

Evaluación de la tolerancia a la salinidad en poblaciones segregantes F5 de arroz (*Oryza sativa* L.)

*Evaluation of salinity tolerance in segregant F5 populations of rice (*Oryza sativa* L.)*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.4421516>

AUTORES: Fernando Cobos Mora ^{1*}

Luz Gómez Pando²

Walter Reyes Borja³

Edwin Hasang Moran⁴

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: * fcobos@utb.edu.ec

Fecha de recepción: 13 / 09 / 2020

Fecha de aceptación: 28 / 12 / 2020

RESUMEN

Se evaluó la tolerancia a la salinidad de líneas avanzadas F₅ de arroz, en poblaciones segregantes derivadas de cruces interespecíficos entre *Oryza sativa* L. ssp. japonica x *Oryza rufipogon* G. y de cruces de líneas de tipo japónicas; a través de indicadores fisiológicos. Se probaron 30 accesiones en dos ambientes (0,2 y 7,0 dS/m). En este análisis se consideró las diferencias entre el rendimiento de materia seca en condiciones óptimas y el rendimiento en condiciones de estrés (salinidad), para seleccionar los genotipos más tolerantes, fueron evaluados 8 índices de tolerancia: porcentaje de reducción relativa (RR%), índice de susceptibilidad a la salinidad (SSI), índice de intensidad de salinidad (SII), productividad media (MP), media geométrica de la productividad (GMP), tolerancia al estrés (TOL), índice de tolerancia a la salinidad (ITS) e intensidad del estrés (IS). Según la correlación de

¹Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ecuador

²Universidad Nacional Agraria. La Molina, Perú

³Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ecuador

⁴Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ecuador

Pearson, los índices más adecuados para identificar genotipos tolerantes a salinidad fueron: RR%, MP, GMP, e ITS. El Índice de tolerancia a la salinidad (ITS), seleccionó al genotipo Puyón/JP003P11-103115 (7) como tolerante y a las líneas Puyón/JP002P8-30552 (6) y Puyón/JP002P8-294930 (11) como moderadamente tolerantes al estrés salino.

Palabras clave: *genotipos, salinidad, índices de selección, gráficos tridimensionales.*

ABSTRACT

The tolerance to salinity of advanced rice lines F₅ was evaluated in segregating populations derived from interspecific crosses between *Oryza sativa* L. ssp. japonica x *Oryza rufipogon* G. and of japonica type line crosses; through physiological indicators. 30 accessions were tested in two environments (0,2 and 7,0 dS / m). In this analysis, the differences between the dry matter yield under optimal conditions and the yield under stress conditions (salinity) were considered, to select the most tolerant genotypes, 8 tolerance indices were evaluated: relative reduction percentage (RR%), salinity susceptibility index (SSI), salinity intensity index (SII), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), stress tolerance (TOL), salinity tolerance index (ITS) and intensity of stress (IS). According to Pearson's correlation, the most adequate indices to identify salinity-tolerant genotypes were: RR%, MP, GMP, and ITS. The Salinity Tolerance Index (ITS), selected the genotype Puyón / JP003P11-103115 (7) as tolerant and the lines Puyón / JP002P8-30552 (6) and Puyón / JP002P8-294930 (11) as moderately tolerant to saline stress .

Keywords: *genotypes, salinity, selection indices, three-dimensional graphs.*

INTRODUCCIÓN

La salinidad es uno de los principales problemas abióticos asociados con enormes pérdidas de cultivos en todo el mundo (Samant y Jawali, 2015; Mondal y Borromeo, 2016). La salinidad del suelo crea un estrés osmótico en la planta, lo que provoca un retraso en el crecimiento debido al desequilibrio nutricional (Zhu, 2003). A nivel mundial una quinta parte de la tierra agrícola se ve afectada por salinidad (Shrivastava y Kumar, 2014). Las principales causas de la salinidad pueden incluir el cambio climático, el uso excesivo de agua subterránea para riego y drenaje. Se espera que el problema de la salinidad sea severo

si continúan las tendencias actuales en el cambio climático y las malas prácticas de manejo del suelo (Munns y Tester, 2008; Ismail *et al.*, 2010).

El arroz es un alimento básico que proporciona la principal fuente de calorías a la población humana a nivel mundial (Ghosh *et al.*, 2016). Es uno de los principales productos agrícolas y una fuente de divisas para los productores agrícolas (Chandio *et al.*, 2016; PBS, 2018). El arroz (*Oryza sativa* L.) y sus variantes pueden tolerar concentraciones variadas de sal, generalmente por dos mecanismos; exclusión de iones y tolerancia osmótica (Munns y Tester, 2008; Roy *et al.*, 2014). Se ha descubierto que la selección de plantas tolerantes a la sal en ambientes controlados es más efectiva que en condiciones de campo; debido a la heterogeneidad en los factores edáficos y otras tensiones relacionadas con el suelo, como la temperatura y la humedad relativa (Glenn *et al.*, 1997).

Los síntomas del estrés por salinidad incluyen puntas blancas de las hojas afectadas, retraso en el crecimiento de las plantas, reducción del macollamiento, crecimiento irregular y, en casos graves, muerte de la planta. La salinidad reduce significativamente el número de tallos por planta, el número de espiguillas por panícula, la fertilidad, la longitud y número de panículas (Sarhadi *et al.*, 2012).

En el mejoramiento genético del arroz solo se ha utilizado un 25% de la variabilidad genética existente en especies silvestres. El material genético proveniente de otras especies relacionadas (Puyón) puede aportar genes de resistencia a factores bióticos y abióticos que permitirán cultivar el arroz u otras especies en zonas y ambientes marginales, los cuales se van incrementando con el cambio climático (Lamz & González, 2013).

Puede decirse, que fue Smith (1936) quién estableció las bases para la selección de plantas mediante el uso de índices de selección. El autor las llamó funciones discriminantes, éstas consisten en representar el valor de una planta como una función lineal de sus caracteres. Henderson (1963), a la selección mediante índices la llamó combinación lineal de los caracteres.

El modelo AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) es una herramienta de análisis de datos multivariante para el análisis de estabilidad que primero calcula el genotipo y el efecto ambiental (principal y aditivo) utilizando el análisis de

varianza (ANOVA) y luego analiza el efecto residual (Genotipo \times Interacción con el entorno) mediante el análisis de componentes principales (PCA) (Gauch, 1988).

