

---

## Efectos de la salinidad en la absorción de agua por las semillas, germinación y el crecimiento en los primeros estadios del desarrollo del trigo (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* L.) y su relación con la tolerancia varietal.

L. Argentel-Martínez<sup>1,2</sup>, J. Garatuza-Payán<sup>1\*</sup>, M.A. Gutiérrez-Coronado<sup>1</sup>, E. Yépez-González<sup>1</sup>, O. Villaseñor-López<sup>1</sup> y M. Travieso-Aguilar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto, Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero, 818 sur, Cd. Obregón, Sonora México C.P: 85000.

<sup>2</sup>Universidad de Granma, Carretera a Manzanillo, km 17 1/5, Peralejo, Bayamo, Cuba

---

*Salinity effects on seeds water absorption, germination and growth during early stages of wheat (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* L.) and its relationship with varietal tolerance.*

### Abstract

Salinity effect on water absorption, seeds germination, and growth variables at the early stages of (*Triticum aestivum* L. and *T. durum* L.) was evaluated under controlled conditions in a germoplasm formed by 12 varieties. Saline solutions were formulated based on Sodium Chloride (NaCl) adjusted to electric conductivities (EC) of 4; 8; 12; 16 dS.m<sup>-1</sup>. As control treatment distilled water with an EC of 0.02 dS.m<sup>-1</sup> was used, those that were deposited in Petri badges where seeds were settled down. Water absorption (AA) and germination percentage were the evaluated variables. Lapsed 15 later days after germination plants height, roots length, and dry matter accumulation were evaluated. A totally randomized experimental design was used with six repetitions for treatment. As results a negative and significant correlation was obtained between EC and seeds water absorption. The existence of considerable variability in salinity response of the germoplasm was observed, being germination and root length variables those of major differentiation degree varieties, being formed three groups according to it saline stress tolerance in the varieties. INIFAT RM-26, INIFATRM-36, INIFAT RM-30, INIFAT RM-37 and Cuba-C-204 classified as tolerant group; CIRNO C2008 as moderately tolerant, and TH 32 W, INIFAT RM-29, INIFAT RM-31, INIFAT RM-32, Banámichi C2004 and Júpate C2001 varieties, the susceptible ones.

*Key words:* wheat, salinity tolerance, germoplasm, variability.

### Resumen

Se evaluó el efecto de la salinidad en la absorción de agua por las semillas, la germinación y el crecimiento en los primeros estadios del desarrollo de trigo (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* L.) en condiciones controladas en un germoplasma formado por 12 variedades. Se formularon soluciones salinas a base de Cloruro de Sodio (NaCl) ajustadas a conductividades eléctricas (CE) de 4; 8; 12; 16 dS.m<sup>-1</sup>. Como control se utilizó agua destilada a CE de 0.02 dS.m<sup>-1</sup>. Se determinaron las variables absorción de agua por la semilla (AA) y el porcentaje de germinación. Transcurridos 15 días posteriores a la germinación se evaluaron las variables del desarrollo: altura de las plántulas (AP), longitud de las raíces (LR), y la acumulación de masa seca (MS). Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, con seis repeticiones por tratamiento. Como resultado se obtuvo una correlación negativa y significativa entre la CE y la absorción de agua por las semillas. Se observó la existencia de considerable variabilidad en la respuesta del germoplasma

---

\*Autores de correspondencia  
Email: garatuza@itson.edu.mx

al estrés salino impuesto en los tratamientos, siendo la germinación y longitud de la radícula las variables de mayor grado de diferenciación de las variedades formándose tres grupos en cuanto a su grado de tolerancia al estrés salino. Las variedades INIFAT RM-26, INIFATRM-36, INIFAT RM-30, INIFAT RM-37 y Cuba-C-204 como tolerantes; la variedad CIRNO C2008 moderadamente tolerante y las variedades INCA TH 32 W, INIFAT RM-29, INIFAT RM-31, INIFAT RM-32, Banámichi C2004 y Júpate C2001 las susceptibles.

*Palabras clave:* trigo, tolerancia a salinidad, germoplasma, variabilidad.

## Introducción

Entre las condiciones adversas de los sistemas agrícolas del mundo, la salinidad de los suelos es el factor abiótico que más ha influido en la productividad de las plantas cultivadas (Maas, 1977; Gutierrez *et al.*, 2015). Aproximadamente el 43% de la superficie terrestre utilizada para el cultivo en el mundo se encuentra afectado por niveles de salinidad que, en su mayoría, superan la tolerancia de las especies de cultivo tradicionales (Argentel, 2013). El porcentaje de suelos afectados por salinidad aumenta a una tasa media de 0.5% anual, debido fundamentalmente a bajas precipitaciones, alta evaporación, alta superficie de evaporación, irrigación con aguas salinas y por prácticas tradicionales de cultivo que favorecen el incremento de la concentración de sales en el suelo (Letey, 2011). Tal situación es más agravante en regiones donde además predominan otros tipos de estrés abióticos como la sequía (Nevo y Chen, 2010) y las altas temperaturas (Deryng *et al.*, 2014; Asseng *et al.*, 2014). El estrés salino afecta directamente el desarrollo y el rendimiento de los cultivos. Una de las sales que causa mayor perjuicio en los vegetales es el Cloruro de Sodio (Maas y Hoffman, 1977; Leidis y Prado, 2008; Shavrukov, 2013). Una solución parcial a los problemas de salinización de los suelos, es el empleo de cultivos y variedades más tolerantes a la salinidad, lo que implica conocer la tolerancia de las variedades a emplear de forma precisa y consistente en tanto se desarrollan programas de mejora genética (Lamz *et al.*, 2013). Sin embargo, se conoce que la mejora genética por cruzamiento es un proceso largo y complejo y que en ocasiones cuando se han obtenido nuevas variedades, las condiciones edáficas han variado considerablemente dada la amplia variabilidad espacial de la salinidad en el complejo absorbente del suelo (Rojas y Rufasto, 2014), lo que atenta contra los programas de mejora por cruzamiento (Shavrukov, 2013). El trigo, una de

las especies más antiguas cultivadas por el hombre, constituye la base de alimentación de más del 96.4 % de la población mundial, es un alimento rico en energía y vitaminas a partir del cual se obtienen más de 476 productos alimenticios, al mismo tiempo es un inigualable alimento para los animales y fuente de sustento económico para un 37% de los productores agrícolas del mundo. Cada día que pasa madura en el mundo al menos una cosecha de trigo, demostrando la capacidad de crecer y producir en ecosistemas muy diversos (Argentel, 2013). Algunos estudios realizados sobre la tolerancia del trigo a la salinidad concluyen que existe tolerancia moderada a tal condición estresante, existiendo variabilidad natural para este carácter entre especies y entre variedades de una misma especie (Munns y James, 2003; González *et al.*, 2005; Gutierrez *et al.*, 2015), aspecto que una vez determinado, con las variedades disponibles en los germoplasmas para la producción, pudiera resultar en una opción sostenible para su uso en áreas afectadas por elevado porcentaje de sales donde las medidas de rehabilitación, son, además de costosas, de difícil ejecución (Gómez *et al.*, 2013).

