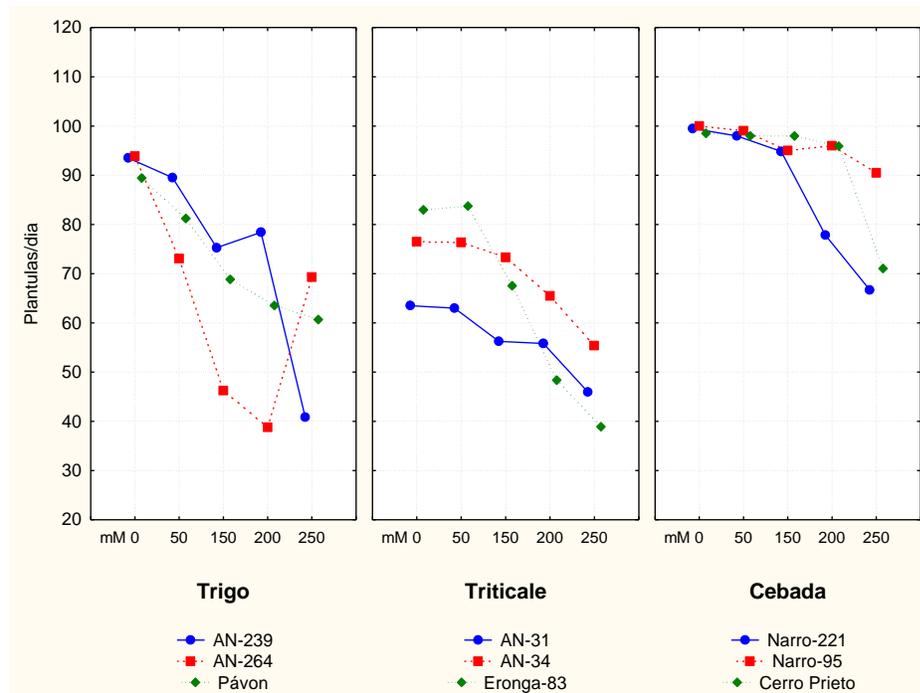


Figura 4.8 Respuestas de la variable IVE de nueve materiales genéticos por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

AN-264. La respuesta de este genotipo en las concentraciones de salinidad fue negativa de manera muy significativa, conforme se incrementaban las emergencias disminuían, donde 0 mM (93.8 Plántulas/día), 50 mM (73.0 Plántulas/día), 150 mM (46.3 Plántulas/día) y 200 mM (38.8 Plántula/día), con excepción de la concentración de 250 mM, quien presentó un cambio positivo en el número de plántulas emergidas por día de 69.3 como se observa en la Figura 4.8; debido tal vez a que en el primer día, una gran cantidad de sal entro en su forma molecular y no en forma de iones, que son los que provocan toxicidad en la semilla, creando un gradiente osmótico favorable y provocando una rápida imbibición de la semilla que pudo propiciar el aumento de emergencia de las semillas en el primer día; ya que según los resultados

obtenidos, en los seis días siguientes ya no se presentó emergencia en las semillas faltantes.

Pavón. Los efectos del estrés por salinidad también fueron negativos para esta variedad, aunque es de observar que entre los materiales estudiados de Trigo, este material comercial fue el que presentó la menor variación en el IVE, que al incrementar las concentraciones de salinidad disminuyó relativamente poco, donde las concentraciones de 0 y 50 mM se obtuvo un índice de velocidad de emergencia de 89.4 y 81.3 respectivamente como lo muestra la Figura 4.8; y para las siguientes concentraciones de 150, 200 y 250 mM continuó la tendencia negativa reportando 68.9, 63.5 y 60.7 plántulas emergidas por día.

Triticale

AN-31. Este genotipo, como se observa en la Figura 4.8, obtuvo una cantidad muy similar de plántulas emergidas por día en las concentraciones de 0 y 50 mM de 63.5 y 63.0 respectivamente, reflejando que la semilla no tenía una buena calidad fisiológica inicial; mientras que en las concentraciones siguientes de 150, 200 y 250 mM se encontraron nuevamente los efectos negativos, provocados por el aumento de la presión osmótica con NaCl, presentando índices de velocidad de emergencia de 56.3, 55.8 y 46 respectivamente.

AN-34. Nuevamente las concentraciones de 0 y 50 mM, en este genotipo, obtuvieron un IVE muy similar de 76.5 y 76.3 en cada concentración; mientras que en las siguientes concentraciones de 150, 200 y 250 mM se mostró un

descenso constante cómo se observa en la Figura 4.8 presentando índices de velocidad de emergencia de 73.3, 65.5 y 55.3 cada una; lo que es de observar que aunque la semilla de este genotipo no contaba con una buena calidad fisiológica inicial dado por el bajo IVE obtenido en la concentración testigo (0 mM), fue el que presentó los cambios menos drásticos conforme se incrementaron las concentraciones de salinidad. Por tal motivo de los materiales de Triticale estudiados, este es el más recomendable para lugares con suelos afectados por este estrés.

Eronga-83. De los materiales estudiados de Triticale, este material comercial fue el que presentó los cambios más drásticos al incrementar las concentraciones de salinidad y aunque presentó valores muy similares en las concentraciones de 0 y 50 mM con 83 y 83.8 de IVE, en las siguientes concentraciones se presentaron cambios negativos muy significativos, resultando que conforme se aumentaron las concentraciones de salinidad a 150, 200 y 250 mM se alcanzaron valores de IVE de hasta 67.5, 48.4 y 38.9 respectivamente (Figura 4.8); lo cual nos dice que esta variedad se puede utilizar sin que su IVE se vea afectado, a concentraciones menores o iguales a 50 mM.

Cebada

Narro-221. Esta fue la variedad de Cebada en la que los efectos negativos provocados por el estrés por salinidad en el IVE fueron más representativos; notándose como en las concentraciones de 0 y 50 mM se obtienen valores muy

similares de IVE (99.5 y 98 respectivamente) y disminuyó significativamente en las concentraciones de 150 200 y 250 tomando valores de 94.8 77.8 y 66.8 de IVE, respectivamente (Figura 4.8); mostrando claramente el gran efecto negativo causado por la salinidad en concentraciones mayores o iguales a 150 mM.

Narro-95. Como se observa en la Figura 4.8, el efecto del estrés por salinidad es negativo donde los resultados obtenidos muestran que a 0 y 50 mM presentaron respuestas muy similares con emergencias de 100 y 99.0 cada una; posteriormente se obtuvieron ligeros cambios negativos en las concentraciones siguientes de 150, 200 y 250 mM, obteniendo valores de 95, 96 y 90 en el IVE respectivamente; por lo que se confirma nuevamente la gran capacidad de adaptación de este genotipo a ambientes afectados por estrés salino

Cerro Prieto. Esta variedad presentó valores de IVE muy similares en las concentraciones de 0, 50 y 150 mM de 98.5, 98.0 y 98.0 respectivamente, cómo se muestra en la Figura 4.8, lo cual indica que este material puede tolerar ambientes de hasta 150 mM de salinidad sin que se presente un efecto negativo en su IVE; y continuando con la misma Figura en las concentraciones de 200 y 250 mM se presentó una disminución significativa especialmente en la de 250 mM donde el IVE disminuyó hasta tomar un valor de 71.1.

Vigor mediante Longitud media de radícula

Efectos entre especies

Según el ANVA en el Cuadro 4.3, se encontraron diferencias altamente significativas para esta fuente de variación los resultados de la comparación de medias mostraron que la especie Cebada presentó una mejor respuesta fisiológica frente al estrés por salinidad en esta variable y se encontró en el primer grupo estadístico con una longitud de raíz de 10.2 cm, dejando en un segundo grupo al Trigo que presentó 5.2 cm, y por último como era de esperarse la especie Triticale con solo 2.8 cm.

Efectos entre Concentraciones

Los resultados obtenidos a diferentes potenciales hídricos con NaCl mostraron diferencias altamente significativas en LMR entre los potenciales aplicados donde el testigo (0 mM) con 8.98 cm y la concentración de 50 Mm con 9.04 cm resultaron estadísticamente iguales aunque este último haya sido ligeramente superior. Es notable que a partir de la concentración de 150 mM esta variable comenzó a disminuir de forma significativa tomando valores de 5.94 cm para 150 mM, 3.92 cm para 200 mM y por último 2.53 cm en la concentración de 250 mM (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3 Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en la variable de LMR en 9 genotipos de cereales de grano pequeño sometidos a diferentes concentraciones de NaCl.