La presente investigación tuvo como objetivo identificar y evaluar la tolerancia a la salinidad en líneas avanzadas de arroz, las cuales están siendo objeto de evaluación en suelos salinos, donde algunas variedades de arroz, no expresan su potencial genético productivo, debido a que no toleran la salinidad existente en los suelos. Por tanto, el estudio permitirá la selección diferencial de variedades frente al estrés salino y su recomendación para contribuir al incremento de la biodiversidad de especies en ecosistemas frágiles y degradados, elevar el coeficiente de utilización de estos suelos, en los que las producciones no son rentables por consecuencia del cambio climático global y el uso de variedades susceptibles.

METODOLOGÍA

Descripción del área de estudio.

Esta investigación se llevó a cabo durante el 2019 (Ene-May), en el invernadero ubicado en los predios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo, cantón Babahoyo, provincia de Los Ríos, con coordenadas geográficas de 79-32' W de longitud y 01-49' S de latitud, elevación de 8 msnm, temperatura 26.3, humedad relativa (%) 78,8, precipitación de 2688.8, evaporación (mm) 1012,4, heliofanía (hs) 830,4, nubosidad 7,1, y velocidad del viento (m/seg) 0,5 (INAMHI, 2019).

Material Genético

En este estudio se utilizó un total de 30 genotipos (Tabla 1): 12 líneas avanzadas F₅ de arroz derivadas de cruces interespecíficos entre *Oryza sativa* L. ssp. japonica x *Oryza rufipogon* G.; 12 líneas avanzadas F₅ obtenidas de cruces entre líneas de tipo japónicas; cinco parentales; y la variedad comercial SFL-011, utilizada como testigo o control.

Tabla 1. Genotipos en estudio

Línea	Designación
1	Puyón/JP002P8-324816
2	Puyón/JP002P8-3210919
3	Puyón/JP002P8-32816

Línea	Designación
4	Puyón/JP002P8-305511
5	Puyón/JP002P8-289311
6	Puyón/JP002P8-30552
7	Puyón/JP003P11-103115
8	Puyón/JP003P11-106716
9	Puyón/JP002P8-29669
10	Puyón/JP002P8-323523
11	Puyón/JP002P8-294930
12	Puyón/JP002P8-295616
13	JP001/JP003 P1 * 11P 1233
14	DH/JP003 P 1 # 25P 1433
15	DH/JP003 P2 # 40P 425
16	JP001/JP003 P 9 # 15P 732
17	JP002/JP001 P * P 5P 1322
18	JP003/JP001 P 1 # P 1P 168
19	JP001/JP003 P1 * 11P 413s
20	JP001/JP003 P 9 # 15P 629
21	JP002/JP001 P * P 5P 3621
22	JP003/JP001 P 1 # P 1P 1530
23	JP001/JP003 P 3 # 13P 4230
24	JP003/JP001 P * 2 # 3P 2119
25	Parental JP003
26	Parental DH
27	Parental Puyón
28	Parental JP002
29	Parental JP001
30	SFL011

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 30 x 2 (A x B) y seis repeticiones. El factor A correspondió a los 30 genotipos de arroz (24 líneas F₅ de arroz, 5 parentales y una variedad comercial SFL-11); y el factor B a los tratamientos de salinidad: testigo 0.2 dS/m (agua normal) y 7,0 dS/m (nivel de salinidad ajustada con cloruro de sodio - NaCl). La unidad experimental constó de una caja con 6 plantas. Las variables evaluadas fueron sometidas al análisis de variancia y la prueba de Tukey al 95% de probabilidad, para determinar las diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos.

Índices de selección

Para estos análisis se consideran las diferencias entre el rendimiento de materia seca en condiciones óptimas y el rendimiento en condiciones de estrés (salinidad), para seleccionar los genotipos más tolerantes, que son aquellos en los que la diferencia es mínima. Cuando la diferencia es más amplia el genotipo no es tolerante. El mejor índice debe ser capaz de distinguir genotipos que tengan superioridad uniforme, en ambientes de estrés y sin estrés (Darvishzadeh *et al.*, 2010). Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

El porcentaje de reducción relativa (RR%) se calculó con:

$$RR\% = \frac{Y_s}{Y_c}$$

Mohammad *et al.*, 2015

El índice de susceptibilidad a la salinidad (SSI) se determinó con:

$$SSI = \frac{1 - \left(\frac{Y_s}{Y_c}\right)}{1 - \left(\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_c}\right)}$$

Donde: Y_s y Y_c son el resultado promedio de un genotipo dado en condiciones salinas y no-salinas respectivamente, y SII fue el índice de intensidad de salinidad, calculado como:

$$SII = \frac{1 - \bar{Y}_s}{\bar{Y}_c}$$

Donde: \bar{Y}_s y \bar{Y}_c , son el promedio de todos los genotipos en ambientes salinos estresados y no estresados respectivamente. El SSI como índice proporciona una evaluación del rendimiento relativo de una entrada dada con respecto al rendimiento medio de todos los genotipos Fischer y Maurer (1978).

La productividad media (MP) se calculó con:

$$MP = \frac{Y_s + Y_c}{2}$$

Rosielle and Hambling (1981)

La productividad media geométrica (GPM) se calculó con:

$$GMP = \sqrt{(Y_s)(Y_c)}$$

Fernández (1993)

El índice de tolerancia al estrés (TOL) se calculó con:

$$TOL = Y_c - Y_s$$

Rosielle and Hambling (1981)

El índice de tolerancia a la salinidad (ITS) se calculó con el peso seco total de la planta y el rendimiento obtenida de diferentes concentraciones de tratamientos de sal en comparación con el peso seco total de la planta obtenido del control.

$$ITS (\%) = \frac{(Y_c)(Y_s)}{(Y_c)^2} \times 100$$

Argentel (2010); González y Ramírez (1999)

La intensidad del estrés se calculó según la fórmula:

$$IS = 1 - \left(\frac{Y_s}{Y_c} \right) \times 100$$

Fernández (1993)

Donde: Y_s y Y_c representan el rendimiento promedio en el medio suelos salino y no salino, respectivamente.

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 95 %; moderadamente tolerantes, cuando $95 \geq \text{ITS} \geq 90$ % y susceptibles, cuando $\text{ITS} < 90$ % (Nevo y Chen, 2010).

El coeficiente de correlación de Pearson, AMMI (additive main effects and multiplicative interactions) y conglomerados, fue calculado entre los diferentes índices estimados para el peso biomasa seca total y de rendimiento (Sokal y Rolf, 1995).