El monitoreo de la tolerancia a la salinidad en condiciones de campo resulta una tarea larga y laboriosa, que abarca toda la fenología del cultivo, sin embargo entre los principales procesos que determinan la adaptabilidad y la productividad de las plantas se encuentran la absorción de agua, la germinación y el crecimiento en los primeros estadios de desarrollo, por lo que la experimentación en condiciones controladas que simule la conductividad eléctrica del suelo puede ser una importante vía para la discriminación inicial de variedades y, una vez obtenidas las de mejor respuesta emprender estudios en condiciones de campo, proponer posibles parentales o indicadores fisiológicos para la mejora genética y selección diferencial según sus índices de tolerancia al estrés salino (Leidis y Prado, 2008; Argentel, 2013). La presente investigación está basada en la evaluación

del efecto de la salinidad en la absorción de agua por las semillas, germinación y el crecimiento en los primeros estadios del desarrollo de trigo (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* L.) y su relación con la tolerancia varietal en condiciones controladas.

### Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov” de la provincia de Granma, Cuba, con el objetivo de determinar el nivel crítico de salinidad que afecta la absorción de agua por las semillas, la germinación y las variables del crecimiento en los primeros estadios del desarrollo de variedades de trigo cultivadas en Cuba. El montaje del experimento se realizó en el mes de noviembre de 2013 y se repitió en el mismo mes del año 2014.

#### Establecimiento del experimento

Se seleccionaron semillas de 12 variedades cultivadas en Cuba (Tabla 1) pertenecientes a las especies *Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* L., las cuales fueron suministradas por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) y fueron aprobadas por el Subprograma Nacional de cultivo de trigo perteneciente al Programa Nacional de Agricultura Urbana.

La variedad Cuba-C-204 fue la primera variedad obtenida por selección en el Instituto de Investigaciones Fundamentales de Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” (INIFAT), en Cuba, a partir de la variedad brasileña de trigo harinero “BH-11”. Las variedades con código INIFAT RM- son radiomutantes obtenidos en el INIFAT a partir de Cuba-C-204. Las restantes variedades fueron suministradas por el Centro

Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México, establecidas y aclimatadas en Cuba en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).

#### Tratamientos

Los tratamientos consistieron en las 12 variedades tras la aplicación de soluciones de Cloruro de Sodio (NaCl) ajustadas a conductividades eléctricas (CE) de 4; 8; 12; 16 dS.m<sup>-1</sup> sin interacción variedades-CE. Como control se utilizó agua destilada a una conductividad eléctrica de 0.02 dS.m<sup>-1</sup>.

Un ensayo similar fue montado para evaluar, a los 15 días posteriores a la germinación, las variables del desarrollo.

#### Diseño experimental.

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, con seis repeticiones por tratamiento, basados en un modelo lineal de efectos fijos (Fischer, 1935).

Las semillas fueron pesadas inicialmente y ubicadas en placas de Petri con papel de filtro cuadrículado a razón de 20 por placa, las cuales fueron colocadas en una cámara de germinación, manteniendo constante la temperatura y la humedad relativa dentro de la misma con valores de 25.1 °C y 83% respectivamente.

#### Variables evaluadas

Absorción de agua por las semillas

Transcurridas 72 horas de montado el experimento, se tomaron al azar 10 semillas por cada repetición y se determinó el agua absorbida por la semilla (AA) por el método gravimétrico y se expresó en base fresca, siguiendo la fórmula propuesta por González y Ramírez, (1999):

**Tabla 1. Variedades de trigo estudiadas. Especie y procedencia.**

Nº	Variedad	Procedencia	Especie	Denominación	Ciclo vegetativo (días)
1	Cuba-C- 204	Cuba	<i>T. aestivum</i>	<i>Trigo harinero</i>	90
2	INCA TH 32 W	México	<i>T. aestivum</i>	<i>Trigo harinero</i>	120
3	CIRNO C2008	México	<i>T. durum</i>	<i>Trigo harinero</i>	120
4	Júpare C2001	México	<i>T. durum</i>	<i>Trigo duro</i>	120
5	Banámichi C2004	México	<i>T. durum</i>	<i>Trigo duro</i>	120
6	INIFAT RM -30	Cuba	<i>T. aestivum</i>	<i>Trigo harinero</i>	90
7	INIFAT RM -26	Cuba	<i>T. aestivum</i>	<i>Trigo harinero</i>	90
8	INIFAT RM - 29	Cuba	<i>T. aestivum</i>	<i>Trigo harinero</i>	90
9	INIFAT RM - 31	Cuba	<i>T. aestivum</i>	<i>Trigo harinero</i>	90
10	INIFAT RM -36	Cuba	<i>T. aestivum</i>	<i>Trigo harinero</i>	90
11	INIFAT RM - 32	Cuba	<i>T. aestivum</i>	<i>Trigo harinero</i>	90
12	INITAT RM - 37	Cuba	<i>T. aestivum</i>	<i>Trigo harinero</i>	90

$$AA = (PF-PI)$$

Donde PI y PF, son el peso fresco inicial y final de las semillas, respectivamente.

Los valores del contenido de agua absorbida (AA) se emplearon para determinar los índices de absorción en cada nivel de conductividad eléctrica mediante la fórmula propuesta por González y Ramírez, (1999):

$$IAA(\%) = (AAMS/AAMC) * 100$$

Donde IAA representa el índice de absorción de agua; AAMS y AAMC representan el valor de agua absorbida en el medio salino y control respectivamente.

