

ESTRÉS POR SALINIDAD EN ARROZ



Autores:

Fernando Javier Cobos Mora

Walter Oswaldo Reyes Borja

María Bernarda Ruilova Cueva

Reina Concepción Medina Litardo

Autores:

Fernando Javier Cobos Mora

Walter Oswaldo Reyes Borja

María Bernarda Ruilova Cueva

Reina Concepción Medina Litardo

ISBN: 978-9942-606-07-5



Estrés por salinidad en el arroz





Fernando Javier Cobos Mora
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Técnica de Babahoyo
fcobos@utb.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8462-9022>



María Bernarda Ruilova Cueva
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Técnica de Babahoyo
mruilova@utb.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3750-7385>



Walter Oswaldo Reyes Borja
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Técnica de Babahoyo
wreyes@utb.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1706-0793>



Reina Concepción Medina Litardo
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Guayaquil
reina.medinal@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3305-3112>



Primera Edición, septiembre 2022

Estrés por salinidad en el arroz

ISBN: 978-9942-606-07-5 (eBook)

Editado por:

Universidad Técnica de Babahoyo

Avenida Universitaria Km 2.5 Vía a Montalvo

Teléfono: 052 570 368

© Reservados todos los derechos 2020

Babahoyo, Ecuador

www.utb.edu.ec

E-mail: editorial@utb.edu.ec

Este texto ha sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos.

Diseño y diagramación, montaje y producción editorial

Universidad Técnica de Babahoyo

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

Queda prohibida toda la reproducción de la obra o partes de la misma por cualquier medio, sin la preceptiva autorización previa.

PRESENTACIÓN

La población mundial está creciendo a un ritmo alarmante y se prevé que alcance unos nueve mil millones para fines del año 2050 (UNFPA, 2014). Para satisfacer las demandas de una población en crecimiento, la productividad de los cultivos debe aumentar en aproximadamente 44 millones de toneladas métricas al año. Sin embargo, eso es bastante desafiante debido a la expansión limitada de tierras cultivables, las condiciones ambientales erráticas y la aparición de factores estresantes abióticos asociados con el cambio climático (FAO, 2012; Cominelli *et al.*, 2013; Islam *et al.*, 2015a). Entre los factores estresantes abióticos, la sequía y la salinidad obstaculizan significativamente la producción mundial de cultivos (Munns, 2011). A nivel mundial, existen alrededor de 110 mil millones de hectáreas de tierras afectadas por la sal en más de 100 países, lo que representa más del 7% al 10% de la superficie total, con un potencial de aumento del 10% al 15% anual (Zhang *et al.*, 2017).

El arroz se considera un cultivo sensible a la salinidad y su producción seguirá afectada debido a la expansión de las tierras afectadas por este factor. Los estudios han demostrado que aproximadamente el 20% del área total cultivada de arroz está afectada por salinidad (Qadir *et al.*, 2014). El alto estrés salino afecta el crecimiento y desarrollo del arroz. Al ser una especie de planta altamente susceptible, (Islam *et al.*, 2017a, b) la presencia de sales en los arrozales dificulta la absorción de agua y causa daño a las hojas. También disminuye la vida útil de hojas debido a la absorción y acumulación de sal (Cui *et al.*, 2016). A pesar de la gran cantidad de literatura publicada sobre el retraso del crecimiento inducido por la salinidad en el arroz y otros cultivos, la comprensión del fenómeno de la salinidad y como las tensiones abióticas tienen una profunda influencia en los sistemas ecológicos y agrícolas que provocan una enorme pérdida en la producción de los cultivos sigue siendo incompleta.

CONTENIDO

I.	ESTRÉS POR SALINIDAD.....	8
1.1.	Cambio climático y salinidad	8
1.2.	Importancia de la salinización como proceso natural y antrópico en los ecosistemas	8
1.3.	Suelos afectados por sales.....	11
1.4.	Enfoque de estudio de suelos con sales	12
1.4.1.	Enfoque Agrofisiológico.....	12
1.4.2.	Enfoque pedogenético. Relaciones Na-CE.....	12
1.5.	Sodificación – Alcalinización	14
1.6.	Principales tipos de suelos afectados por sales.....	15
1.6.1.	Suelos salinos.....	15
1.6.2.	Suelos sódicos.....	17
1.6.3.	Suelos salino – sódicos.....	18
1.7.	Origen de las sales	18
II.	SALINIDAD Y SODICIDAD EN LAS PLANTAS.....	20
2.1.	Efectos sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento.....	20
2.2.	Causas por las cuales se afecta el crecimiento, desarrollo y rendimiento.	21
2.3.	Efectos de la salinidad sobre antioxidativos y antioxidantes.....	25
2.4.	Efectos de la salinidad sobre el metabolismo del nitrógeno	26
2.5.	Efectos de salinidad en la fotosíntesis.....	27
2.6.	Efectos de la salinidad sobre la estructura del cloroplasto.....	28
2.7.	Cambios morfológicos y anatómicos inducidos por sal en plantas.....	29
2.8.	Efectos de la salinidad en las etapas fenológicas del arroz.....	31
2.8.1.	Expresión de los principales componentes agronómicos.....	32
2.8.2.	Expresión de los principales componentes de rendimiento	37
2.9.	Mecanismos reguladores del estrés por salinidad.....	45
2.10.	Determinaciones analíticas en suelos afectados por sales.....	46
III.	MEJORAMIENTO GENÉTICO	52
3.1.	Tolerancia al estrés abiótico de las plantas	52
3.2.	Variabilidad genética y tolerancia a la salinidad.....	53
3.3.	Tolerancia a la sal inducida por la bioingeniería	54
3.4.	Selección de líneas avanzadas de arroz (<i>Oryza Sp.</i>) como alternativa para el manejo de suelos degradados por salinidad	58