Variables evaluadas

La variable fue: Peso (g) de Impurezas y grano limpio, humedad (%), peso (g) de la cáscara o tamo, peso (g) de arroz integral,

Desarrollo de ensayo en condiciones de invernadero

Se realizó el semillero de arroz del material genético en bandejas germinadoras, colocando una semilla por hoyo. Después de 20 días de semillero, las plántulas de arroz, para su establecimiento, se trasplantaron en cajas de madera con 60 cm de ancho x 80 cm de largo, revestidas con una lámina plástica negra de polietileno, empleándose piedra pómez como sustrato inerte, la cual fue homogenizada y lavada. La caja experimental estuvo dividida en dos partes, en el lado derecho donde las plantas se desarrollaron en condiciones salinas (7,0 dS/m) y en el lado izquierdo, en el cual las plantas fueron manejadas en condiciones de agua de riego normal (control 0,2 dS/m). Los riegos fueron aplicados dos veces por semana durante los primeros dos meses del cultivo y posteriormente un riego por semana hasta la conclusión del experimento.

Con el fin de alcanzar los niveles de salinidad definidos en los tratamientos antes descritos, se suministró agua con alta conductividad eléctrica, la cual se salinizó con cloruro de sodio (NaCl), debido a que dicha sal es la que predomina en los suelos afectados por salinidad, los mismos que presentan mayor toxicidad. Estos valores fueron medidos y controlados semanalmente con el medidor combinado Bluelab (Bluelab Corporation Limited, Tauranga 3110, Nueva Zelanda).

RESULTADOS

Según se puede observar en la Tabla 2, el análisis de variancia a las respuestas genotípicas para biomasa seca total muestra confiabilidad, con alta significancia estadística para genotipos ($<0,0001$) y niveles de salinidad ($<0,0001$) con un CV de 36,3%.

Tabla 2. Análisis de variancia biomasa seca total en genotipos de arroz cultivados en condiciones normales y estrés salino. Babahoyo 2019.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F observado	Tabla F 5%
Modelo	64	261442,39	4085,04	6,62	$<0,0001$
Tratamientos	29	122541,74	4225,58	6,85	$<0,0001$
Nivel de Salinidad	1	101998,57	101998,57	165,4	$<0,0001$
Repetición	5	8374,13	1674,83	2,72	0,0204
Tratamientos * Nivel de Salinidad	29	28527,94	983,72	1,6	0,0301
Error	295	181916,51	616,67		
Total	359	443358,9			
CV%	36,3				

En la Figura 1, se observan los promedios para la variable biomasa seca total, en la prueba Tukey al 0,05 se observa que la línea Puyón/JP002P8-30552 (6) alcanzo un peso de 120,7 g, significativamente superior a las otras treinta líneas. El genotipo siguiente es Puyón/JP003P11-103115 (7) con 100,6 g, el cual alcanzo valores considerables. Otra línea como es Puyón/JP003P11-106716 (8) con 99,2 g, alcanzó pesos satisfactorios. La línea Parental JP002 obtuvo el promedio más bajo con 35,7 g, siendo superado por todas las líneas. El testigo comercial SFL011, con 68,4 g fue superado por once líneas con mejores resultados y significativamente solo por Puyón/JP002P8-30552 con 120,7 g.

Con respecto al nivel de salinidad (Figura 2), 0,2 dS/m (control), presento el mayor promedio con 85,3 g y fue superior al nivel 7,0 dS/m, que obtuvo un valor de 51,6 gramos.

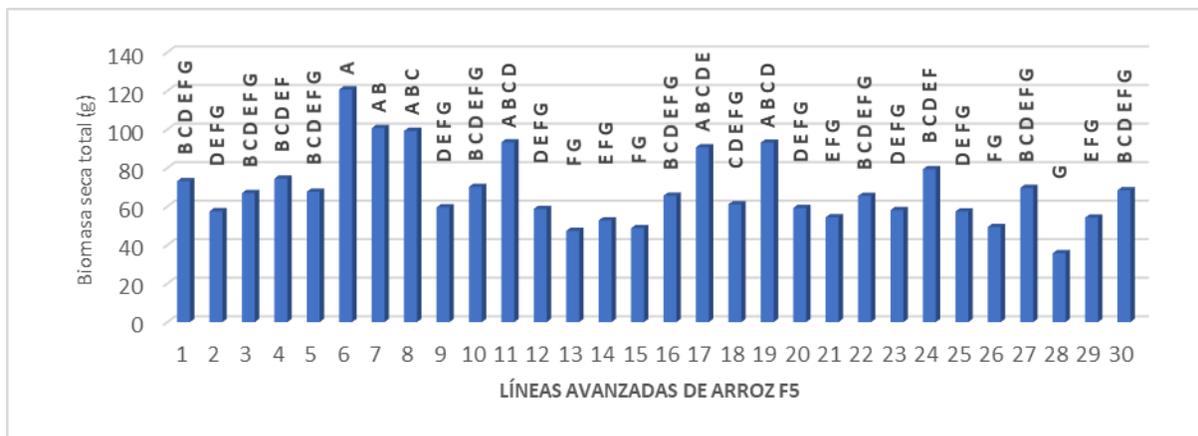


Figura 1. Variación del total de biomasa seca en platas de arroz F5, sujetas a salinidad.

Prueba de significación Tukey al 0,05%. Resultados con una misma letra no son significativos entre sí.

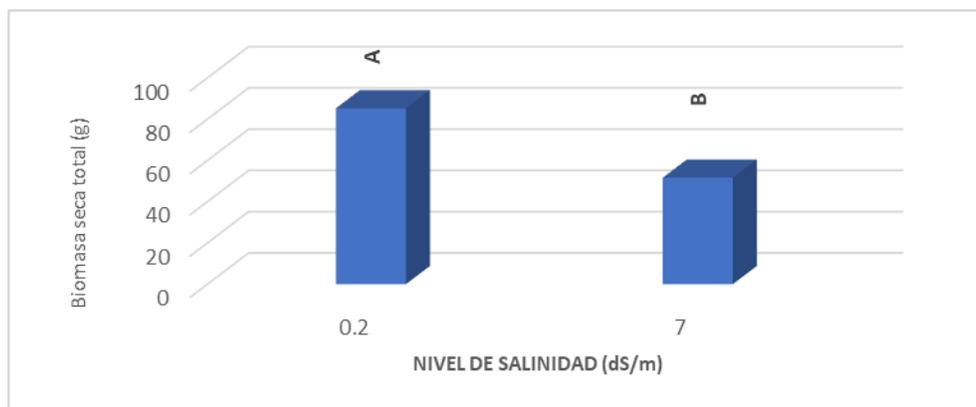


Figura 2. Variación de biomasa seca total, en tratamientos sujetos al nivel de salinidad control (0,2 dS / m) y 7,0 dS / m, 6 repeticiones, CV 11.2 y la prueba de significación Tukey al 0,05%.