#### *Germinación de las semillas*

El porcentaje de germinación se evaluó en cada tratamiento en función del total de semillas establecidas y se expresó en valor relativo al control mediante la fórmula propuesta por González y Ramírez (1999):

$$IG (\%) = (GS/GC) * 100$$

Donde IG representa el índice de germinación; %GS y %GC representan los porcentajes de germinación en el tratamiento salino y el control respectivamente.

#### *Desarrollo de las plántulas*

Transcurridos 15 días posteriores a la germinación se evaluaron las variables del crecimiento altura de las plántulas (AP), longitud de las raíces (LR), ambas variables se expresaron en centímetros (cm) y la acumulación de masa seca (MS) de cada órgano de las plántulas expresada en gramos (g). El tamaño de muestra para estas evaluaciones fue de 12 plántulas por repetición las que fueron tomadas al azar. A partir de estos datos se calcularon los índices de tolerancia al estrés por salinidad (ITS), siguiendo la fórmula propuesta por Fernández, (1993):

$$ITS (\%) = [(Yc * Ys) / (Yc)^2] * 100$$

Donde Yc representa el valor del indicador evaluado en condiciones no salinas y Ys el valor del indicador evaluado en condiciones salinas.

En las mediciones de la longitud de las raíces y la

altura de las plántulas se emplearon reglas milimetradas (EMEG) de 0.5 milímetros (mm), con un error de 0.0002 mm. La masa fresca y seca de los órganos se obtuvo con el empleo de una balanza técnica SUIM LAB con un error de 0.0012 gramos. Una vez determinados los índices de tolerancia a la salinidad para cada variable, se procedió a la clasificación de las variedades en: tolerantes, cuando el índice de tolerancia al estrés (ITS) fue mayor del 93%; moderadamente tolerantes: cuando  $[93 \geq ITS \geq 85\%]$  y susceptibles: cuando  $ITS < 85\%$  (Munns y James, 2003).

#### *Análisis estadísticos realizados*

Luego de comprobar que los datos recopilados cumplieron con los supuestos teóricos de normalidad y homogeneidad (Kolmogorov, 1932), se realizó un análisis de varianza de clasificación simple, para cada variable evaluada, (Fisher, 1935) y cuando existieron diferencias entre las medias de las variables evaluadas en las variedades, en cada nivel de CE, se empleó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para un nivel de significación del 1% (Tukey, 1960). Se determinaron los porcentajes de afectación para cada conductividad eléctrica evaluada respecto al tratamiento control.

Para cada grupo de variedades con comportamiento similar (grupo homogéneo) se realizó un análisis de regresión lineal simple entre los valores de CE (variable independiente) y los índices de IAA, IG, IAP, ILR e IMS (variables dependientes) con el objetivo de conocer el grado de asociación existente entre éstas. Se determinaron las ecuaciones de regresión y los coeficientes de determinación sin ajustar y de correlación. En el gráfico de germinación presentado no se mostró la nube de puntos, dando la opción estadística de muestra de medias dado que el número de casos en cada nivel de salinidad evaluado fue 60 (10 por cada nivel de CE).

Se determinó el nivel crítico de CE que constituye un punto de inflexión en la curva que describen las diferentes variables dando paso a la siguiente etapa experimental. Este análisis se realizó mediante la prueba estadística Mid-Point (Pohassón, 1956). A partir de las variables absorción de agua, germinación y las variables del crecimiento se realizó un agrupamiento de las variedades según sus índices de tolerancia mediante un análisis de Conglomerados Jerárquicos (Hotelling, 1947) de

ligamiento completo basado en una matriz de distancia euclidiana (González y Ramírez, 1999).

## Resultados y discusión

### Absorción de agua por las semillas

El contenido de agua absorbida por las semillas disminuyó significativamente en todas las variedades a medida que se incrementó la conductividad eléctrica y se observó variabilidad en la respuesta de las dos especies estudiadas. La conformación de los tres grupos homogéneos, coincidiendo en variedades, para los niveles de salinidad establecidos demuestra la uniformidad de respuesta de las variedades en cuanto a tolerancia o susceptibilidad a este tipo de estrés (Tabla 1a).

Por otra parte, se encontró que las afectaciones no se incrementaron de manera constante conforme se elevó la CE en los diferentes tratamientos y solamente existió un valor de afectación superior al valor esperado (9.97, (valor de afectación obtenido) > 8.56, (valor esperado)) para CE= 16 dS.m<sup>-1</sup> y se obtuvo en el segundo grupo homogéneo formado, demostrando tolerancia a la salinidad durante la absorción de agua.

Varios investigadores sostienen que generalmente no se encuentran incrementos constantes de afectaciones ni respuesta homogénea de las variedades conforme se eleva la CE, por ello concluyen que la evaluación de la tolerancia a la salinidad en base al contenido de agua absorbida por las semillas no es un indicador altamente preciso (Maas y Hoffman, 1977; López, 1991; Aahraf, 2004). Otros autores atribuyen tal respuesta

a las variaciones en el potencial hídrico seminal propio de cada especie. Además, plantean que las afectaciones durante la absorción de agua propician un retardo en la germinación, y el porcentaje final del proceso, existiendo variación intraespecífica para la imbibición, pero existe consenso en que la variable puede ser tomada como un indicador de referencia para simplificar el trabajo en una primera etapa de identificación y evaluación de tolerancia a la salinidad cuando se inicia con un gran número de variedades (Azcón-Bieito y Talón, 2008, Pfanschmidt *et al.*, 2009; Brunel *et al.*, 2013).

A pesar de que el contenido de agua absorbida por las semillas de trigo disminuyó significativamente a medida que se elevó la CE, las diferencias más marcadas se evidenciaron para niveles de salinidad superiores a los 8 dS.m<sup>-1</sup> en todas las variedades estudiadas. Para los niveles de 4 dS.m<sup>-1</sup> y 8 dS.m<sup>-1</sup> las afectaciones medias fueron de 1.97% y 2.46% y 2.1% y 3.2% respectivamente en los primer y segundo grupos, mientras que para el tercer grupo las afectaciones fueron de 5.27% para el nivel de 4 dS.m<sup>-1</sup>, valor que estuvo muy próximo a las afectaciones encontradas en el primer grupo para 16 dS.m<sup>-1</sup> y para 12 dS.m<sup>-1</sup> en el segundo grupo formado. Las variedades de mayores índices de absorción de agua pertenecen a la especie *T. aestivum* mientras que las dos variedades de la especie *T. durum* presentaron los menores índices de absorción, demostrando susceptibilidad de ésta especie respecto a la anteriormente mencionada, aspecto que deberá evaluarse a través de otros indicadores fisiológicos y bioquímicos.