3.4.1. Selección y caracterización de líneas avanzadas de arroz F ₅ bajo invernadero en condiciones de salinidad	60
3.4.2. Selección y caracterización de líneas avanzadas de arroz F ₆ sujetas a área de cultivo afectada por salinidad.	72
3.5. Logros, impacto y perspectivas.....	78
IV. BIBLIOGRAFÍA.....	80

I. ESTRÉS POR SALINIDAD

1.1. Cambio climático y salinidad

La producción agrícola se ve afectada debido a que el cambio climático altera las condiciones ambientales. Los principales efectos del cambio climático se ven reflejados en el sector de producción, y en la compra y venta de los productos, manifestándose directamente en el sector económico de manera que los agricultores se ven obligados a realizar ajustes, como asociación de cultivos, uso de insumos, nivel de producción, demanda de alimentos, consumo de alimentos y comercio. (Batley y Edwards, 2016).

La producción de cultivos a gran escala bajo diversos sistemas de producción se ven afectadas por los efectos del cambio climático, lo que se puede evidenciar en un menor rendimiento que representa el 70% de estos cultivos. (Agarwal *et al.*, 2006).

Los efectos de los cambios climáticos de mayor impacto en los cultivos durante el crecimiento y desarrollo de estos son: inundaciones, sequías estacionales, temperaturas extremas o salinidad. De acuerdo con los datos, alrededor del 22% de las tierras cultivables a nivel mundial son salinas, y una de las consecuencias de las sequías es que limita el crecimiento y desarrollo de las plantas, causando pérdidas de productividad (Shao *et al.*, 2008; Burke *et al.*, 2006; Cobos, 2022). En conclusión la sequía y la salinidad son los efectos más nocivos del cambio climático, que representan una verdadera amenaza para la producción agrícola a nivel mundial.

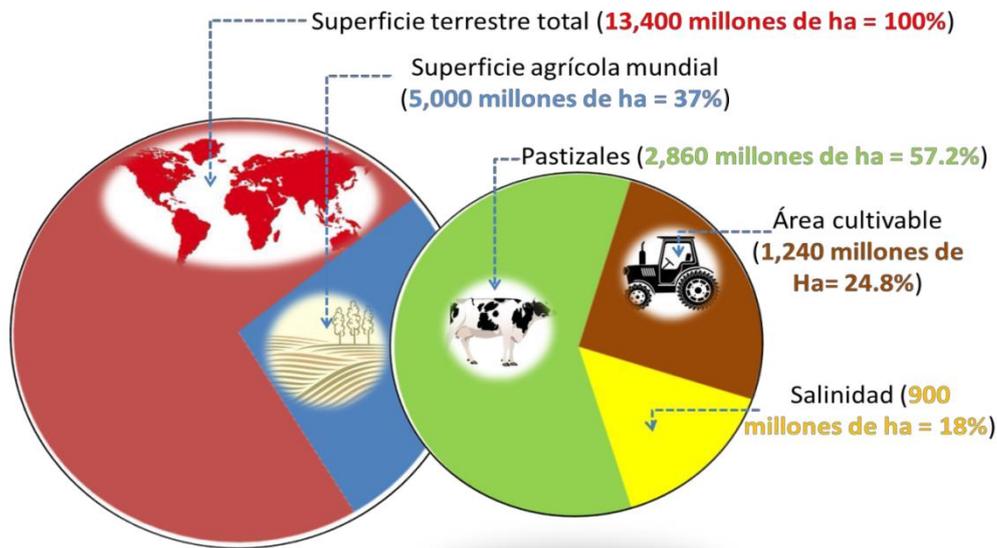
1.2. Importancia de la salinización como proceso natural y antrópico en los ecosistemas

Los terrenos salinizados se caracterizan por presentar excesivos niveles de sales solubles, y/o sodio intercambiable, lo cual impide el crecimiento y desarrollo de los vegetales, y afecta a la producción económica de los cultivos. La salinidad de los suelos se produce por la gran acumulación de sales, estos sectores se caracterizan por tener un déficit del porcentaje de agua, debido a la evapotranspiración y al bajo nivel de lixiviación de sales remanentes. La concentración de dichas sales produce la sodicidad, esto conlleva a un relativo incremento de sodio intercambiable. La salinización y alcalinización están relacionadas por el balance de agua y sales, teniendo sus orígenes naturales o antrópicos (Porta *et al.*, 1994).

En la siguiente ilustración se puede evidenciar que el 37% es decir (5,000 millones de hectáreas) pertenecen a la superficie agrícola mundial, de una superficie total (13,400 millones de hectáreas), de las cuales 3,500 millones corresponde a

pastizales y 1,500 millones a área cultivable. Sin embargo de acuerdo a los datos se puede corroborar que el 18% (900 millones de hectáreas) están afectadas por salinidad. (Soto, 2017).

Ilustración 1. Superficie afectada por salinidad.



Fuente: (Soto, 2017)

Imbellone *et al.*, (2010) menciona la existencia de 9,3 millones de km² con suelos halomórficos, de los cuales 3,5 km² son salinos, principalmente en climas áridos y semiáridos, los países con mayor afectación de sales son: URSS, China, Argentina, Irán, India, Pakistán y Australia. La superficie sódica a nivel mundial es de 5,8 millones de ha, este fenómeno se presenta principalmente en Australia, ex URSS, Argentina, Canadá, Chad y Nigeria. La Argentina, es el tercer país con mayor superficie de suelos afectados con sales en el mundo en forma natural (salinización primaria), después de Rusia y Australia (Lavado, 2007).