Para la identificación de líneas tolerantes a salinidad, se utilizó el peso total de la biomasa seca de los genotipos obtenidos en condiciones normales (0,2 dS/m) como peso control (Yc) y el peso (Ys) obtenido en condiciones de estrés salino (7,0 dS/m), obteniéndose los valores de los índices de selección con las ecuaciones propuestas para esta investigación.

Para identificar el mejor índice de selección para los genotipos tolerantes a salinidad se determinaron correlaciones entre el peso control (Yc) y estrés salino (Ys). La matriz de correlación (Tabla 3), indica que RR%, MP, GMP, e ITS pueden ser utilizados para seleccionar genotipos resistentes a salinidad.

Tabla 3. Correlación entre diferentes índices de tolerancia a salinidad y el peso total de la biomasa seca de genotipos de arroz *F5* bajo condiciones de estrés salino

	Ys (g)	Yc (g)	RR %	SSI	SII	MP	GMP	TOL	ITS	IS
Ys (g)	1,00	0,00	0,00	0,00	sd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yc (g)	0,64	1,00	0,48	0,36	sd	0,00	0,00	0,26	0,31	0,31
RR %	0,83	0,13	1,00	0,00	sd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SSI	-0,86	-0,17	-0,99	1,00	sd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SII	sd	sd	sd	sd	1,00	sd	sd	sd	sd	sd
MP	0,93	0,88	0,57	-0,61	sd	1,00	0,00	0,14	0,00	0,00
GMP	0,97	0,80	0,68	-0,72	sd	0,99	1,00	0,03	0,00	0,00
TOL	-0,62	0,21	-0,92	0,91	sd	-0,27	-0,41	1,00	0,00	0,00
ITS	0,87	0,19	0,98	-1,00	sd	0,63	0,73	-0,91	1,00	0,00
IS	-0,87	-0,19	-0,98	1,00	sd	-0,63	-0,73	0,91	-1,00	1,00

La matriz de correlación entre los índices de selección a salinidad y los pesos de biomasa total seca de los tratamientos en condiciones de control (Yc) y estrés salino (Ys), indica que la relación de Yc es negativa con el Índice de Susceptibilidad a la Salinidad (SSI) y con la Intensidad del Estrés (IS) y positivo con los demás índices de selección (Tabla 3). Los pesos de biomasa seca en salinidad (Ys) están más estrechamente asociados con los índices: Reducción relativa (RR%), Productividad Media (MP), Productividad Media Geométrica (GPM) e Índice de Tolerancia a la Salinidad (ITS).

Los índices más adecuados para identificar genotipos tolerantes a salinidad en arroz fueron Reducción relativa (RR%) que determinó los genotipos Puyón/JP003P11-103115 (7), Puyón/JP002P8-30552 (6) Puyón/JP003P11-106716 (8) y Puyón/JP002P8-294930 (11) como los más sobresalientes. La Productividad Media (MP) y la Productividad Media Geométrica (GPM), seleccionan los mismos genotipos. El Índice de Tolerancia a la Salinidad (ITS), seleccionó al genotipo Puyón/JP003P11-103115 (7) como tolerante y las líneas Puyón/JP002P8-30552 (6) y Puyón/JP002P8-294930 (11) como moderadamente tolerantes al estrés salino. (Tabla. 4)

Tabla 4. Clasificación de las variedades según el peso de acuerdo a sus índices de tolerancia

Gen	Ys (g)	Yc (g)	RR %	SSI	SII	MP	GMP	TOL	ITS	IS	Tolerancia
1	50,0	96,3	0,5	1,2	0,4	73,1	69,4	46,3	51,9	48,1	S
2	41,0	74,0	0,6	1,1	0,4	57,5	55,1	33,0	55,4	44,6	S
3	33,0	100,9	0,3	1,7	0,4	66,9	57,7	67,9	32,7	67,3	S
4	41,5	107,4	0,4	1,6	0,4	74,4	66,7	66,0	38,6	61,4	S
5	26,4	108,9	0,2	1,9	0,4	67,7	53,6	82,5	24,2	75,8	S
6	116,7	124,7	0,9	0,2	0,4	120,7	120,6	8,1	93,5	6,5	MT
7	98,4	102,9	1,0	0,1	0,4	100,6	100,6	4,5	95,7	4,3	T
8	92,3	106,2	0,9	0,3	0,4	99,2	99,0	13,9	86,9	13,1	S
9	33,4	85,6	0,4	1,5	0,4	59,5	53,5	52,2	39,0	61,0	S
10	50,4	89,9	0,6	1,1	0,4	70,2	67,3	39,5	56,1	43,9	S
11	88,6	98,0	0,9	0,2	0,4	93,3	93,2	9,5	90,3	9,7	MT
12	40,4	77,1	0,5	1,2	0,4	58,7	55,8	36,8	52,3	47,7	S
13	38,1	56,6	0,7	0,8	0,4	47,4	46,4	18,6	67,2	32,8	S
14	37,1	68,4	0,5	1,2	0,4	52,8	50,4	31,3	54,3	45,7	S
15	34,6	62,9	0,6	1,1	0,4	48,7	46,6	28,3	55,0	45,0	S
16	50,3	80,9	0,6	1,0	0,4	65,6	63,8	30,7	62,1	37,9	S
17	71,5	109,9	0,7	0,9	0,4	90,7	88,6	38,5	65,0	35,0	S
18	37,8	84,4	0,4	1,4	0,4	61,1	56,5	46,6	44,8	55,2	S
19	84,2	102,1	0,8	0,4	0,4	93,1	92,7	17,9	82,4	17,6	S
20	48,0	70,4	0,7	0,8	0,4	59,2	58,1	22,5	68,1	31,9	S
21	38,7	70,1	0,6	1,1	0,4	54,4	52,1	31,4	55,2	44,8	S
22	51,0	79,9	0,6	0,9	0,4	65,5	63,9	28,9	63,9	36,1	S
23	49,2	67,0	0,7	0,7	0,4	58,1	57,4	17,8	73,4	26,6	S
24	66,9	91,8	0,7	0,7	0,4	79,4	78,4	24,9	72,9	27,1	S
25	41,6	73,1	0,6	1,1	0,4	57,4	55,1	31,5	56,9	43,1	S
26	36,5	62,1	0,6	1,0	0,4	49,3	47,6	25,6	58,8	41,2	S
27	46,4	92,8	0,5	1,3	0,4	69,6	65,6	46,5	50,0	50,0	S