Uno de los efectos más evidentes del estrés salino es

**Tabla 1a. Índices de agua absorbida por las semillas de trigo en condiciones de salinidad. Porcentajes de afectación (%). (G: representa los grupos homogéneos que se formaron mediante la comparación múltiple de medias). EE: Error Estándar; CV: Coeficiente de variación; r: coeficiente de correlación. R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación sin ajustar.**

G	Variedades	Índice de agua absorbida para cada nivel de CE (dS.m <sup>-1</sup> ) y porcentaje de afectación.								
		4		8		12		16		r
		Índice	%	Índice	%	Índice	%	Índice	%	
I	INIFAT RM-36, INIFAT M-26									
	INIFAT RM-30, INIFAT RM-37, Cuba-C-204	98.03 <sup>a</sup>	1.97	97.54 <sup>a</sup>	2.46	95.61 <sup>a</sup>	4.39	94.27 <sup>a</sup>	5.73	-0.98**
II	CIRNO C2008, INCA TH 32W, INIFAT RM-32	97.86 <sup>b</sup>	2.14	96.81 <sup>b</sup>	3.19	94.09 <sup>b</sup>	5.91	90.03 <sup>b</sup>	9.97	-0.97**
II I	INIFAT RM-29, INIFAT RM-31, Júpate C2001, Banámichi C2004	94.73 <sup>c</sup>	5.27	93.28 <sup>c</sup>	6.72	90.49 <sup>c</sup>	9.51	88.07 <sup>c</sup>	11.93	-0.95**
	EE	0.043		0.065		0.042		0.03		
	CV	0.33		0.467		0.34		0.22		
	R <sup>2</sup>	0.96		0.97		0.98		0.99		

la reducción en la capacidad de absorción de agua, y pérdida de turgencia seminal. Una semilla expuesta a un medio salino puede equilibrar su potencial hídrico mediante la regulación osmótica a través de la síntesis acelerada de compuestos osmóticamente activos y movilización de aminoácidos estructurales y azúcares (Karimi, 2005).

En las especies que no toleran la sal, un retardo en la germinación o la inhibición total del proceso es la mayor evidencia de la no realización del ajuste osmótico o un ajuste insuficiente. Tal situación genera señales bioquímicas como el incremento de la síntesis de ABA y liberación de compuestos combinados como las amigdalinas que desencadenan posteriores trastornos metabólicos dificultando la germinación (Mishra et al., 2014).

En relación con la tolerancia varietal durante la absorción de agua en condiciones de salinidad, mostraron mayores índices de tolerancia al estrés salino las variedades de trigo harinero INIFAT RM-36, INIFAT RM-26, INIFAT RM-30, INIFAT RM-37 y Cuba-C-204 y las variedades de trigo harinero

INIFAT RM-29, INIFAT RM-31, y de trigo duro Júpare C2001 y Banámichi C2004 fueron las de mayores afectaciones.

#### Germinación de las semillas

Las variedades que se reunieron en los dos primeros grupos homogéneos durante el proceso de absorción de agua por las semillas con índices de absorción superiores al 95%, no presentaron afectaciones significativas durante la germinación hasta los 8 dS.m<sup>-1</sup>, sin embargo las variedades del grupo de menores índices de absorción de agua, presentaron afectaciones significativas desde el nivel de 4 dS.m<sup>-1</sup> (Figura 1).

Se encontró correlación positiva y altamente significativa entre los índices de absorción de agua y los de germinación para el primer grupo homogéneo de variedades, mientras que para los segundo y tercer grupos la correlación fue solo significativa (Tabla 2). Tal resultado demuestra la dependencia de la variable germinación de la absorción de agua y su progresiva disminución

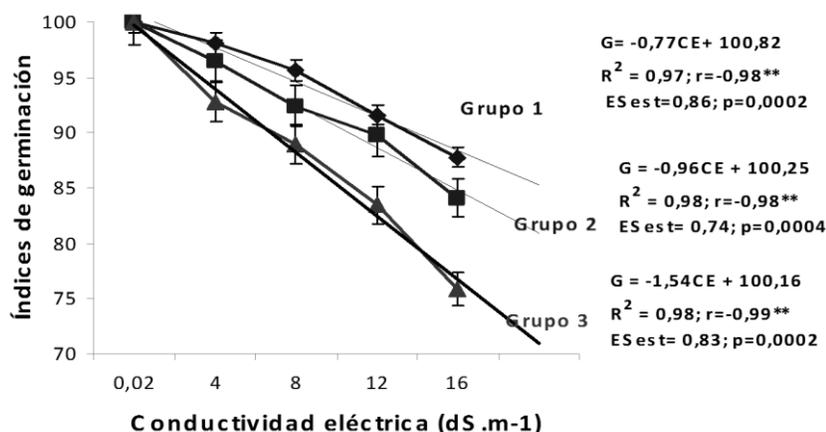


Figura 1. Porcentajes de germinación (variable dependiente) de semillas de trigo a diferentes CE (variable independiente). Ecuaciones de regresión para cada grupo homogéneo conformado a partir de la absorción de agua; R<sup>2</sup>: coeficientes de determinación sin ajustar; r: coeficiente de correlación, ES est: error estándar de estimación; y, p: valor de probabilidad. Intervalos de confianza para p≤0.05.

Tabla 2. Análisis de regresión entre los índices de absorción de agua por las semillas (AA) y los de germinación (G). Coeficientes de correlación (r) y de determinación (R<sup>2</sup>) sin ajustar. ES: error estándar de estimación. P: valor de probabilidad.

Grupos	Ecuación de regresión	r	R <sup>2</sup>	ES de estimación	p
I	G= 2.25AA-126.1	0.99**	0.98	0.69	0.007
II	G= 2.81 AA-182.5	0.96*	0.93	1.73	0.030
III	G= 2.7AA- 167.0	0.96*	0.93	2.65	0.003

\* y \*\* representan diferencias para (p≤0.05) y (p≤0.01) respectivamente.

producto del incremento de la conductividad eléctrica que afectó la variable absorción de agua en los diferentes tratamientos.

En múltiples estudios de tolerancia a la salinidad se han correlacionado la capacidad de absorción de agua y la germinación de las semillas, en diferentes especies aunque se ha observado considerable variabilidad entre especies del género *Triticum* (González y Ramírez, 1999; Munns *et al.*, 2010).