Un tercio de la superficie terrestre son zonas áridas y semiáridas, de las cuales una gran extensión está afectadas por sales, este problema ha afectado la producción en estas regiones desde hace miles de años. Los dos principales procesos de degradación de los suelos son la salinización y alcalinización, los cuales han afectado durante décadas a varias regiones tropicales, semiáridas o subhúmedas (Pla Sentis, 2014). Aproximadamente la mitad de las tierras que se cultivaban bajo riego en el mundo, se encuentran afectadas por problemas de salinidad y sodicidad. En la actualidad un 30-50% de tierras a utilizar para el cultivo bajo riego se pierde debido a los procesos de salinización y sodificación (Pla Sentis, 1993).

La productividad de los cultivos se ve afectada principalmente por el proceso de salinidad, incluyendo el cultivo del arroz, Pla Sentis (2006a) indica que 1,5 a 2,5 millones ha de cultivos bajo riego se pierden anualmente y señala que la erosión antrópica es mucho mayor que la salinización, además resalta la importancia desde

el punto de vista social, económico y ambiental, a causa de la inversión que requiere los emprendimientos de riego, por ejemplo el uso del agua que cada vez es más escasa, y por la decisiva importancia en la producción de alimentos. FAO (2016) y Prieto *et al.* (2015) señala que el 30% de la superficie mundial destinada para el cultivo de riego está afectada por la salinidad.

El mal uso que realiza una población en crecimiento y desarrollo tanto de suelo como del agua se considera una de las principales causas de catástrofes en comparación a las atribuidas al cambio climático. Los suelos son importantes de la producción agrícola y de la preservación de ecosistemas. Se puede determinar que la consecuencia de la degradación del suelo tiene el mismo impacto que las del calentamiento global, pérdida de ecosistemas. (Pla Sentis, 2006; Cobos *et al.*, 2020).

En el Cuadro 1, se puede apreciar las superficies afectadas alrededor del mundo por algún proceso de degradación, y el tipo de proceso que corresponde a cada una (Pla Sentis, 2017).

Cuadro 1. Áreas afectadas en el mundo por algún proceso de degradación, y áreas que ocupan los procesos degradativos.

	Área ha. 10 ⁶		Proceso degradación	Área ha. 10 ⁶
	total	anual		
Tierra con riego	45	0.15	Erosión hídrica	480
Cultivos secoano	220	2.5	Erosión eólica	510
Pastos	760	3.2	Degradación química	110
			Degradación física	35

Fuente: Pla Sentis, 2006a

La salinización y alcalinización se producen en áreas húmedas donde se realizan producciones intensivas, principalmente en cultivos de hortalizas y flores bajo coberturas plásticas. Otros problemas como consecuencias de las sales son la disminución del rendimiento con desarrollo de plagas, enfermedades y desequilibrios nutritivos asociados (Alconada *et al.*, 2011b).

Porta *et al.* (1994), destaca que el efecto ambiental se hace más evidente en sistemas intensivos de producción. Pla Sentis (2006a), señala que dentro de los sistemas productivos resalta la degradación del suelo como una de las principales causas de la reducción de producción de alimentos también menciona que la degradación de suelos afecta las funciones del mismo como regulador del ciclo hidrológico y filtro ambiental.

Pla Sentis (2006b) argumenta que el riego tiene un impacto en el régimen y balance de agua y solutos del perfil, con acumulación de sales, cuando no son consideradas las particularidades del clima durante el manejo y el drenaje del riego, clima, suelo, cultivo, calidad de agua, sistema de riego, fertilización, y profundidad del nivel freático. El autor marca la importancia del estudio del suelo y el agua en forma conjunta sin embargo esto no se lleva a cabo. El estudio del suelo se lo debe

realizar desde un punto de vista hidrológico ya que condiciona la calidad, cantidad y forma en que el agua participa en este ciclo.

1.3. Suelos afectados por sales

Según Pla Sentis (1979), la definición de “suelos afectados por sales” por lo general conlleva a ciertas confusiones ya que los términos usados para referirse a este tema son ambivalentes, por ende sugiere utilizar el término de “suelos afectados por sales” en un sentido general, refiriéndose a los suelos que mediante la acumulación de cualquier sal o ión separado o en conjunto afecte las propiedades del suelo (física, químicas o biológicas), el rendimiento económico de cultivos o que incida sobre los consumidores (animales u hombre), o un eficaz manejo de riego.

En el Cuadro 2. Szabolcs (1988), presenta un esquema donde se refleja los diversos tipos de suelos afectados por sales a escala mundial. De los cuales se puede evidenciar que tanto a nivel mundial como a nivel particular (Ecuador) predominan los suelos salinos y sódicos. Respecto a los suelos magnésicos se destacan los estudios de Müller-Sämann *et al.* (1999). Cuadro 2. Diversos tipos de suelos afectados por sales que se presentan en el mundo.

Cuadro 2. Diversos tipos de suelos afectados por sales que se presentan en el mundo.

Electrolitos dominantes	Suelo resultante	Ambiente	Efecto sobre la producción	Mejoramiento
NaCl - Na ₂ SO ₄	suelo salino	árido-semiárido	alta presión osmótica efectos tóxicos	lixiviación de sales
iones Na ⁺ capaces de hidrólisis alcalina	suelos alcalinos	semiárido semihúmedo húmedo	pH alcalino deterioro de propiedades físicas	enmiendas químicas
iones Mg ⁺²	suelos magnésicos	semiárido semihúmedo	alta presión osmótica efectos tóxicos condiciones físicas pobres	lixiviación enmiendas química
iones Ca ⁺² (princ. Ca ₂ SO ₄)	suelos yesíferos	semiárido árido	baja nutrición efectos tóxicos	enmiendas alcalinas
iones de Fe y Al (princ.sulfatos)	suelos sulfato ácido	costas marinas y de lagos de sedim. pesados y sulfatos	fuertemente ácidos efectos tóxicos	encalado

Fuente: Szabolcs, 1988

1.4. Enfoque de estudio de suelos con sales

Para llevar a cabo el estudio de estos suelos se hace uso de dos enfoques que son: Agrofisiológico (características químicas, criterio no utilizado actualmente en producción) y Pedogenético (características físicas y químicas del suelo, consideraciones económicas, cultivos, climáticas, entre otras, recomendado para definir sistemas productivos).