Fuentes de variación	GL	LMR
Especie	2	849.41**
Variedad(Especie)	6	25.77**
Concentración	4	309.86**
Especie*Concentración	8	39.54**
Variedad*Concentración(Especie)	24	10.04**
Error	135	1.08
Total	179	
C.V		17.05
Especies		
Trigo		5.2137 B
Triticale		2.8332 C
Cebada		10.2057 A
Concentraciones		
0		8.9814 A
50		9.0425 A
150		5.9372 B
200		3.9256 C
250		2.5342 D

** =Nivel de significancia (0.01 %), GL= Grados de libertad, DMS= diferencia mínima significativa 0.05%

Efecto de la interacción variedades por especies

Hubo diferencias altamente significativas para esta fuente de variación, y si observamos la Figura 4.9 los materiales de Cebada presentaron los valores mas altos, donde el genotipo experimental Narro-221 con 10.85 cm obtuvo la mayor longitud, seguido por Narro-95 con una ligera diferencia de 0.4 cm y en tercer lugar la variedad comercial Cerro Prieto con 9.33 cm.

Continuando con la Figura 4.9, dentro de los materiales de Trigo la variedad comercial Pávon con 6.96 cm fue la que mostró mejor respuesta al estrés por salinidad y posteriormente en segundo y tercer lugar los genotipos comerciales AN-264 y AN-239 con 3.18 y 3.19 cm respectivamente.

La especie Triticale de manera general presentó las longitudes más bajas, y dentro este cereal entre los materiales evaluados, el genotipo experimental AN-34 obtuvo la longitud de radícula más alta con 3.51 cm, mientras que en segundo lugar se encontró a la variedad comercial Eronga-83 con 3.27 cm y por último el genotipo experimental AN-31 con 1.72 cm, teniendo la más baja LMR (Figura 4.9).

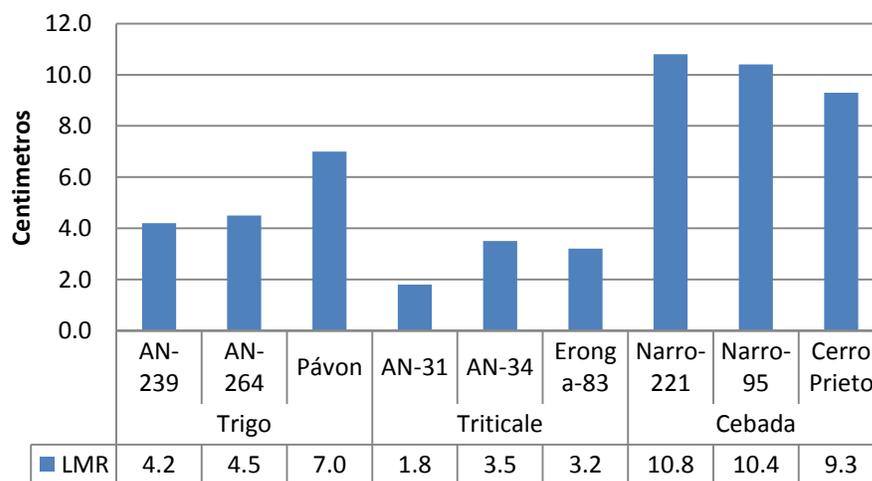


Figura 4.9 Respuestas de la variable LMR de la interacción variedades dentro de especies al ser sometidos a diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

Interacción de las especies por concentraciones

Cómo se observa en la Figura 4.10, se presentaron diferencias altamente significativas entre las tres especies en relación con la tolerancia al incremento en las concentraciones de NaCl y nuevamente la Cebada presentó cambios menos drásticos al ir aumentando el estrés por salinidad obteniendo la mayor longitud de raíz en la concentración de 50 mM con 12.3 cm dejando en segundo, tercero, cuarto y quinto lugar a las concentraciones 0, 150, 200, y 250 mM con sus valores promedio de longitud de 12.1, 11, 8.8 y 6.7 cm, mostrando claramente el efecto negativo de la salinidad a una concentración alta como fue la de 250 mM.

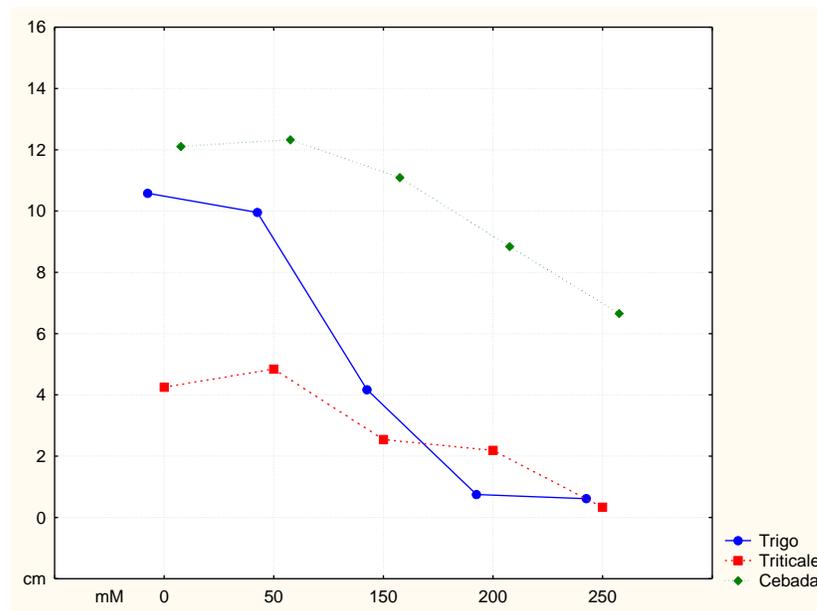


Figura 4.10 Respuestas de la variable LMR de tres especies de cereales por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

En la especie Trigo, el testigo absoluto y la concentración de 50 mM presentaron valores muy similares de 10.05 y 9.95 cm respectivamente en esta variable, y se puede observar que la concentración de 150 mM disminuye drásticamente con respecto a las concentraciones anteriores hasta 4.18 cm; es de resaltar que al aumentar las concentraciones a 200 y 250 mM, la raíz llegó a disminuir a valores muy similares de 0.75 y 0.61 cm, marcando un efecto negativo en una concentración mayor a 150 mM (Figura 4.10).

Respecto a la especie Triticale, la mayor respuesta en longitud de raíz se presentó a una concentración de 50mM con 4.84 cm, seguida del testigo absoluto con 4.26 cm, y partir de la siguiente concentración de 150mM al igual que las especies de Trigo y la Cebada, los valores disminuyen considerablemente cada vez que se aumenta la concentración de NaCl obteniendo valores de 2.5, 2.1 y 0.3 para su respectiva concentración de 150, 200 y 250 mM (Figura 4.10).

Interacción de las variedades por concentraciones en cada especie

Trigo

AN-239. El efecto de las concentraciones de salinidad en la LMR de este genotipo fue notablemente negativo como se observa en la Figura 4.11, donde la mayor longitud se presentó en la concentración de 0 mM con 8.2 cm, y en las siguientes concentraciones estudiadas 50, 150, 200 y 250 mM disminuyó de una forma lineal hasta llegar a tener valores de 5.8, 4.1, 1.4 y 1.3 cm

respectivamente. Sin embargo, se observa que los cambios o efectos negativos al incrementar las concentraciones de salinidad no fueron tan drásticos como en los siguientes materiales de esta especie descritos a continuación.

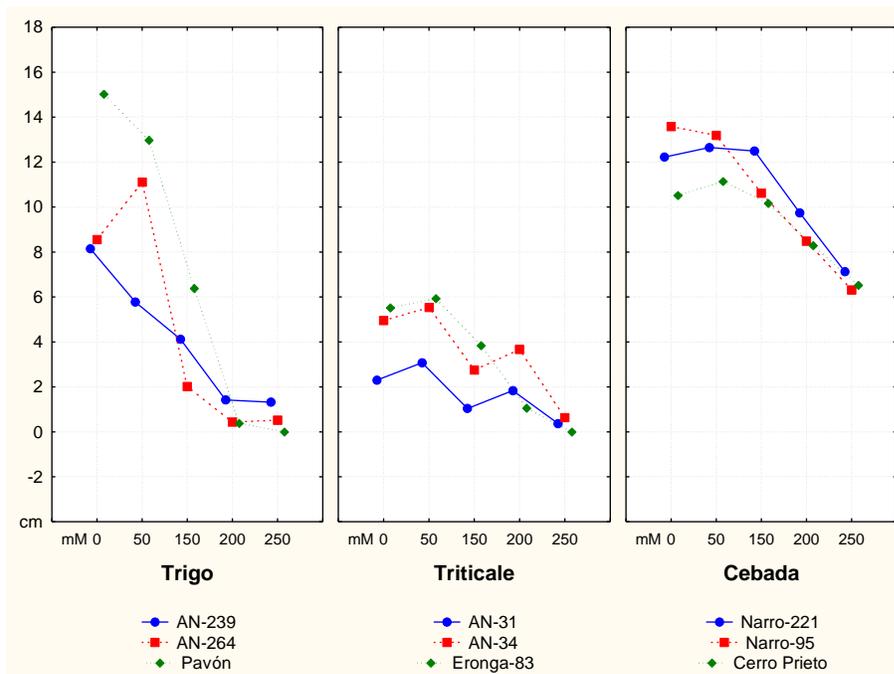


Figura 4.11 Respuestas de la variable LMR de nueve materiales genéticos de cereales de grano pequeño sometidos a diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

AN-264. En este genotipo experimental, la mayor LMR se presentó en la concentración de 50 mM con 11.1 cm siendo notablemente superior al testigo que obtuvo solamente 8.6 cm, al incrementar las concentraciones a 150, 200 y 250 mM, se dio una disminución muy drástica en el valor de esta variable como se observa en la Figura 4.11, alcanzando longitudes muy bajas de hasta 2.0, 0.4 y 0.5 respectivamente, mostrando la alta susceptibilidad a presiones osmóticas mayores de 50 mM.