La respuesta de algunas variedades con altos porcentajes de germinación a conductividades eléctricas superiores a 8 dS.m<sup>-1</sup> demuestra la tolerancia del proceso a la salinidad; se ha observado que en algunas especies la imbibición puede ocurrir plenamente pero no la germinación debido al efecto tóxico de los iones salinos (Mano y Takeda, 2001). La obtención de altos índices de germinación a conductividades eléctricas superiores a 8 dS.m<sup>-1</sup> en el presente experimento pudiera explicarse debido a que el trigo posee una cubierta seminal muy blanda y permeable que facilita la entrada de agua y oxígeno, así como la salida de la radícula (Maya, Monzón y Ponce, 1988).

La mayoría de las variedades de trigo harinero presentaron porcentajes de germinación más altos que las de trigo duro, demostrándose la superioridad de esta especie en la tolerancia a la salinidad. El mayor grado de tolerancia durante el proceso de germinación lo presentaron las variedades obtenidas por radioinducción INIFAT RM-36, INIFAT RM-26, INIFAT RM-30, y su progenitor Cuba-C-204 mientras que INIFAT RM-31, Júpate C2001 y

Banámichi C2004 clasificaron como susceptibles.

*Variables del desarrollo de las plantas*

Se observó una significativa disminución de la altura de las plantas de la mayoría de las variedades a medida que se incrementó la conductividad eléctrica, encontrándose afectaciones medias de 8.1%; 13.9%; y de 19.33% para conductividades de 8 dS.m<sup>-1</sup>; 12 dS.m<sup>-1</sup> y 16 dS.m<sup>-1</sup> en los dos primeros grupos de variedades, siendo los de mayor respuesta a la salinidad en función de la altura de las plántulas (Tabla 3), mientras que en el último grupo, las afectaciones se incrementaron significativamente hasta valores de 17.35%; 21.35% y 29.42% para las conductividades eléctricas de 8 dS.m<sup>-1</sup>; 12 dS.m<sup>-1</sup> y 16 dS.m<sup>-1</sup> respectivamente.

Múltiples investigaciones se han realizado sobre la evaluación del crecimiento de las plántulas en condiciones de salinidad en diferentes cereales y los autores plantean que durante esta fenofase el efecto de la salinidad que se pone de manifiesto es el efecto osmótico (Azcón-Bieito y Talón, 2008; Munns *et al.*, 2010, Argentel *et al.*, 2010), otros sostienen que en la fenofase de plántulas es más evidente la toxicidad iónica debido al pobre desarrollo y bajo nivel de especialización del sistema radicular.

En la longitud de la raíz (LR) también existieron diferencias entre las variedades para cada nivel de salinidad evaluado pero solamente se conformaron dos grupos homogéneos para los niveles de 4 dS.m<sup>-1</sup> y 8 dS.m<sup>-1</sup> y otros dos para los niveles de 12 dS.m<sup>-1</sup>

**Tabla 3. Índices de tolerancia de la altura de las plántulas a los 15 días posteriores a la germinación. Porcentajes de afectación (%).** (G: representa los grupos homogéneos que se formaron mediante la comparación múltiple de medias). EE: Error Estándar; CV: Coeficiente de variación; r: coeficiente de correlación. R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación sin ajustar.

G	Variedades	Índice de tolerancia de la altura de las plántulas para cada nivel de conductividad eléctrica (dS.m <sup>-1</sup> )									
		4	%	8	%	12	%	16	%		
I	INIFAT RM-36, INIFAT RM-26 RM-30, Cuba-C-204	95.72 <sup>a</sup>	4.28	93.4 <sup>a</sup>	6.6	88.75 <sup>a</sup>	11.25	83.15 <sup>a</sup>	16.85		-1**
II	CIRNO C2008, INCA TH 32W, INIFAT RM-32, INIFAT RM-37	94.13 <sup>a</sup>	5.87	90.51 <sup>a</sup>	9.49	83.32 <sup>b</sup>	16.68	78.21 <sup>b</sup>	21.79		-0.98**
III	INIFAT RM-29, INIFAT RM-31, Júpate C2001, Banámichi C2004	87.79 <sup>a</sup>	12.21	82.65 <sup>b</sup>	17.35	78.65 <sup>c</sup>	21.35	70.58 <sup>c</sup>	29.42		-1**
	EE	0.046		0.034		0.121		0.162			
	CV	0.34		0.35		1.00		0.71			
	R <sup>2</sup>	0.96		0.97		0.96		0.97			

Medias con superíndices iguales en una misma columna (nivel de salinidad) no difieren significativamente por la prueba de Tukey para p≤0.01. \*\* representa, para los coeficientes de regresión, significación para p≤0.01.

y  $16 \text{ dS.m}^{-1}$  los cuales no coincidieron en variedades, pero si se observó que las de trigo duro siempre clasificaron en el grupo de menores índices de tolerancia mostrando susceptibilidad a la salinidad (Tabla 4).

La mayoría de las variedades presentaron altos índices de longitud de la raíz (superior al 88%) al menos hasta el nivel de conductividad eléctrica de  $12 \text{ dS.m}^{-1}$ . Los valores elevados de longitud de la raíz han sido informados como un importante indicador para la evaluación de la tolerancia a la salinidad en numerosas especies vegetales incluido el trigo (Udovenko, 1977; Maathuis, 2014).

El incremento de la longitud de las raíces favorece la tolerancia de las plantas a la salinidad porque permite una más eficiente exploración del medio donde se desarrollan (Munns et al., 2010), sin embargo existen estudios que plantean que la capacidad de absorción de agua no depende de la longitud de las raíces sino de su potencial hídrico,

indicando que en los primeros estadios del desarrollo radicular, a diferentes profundidades, el potencial hídrico se mantiene constante (Royo y Aragüés, 2002), otro estudio esclarece sobre las variaciones del potencial hídrico radicular a diferentes profundidades, siendo más alto a mayor profundidad (González y Ramírez, 1999; Jafar et al., 2012).