1.4.1. Enfoque Agrofisiológico

De acuerdo al manual 60 de Riverside (Richards, 1973), establece los protocolos para el diagnóstico y asesoramiento en el manejo de estos suelos con características “químicas” el cual está relacionado con el desarrollo del cultivo. Bajo este criterio se puede obtener ciertos resultados validos en algunos ambientes, pero resulta propicio para los suelos en zonas áridas y de escaso desarrollo genético, sin embargo, estas pueden presentar variaciones muy marcadas en otros tipos de suelos y ambientes. (Cuadro 3).

Los datos en el cuadro tres, son considerados en cierta medida dentro de la taxonomía de suelos, por ejemplo, se considera un horizonte nátrico cuando un horizonte argílico tiene > 15 PSI. Sin embargo, no es un criterio que resulte adecuado desde un punto de vista productivo para todos los sitios.

Cuadro 3. Límites utilizados en manual 60 del USDA.

	C.E (dS.m ⁻¹)	PSI	PH
Salino	>4	<15	<8,5
Salino-sódico	>4	> 15	<8,5
Sódico	<4	> 15	>8,5

(CE conductividad eléctrica, PSI por ciento de sodio intercambiable)

1.4.2. Enfoque pedogenético. Relaciones Na-CE

Este enfoque se caracteriza por resaltar las condiciones físicas y químicas que presentan los suelos y como se relacionan estas con la presencia de sales. Es de carácter primordial el estudio y análisis de estos suelos para establecer su evolución con el tiempo. Se determinan las características intrínsecas del perfil que modifican y determinan el balance de sales, especialmente si hay horizontes genéticos desarrollados.

Los puntos a tener en cuenta son:

- La producción económica de cultivos se puede ver afectada debido a las condiciones sociales y económicas de cada nación.
- Importancia al orden climático.

- Las distintas especies cultivadas presentan tolerancia a las sales.
- Las propiedades físicas del suelo se ven afectadas debido a los altos niveles de sodio intercambiable que se encuentren en el, suelen oscilar de 2 a 50% de acuerdo a las características del mismo (Pla Sentís, 1993). Pla Sentís (2014) estudia también el efecto dispersante del Mg, proponiendo el uso del índice CROSS (Cations Ratio of Soil Structural Stability).
- Aristizabal Arboleda (2009) estudia el efecto dispersivo del Mg^{+2} y los efectos negativos del mismo sobre la estabilidad estructural y conductividad eléctrica que no presenta el Ca^{+2} . Condición que se origina debido a la gran cantidad de energía y radio de hidratación del Mg^{+2} dando como resultado la expansión (hinchamiento) de las arcillas. Este autor señala el gran impacto negativo que tiene el Mg^{+2} en comparación del Ca^{+2} sobre la estructura de los suelos arcillosos de tipo 2:1 con saturación de Mg^{+2} superior al 35%, indica que en estos casos es favorable la presencia de Na^{+}

Porta *et al.* (1994), resalta que el límite de 4 dS.m^{-1} presentado en el Manual 60 puede llegar a ser considerado válido por los efectos que se presentan en el suelo en comparación al límite de 15 de PSI que resulta arbitrario por lo cual se deben considerar las características edáficas. Bohn *et al.*, (1993), recomienda las indicaciones de Abu-Sharar *et al.*, (1987) acerca de modificar el límite de 4 a 2 dS.m^{-1} con el objetivo de separar suelos salinos de no salinos y consideran adecuado el límite de 15% de sodio intercambiable. De acuerdo con Pizarro (1978), considera para definir estos suelos, 2 dS.m^{-1} y 7 de PSI.

Varios autores están de acuerdo en considerar límites muy por debajo del 15% de PSI, en general 5-7 % e inferiores a 4 dS.m^{-1} . Por ejemplo, en condiciones de invernadero, el 5 - 7% de sodio intercambiable se evidencia en problemas derivados del drenaje, mientras que con un valor de 2 dS/m de sales minimizan los rendimientos y calidad de los cultivos hortícolas y florícolas.

De lo antes mencionado, se puede destacar la contribución hecha por Pla Sentís (1979) respecto a la importancia de evaluar cada caso en particular tanto el nivel de salinidad como el de alcalinidad y los efectos que causan estos en los suelos y en los cultivos, basándose en experiencias y observaciones con la finalidad de seleccionar los cultivos y prácticas más apropiadas para obtener mejores resultados incluso en las áreas vinculadas a la salinidad/alcalinidad. Pla Sentís (2017) menciona la importancia de analizar los suelos afectados por sales con fin de obtener una mejor comprensión de los problemas de sodicidad. En conclusión el autor identifica a la variabilidad entre los límites de PSI o de RSA como la causante de la sodicidad en un suelo, debido a que varían con las texturas, composición y concentración de los minerales de los suelos y de otros electrolitos.