Pavón. Los valores de esta variable en este material, nuevamente fueron en descenso conforme se incrementaron las concentraciones de salinidad, aunque 0 y 50 mM obtuvieron longitudes muy similares de 15 y 13 cm respectivamente; para que en las concentraciones siguientes de 150, 200 y 250 mM hacerse presente el efecto del estrés por salinidad al disminuir notablemente alcanzando valores de 6.4, 0.4 y 0.0 cm respectivamente (Figura 4.11).

Triticale

AN-31. La mayor respuesta de LMR en este genotipo, se presentó en la concentración de 50 mM con 3.1 cm seguido del testigo con 2.3 cm como se observa en la Figura 4.11, es de notar que los valores son muy bajos lo cual muestra nuevamente que la semilla no contaba con una buena calidad fisiológica inicial y por lo tanto los resultados obtenidos en esta variable, no son del todo confiables; por lo que era de esperarse que en las siguientes concentraciones la longitud todavía fuera aún menor, sin embargo se logra detectar que a una concentración de 200 mM aumenta un poco la longitud a 1.8 cm mientras que a 150 se logró obtener un descenso de 1.0 cm y a 250 un descenso aun mayor (0.4 cm).

AN-34. Los efectos en esta línea se presentaron con un aumento a una salinidad de 50 mM con 5.5 cm, mientras que en la siguiente concentración (150 mM) disminuyó hasta 2.7 cm. Sin embargo al aumentar la concentración a 200 mM se presentó un ligero efecto positivo pero no mayor que el testigo y 50 mM siendo de 3.7 cm como se muestra en la Figura 4.11; pero el efecto

negativo se pronunció a la concentración más alta teniendo una longitud a penas de 0.6 cm, marcando un estrés muy evidente en este material.

Eronga-83. Esta variedad resultó con los valores de LMR más altos entre los materiales de esta especie en las primeras concentraciones de 0 y 50 mM llegando a alcanzar hasta 5.5 y 5.9 cm respectivamente (Figura 4.11); pero en los siguientes potenciales osmóticos (150, 200 y 250 mM) se presentaron nuevamente los efectos negativos del estrés por salinidad al ir descendiendo de forma drástica obteniendo valores de 3.8, 1.1 y 0.0 cm, que como es de notar el mayor efecto se genera nuevamente a una concentración de 250 mM.

Cebada

Narro-221. Este genotipo presentó valores muy similares de LMR en las primeras tres concentraciones salinas de 0, 50, y 150 mM, con longitudes de 12.2, 12.6 y 12.5 cm cada una; por lo que se puede decir que este material fue superior a los otros dos evaluados de su especie ya que según los resultados observados en la Figura 4.11 se puede cultivar con concentraciones de hasta 150 mM sin que haya algún problema en su vigor dado por LMR; continuando con la misma Figura se observó que el efecto negativo de la salinidad se presentó hasta las concentraciones de 200 y 250 mM alcanzando longitudes de 9.7 y 7.1 cm cada una.

Narro-95. Este genotipo, aunque en general la tendencia fue descendente, presentó valores muy similares de LMR en las concentraciones de 0mM (13.6 cm) y 50 mM (13.2 cm); lo cual muestra que posee una ligera tolerancia a

pequeñas concentraciones de sal; posteriormente en las presiones osmóticas de 150, 200 y 250 mM, la longitud disminuyó de una manera muy constante, como se muestra en la Figura 4.11 teniendo en cada concentración un valor de 10.6, 8.5 y 6.3 cm.

Cerro Prieto. Esta variedad presentó longitudes similares en las concentraciones de 0 y 50 mM de 10.5 y 11.1 cm, por lo que se puede decir que a concentraciones menores o iguales a esta, no existe respuesta fisiológica negativa en su LMR; y en las concentraciones de 150, 200 y 250 mM existió una disminución constante de esta variable a medida que se incremento la concentración de NaCl presentando valores de 10.2, 8.3 y 6.5 cm (Figura 4.11).

Vigor mediante Longitud media de plúmula

Efectos entre especies

Al igual que la mayoría de las variables estudiadas se encontraron tres grupos estadísticos, constituidos por cada una de las especies, destacando a Cebada como el primer grupo estadístico con 7.8 cm de longitud (Cuadro 4.4), confirmando nuevamente la clasificación de Cebada hecha por Céspedes (1996) como un cultivo altamente tolerante a la salinidad. El segundo grupo lo conformó Trigo con un promedio general de 3.2 cm y por último Triticale quien fue mayormente afectada negativamente por el estrés con salinidad.

Cuadro 4.4 Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en la variable de LMP en 9 genotipos de cereales de grano pequeño sometidos a diferentes concentraciones de NaCl.

Fuentes de variación	GL	LMP
Especie	2	606.08**
Variedad(Especie)	6	6.33**
Concentración	4	201.4**
Especie*Concentración	8	16.39**
Variedad*Concentración(Especie)	24	3.63**
Error	135	0.6
Total	179	
C.V		18.2
Especies		
Trigo		3.1747 B
Triticale		1.7913 C
Cebada		7.9 A
Concentraciones		
0		6.0578 B
50		6.9867 A
150		4.4911 C
200		2.5011 D
250		1.3333 E

** =Nivel de significancia (0.01 %), GL= Grados de libertad, DMS= diferencia mínima significativa 0.05%

Efecto entre concentraciones

Para esta fuente de variación encontramos una tendencia negativa al incrementar la cantidad de salinidad, con excepción de la concentración de 50 mM con 6.9 cm que presentó una respuesta positiva respecto al testigo (0 mM) obteniendo una LMP de 6.1 cm; y respecto a las otras concentraciones (150, 200 y 250 mM) se encontraron tendencias negativas muy marcadas conforme el aumento en salinidad presentando longitudes de 4.5, 2.5 y 1.3 cm respectivamente (Cuadro 4.4).

Efecto de la interacción variedades por especies

Cebada

Los genotipos experimentales Narro-221 y Narro-95 presentaron valores muy similares de 8.1 y 8.0 cm ubicándose en primero y segundo lugar respectivamente, siendo ambos superiores al testigo comercial Cerro Prieto que presentó una longitud de 7.5 cm mostrado en la Figura 4.12. Cabe resaltar que el genotipo Narro-95 ya había presentado valores superiores al testigo comercial Cerro Prieto en las anteriores variables estudiadas, por lo que es mayor la probabilidad de que este sea un genotipo con un buen comportamiento en suelos afectados por este estrés.

Trigo

Los tres materiales evaluados presentaron una respuesta muy similar al ser sometidos a una condición de estrés por salinidad como se observa en la Figura 4.12, donde la variedad comercial Pavón y el genotipo experimental AN-239 obtuvieron una misma LMP de 3.2 cm, mientras que el genotipo experimental AN-264 también presentó una longitud muy similar de 3.1 cm.

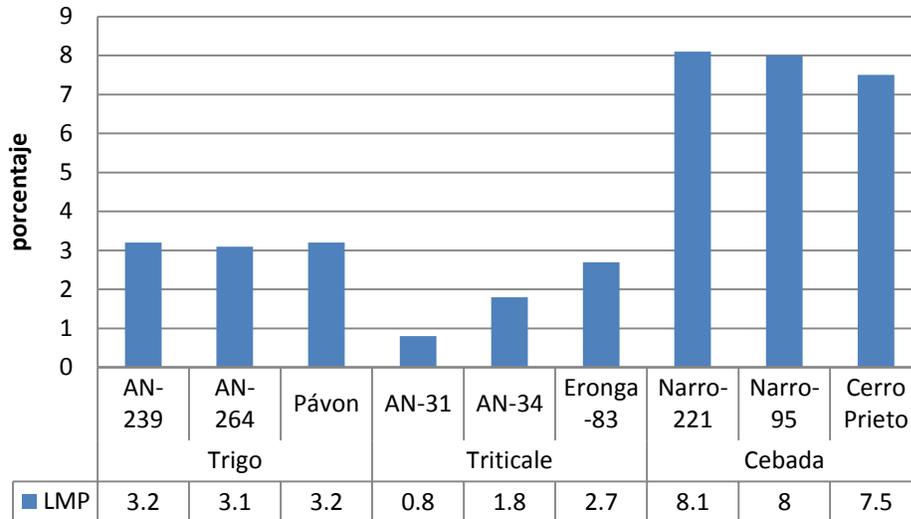


Figura 4.12 Respuestas de la variable LMP de la interacción variedad por especie al ser sometidos a estrés con NaCl.