La acumulación de materia seca, como consecuencia de las afectaciones en las variables altura de la planta y longitud de la raíz, también se afectó significativamente en condiciones de salinidad y se conformaron dos grupos homogéneos los cuales coincidieron en variedades para todos los niveles de salinidad evaluados. Las afectaciones en el primer grupo se incrementaron de 6.9% en  $4 \text{ dS.m}^{-1}$  hasta 23.85 en  $16 \text{ dS.m}^{-1}$  mientras que en el segundo grupo las afectaciones se incrementaron desde 10.9% hasta 24.89% (Tabla 5).

Los resultados obtenidos en la presente

**Tabla 4. Índices de longitud de la radícula a los 15 días después de la germinación. Porcentajes de afectación (%). (G: representa los grupos homogéneos conformados. CE conductividad eléctrica; EE: Error Estándar; CV: Coeficiente de variación; r: coeficiente de correlación; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación sin ajustar).**

G	Variedades	Índice de longitud de la radícula y porcentajes de afectaciones para cada nivel de CE ( $\text{dS.m}^{-1}$ )			
		4	%	8	%
I	INIFAT RM-36, INIFAT RM-26, INIFAT RM-30, Cuba-C-204, INIFAT RM-32, INIFAT RM-37, CIRNO C2008, INCA TH 32W	95.31 <sup>a</sup>	4.69	93.02 <sup>a</sup>	6.98
II	INIFAT RM-29, INIFAT RM-31, Júpare C2001, Banámichi C2004	90.83 <sup>b</sup>	9.17	88.64 <sup>b</sup>	11.36
	ES	0.04		0.04	
	CV	0.42		0.42	
	R <sup>2</sup>	0.99		0.99	
G	Variedades	Índice de longitud de la radícula para cada nivel de CE ( $\text{dS.m}^{-1}$ )			
		12	%	16	%
I	INIFAT RM-36, INIFAT RM-26, INIFAT RM-30, Cuba-C-204, INIFAT RM-32, INIFAT RM-37	89.51 <sup>a</sup>	10.49	82.4 <sup>a</sup>	17.6
II	CIRNO C2008, INCA TH 32W, INIFAT RM-29, INIFAT RM-31, Júpare C2001, Banámichi C2004	82.32 <sup>b</sup>	17.68	79.01 <sup>b</sup>	20.99
	ES	0.14		0.23	
	CV	1.48		1.13	
	R <sup>2</sup>	0.96		0.99	

Medias con superíndices iguales en una misma columna (nivel de salinidad) no difieren significativamente por la prueba de Tukey para  $p \leq 0.01$ .

**Tabla 5. Índices de acumulación de materia seca en las plántulas a los 15 días posteriores a la germinación. (G: representa los grupos homogéneos que se formaron mediante la comparación múltiple de medias. EE: Error Estándar; CV: Coeficiente de variación; r: coeficiente de correlación. R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación sin ajustar).**

G	Variedades	Índice de acumulación de materia seca para cada nivel de conductividad eléctrica (dS.m <sup>-1</sup> )									
		4	%	8	%	12	%				
I	INIFAT RM-36, INIFAT RM-26 INIFAT RM-30, Cuba-C-204, CIRNO C2008, INCA TH 32W, INIFAT RM-32, INIFAT RM-37	93.1 <sup>a</sup>	6.9	89.4 <sup>a</sup>	10.6	82.3 <sup>a</sup>	17.7	76.15 <sup>a</sup>	23.85	-1**	
II	INIFAT RM-29, INIFAT RM-31, Júpate C2001, Banámichi C2004	89.1 <sup>b</sup>	10.9	84.04 <sup>b</sup>	15.96	76.3 <sup>b</sup>	23.7	75.11 <sup>b</sup>	24.89	-0.97**	
	EE	0.05		0.038		0.121		0.162			
	CV	0.42		0.36		1.00		0.71			
	R <sup>2</sup>	0.99		0.97		0.96		0.97			

Medias con superíndices iguales en una misma columna (nivel de salinidad) no difieren significativamente por la prueba de Tukey para p≤0.01. \*\* representa, para los coeficientes de regresión, significación para p≤0.01.

investigación demuestran que las variedades estudiadas toleran la salinidad durante el proceso de germinación y los primeros estadios del crecimiento.

Al analizar las afectaciones encontradas entre los tratamientos en las diferentes variables evaluadas se encontró que a 8 dS.m<sup>-1</sup> se produjo una inflexión de respuesta, existiendo un incremento significativo de las diferencias entre las medias del tratamiento anterior y el posterior a éste (8 dS.m<sup>-1</sup>). Desde el punto de vista estadístico y fisiológico a partir de este tratamiento se observarán afectaciones altamente significativas (Pohassón, 1956) constituyendo un punto crítico, para este caso un tratamiento crítico, a partir del cual todos los tratamientos presentan diferencias altamente significativas respecto a los anteriores a éste y a los siguientes.

Partiendo de las variables evaluadas, se realizó el agrupamiento de las variedades mediante el análisis de Conglomerados Jerárquico, que permitió aglutinar las variedades en tres grupos, indicando la existencia de considerable variabilidad en la respuesta al estrés salino en los primeros estadios del desarrollo (Figura 2), aspecto importante ya que se considera que la tolerancia al estrés salino es un carácter aditivo y de magnitud finita lo que impone la necesidad de ser experimentado de manera detallada (Argentel, 2013). Al respecto Kumar y Khare, (2015) evaluaron 400 variedades de trigos de diferentes especies durante la germinación y estadio de plántulas y encontraron alta diversidad genética, lo que permitió seleccionar variedades con tolerancia y otras con susceptibilidad a la salinidad.

Estos autores señalaron además que las variedades hexaploides (trigos harineros) (AABBDD) (*T. aestivum* L.) fueron más tolerantes que las tetraploides (trigos duros) (AABB) (*T. durum* L.) y las diploides (AA), señalando que el factor genético que controla la tolerancia a la salinidad puede estar localizado en el genoma D.

El grupo I formado por cinco variedades de trigo harinero (INIFAT RM-26, INIFATRM-36, INIFAT RM-30, INIFAT RM-37, Cuba-C-204) clasificó como grupo de mejor respuesta al estrés, con índices de tolerancia superiores al 80% para las variables que más contribuyeron a la variabilidad total, clasificando como tolerante (Tabla 6). La variable absorción de agua en los grupos I y II presentó índices de tolerancia con valores similares y en el tercer grupo solo disminuyó en una unidad.