Algunas de las conclusiones respecto a los temas desarrollados con anterioridad son las siguientes:

- Los datos presentados en el Cuadro 3 respecto al contenido de sales y Na^+ intercambiable son relevantes en las clasificaciones taxonómicas y ambientes con condiciones semejantes en donde estos fueron establecidos, realizando ajustes a cada sitio si se planea una producción sustentable.
- Los grados de Na^+ , expresados como PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable, en la solución interna del suelo) o RAS (Relación de Adsorción de Sodio, en la solución externa del suelo) y sales en general CE que deterioran a un suelo y cultivo en específico están regidos directamente a las características de ambos y su correlación. Además de en función de cultivo, sistema productivo, clima, tipo de suelo y calidad del agua subterránea.
- Los límites de los niveles de CE, PSI o RAS serán los mejores relacionados con las observaciones de campo, principalmente las propiedades edáficas que se ven afectadas por las sales, y el desarrollo de los cultivos.
- Niveles como $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y 15 PSI o 13 RAS, tienen un efecto nocivo en la producción de cultivos comunes y cultivos intensivos. Un porcentaje entre 2 a 50% de PSI puede llegar a afectar a gran escala las propiedades físicas del suelo, es recomienda tener en cuenta otras propiedades edáficas. Se estipula que el nivel de $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de sales es favorable para los cultivos comunes, sin embargo se considera excesivo en cultivos sensibles.
- Es necesario establecer el origen y los efectos de la salinidad-alcalinidad para que puedan ser controlados, los rangos a considerar son: material original, características de la superficie freática, funcionamiento hidrogeológico del lugar, secuencia de horizontes, contenido y tipo de arcillas, presencia de coloides en general y condiciones climáticas.

1.5. Sodificación – Alcalinización

Respecto a los valores del pH, es importante definir los conceptos de dos términos que usualmente se los relacionan como sinónimos: sodificación y alcalinización.

(Pizarro, 1978; Porta.*et.al.*, 1994) indican que el proceso de sodificación se caracteriza por el aumento del contenido de Na^+ intercambiable pero no se produce un incremento del pH.

(Porta *et al.*, 1994, Pla Sentis, 2014) señalan que en el proceso de alcalinización se eleva el nivel de Na^+ intercambiable a la vez que se acumula Na_2CO_3 , el anión que se encuentra en estas sales es el responsable de la elevación del pH. El proceso de hidrolisis, ya sea del Na^+ intercambiable o del Na_2CO_3 tendrá como consecuencia el aumento del pH a valores de un rango de 10, valores que caracterizan a los suelos alcalinos.

1.6. Principales tipos de suelos afectados por sales

La salinidad afecta a diferentes tipos de suelos los cuales contienen diversidad de propiedades, pero todos ellos cuentan con una característica en común, es que han sido, son y presentan potencial de ser afectados por las sales, también presentan ciertas limitaciones para el desarrollo de la vegetación (Lavado y Taboada, 2017). A pesar de haber diferentes tipos de suelos afectados por sales, los de mayor relevancia por su distribución tanto a nivel nacional como mundial son los suelos salinos y los alcalinos.

Pla Sentis (2014) argumenta que tanto el proceso de salinización como el de alcalinización son consecuencia del balance de agua y soluto, ya sea en condiciones naturales o en producciones con riego, obteniendo como resultado la degradación de las propiedades físicas y químicas del suelo además de los efectos nocivos sobre el ambiente, la producción de cultivos y la salud de los seres vivos.

De acuerdo con los aportes de este autor, se resalta la relación entre el proceso hidrológico con la salinidad y alcalinidad de los suelos, no obstante cabe destacar el caso de suelos sódicos donde ocurren reacciones químicas y físico-químicas, que representan un papel más importante cuando están asociadas a una superficie freática.

El nivel de salinidad-alcalinidad que afecta a los cultivos y a los suelos es difícil de establecer, debido a que estos dependen de diferentes factores como: el tipo de suelo, mineralogía, clima, tipo y manejo de cultivo (Cobos *et al.*, 2022). Una de las características para poder diferenciar entre suelos salinos o sódicos y suelos sódicos o alcalinos, es que en el primero va a prevalecer los cloruros y sulfatos de sodio mientras que en el segundo habrá un alto nivel de carbonatos y bicarbonatos de sodio.

1.6.1. Suelos salinos

Los suelos salinos son aquellos en los que se presenta un acopio de sales más solubles que el yeso, lo cual interviene negativamente en el desarrollo de los cultivos y plantas no especializadas (Porta *et al.*, 1994) (solubilidad del yeso dihidratado es de 2,04 g/l). A pesar de que todos los suelos tienen una cantidad de sales solubles, el proceso de salinización se produce cuando los niveles de concentración de sales sobrepasan la tolerancia normal de los cultivos. La salinidad del suelo se puede expresar por la concentración de solutos (meq. litro⁻¹ o mmoles. litro⁻¹) o por la conductividad eléctrica (CE, dS.m⁻¹) de la solución del suelo, proveniente de diferentes relaciones suelo- agua.

En el Cuadro 4, se muestra la clasificación de los suelos con presencia de sales respecto a la conductividad eléctrica

Cuadro 4. Rangos de clasificación de suelos salinos

Clasificación	CE (dS/m)
Normales	0 a 2
Ligeramente salinos	2 a 4
Salinos	4 a 8
Fuertemente salinos	8 a 16

Fuente: FAO, 2012

Las sales que prevalecen son SO_4^{2-} y Cl de Na^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} (Porta *et al.*, 1994; Pla Sentis, 2014). Por su parte, Lavado y Taboada (2017) declaran que las sales que predominan son los solubles de cloruros y sulfatos de sodio. Se establece que estas sales se relacionan a los procesos hidrológicos debido a su alta solubilidad ya que siguen los movimientos ascendentes, descendentes y laterales del agua. Pla Sentis (1979), Porta *et al.*, (1994), Imbellone *et al.*, (2010), señalan que en las zonas áridas que presentan cierto nivel de CaCO_3 , MgCO_3 , y CaSO_4 se encuentran estos tipos de suelos, cuando el balance del agua resulta negativo se presentan costras salinas en la superficie de color blanco. En conclusión, las sales se acumulan en zonas donde la humedad del suelo es escasa debido a la pérdida del agua por EVT y un reducido lavado de las sales (Pla Sentis, 2014).