Gen	Ys (g)	Yc (g)	RR %	SSI	SII	MP	GMP	TOL	ITS	IS	Tolerancia
28	22,9	48,6	0,5	1,3	0,4	35,7	33,4	25,6	47,2	52,8	S
29	39,0	69,5	0,6	1,1	0,4	54,2	52,0	30,5	56,1	43,9	S
30	41,9	94,9	0,4	1,4	0,4	68,4	63,1	53,0	44,1	55,9	S

Reducción relativa (RR%), índice de susceptibilidad a la salinidad (SSI), índice de intensidad de salinidad (SII), productividad media (MP), productividad media geométrica (GPM), índice de tolerancia al estrés (TOL), índice de tolerancia a la salinidad (ITS), intensidad del estrés (IS).

En el dendograma del análisis Clúster, las líneas Puyón/JP002P8-30552 (6), Puyón/JP003P11-103115 (7), Puyón/JP003P11-106716 (8), Puyón/JP002P8-294930 (11) y JP001/JP003P1*11 (19) alcanzaron el mayor peso total de biomasa en condiciones de control y estrés por salinidad. Las líneas del segundo grupo tienen respuesta intermedia y el tercer y cuarto grupo presentaron resultados bajos, es decir son susceptibles al estrés salino (Figure 3).

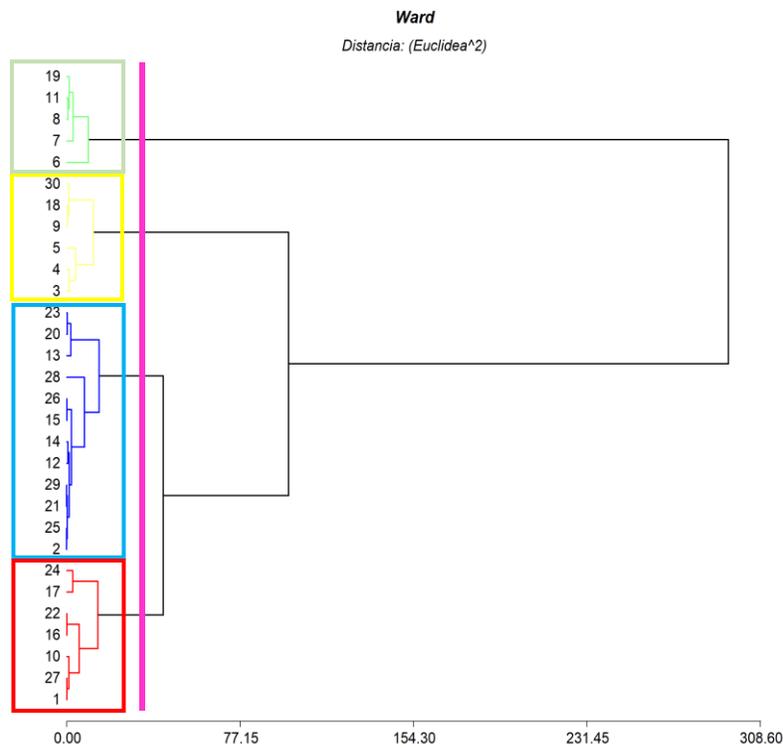


Figura 3. Dendograma de análisis Clúster de genotipos basados en índices de tolerancia a salinidad y peso de biomasa seca total en condiciones de control y estrés salino (Codificación de los genotipos en la Tabla 1)

En el gráfico AMMI-Biplot, entre el peso de biomasa total seca y el componente principal 1, indica que los genotipos Puyón/JP002P8-30552 (6), Puyón/JP003P11-106716 (8), Puyón/JP003P11-103115 (7), JP001/JP003P1*11 (19) y Puyón/JP002P8-294930 (11) son de mayor peso total de materia seca y que las líneas Parental JP002 (28), JP001/JP003P1*P11 (13), Parental DH (26) y DH/JP003 P2 # 40P 425 (15) son las de más bajo índice (Figura 4).

En las condiciones de control (0,2 dS/m) es donde los genotipos alcanzan los mayores pesos y en las condiciones de salinidad (7,0 dS / m), los rendimientos son los más bajos. Para identificar las relaciones entre el peso control (0,2 dS/m), peso en salinidad (7,0 dS / m) y adecuados índices de selección, se emplearon gráficos tridimensionales para cada índice.

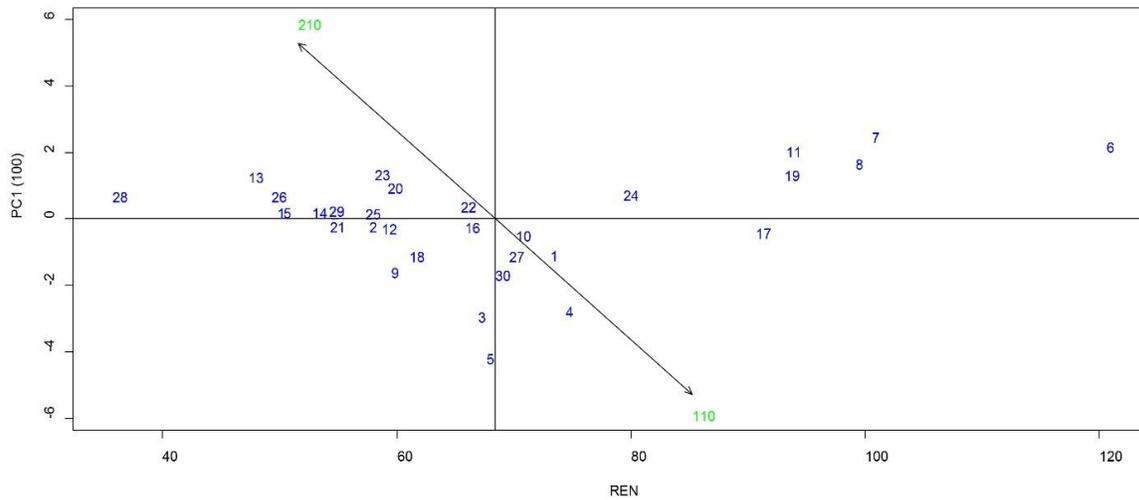


Figura 4. Análisis AMMI-BIPLLOT para genotipos de arroz en condiciones de control y salinidad

Los gráficos tri-dimensionales que corresponden a Reducción relativa (RR%), Productividad Media (MP), Productividad Media Geométrica (GPM) e Índice de Tolerancia a la Salinidad (ITS); evidencian que los genotipos Puyón/JP002P8-30552 (6), Puyón/JP003P11-103115 (7), Puyón/JP003P11-106716 (8) y Puyón/JP002P8-294930 (11), mostraron tolerancia a salinidad y muestran superioridad uniforme en ambientes de control y bajo estrés por salinidad (Figuras 5,6,7.8).