El segundo grupo formado por la variedad de trigo harinero CIRNO C2008 clasificó como moderadamente tolerante. El agrupamiento de las variedades de trigo harinero en el primer y segundo grupos indica la superioridad de esta especie en cuanto a la tolerancia a la salinidad. Las variedades de trigo harinero INIFAT RM-29, INIFAT RM-31 INIFAT RM-32 y las de trigo duro Júpate C2001 y Banámichi C2004 formaron el tercer grupo clasificando como susceptible.

En experimentos con *T. aestivum*, *T. durum* Desf, *T. turanicum* Jakubz y *T. ispahanicum* Heslot y los endémicos *T. dicoccoides* Aarans, *T. timofheevi* Zhuk, *T. spelta* y *T. turgidum* L., Udovenko, (1985) encontró mayor tolerancia a la salinidad en *T. aestivum* L. y la atribuyó a su gran distribución por todo el mundo; Prazak, (2011) concluyó a que la

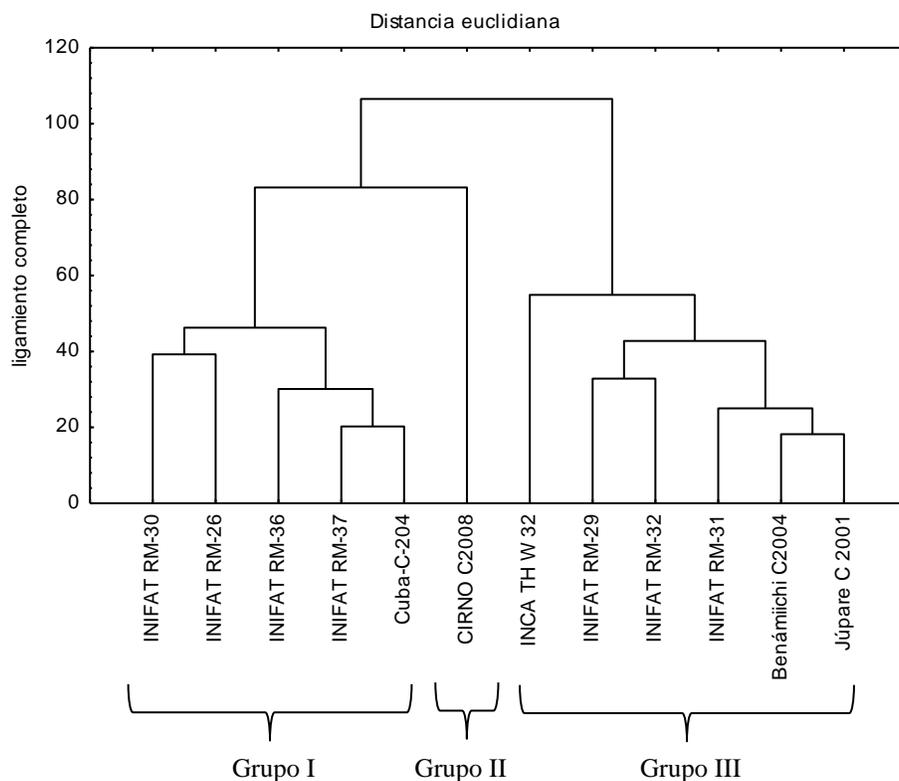


Figura 2. Dendrograma obtenido mediante el análisis de conglomerado jerárquicos. Se formaron tres grupos de variedades al hacer el corte del cluster al 50%.

Tabla 6. Valores promedios de los índices de tolerancia a la salinidad basada en el contenido de agua absorbida y los indicadores del crecimiento. G: Grupos conformados.

G	Variedades	Valores promedios de los índices de tolerancia (%)			
		IAA	IAP	ILR	IMS
I	INIFAT RM-26, INIFATRM-36, INIFAT RM-30, INIFAT RM-37, Cuba-C-204	93.12	92.34	98.98	91.34
II	CIRNO C2008	87.31	88.49	92.42	88.82
III	INCA TH 32 W, INIFAT RM-29, INIFAT RM-31, INIFAT RM-32, Banámichi C2004, Júpare C2001	84.15	75.78	91.11	76.55

(IAA: índice de agua absorbida por las semillas; IAP: índice de altura de las plantas; ILR: índice de longitud de la raíz; IMS: índice de materia seca).

especie *T. aestivum* L. es más tolerante a la salinidad debido a que está conformada por una gran cantidad de variedades de diferentes procedencias, donde están presentes los suelos salinos.

### Conclusiones

Existió considerable variabilidad en la respuesta del germoplasma evaluado a la salinidad, siendo los indicadores germinación y longitud de las raíces las variables de mayor grado de diferenciación de respuesta.

La variabilidad encontrada en la respuesta al estrés salino impuesto en los tratamientos fue explicada en más de un 95% en función de las variedades (coeficiente de determinación), lo que demuestra la variabilidad natural existente para dicho carácter en el germoplasma disponible.

La evaluación de la tolerancia a la salinidad permitió clasificar las variedades INIFAT RM-26, INIFAT RM-36, INIFAT RM-30, INIFAT RM-37 y Cuba-C-204 como tolerantes; la variedad CIRNO C2008 moderadamente tolerante y las variedades INCA TH 32 W, INIFAT RM-29, INIFAT RM-31, INIFAT RM-32, Banámichi C2004 y Júpate C2001 las susceptibles.