El Na^+ siempre está presente en niveles significativos y permanece en solución en los procesos de dilución-precipitación de las sales, las cuales se añaden por el riego o agua freática, los suelos salinos no contienen la suficiente cantidad de Na^+ para convertirse en suelo sódico, sin embargo, cuentan con cantidades importantes de Ca^{+2} , de Mg^{+2} y K^+ . Pizarro (1984) y Pla Sentis (2014, 2017) explican los procesos de precipitación-dilución que se producen al regar un suelo con aguas de variada composición.

Uno de los impactos más negativos de los suelos salinos sobre los cultivos es que obstaculiza drásticamente la absorción de agua por las plantas u otros organismos vivos del suelo debido a la alta presión osmótica de la solución edáfica. Sin embargo, no inciden directamente de forma negativa sobre las propiedades físicas de los suelos. La permeabilidad es similar a la de suelos no salinos (Porta *et al.*, 1994). Varallyay (1981) señala que el almacenamiento de agua se ve limitado por ciertas capas, además siempre se encuentran floculados debido al exceso de sales. Sin embargo, se debe señalar que la floculación aunque es una condición necesaria de la estructuración, no indica ni asegura la formación de una buena estructura. De la misma manera, presentan escasas de materia orgánica debido al poco desarrollo vegetal que caracteriza a estos suelos, en última instancia afecta la propiedad física del suelo. Entre las especies herbáceas que prevalecen se encuentran: *Salicornia* sp., *Atriplex* sp., *Suaeda* sp., *Puccinellia* sp., *Distichlis* sp., *Cynodon dactylon*, *Hordeum* sp., *Limonium* sp., *Tamarix* sp. etc. Cabe resaltar que las composiciones florísticas herbáceas, arbustivas y arbóreas son variadas, dependen de la región climática e incluso del origen de la salinidad y su composición.

Primeramente las escuelas rusas nombraron a estos suelos como Solonchak, término que persiste en el sistema clasificatorio de suelos de la FAO (2016). Los suelos salinos se encuentran en Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) en el siguiente orden, Aridisoles, Vertisoles e Inceptisoles. Los Solonchak equivaldrían principalmente con los Salortid (Lavado y Taboada, 2017). El estudio, clasificaciones y denominaciones de estos suelos a través de la historia por diversas escuelas son analizadas en Imbelloni *et al.* (2010).

1.6.2. Suelos sódicos

La principal característica de los suelos sódicos es la alta concentración de Na^+ en solución y en forma intercambiable en los coloides edáficos los cuales pueden llegar a causar un gran impacto negativo en la producción de los cultivos y en la estructura de los suelos (Porta *et al.*, 1994). Pla Sentis (2014) indica que la presencia de altos niveles de Na^+ suelen estar acompañados en ciertos casos por Mg^{+2} , por lo que sugiere el uso del índice CROSS (Cations Ratio of Soil Structural Stability) con la finalidad de calcular el efecto dispersante del Mg^{+2} . Imbellone *et al.* (2010) señala que la dispersión de las arcillas por Na^+ pueden variar por el catión bivalente complementario, por ejemplo, un suelo saturado por Na^+ y Mg^{+2} se dispersa a un valor de PSI más bajo que uno saturado por Na^+ y Ca^{+2} .

Este tipo de suelos no presenta un alto nivel de sales solubles neutras (sal formada por un ácido y una base fuerte). Pla Sentis (2014) señala que los problemas de sodicidad se producen por cambios en la composición y concentración de las sales en solución, con variantes en los cationes intercambiables en equilibrio, conllevando a una acumulación relativa de Na^+ en solución e intercambiable. Las propiedades físicas del suelo se ven afectadas directamente por la acción dispersante del Na^+ en las arcillas y la solubilización de la materia orgánica, los agregados son remotamente estables y el medio se caracteriza por un régimen de humedad extremo (Varallyay, 1981) de acuerdo el grado de sodificación y a la textura. La decadencia de las propiedades físicas del suelo establece que el manejo del riego, es decir, la infiltración y almacenamiento de agua y las prácticas de labranza se entorpezcan a tal punto que en situaciones extremas de alcalinidad exista una imposibilidad de producir económicamente (Pla Sentis, 1979; Porta *et al.* 1994).

El Na^+ que domina el complejo de cambio a través del proceso de hidrolisis, provoca una elevación del nivel del pH en estos suelos. Además, el nivel de pH se ve modificado por los aniones del suelo (carbonatos y/o bicarbonatos). No obstante, varios autores exponen las condiciones en las cuales es posible que, aunque haya acumulación de Na^+ , el pH sea neutro e incluso pueda ser ácido. Así, Szabolcs (1988), indica que los niveles elevados de PSI (entre 5 y 25) y pH en los suelos sódicos pueden llegar a modificarse de manera radical, incluso llegando a ser ácidos en superficie y pudiendo existir situaciones donde el pH altamente alcalinos no se registren en el perfil.