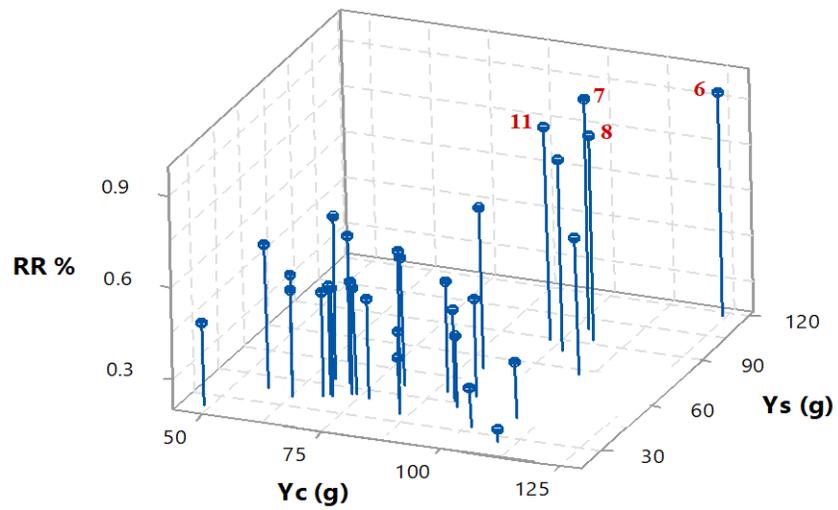


Figura 5. Gráfico tridimensional de Reducción relativa (RR%) VS Peso control (Yc) y Peso bajo estrés salino (Ys)

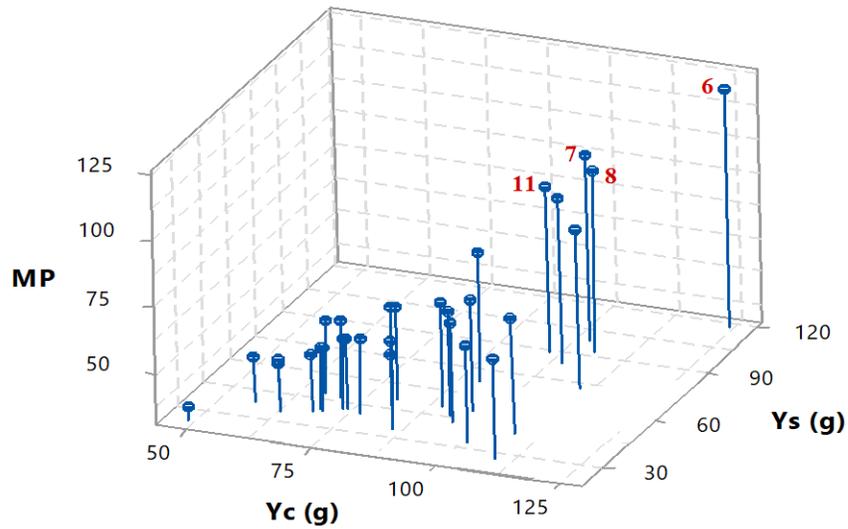


Figura 6. Gráfico tridimensional de Productividad Media (MP) VS Peso control (Yc) y Peso bajo estrés salino (Ys)

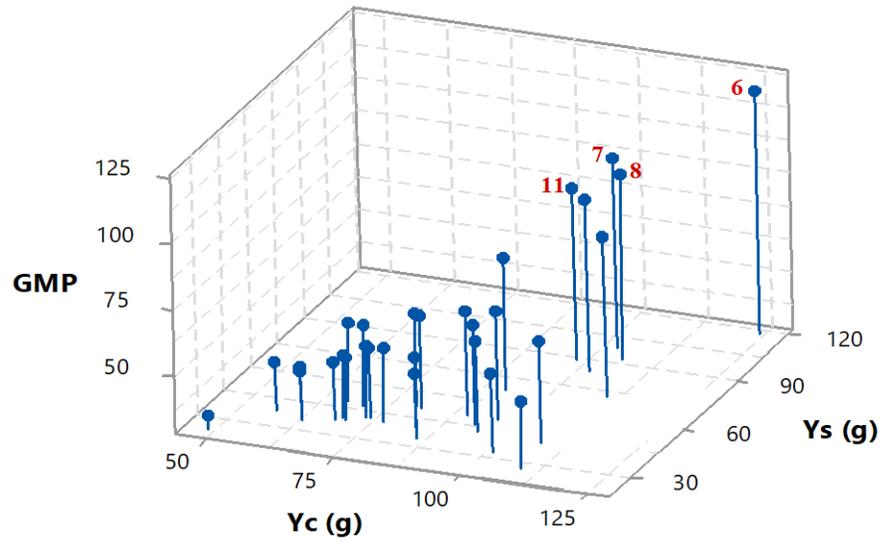


Figura 7. Gráfico tridimensional de Productividad Media Geométrica (GPM) VS Peso control (Yc) y Peso bajo estrés salino (Ys)

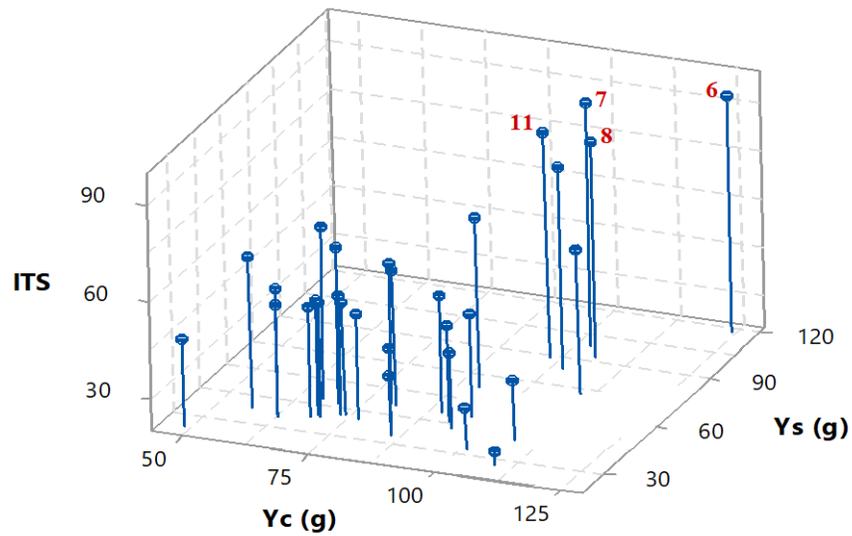


Figura 8. Gráfico tridimensional de Índice de Tolerancia a la Salinidad (ITS) VS Peso control (Yc) y Peso bajo estrés salino (Ys)