Triticale

La variedad comercial Eronga-83 presentó los menores efectos negativos al estrés por salinidad de los materiales evaluados de la especie obteniendo un valor de 2.7 cm dejando en segundo y tercer lugar, con un cm de longitud de diferencia entre cada uno, los genotipos experimentales AN-34 y AN-31 con valores respectivos de 1.8 y 0.8 cm (Figura 4.12).

Interacción de las especies por concentraciones

Trigo

En esta especie la mayor LMP se presentó en la concentración de 50 mM con 7.3 cm, misma que fue notablemente superior a la concentración testigo que obtuvo una longitud de 5.3 cm (Figura 4.13), dejando ver, que concentraciones

de salinidad iguales o menores a 50 mM pueden tener efectos positivos en esta variable; y en las concentraciones de 150, 200 Y 250 mM se hizo presente el efecto negativo del estrés por salinidad al disminuir drásticamente, presentando longitudes de 2.5, 0.5 y 0.3 cm respectivamente, por lo que se puede decir que en general los materiales estudiados de Trigo presentan susceptibilidad a concentraciones mayores de 50 mM de salinidad

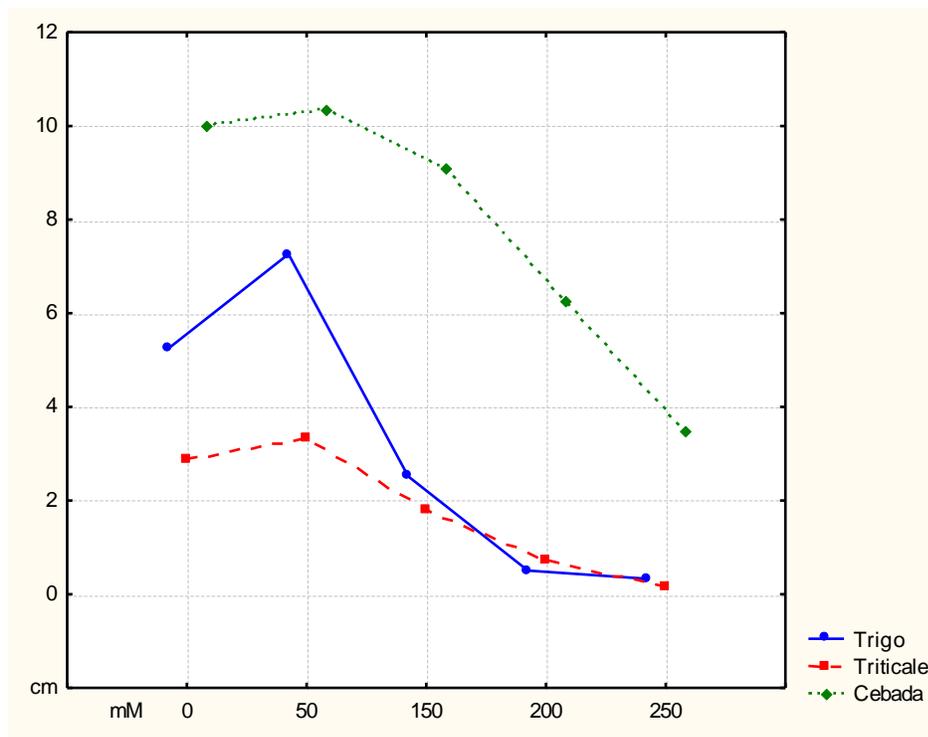


Figura 4.13 Respuestas de la variable LMP de tres especies de cereales por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

Triticale

Como se observa en la Figura 4.13 en la concentración con salinidad de 50 mM se dió un ligero efecto positivo en el valor de esta variable presentando una longitud de 3.4 cm, misma que fue superior en 0.5 cm a la concentración testigo, y nuevamente el efecto de salinidad se presentó en las concentraciones de 150, 200 y 250 mM donde se dio una disminución de forma constante y significativa alcanzando longitudes de hasta 1.8, 0.7 y 0.2 cm respectivamente.

Cebada

La variable LMP presentó tendencia negativa y de forma lineal al incrementar las concentraciones de salinidad como se observa en la Figura 4.13, donde en 0 y 50 mM se presentaron longitudes muy similares de 10 y 10.3 cm respectivamente; y como era de esperarse en tercero, cuarto y último lugar se encontraron las concentraciones de 150, 200 y 250 mM, mismas que obtuvieron longitudes de plúmula de 9.1, 6.3 y 3.5 cm respectivamente.

Interacción de las variedades por concentraciones en cada especie

Trigo

AN-239. Se presentó un claro incremento de esta variable en la concentración de 50 mM misma que obtuvo un valor de 7.2 cm, mientras que las concentraciones de 0 y 150 mM presentaron longitudes muy similares de 3.4 y 3.5 cm cada una, mostrando que este genotipo puede tolerar concentraciones

de hasta 150 mM sin un cambio negativo en la plúmula, así como en concentraciones cercanas a 50 mM resultan efectos notablemente positivos como se observa en la Figura 4.14; ocurriendo lo contrario en concentraciones alta como es 200 y 250 mM donde se presentó una clara disminución de esta variable llegando a tener valores hasta de 1.1 y 0.7 cm respectivamente.

AN-264. La concentración de 50 mM en este material, obtuvo el valor más alto en LMP de 8.4 cm siendo significativamente superior al testigo que presentó solo 5.7 cm, lo cual muestra que es recomendable tener una concentración baja de salinidad (menor a 50 mM) para mejorar el desarrollo de la plántula; en las concentraciones de 150, 200 y 250 mM se presentó un cambio negativo muy drástico alcanzando longitudes de 0.8, 0.3 y 0.3 cm respectivamente como se muestra en la Figura 4.14.

Pavón. Como se observa en la Figura 4.14, el efecto de las concentraciones de salinidad fue en general negativo, aunque en las concentraciones de 0 y 50 mM se obtuvieron longitudes muy similares de 6.7 y 6.2 cm respectivamente; para posteriormente en las concentraciones de 150, 200 y 250 mM disminuir de manera drástica alcanzando valores de 3.2, 0.2 y 0.0 cm respectivamente, lo cual muestra que esta es una variedad susceptible a estas condiciones estresantes por lo que no se recomienda su uso en suelos con problemas salinos o sódicos.

Triticale

AN-31. El valor de esta variable en este genotipo fue en general muy bajo incluso en la concentración de 0 mM donde se obtuvo una longitud de 1.3 cm (Figura 4.14), lo cual muestra nuevamente que la calidad fisiológica inicial de la semilla no era la suficiente como para declarar confiables los resultados. En la misma Figura, al incrementar las concentraciones a 50, 150, 200 y 250 mM se presentó una disminución significativa en esta variable obteniendo valores de 1.7, 0.5, 0.6 y 0.2 cm respectivamente.

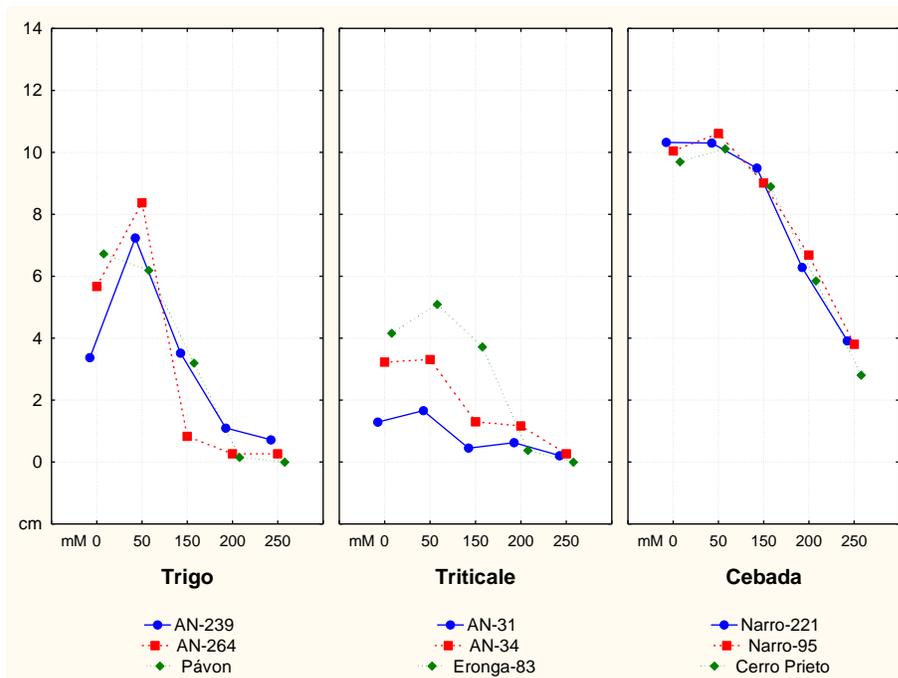


Figura 4.14 Respuestas de la variable LMP de nueve materiales genéticos de cereales por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