Pizarro (1978) indica la existencia de napas freáticas con altos niveles de salinidad, que dan lugar a la floculación de arcillas sódicas con pH menor a 7. Esto es debido a la gran acumulación de Na⁺ en el suelo, el cual es aportado por el agua freática que llega a controlar el proceso de hidrólisis de sales de Na⁺ intercambiable con liberación de OH⁻. Se debe resaltar que los flujos de agua subterránea de largo recorrido se caracterizan porque en sus zonas de descarga predominan las aguas ricas en de NaCl (Töth, 2000). Bajo estas condiciones los suelos son extremadamente sódicos con pH que pueden modificarse desde levemente ácidos a levemente alcalinos, estas modificaciones incrementan en ciertos casos donde influyen flujos con otra calidad de agua o donde la actividad biológica y el agua proporcionan HCO₃⁻² y CO₃⁻².

1.6.3. Suelos salino – sódicos

Porta *et al.* (1994) señalan que los suelos salinos-sódicos se distinguen debido a su gran acumulación de sales aún más solubles que el yeso y sodio intercambiable. Son los efectos combinados de los procesos de salinización y sodificación. Regularmente contienen CaCO₃ y MgCO₃ precipitado, sin embargo no contienen niveles notables de CaSO₄, y en solución una idónea cantidad de sales, en particular Na₂SO₄, como para alterar la producción económica de los cultivos y la absorción de las plantas. Sus características son semejantes a los suelos salinos, el nivel de pH en escasas ocasiones supera el 8,5 y las partículas más delgadas se mantienen floculadas. En el caso de que el excedente de sales sea lavado, las características de estos suelos pueden variar drásticamente, transformándose en suelos sódicos. Cuando el Na⁺ intercambiable predomina en los coloides, las sales en solución externa dominan la expansión y superposición de las dobles capas difusas de estos.

1.7. Origen de las sales

Generalmente, el origen de las sales se atribuye a los siguientes factores:

- Material original: pausadamente poroso, ejemplo loess y aluvios e intrusiones marinas (Imbellone *et al.*, 2010)
- Clima (ETP > precipitación): clima árido y semiárido relacionado con suelos salinos. Suelos sódicos con Bt principalmente clima húmedo
- Topográfica: agua de escurrimiento principalmente en zonas de descarga de agua subterránea procedente de diversos trayectos con superficies freáticas cercanas, relieve deprimido y cóncavo (flujos ascendentes, punto 3.6.3).
- Tipo de suelo e hidrogeología: capas porosas a insuficiente profundidad, de arcilla consistente, tosca y yeso. Idem anterior, superficie freática poco profunda, tipo de flujo subterráneo y zona al interior de este.
- Antrópica: uso erróneo del suelo y del agua de riego, además de la calidad de agua y suelo a regar. Salinidad y alcalinidad especialmente en las

bicarbonatadas sódicas. Suelos con escasas de porosidad, los más afectados por el riego.

II. SALINIDAD Y SODICIDAD EN LAS PLANTAS

2.1. Efectos sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento.

Los efectos adversos provocados por las sales en el desarrollo de las plantas se pueden evidenciar con diferentes manifestaciones, por ejemplo: i) Entorpecimiento en la germinación e incluso supresión de la misma; ii) Reducción del área foliar y altura de la planta, desarrollo más lento e incompleto; iii) Inferior elaboración de materia seca; iv) Necrosis en las hojas; v) Óbito de la planta antes de culminar su desarrollo en situaciones extremas (Porta *et al.*, 1994). Taleisnik y Rodríguez (2017) señalan que los efectos nocivos de la salinidad, alcalinidad y sodicidad en los cultivos es una consecuencia del estrés salino que inflige en la vegetación restricciones iónicas e hídricas que a su vez pueden provocar desequilibrios nutricionales y toxicidad. Se identifica que los daños causados por los efectos osmóticos de la salinidad son palpables desde las primeras etapas del estrés, continuamente coexisten con los efectos iónicos, que son resultado del aumento desmesurado interno de iones potencialmente dañinos, ejemplo el Cl⁻ y el Na⁺. En consecuencia, se obtiene bajos rendimientos y baja calidad de lo producido, el impacto de dichos efectos está influenciado por la especie vegetal.

En la bibliografía se puede apreciar los distintos niveles y tipos de sales que alteran a las especies vegetales, ya sea por causas naturales o antrópicas (mejoramiento genético, injertos, entre otras técnicas (Taleisnik y Rodríguez, 2017). A continuación se expone ciertos valores de referencia de salinidad y alcalinidad en distintos cultivos. En el Cuadro 5 se puede evidenciar los valores de tolerancia de diversas especies vegetales a la salinidad y pH, este cuadro está compuesto a partir de distintas fuentes (Porta *et al.*1994). En la Tabla 4 se muestra el % de reducción de rendimiento (R) en relación a cada unidad de incremento de CE por sobre el valor máximo en el cual no habría descenso en dicho rendimiento; CEs, es la conductividad eléctrica medida en el extracto de suelo a saturación con conductímetro (dS/m); CE_w, conductividad eléctrica del agua; pH en pasta y PSI, porcentaje de sodio intercambiable.