DISCUSIÓN

La tolerancia a estreses abióticos, como las heladas o la salinidad, constituye un importante objetivo de mejora en los cereales. Aunque esta familia de cultivos está adaptada de forma natural a determinados estreses abióticos, todavía sigue siendo un objetivo de mejora de interés la adaptación a condiciones más extremas, ya que de esta forma es posible el cultivo en tierras marginales. En arroz, la selección de líneas tolerantes a salinidad puede dar lugar a que la producción, antes basada en variedades locales, evolucione hacia el cultivo de variedades mejoradas que puede ser usados en programas de mejora (Akar *et al.*, 2009).

Los índices más adecuados para identificar genotipos tolerantes a salinidad en arroz fueron Reducción relativa (RR%) que determinó los genotipos Puyón/JP003P11-103115 (7), Puyón/JP002P8-30552 (6) Puyón/JP003P11-106716 (8) y Puyón/JP002P8-294930 (11) como los más sobresalientes. La Productividad Media (MP) y la Productividad Media Geométrica (GPM), seleccionan los mismos genotipos. El Índice de Tolerancia a la Salinidad (ITS), seleccionó al genotipo Puyón/JP003P11-103115 (7) como tolerante y las líneas Puyón/JP002P8-30552 (6) y Puyón/JP002P8-294930 (11) como moderadamente tolerantes al estrés salino. La reducción del peso seco de las plántulas bajo estrés salino puede deberse a la desviación de cierta cantidad de energía del crecimiento y el metabolismo. La disminución también puede deberse al aumento en el costo de mantenimiento de las células en crecimiento bajo estrés (Ali *et al.*, 2014).

Estos resultados sugieren que una alta reducción en el peso seco total no solo ocurrió en genotipos sensibles, sino también en genotipos moderados y tolerantes. Jamil *et al.*, (2012) informaron que tratamientos con salinidad de hasta 150 mM redujo significativamente el peso seco de los brotes y raíces de la planta de arroz en la etapa de plántula, mientras que Chunthaburee *et al.* (2015) indican que el tratamiento de NaCl 100 mM redujo el peso seco de brotes y raíces de 12 genotipos de arroz probados. En este estudio, el nivel de salinidad 7,0 dS / m de NaCl redujo el crecimiento y la viabilidad de las plantas. Los genotipos sensibles como Puyón/JP002P8-289311 (5), no sobrevivieron 14 días después del tratamiento con sal, mientras que los genotipos tolerantes mostraron un buen crecimiento. La mayoría de las hojas eran verdes a pesar de que las hojas viejas se habían secado. La sal

inhibió el crecimiento de las plantas en la etapa de plántula, lo que resultó en una reducción de la biomasa vegetal (Jamil *et al.*, 2012).

Los genotipos de arroz se clasificaron en función de su tolerancia, susceptibilidad y la reducción porcentual en el rasgo fisiológico peso de biomasa seca total observado bajo estrés salino. En la Tabla 4, se muestran las relaciones de los índices RR%, MP, GMP. En este estudio, las diferencias entre los genotipos con aumento en el nivel de salinidad fueron muy evidentes, como lo demuestra la disminución del 39% en peso de la biomasa. Esta reducción en el peso de la biomasa y sus rasgos componentes ocurre a través de efectos osmóticos que reducen la capacidad de las plantas para absorber agua y causar un crecimiento reducido (Jini, 2010). Algunos autores, sugieren una fuerte correlación entre contenido de sodio, el crecimiento de las plántulas y el rendimiento bajo estrés salino (Khatun *et al.*, 1995; Akita y Cabuslay, 1990).

La presente investigación demostró, el daño que causa el exceso de sales en características como acumulación de materia seca. Estos resultados concuerdan con investigaciones de varios autores, quienes indican que el exceso de Na⁺ en las células vegetales, daña directamente los sistemas de membranas y los orgánulos, lo que resulta en una reducción del crecimiento y rendimiento antes de la muerte de las plantas (Siringam *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye lo siguiente:

Según el índice de tolerancia a la salinidad (ITS), el estrés salino afectó a todos los genotipos de arroz bajo estudio. Los resultados indican que uno de los genotipos de arroz como es Puyón/JP003P11-103115 (7) fue tolerante a salinidad y las líneas Puyón/JP002P8-30552 (6) y Puyón/JP002P8-294930 (11) fueron identificadas como moderadamente tolerantes. El genotipo comercial SFL011 (30) fue susceptible al estrés por salinidad. Por lo tanto, los tres genotipos de arroz pueden ser seleccionados como padres donantes en programas de mejoramiento genético.

Con relación a los índices de selección para salinidad, según el análisis de correlación el rendimiento en salinidad (Ys) está estrechamente asociados con los índices: Reducción relativa (RR%), Productividad Media (MP), Productividad Media Geométrica (GPM) e

Índice de Tolerancia a la Salinidad (ITS). Por lo cual, estos índices tienen la habilidad más alta para diferenciar entre rendimientos bajo condiciones de salinidad y en entornos normales.

Los resultados de los análisis de Conglomerados, AMMI-biplot y gráficos tridimensionales coinciden en que los genotipos Puyón/JP002P8-30552 (6), Puyón/JP003P11-103115 (7), Puyón/JP003P11-106716 (8) y Puyón/JP002P8-294930 (11) son especímenes que tiene respuestas aceptables en condiciones de salinidad y en entornos normales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akar T, Francia E, Tondelli A, Rizza F, Stanea AM, Pecchioni N. 2009. Marker-assisted characterization of highly Frost Tolerant Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes. *Plant Breeding* 128: 381-386.

Akita S, Cabuslay G. 1990. Physiological basis of differential response to salinity in rice cultivars. *Plant and Soil* 123: 277-294.