AN-34. En este genotipo el efecto del estrés por salinidad fue a mayor concentración menor LMP como se muestra en la Figura 4.14, donde se puede

apreciar que las concentraciones de 0 y 50 mM presentaron valores muy similares de 3.2 y 3.3 cm respectivamente, siendo lo mismo para las concentraciones de 150 y 200 mM que obtuvieron longitudes menores pero también similares entre si de 1.3 y 1.2 cm respectivamente. Por último como era de esperarse el valor mas bajo se presentó en la concentración de 250 mM con solo 0.3 cm.

Eronga-83. La longitud más alta de esta variedad se presentó en la concentración de 50 mM (5.1 cm) misma que fue superior en poco mas de un centímetro a la concentración usada como testigo como se muestra en la figura 4.14; en la siguiente concentración de 150 mM se dio una ligera disminución (3.7 cm) haciéndose presente el efecto negativo de la salinidad, y por último las concentraciones de 200 y 250 mM que presentaron valores de 0.4 y 0.0 respectivamente.

Cebada

Narro-221. Las concentraciones de 0 y 50 mM presentaron valores iguales de 10.3 cm, mostrando que concentraciones de salinidad menores o iguales a 50 mM no causan ningún efecto en esta variable; sucediendo lo contrario en las siguientes concentraciones en las que este valor fue disminuyendo de una forma constante y significativa obteniendo longitudes de 9.5, 6.3 y 3.9 cm para sus respectivas presiones osmóticas de 150, 200 y 250 mM (Figura 4.14).

Narro-95. En este genotipo, la tendencia de la LMP disminuyó a medida que la concentración de sal aumentaba; a 0 y 50 mM se observó una longitud de 7.4 y 10.6 como se muestra en la Figura 4.14, lo cual muestra que para su siembra es recomendable tener una baja concentración de sal para tener un desarrollo significativamente mejor; pero a partir de la concentración de 150, 200 y 250 mM se marcó el efecto negativo y se obtuvieron valores menores, 9.0, 6.7 y 3.8 % respectivamente.

Cerro Prieto. En la variable LMP, la tendencia de la aplicación de concentraciones de sal tuvo una respuesta negativa donde a 50 mM se presentó la mayor longitud con 10.1 cm como se observa en la Figura 4.14, seguido de la concentración de 0 mM (9.7 cm), luego a 150, 200, y 250 mM, sucesivamente con longitudes de 8.9, 5.9 y 2.8, corroborando que al aumentar la concentración de sal se provoca un descenso significativo en las variables estudiadas.

Vigor mediante Tasa de crecimiento de plántula (Peso seco de plántulas)

Efectos entre especies

Según el Análisis de varianza realizado para esta variable, se encontraron diferencias altamente significativas entre las tres especies estudiadas, por tal motivo también se hizo una prueba comparación de medias dado por DMS, en la que se encontraron tres grupos estadísticos, mismos que estuvieron conformados por cada una de las especies en estudio como se observa en el

Cuadro 5.5; en la que encabezó y formó el primer grupo estadístico la especie Cebada con un peso medio de 13.7 mg/plántula confirmando lo dicho en todas las variables anteriores de que esta especie posee una gran tolerancia a ambientes estresantes; y posteriormente, se encontraron las especies Trigo y Triticale conformando el segundo y tercer grupo estadístico con 5.9 y 3.9 mg/plántula respectivamente.

Cuadro 5.5 Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en la variable de PSP en 9 genotipos de cereales de grano pequeño sometidos a diferentes concentraciones de NaCl.

Fuentes de variación	GL	PSP
Especie	3	1595.03**
Variedad(Especie)	6	35.6**
Concentración	4	290.16**
Especie*Concentración	8	35.25**
Variedad*Concentración(Especie)	24	14.62**
Error	135	1.84
Total	179	
C.V		17.31
Especies		
Trigo		5.9 B
Triticale		3.9 C
Cebada		13.7 A
Concentraciones		
0		9.6 B
50		11.2 A
150		8.3 C
200		5.9 D
250		4.1 E

** =Nivel de significancia (0.01 %), GL= Grados de libertad, DMS= diferencia mínima significativa 0.05%

Efectos entre concentraciones

Según el ANVA realizado se encontraron diferencias altamente significativas para esta fuente de variación, obteniéndose cinco grupos estadísticos conformados por cada una de las concentraciones aplicadas como se muestra en el Cuadro 5.5; donde los efectos mayormente favorables se obtuvieron en la

concentración de 50 mM con un PSP de 11.2 mg/plántula, siendo estadísticamente superior al testigo que obtuvo un valor de 9.6 mg/plántula, para en las concentraciones siguientes (150, 200 y 250 mM) disminuir de manera constante obteniendo valores de 8.3, 5.9 y 4.1 mg/plántula.

Efecto de la interacción variedades por especies

Trigo

De los materiales genéticos estudiados en esta especie, los menores efectos negativos provocados por la salinidad los presentó la variedad comercial pavón que obtuvo un PSP de 6.4 mg/plántula; misma que presentó un peso de materia seca ligeramente superior al genotipo experimental AN-264 (6.0 mg/plántula) como se observa en la Figura 4.15, y por último, el genotipo AN-239 que fue el mayormente afectado por las concentraciones de salinidad obteniendo un PSP de 5.6 mg/plántula.

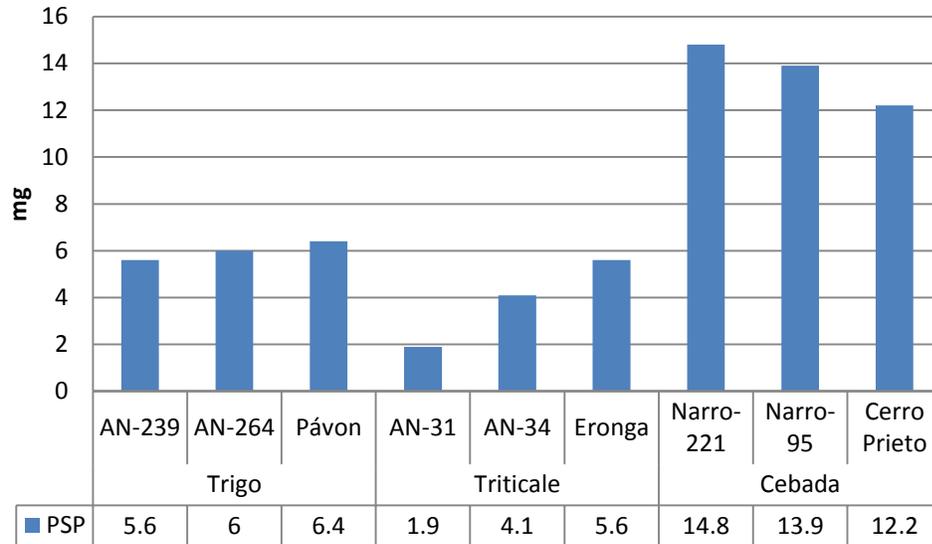


Figura. 4.15 Respuestas de la variable PSP de las interacciones variedades por especies al ser sometidas a estrés con NaCl.

Triticale

Como se muestra en la Figura 4.15 se presentaron diferencias muy notables entre los tres genotipos, lo que es de observar que los valores son muy bajos, aun en la variedad comercial Eronga-83 (5.6 mg/plántula) que obtuvo el PSP mas alto, confirmando su bajo vigor y por consiguiente su baja calidad fisiológica inicial de la semilla; continuando con la misma Figura, se observa que los demás genotipos experimentales AN-34 y AN-31 se encontraron en segundo y tercer lugar presentando valores de materia seca de 4.1 y 1.9 mg/plántula; por lo que se puede deducir que estos materiales son susceptibles a condiciones estresantes de salinidad.