## Bibliografía

- Aahraf, M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, vol. 199, no 5, p. 361-376.
- Argentel, L. 2013. Efecto de altas concentraciones salinas sobre la germinación y el crecimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.) variedad Cuba-C-204. *Cultivos tropicales*, vol. 27, no 3, p. 45-48.
- Argentel, L., González, L. M., López, R. D., Gómez, E., & I. Fonseca. Evaluación de la tolerancia a la salinidad en estadios tempranos y finales del desarrollo en Triticales (X *Triticum secale*). *Cultivos Tropicales*, 2010, 31(1), 48-53.
- Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D. & Wallach, D. (2014). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*. ISSN 1758-678X
- Azcón-Bieto, J. & M. Talón. *Fundamentos de fisiología Vegetal*. Publicaciones y ediciones de la Universitat de Bracelona. McGraw-Hill-Interamericana de España, 2008.
- Brunel, N., Seguel, O., & Acevedo, E. Conservation tillage and water availability for wheat in the dryland of central Chile. *Journal of soil science and plant nutrition*, 2013,13(3), 622-637.
- Deryng, D., Conway, D., Ramankutty, N., Price, J., & Warren, R. Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environmental Research Letters*, 2014, 9(3): 034011.
- Fernández, G. C. J. Effective selection criteria for assessing plant tolerance. *Proc: On Adaptation of Food Crops to temperature and Water Stress* (Kuo, c. G. Ed.) Taiwan, 13-18 Agust, 1992. *Asian Vegetable Research and Development Center*, 1993, Publ., No. 93-410. pp: 257-270.
- Fisher, R. A. *The design of experiments*. Londres. Oliver & Boyd, 1935.
- Gómez J., L. A., Martínez C., A., Sánchez G., T., & Dueñas V., G. Nota técnica: Evaluación de la tolerancia al déficit de fósforo en caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) en Cuba, 2013.
- González, L. M. ASPECTOS GENERALES SOBRE LA TOLERANCIA A LA SALINIDAD EN LAS PLANTAS CULTIVADAS." *Cultivos tropicales* 2002, 23(2): 27-37.
- González, L. M., & Ramírez, R. Respiración, relaciones hídricas y concentración de pigmentos en plántulas de arroz cultivadas en condiciones salinas. *Cultivos Tropicales*, 1999, 20(1), 35-37.
- González, L. M.; Argentel, L.; Zaldívar, N., & Ramírez, R. Efecto de la sequía simulada con PEG-6000 sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de dos variedades de trigo. *Cultivos tropicales*, 2006,26(4) 45-49.
- Gutierrez, M., Reynolds, M. P., & Klatt, A. R. Effect of leaf and spike morphological traits on the relationship between spectral reflectance indices and yield in wheat. *International Journal of Remote Sensing*, 2015, 36(3), 701-718.
- Hotelling, H. *Multivariate Quality Control in Techniques of statistical Analysis*, edited by Eisenhart, Hastay and Walls. 1947.
- Jafar, M. Z., Farooq, M., Cheema, M. A., Afzal, I., Basra, S. M. A., Wahid, M. A., & Shahid, M. Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2012, 198(1), 38-45.
- Karimi, G., Ghorbanli, M., Heidari, H., Nejad, R. K., & Assareh, M. H. The effects of NaCl on growth, water relations, osmolytes and ion content in *Kochia prostrata*. *Biologia Plantarum*, 2005, 49(2), 301-304.
- Kolmogorov, E. Some test applied for current data analysis in agricultural sciences. *Statistic References*. MIR.1932, 63: 231-249.
- Kumar, V., & Khare, T. Individual and additive effects of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions on rice under salinity stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2015, 61(3), 381-395.
- Lamz P., A., Reyes G., Y., & González C., M. C. Indicadores bioquímicos para la selección de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) con tolerancia a la salinidad. *Cultivos Tropicales*, 2013, 34(1), 11-17. ISSN: 1819-4087
- Leidis, O., & Prado. J.M. Salinity effects on cultivated pants. What, new? *Indian Journal of Plant Physiology*, 2008, 23: 215-224.
- Letey, J., Hoffman, G. J., Hopmans, J. W., Grattan, S. R., Suarez, D., Corwin, D. L., & Amrhein, C. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines. *Agricultural Water Management*, 2011, 98(4), 502-506.
- López, L. Fenológica Susceptibility to salinity in wheat. *Indian Journal of Agricultural Science*, 1991,31 (4) 36-45.
- Maas, E. V. & Hoffman, G. J. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the irrigation and drainage division*, 1977, 103(2): 115-134.
- Maathuis, F. J. Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of experimental botany*, 2014, 65(3), 849-858.
- Mano, Y & Takeda, K. Genetic resources of salt-tolerance at germination and the seedling stage in wheat. *Japanese Journal of Crop Science*, 2001, 70, (2): 215-220.
- Maya, P; Monzón, A; & Ponce M. Datos sobre la germinación de especies endémicas Canarias. *Bot. M*, 1988, 16: 677-680
- Mishra, S., Alavilli, H., Lee, B. H., Panda, S. K., & Sahoo, L. (2014). Cloning and Functional Characterization of a Vacuolar Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> Antiporter Gene from Mungbean (*VrNHX1*) and Its Ectopic Expression Enhanced Salt Tolerance in *Arabidopsis thaliana*.
- Munns, R., & James, R. A. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and soil*, 2003, 253(1): 201-218.
- Munns, R., James, R. A., Sirault, X. R. R., Furbank, R. T. & Jones, H. G. New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit. *J. Exp. Bot.* 2010, 61: 3499-3507
- Nevo, E. & Chen, G. Drought and salt tolerance in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant Cell Environment*,

- 2010, 32: 670-685.
- Pfannschmidt, T., Brautigam, K. & Wagner, R. Potencial regulation of gene expression in salt tolerance. *Annals of Botany*. 2009, 103: 599-607.
- Pohassón, L. Mid-Point test for behaviour concentration under matricial análisis. A case of study in saline tolerance. *Journal of Applied Statistical Science*, 1956, 12: 641-647.
- Prazak, R. Salt-tolerance of *Triticum monococum* L., *Triticum dicocum* (s. chank) Schubl., *Triticum durum* Desf and *Triticum aestivum* L. Seedlings. *Journal of Applied Genetic*, 2011, 42(3) p. 289-292.
- Rojas A., J., & Rufasto C., E. M. Relación de la conductividad eléctrica de los suelos con la reflectancia de imágenes de satélite en la Región de Lambayeque-Perú. *Revista de Investigación de Física*, 2014, 14(02).
- Royo, A., & Aragués L., R. Establecimiento de nuevos índices de tolerancia de los cultivos a la salinidad: la cebada como caso de estudio. *Investigación agraria. Producción y protección vegetales*, 2002, 17(3), 409-422.
- Shavrukov, Y. Salt stress or salt shock: which genes are we studying? *Journal of experimental botany*, 2013, 4(1), 119-127.
- Tukey, J. W. Survey of Sampling. Post-hoc comparisons. *Contribution to probability and statistics*, 1960. Essays in honour to Harold Hotelling, pp. 448- 485. Sandford: Sandford University Press.
- Udovenko, G. V. El Cultivo del Trigo. Factores estresantes y reductores de los rendimientos. *Ciencias de la Agricultura (En Ruso)* 1977, (2): 43-51.
- Udovenko, G. V. Vías para elevar la productividad de las plantas cultivadas en suelos salinizados, *Ciencias de la Agricultura (En Ruso)*, 1985, (25):77-84.