Ali, M.N., Ghosh, B., Gantait, S. & Chakraborty, S. (2014) Selection of rice genotypes for salinity tolerance through morpho-biochemical assessment. *Rice Science*. 21 (5), 288–298.

Argentel L, González L M, Fonseca I. 2010. Absorción de agua, germinación y crecimiento del trigo (*Triticum aestivum*, variedad Cuba-C-204) en condiciones de salinidad. *Centro Agrícola*, vol. 37, no. 1, pp. 43-47, ISSN 0253-5785, 2072-2001.

Chandio AA, Yuansheng J, Magsi H. 2016. Agricultural sub-sectors performance: an analysis of sector-wise share in agriculture GDP of Pakistan. *International journal of economics and finance* 8(2), 156-162. <http://dx.doi.org/10.5539/ijef.v8n2p156>.

Chunthaburee, S., Dongsansuk, A., Sanitchon, J., Pattanagul, W. & Theerakulpisut, P. (2016) Physiological and biochemical parameters for evaluation and clustering of rice cultivars differing in salt tolerance at seedling stage. *Saudi Journal of Biological Sciences*. [Online] 23 (4) 467–477. Available from: doi:10.1016/j.sjbs.2015.05.013.

Darvishzadeh R, Pirzad A, Hatami-Maleki H, Poormohammad-Kiani S, Sarrafi A. 2010. Evaluation of the reaction of sunflower inbred lines and their F1 hybrids to drought conditions using various stress tolerance indices. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(4):1037-1046.

Estación Meteorologica Babahoyo-UTB (Cod. M0051 – INAMHI. 2019) (in Spanish)

Fernández G, C J. 1993. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. pp 257-270. In: Kuo CG (Eds.) *Proceeding of the International Adaptation of vegetables and other Food Crop to Temperature and Water Stress*. AVRDC Publ. Tainan, Taiwan, 13-18 August. Pp. 257-270.

Fischer R A, Maurer R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yields responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897–912.

Gauch H G. 1988. Model selection and validation for yield trials with interactions. *Biometrics* 44:705–715.

Ghosh B, Ali N, Gantait S. 2016. Response of Rice under Salinity Stress: A Review Update. *Journal of Rice Research* 4, 2 <http://dx.doi.org/10.4172/2375-4338.1000167>.

Glenn E, Miyamoto M, Moore D, Brown JJ, Thompson TL, Brown P. 1997. Water requirements for cultivating *Salicornia bigelovii* Torr with seawater on sand in a coastal desert environment. *Journal of Arid Environment* 36, 71-73.

Henderson, C. R. 1963. Selection index and expected genetic advance. *Statistical genetics and plant breeding*. Nas-Nrc. Publication. 982:141-163.

Ismail AM, Thomson MJ, Vergara GV. 2010. Designing resilient rice varieties for coastal deltas using modern breeding tools. In: Hoanh CT, Szuster BW, Pheng KS, Ismail AM, Nobel AD (eds.) *Tropical deltas and coastal zones: food production, communities and environment at the land-water interface*. Wallingford, England, p 154-165.

Jamil, M., Bashir, S., Anwar, S., Bibi, S., Bangash, A., Ullah, F. & Rha, E.S. (2012) Effect of salinity on physiological and biochemical characteristics of different varieties of rice. *Pakistan Journal of Botani*. 44 (Special Issue March 2012), 7–13.

Jamil, M., Bashir, S., Anwar, S., Bibi, S., Bangash, A., Ullah, F. & Rha, E.S. (2012) Effect of salinity on physiological and biochemical characteristics of different varieties of rice. *Pakistan Journal of Botani*. 44 (Special Issue March 2012), 7–13.

Jini D. 2010. Salinity induced programmed cell death in plants: Challenges and opportunities for salt-tolerant plants. *J. Plant Sci*. 5:376–390.

Khatun S, Rizzo C A, Flowers T J. 1995. Genotypic variation in the effect of salinity on fertility in rice. *Plant Soil* 173: 239-250.

Lamz Piedra, A., González Cepero, M C. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*,34 31-42. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193228546005>.

Mohammad M, Ibne H, Zheng J, Wang G. 2015. Evaluation of salinity tolerance in maize (*Zea mays* L.) genotypes at seedling stage, *Journal of BioScience and Biotechnology*, 4(1): 39-49.

Mondal S, Borromeo TH. 2016. Screening of Int. J. Biosci. 2019 salinity tolerance of rice at early seedling stage. *Journal of Bioscience and Agriculture Research* 10 (1), 843-847.

Munns R, Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59, 651681.

Munns R, Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59, 651681.

- Nevo E, Chen, G. 2010 ‘‘Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement’’. *Plant, cell & environment*, vol. 33, no. 4, pp. 670–685, ISSN 1365-3040.
- PBS. 2018. Agricultural Statistics Division, Pakistan Bureau of Statistics, Government of Pakistan www.pbs.gov.pk/.
- Rosielle A A, Hamblin J. 1981. Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environment. *Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and no Stress Environmental*. *Crop Sci*, 21:943-946.
- Rosielle A A, Hamblin J. 1981. Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environment. *Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and no Stress Environmental*. *Crop Sci*, 21:943-946.
- Roy SJ, Negrao S, Tester M. 2014. Salt resistant crop plants. *Current Opinion in Biotechnology* 26,115124.
- Samant A, Jawali N. 2015. Early seedling stage salt tolerance evaluation of genetically diverse rice genotypes. *Annals of Biological Research* 7(5), 46-54.
- Sarhadi E., Mohammadi-Bazargani M., Sajise A. G., Abdolahi S., Vispo A. N., Arceta M. et al. 2012 Pr Reddy, I.N.B.L.; Kim, B.K.; Yoon, I.S.; Kim, K.H.; Kwon, T.R. Salt tolerance in rice: Focus on mechanisms and
- Shrivastava S, Kumar S. 2014. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Science* 22, 123-131.
- Siringam K, Juntawong N, Cha-um S, Kirdmanee C. 2011. Salt stress induced ion accumulation, ion homeostasis, membrane injury and sugar contents in saltsensitive rice (*Oryza sativa* L. spp. indica) roots under osmotic conditions. *African Journal of Biotechnology*. 10: 1340-1346.

Smith, H. F. A. 1936. Discriminant function for plant selection. Papers on quantitative genetics and related topics. Dep. of Genetics, North Carolina State University. 12^a. press.

Sokal, R.R. and Rohlf, F.J. (1995) Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. 3rd Edition, W.H. Freeman and Co., New York. 887pp.

Zhu JK. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Current Opinion in Plant Biology 6, 441-445.