Cebada

De los tres materiales estudiados, el genotipo experimental Narro-95 sobresalió con la mayor acumulación de materia seca por plántula con un peso de 14.8 mg/plántula, confirmando su vigor aún en condiciones estresantes; seguido de los genotipos Narro-95 y Cerro Prieto, que al final de los siete días obtuvieron un PSP de 13.9 y 12.2 mg/plántula para cada uno; a pesar de que los valores fueron un poco menores, es necesario reconocer que fueron los valores más sobresalientes de todos los materiales y especies estudiadas.

Interacción de las especies por concentraciones

Trigo

Como se observa en la Figura 4.16, en esta especie se presentó un efecto positivo en la concentración con salinidad de 50 mM (11.7 mg/plántula), siendo ligeramente superior al testigo (0 mM) quien presentó un PSP de 9.1 mg/plántula; valor que al incrementar las concentraciones a 150, 200 y 250 mM disminuyó de una forma significativa hasta obtener valores de 6.0, 1.8 y 1.1 mg/plántula respectivamente; mostrando claramente el efecto negativo en la acumulación de materia seca de las plántulas.

Triticale

Al analizar la interacción concentraciones por especies en esta variable se encontró que la tendencia del peso seco fue negativa, a excepción de la

concentración de 50 mM en la que se presentó una respuesta ligeramente favorable con un peso de 6.6 mg/plántula como se observa en la Figura 4.16; comportamiento contrario al que se presentó en las concentraciones 150, 200 y 250 mM, en las que se dio una clara tendencia negativa alcanzando valores de 4.5, 2.7 y 0.4 mg/plántula respectivamente; Indicando que la salinidad afecta considerablemente la producción de materia seca de la plántula, coincidiendo con Jarat, *et al.*,(2004) y Mara, *et al*, (2006), quienes mencionan que en una prueba de germinación el peso seco de la plántula se reduce, cuando el sustrato es humedecido con concentraciones de sal.

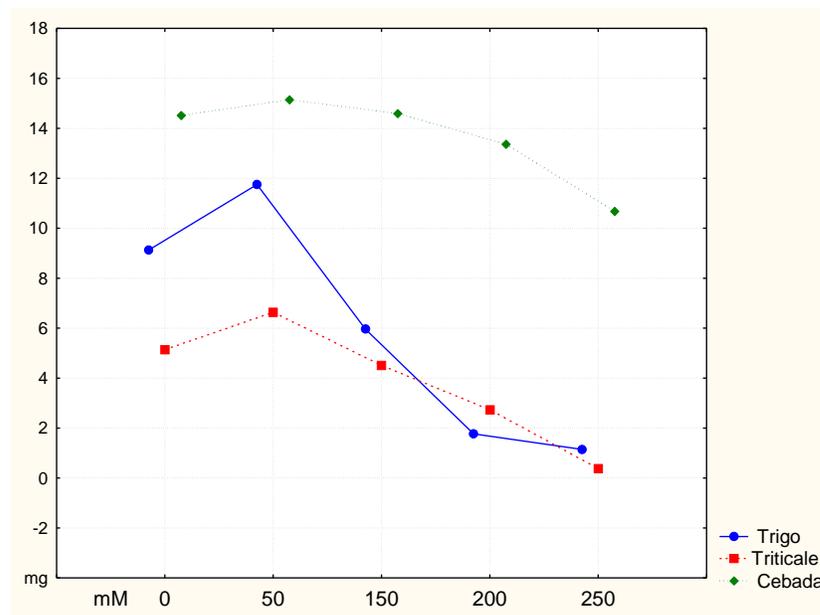


Figura. 4.16 Respuestas de la variable PSP en tres especies de cereales por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

Cebada

En lo referente a esta especie se presentó un ligero efecto positivo al aplicar una concentración de 50 mM (15.1 mg/plántula); y a partir de 150 mM se encontró que el peso seco disminuyó conforme aumentó la concentración de salinidad cómo se observa en la Figura 4.16 obteniendo valores de 14.6, 13.4 y 10.7 mg/plántula para sus respectivas concentraciones de 150, 200 y 250 mM, sobresaliendo nuevamente el vigor de la semilla de esta especie.

Interacción de las variedades por concentraciones en cada especie

Trigo

AN-239. En esta línea experimental se presentó una respuesta notablemente positiva en la concentración de 50 mM alcanzando un peso de materia seca por plántula hasta de 14.14 mg/plántula, y posteriormente el PSP disminuyó en las concentraciones de 150, 200, y 250 mM alcanzando valores de 2.9, 0.6 y 0.9 mg/plántula respectivamente; lo cual muestra que concentraciones bajas de salinidad causan un mejor desarrollo de plántula, ocurriendo lo contrario a concentraciones superiores de 150 mM (Figura 4.17).

AN-264. Este genotipo presentó la mejor respuesta para la variable PSP en la concentración de 50 mM (9.5 mg/plántula) como se observa en la Figura 4.17; y al incrementar la salinidad a solo 150 mM, la acumulación de materia seca disminuyó hasta 7.2 mg/plántula, lo que nos muestra que el efecto de la sal es

muy perjudicial para este genotipo; ya que esta tendencia de daño continúa en la concentración de 200 y 250 mM alcanzando valores de 3.6 y 2.5 mg/plántula respectivamente.

Pavón. En la variable PSP como se muestra en la Figura 4.17, se encontró que a las concentraciones de 0 y 50 mM existió un peso muy similar de 11.3 y 11.6 mg/plántula, que posteriormente descendió en la siguiente concentración (150 mM) que presentó un valor de 7.7 mg/plántula de materia seca y en las últimas concentraciones de 200 y 250 mM se obtuvieron valores de 1.1 y 0.0 mg/plántula, observándose el efecto del daño que causa la cantidad de sal.

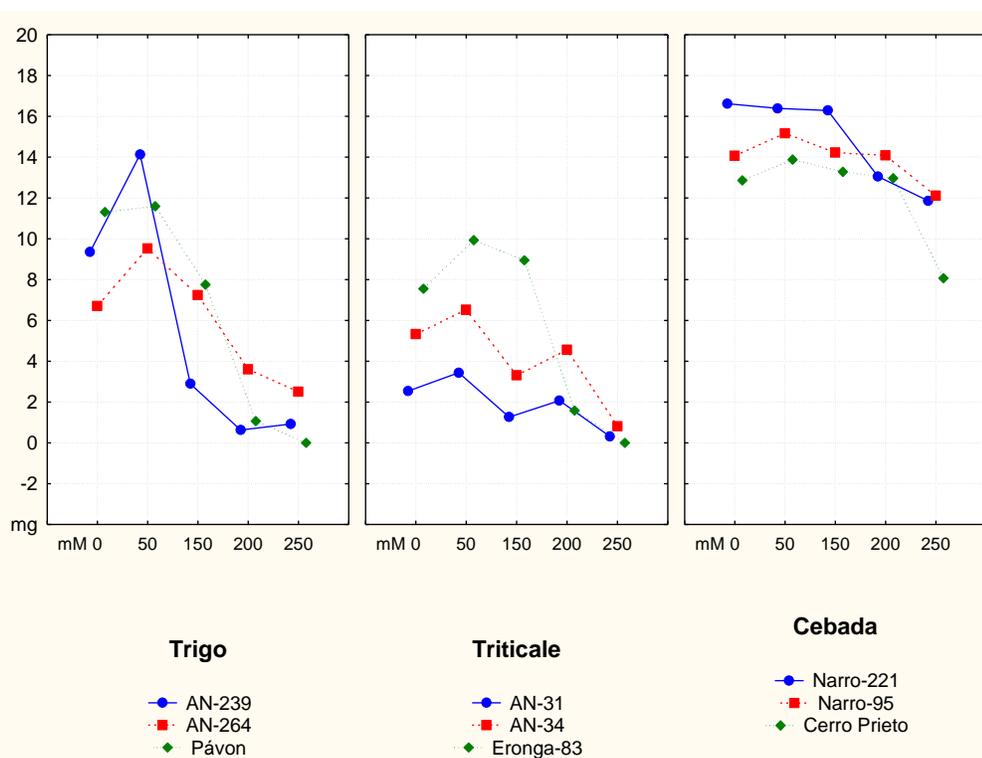


Figura 4.17 Respuestas de la variable PSP de nueve materiales genéticos por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

Triticale

AN-31. Esta línea experimental obtuvo la mayor cantidad de materia seca en la concentración de 50 mM (3.4 mg/plántula), para en la siguiente presión osmótica (150 mM con 1.26 mg/plántula) este valor disminuyó en casi 1.0 mg/plántula; y nuevamente en la concentración de 200 mM, volvió a incrementarse hasta 2.1mg/plántula marcando un efecto ligeramente positivo, aunque no alcanzo a superar el testigo (0 mM); por último el valor más bajo de PSP se presentó en la concentración de 250 mM con 0.32 mg/plántula (Figura 4.17)..

AN-34. Dentro de las diferentes concentraciones de salinidad aplicadas a este genotipo, se presentaron diferencias notables entre ellas, donde el mayor peso seco se dio en la concentración de 50 mM acumulando un promedio de 6.5 mg/plántula; en la concentración de 150 mM (3.3 mg/plántula) se mostró una disminución de este valor, y posteriormente a 200 mM (4.6 mg/plántula) volver a aumentar ligeramente como se observa en la Figura 4.17; por último la concentración de 250 mM (0.82 mg/plántula) fue la que mayormente inhibió la acumulación de materia seca en la plántula.

Eronga-83. Para este material, se apreció una respuesta muy significativa entre las diferentes concentraciones aplicadas. Aunque es de observar que en las concentraciones de 50 y 150 mM (con 9.83 y 8.94 mg/plántula cada uno) se dio una respuesta notablemente positiva con respecto al testigo; ocurriendo lo contrario en las concentraciones de 200 y 250 mM donde se dieron cambios

negativos drásticos llegando a acumular valores de materia seca por plántula de 1.6 y 0.0 mg/plántula para cada uno.

Cebada

Narro-221. Como se observa en la Figura 4.17, esta línea experimental presentó valores muy similares en las primeras tres concentraciones de 0, 50 y 150 mM (16.6, 16.4 y 16.3 mg/plántula respectivamente), lo que significa que aunque en general la respuesta fue negativa, a concentraciones menores o iguales de 150 mM los cambios no fueron significativos como para decir que existió un efecto negativo a causa del estrés por salinidad; y en realidad el efecto estresante se presentó hasta las concentraciones de 200 y 250 mM donde los valores disminuyeron hasta 13.1 y 11.9 mg/plántula respectivamente.

Narro-95. Se encontró que concentraciones de salinidad iguales o menores a 200 mM no provocan ningún efecto negativo, sino al contrario, incrementan la acumulación de masa seca por plántula como se muestra en la Figura 4.17, donde se observó que las concentraciones de 50, 150 y 200 mM (con 15.2, 14.2 y 14.1 mg/plántula) presentaron valores superiores al testigo que obtuvo solo 14.1 mg/plántula; y por último como era de esperarse el peso más bajo lo presentó la concentración de 250 mM con 12.1 mg/plántula.

Cerro Prieto. En las concentraciones de 50 y 150 mM, este genotipo presentó la respuesta mayormente favorable, obteniendo valores muy similares entre cada una de 13.9 y 13.3 mg/plántula; y en la siguiente concentración de 200 mM se apreció una ligera disminución en la acumulación de materia seca,

aunque es de resaltar que aun es ligeramente superior a la obtenida por el testigo (0 mM) como se observa en la Figura 4.17; y por último el efecto estresante de la salinidad se presentó hasta la concentración de 250 mM que obtuvo un valor de PSP de 8.1 mg/plántula.

Lo anterior sugiere que en general los tres materiales genéticos de cebada presentan mejor respuesta en ambientes con bajas concentraciones de salinidad (menores a 200 mM) que en ausencia de ellas.

CONCLUSIÓN

En el presente trabajo, con base a los objetivos planteados y resultados obtenidos se concluye que:

- En la aplicación de diferentes potenciales osmóticos con cloruro de sodio (NaCl) en las especies de trigo, cebada y triticale, se tienen efectos en la calidad fisiológica en la capacidad de germinación y el vigor de las semillas.
- En la aplicación de los potenciales osmóticos a 0 (testigo) y 50 mM de NaCl, en las especies estudiadas, tienen efectos ligeramente positivos en la germinación en el porcentaje de PN y conforme aumenta la concentración se vuelven predominantemente negativos, disminuyendo el número de PN y aumentando PA y SSG.
- Al aplicar diferentes presiones osmóticas con Cloruro de sodio en la especie de cereal de grano pequeño Cebada no afecta su capacidad de germinación y vigor, por lo que es una especie con características de tolerancia a condiciones de estrés por salinidad.
- Los genotipos experimentales Narro-221 y Narro-95 bajo las concentraciones de 0 y 50 mM de NaCl, presentan las mejores características de tolerancia, al obtener altos valores en las pruebas de capacidad de germinación y vigor,

- sobresaliendo Narro-95 en PN, IVE, LMR y LMP; así como Narro-221 en LMR, LMP y Peso seco de plántula.
- Al aplicar diferentes presiones osmóticas con Cloruro de sodio en la especie de cereal de grano pequeño Trigo, es afectado drásticamente su capacidad de germinación y vigor conforme incrementa la presión afectando el porcentaje de PN, PA, IVE, LMR, LMP y PSP. Sin embargo la variedad Pavón sobresalió en todas las variables estudiadas, excepto en IVE donde se destacó el genotipo experimental AN-239.
- Al aplicar diferentes presiones osmóticas con Cloruro de sodio en la especie de cereal de grano pequeño Triticale, es afectado drásticamente su capacidad de germinación y vigor, siendo de las especies estudiadas, la más afectada por la salinidad.

RESUMEN

Actualmente los cereales son la principal fuente de la alimentación humana en todos los continentes; su productividad es afectada entre factores abióticos por la salinidad del suelo, afectándose millones de hectáreas mundialmente. Una alternativa de bajo costo, es la selección de genotipos tolerantes a este tipo estrés bajo condiciones de laboratorio. Por ello, se evaluaron nueve materiales genéticos de cereales de grano pequeño, tres de la especie de Cebada (*Hordeum vulgare* L.), tres de Trigo (*Triticum durum* L.) y tres de Triticale (Triticosecale x), con la aplicación de cinco concentraciones de NaCl (0, 50, 150, 200, y 250 mM), determinando su calidad fisiológica mediante pruebas de capacidad de germinación determinando porcentaje de plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA) y semillas sin germinar (SSG); así como pruebas de vigor evaluando índice de velocidad de emergencia (IVE), longitud media de radícula (LMR), longitud media de plúmula (LMP) y peso seco de plántula (PS), conforme a la ISTA (2004). Utilizando un diseño estadístico completamente al azar con arreglo factorial con cuatro repeticiones por variable. Los resultados de PN, marcaron que la concentración 50 mM tuvo con ligero efecto positivo superando al testigo (0 mM) de 70.2 a 72.8 %, al incrementar la concentración (150, 200 y 250 mM) disminuyeron las PN, por consecuencia aumentó el porcentaje de PA y SSG (18.4 a 50.7 % (PA) y 8.8 a 15.7 % (SSG)).

Cebada presentó mejor respuesta frente al estrés por salinidad, sobresaliendo Narro-95 con 94.4 % (PN). En Trigo, el genotipo menos afectado en capacidad de germinación fue Pavón, quien presentó el porcentaje más alto de PN a concentraciones de 0 y 50 mM (hasta 86 %), destacando que todos los materiales de esta especie a concentraciones mayores aumentó el daño, reflejando un incremento del porcentaje de PA y sin tener efecto significativo el porcentaje de SSG. La especie negativamente más afectada fue Triticale, sobresaliendo AN-34 (33.6 % en PN) y teniendo porcentajes altos de esta variable a 0 y 50 mM (45 y 49 % cada uno); caso contrario, AN-31 siendo mayormente afectado, presentado altos porcentajes de PA y SSG (48 y 42 % respectivamente). En las pruebas de vigor, Cebada obtuvo los valores más altos, sobresaliendo el genotipo Narro-95 en 0 y 50 mM de salinidad en las variables IVE, LMR y LMP; mientras que Narro-221 fue ligeramente superior en PSP a 50 mM (16.4 mg/plántula). Todos los genotipos de trigo evaluados tuvieron una respuesta similar en la variable LMP (3.2, 3.1 y 3.2 cm respectivamente); pero AN-239 sobresalió en IVE con 75.6 plántulas/día; así mismo Pavón resultó con mejor respuesta a la salinidad en LMR y PS a 50 mM (5.9 cm (LMR) y 5.1 mg/plántula (PS)). La especie Triticale fue mayormente afectada por la salinidad; sin embargo, dentro de la especie se logró observar que AN-34 sobresalió en las variables IVE y LMR, presentando los valores más altos a 0 y 50 mM de sal, así mismo, Eronga-83 respondió mejor en LMP y PS en esta última concentración de sal (50 mM). En conclusión todas las especies estudiadas tuvieron una respuesta negativa, sufriendo un daño a concentraciones mayores de 50 mM con excepción de Cebada, que reflejó

tener un carácter de tolerancia a la salinidad sin presentar daño alguno en las variables evaluadas, sobresaliendo los materiales Narro-95 y Narro-221 por orden de tolerancia. Los genotipos de la especie Triticale, son materiales con menor tolerancia a estrés osmótico con sal en comparación de las especies y genotipos estudiados.

Palabra clave: *Cereales, semilla, potencial osmótico, estrés, germinación y vigor*

LITERATURA CITADA

- Amor, F. M, Martínez, V. y Cerda, A., 2001. Optimización del manejo de aguas salinas en el cultivo del tomate en invernadero. *Agrícola vergel*. 239: 588-592.
- Appels, R. Lagudah, E. S., 1990. Manipulation of chromosomal segments from wild wheat for the improvement of bread wheat, *Australian journal of plant physiology* 17, 253-266.
- Argentel, L. González, L. M., 2006. Respuesta interespecifica a la salinidad en dos especies del genero *Triticum*. Cuba, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), *Cultivos Tropicales*, 27, (2), 51-52.
- Argentel, L. González, L. M. Plana, R., 2006. Respuesta de 12 variedades de Trigo a la salinidad en las etapas iniciales de crecimiento. La Habana, Cuba, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) *Cultivos Tropicales*, 27, (3), 41-44.
- Argentel, L. López, R. D. González, L. M. López, R. C. Gómez, E. Fonseca, L., 2010. Evaluación de la tolerancia a la salinidad en estadios tempranos y finales del desarrollo en Triticales (x triticosecale). Instituto Nacional de

Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, Cuba, *Cultivos Tropicales*, 31, (1), 48-53.

Association of Oficial seed Analysts (OASA) 1992. Seedling evaluation handbook. Contribution No. 35 The handbook of official seed. United States of America. Pp, 76-80.

Baskin, C. C. Baskin, M. J., 1998. Seed ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. Academy press. USA. Pp. 35.

Bishnoi U.R. Pancholy D. K., 1980. Comparative salt tolerance in triticale, wheat and rye during germination. *Plant and Soil*. Volumen 55, Number 3; Pp. 491-493.

Blackmer A. Morris, T. Binford, G., 1992. advances in Iowa. In Predicting N fertilizers needs for corn in humid regions. B. Bock y K. Kelly (ed.). Bulletin Y-226. TVA/NFERC-92/2. Tennessee Valley Authority- National Fertilizer and Environmental Research Center. Muscle Shoals, Alabama, EE.UU.

Camejo, D. Torres, W., 2000. La salinidad y su efecto en los estadios iniciales del desarrollo de dos cultivares de tomate (*Solanum Lycopersicon*). Instituto nacional de ciencias agrícolas. La Habana, Cuba. *Cultivos Tropicales*, 21,(2), 23-26.

Carrera, M., 2005. Prontuario de agricultura, cultivos agrícolas. Editorial Mundi Prensa, Barcelona España. Pp 4-5.

- Cesped, R.R., 1996. La salinidad del suelo y del agua de riego y su relación con los cultivos. INIA Cartilla divulgativa numero 5.
- Colín, R. M., 2007. Producción de materia seca, valor nutritivo e interacción genotipo ambiente en las líneas imberbes de cebada forrajera. Tesis maestría, UAAAN, Buenavista saltillo, Coahuila, México.
- Christiansen., 1991. Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. Primera edición. Editorial Limusa. México .Pp 509.
- Cramer, G. R. Laüchli, A. Polito, V. S. 1985. Displacement of Ca⁺² by Na⁺ from the plasmalemma of root cells. *Plant Physiol.* 79: 207-211
- Dell' Aquila, A. Spada, P., 1993. The effect of salinity stress upon protein synthesis of germinating wheat embryo. *Ann. Bot.* 72: 97-101.
- Díaz, L. Z., 1993. Observaciones sobre el comportamiento en la germinación de semillas de *Asphodelus* L. (*Asphodelaceae*). *Lagascalia* 17(2):329-352.
- Elizalde, E., 2008. Efecto de la salinidad (NaCl) y calidad de semilla en 19 líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.) tesis. Universidad autónoma agraria Antonio narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.
- Epstein, E. Norlyn, J. D., 1980. Seawater-based crop production: A feasibility study. *Science* 197: 249-251.

Gonzalez, L. M., 2000. Extent, cause and management of salt affected soils in Cuba. FAO Newsletter on sustainable Productive use of salt Affected Habitats, vol. 4, pp. 8-11.

González, L. M., 1996. Uso de la radio inducción de mutaciones en la obtención de genotipos de arroz tolerantes a la salinidad Tesis doctoral, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Puerto Rico Pp. 25-50.

González, L. M., 2002. Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas. Cultivos Tropicales, 23, (2), 27-37.

Greenway, H. Munns, R., 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual. Review of Plant Physiology.* 31:149–90.

Guerrero, A., 1999. Cultivos herbáceos extensivos. Sexta edición, Editorial Mundi Prensa, España. Pp 201-204

Howard, M. Gomez H., 2001. Trigo regado : Manejo del cultivo. FAO. Pp 56-57.

ISTA (International seed testing association), 2006. International rules for Seed Testing. Zurich: ISTA. 333p.

Jarat, A. A. Shahid, M., 2004. Genetic diversity in the batini barley landrace from Oman: II. Response to salinity stress. *Crop Science.* 44: 997-1007.

Jeannette S. B. J. Craig, R. Lynch J. P., 2002. Salinity tolerance of Phaseolus species during germination and early seedling growth. *Crop Science.* 42, (5), 1584-1594.

- López, B. Betran, J. Ramos, A. López, H. López, P., 2000. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. España. Pp 28-30.
- López, R., 2001. Selección y evaluación de combinaciones rizobio-leguminosa pratense en suelos afectados por salinidad. [Tesis de grado], Universidad de Granma, Pp. 50-100.
- Ludlow, M. M. y Muchow, R. C., 1990. A critical evaluation of traits for improved crop yields in water-limited environments. *Adv. Agron.* 43:107-153.
- Maas, E. V., Hoffman, G. J., 1977. Crop salt tolerance - Current assessment. *J. Irrigation and Drainage Div. ASCE* 103: 115-134.
- Mahalati, M. N., Kafi, M., Kamkar, B., 2005. Determination of the most sensitive developmental period of wheat (*Triticum aestivum*) to salinity using path analysis for optimal saline water utilization. *Agricultural Sciences and Technology*, 19:25-34.
- Mara M. L. Carvalho L. P. Lucca B. A. Alberto S. C., 2006. Germination of seeds and seedling growth of popcorn cultivars under water and salinity stress *Rev. Bras. Sementes*. 28, (3), 22-34.
- Márquez F., 1988. *Genotecnia vegetal*. Tomo II. Primera edición. Pp. 481.
- Mashali, A. M., 1999. Overview of FAO Global Network on soil management for sustainable use of salt affected soils. *Activities of Project TCP/PHI/6712: Integrated Management of salt affected coastal soils in the Philippines.*

Proceedings of the 3th International Workshop on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt Affected Soils. Bureau of Soils and Water Management. Soils Research and Development Center, Diliman, Quezon city, Philippines, July 26-30. Pp 1-36.

Murillo, B. Troyo, E. Lopez, A. Tinoco C., 2000. Path analysis of cowpea early seedling growth under saline conditions. PHYTON, International Journal of Experimental Botany, 2000, vol. 67, p. 85-92.

Nonhebel, S., 1997. Effect of changes in temperature and CO₂ concentration on simulated spring wheat yields in the Netherlands climate change. *India journal of crop science*. 24:311-329.

Raven P., 1991. Biología de las plantas, cuarta edición, editorial reverte. Barcelona España. Pp 637- 640.

Robles. S., 1986. Genética elemental y fitomejoramiento práctico. Primera edición. Editorial Limusa. México. Pp. 391.

Rojas, C. Catrileo, A. y Letelier, A., 1991. Niveles de Triticale en raciones para engorda de novillos Hertford. *Agricultura Técnica. (Chile)* 51:9-14.

Royo, A. y Abio, D., 2002. Salt tolerance in *T. durum* wheat cultivars. *Japanese Journal of Crop Science*, 63, (2), 158-163.

Thompson, L. M. y Troech, F. R., 2002. Los suelos y su fertilidad. Cuarta edición, Editorial Reverte, España. Pp. 95-120.

- Russell, E. W. y Wild, A., 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones mundi-prensa, Madrid, España. Pp, 122- 170.
- SIAP., 2011. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera
- Thompson, P. A. *et al.*, 1973. Seed germination in relation to ecological and geographical distribution. In V. H. Heywood (ed.). Taxonomy and Ecology. Academia press. London. Pp 93-119.
- Torrecillas, A. Alarcón, J. Domingo, R. Planes, J., 1994. Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. España. Plant Science. 118: 135-143.
- Vargas, R., 2010. Estrés con polietilen-glicol y cloruro de sodio en familias de trigo (*Triticum aestivum* L.), tesis de nivel licenciatura, UAAAN. México, Pp 47-52.
- Winter. E. J., 1977. El agua el suelo y la planta. Primera edición, Editorial Diana, México. Pp 59.
- Zeiger E. y Tais L., 2007. Fisiología Vegetal. Volumen 2, Tercera edición, pp 1173-1177.