Cuadro 5. Tolerancia de los cultivos a la salinidad y pH

	pH (otra fuente)	CE _s 50% dism.R	CE _s Nivel máx. no afecta R	CE _s 10-25-50% dism. R	CE _s Nivel máx. no afecta R. (1)	CE _s 50% dism.R	CE _w máx. no afecta R	CE _w 10-25-50% dism. R.	PSI tolerancia máxim/ 50% dism. R
referencia		Richard (1954)	Dominguez (1988)/ FAO(1979)	Pizarro (1978)/ FAO(1979)	Porta (1994)	Porta (1994)	FAO, (1976)	FAO, (1976)	
<i>Thinopyron ponticum</i> agropiro			6-12 7.5	11-15-18 9.9-13.3-19.4	7.5 (4.2%)	19.4			> 60
Medicago sativa alfalfa	6 -7.8	4-12	3-6 2.0	3-5-8 3.4-5.4-8.8	2 (7.3)	8.8	1.3	2.2-3.6-5.9	> 40 > 25
Avena sativa grano	5.5 -7 (4 -7.5)	6-10	4-8						
Avena heno	5.2 -7	4-12	3-6						20-40
Hordeum vulgare Cebada grano		10-16	8-12 8	12-16-18 10-13-18	8 (5%)	13	5.3	6.7-8.7-12	40-60 > 25
Cebada heno	5.6-7.9	12-18	6-12 6.0	8-11-13 7.4-9.5-13.0	6 (7%)	13	4.0	4.9-6.3-8.7	> 40
Secale cereale Centeno	5.5-6.5 (4.0-7.7)		5.6	6.9-8.9-12.2			3.7	4.6-5.9-8.1	
<i>Cynodon dactylon</i>			6.9	8.5-10.8-14.7			4.6	5.7-7.2-9.8	
<i>Dactylis glomerata</i> Pasto ovillo			1.5	3.1-5.5-9.6			1.0	2.1-3.7-6.4	
Festuca		4-12	6-12	7-10.5-14					20-40
Festuca arundinacea			6-12 3.9	5.8-8.6-13.3	3.9 (5.3%)	13.3			
<i>Helianthus anua</i> Girasol		6-10	4-8						
<i>Lolium perenne</i>			3-6 5.6	8-10-13 6.9-8.9-12.2					
Zea mays Maiz	5.2- 7 (5- 8)	6-10	4-8 1.7	5-6-7 2.5-3.8-5.9	Dulce 1.7 (12%) Forrajero 1.8 (7.4)	5.9 8.6	1.1	1.7-2.5-3.9	50% dism. R <15
<i>Melilotus albus</i>			3-6						
<i>Melilotus officinalis</i>			3-6						
<i>Phalaris tuberosa</i>			3-6 4.6	8-10-13 5.9-7.9-11.1	4.6	11.1			
Glycine max Soya	6-7 (4.5-7.5)		4-8 5.0	5.5-7-9 5.5-6.2-7.5	5 (20%)	7.5	3.3	3.7-4.2-5.0	
Sorghum sp. Sorgo grano	5.5-7 (5- 8.5)	6-10	4-8 4.0	6-9-12 5.1-7.2-11.0	4.8	11	2.7	3.4-4.8-7.2	
Trifolium sp trébol blanco	6- 7 (5.2- 7.5)	4-12	2-3 1.5	2.3-3.6-5.7					20-40
<i>Triticum aestivum</i> trigo	5.2- 7	4-12	3-6 6	7.4-9.5-13.0	6 (7%)	13	4.0	4.9-6.4-8.7	40-60

Fuente: Alconada, 2008

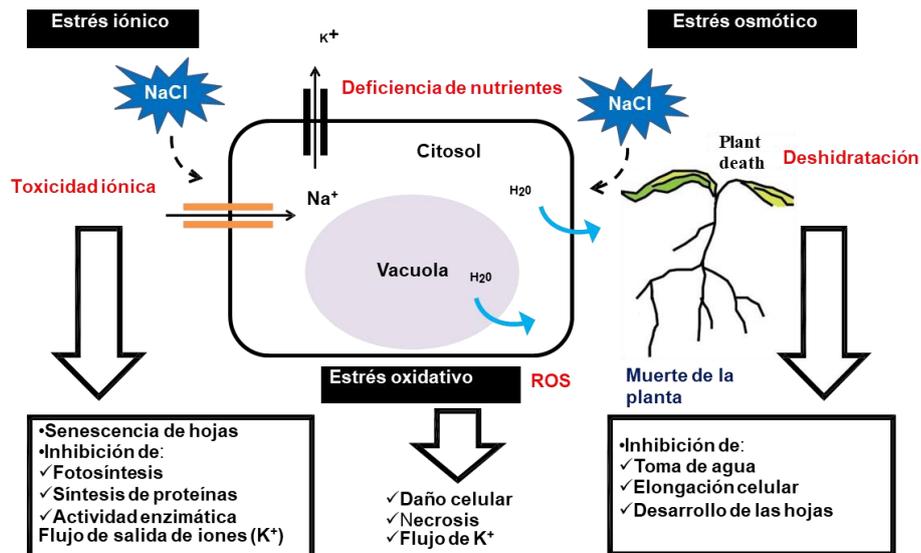
2.2. Causas por las cuales se afecta el crecimiento, desarrollo y rendimiento.

En la bibliografía se puede evidenciar las tres primordiales causas que afectan a los cultivos en rendimiento y calidad, respecto a la productividad (Bohn *et al.*, 1993; Porta *et al.*, 1994): i) Concentración de sales totales, ii) Efecto de iones específicos, y iii) Desequilibrios nutritivos (Ilustración 1).

i. Concentración de sales totales (medido en CE, conductividad eléctrica)

Las sales obran sobre los impactos osmóticos de la solución edáfica. Estos se pueden examinar a través de dos acciones primordiales, las cuales han generado varias teorías:

Ilustración 2. Efectos del estrés salino en las plantas.



Fuente: Porta *et al.*, (1994).

Teoría de la disponibilidad hídrica o sequía fisiológica. - Las sales incrementan el potencial osmótico de la solución edáfica. En casos excesivos, la desigualdad de potenciales osmóticos entre la planta y el suelo puede facilitar el paso de agua desde la planta al suelo, dando lugar a la plasmólisis de las células. De acuerdo a la especie vegetal se identifican diversos valores respecto a la sequía fisiológica, como al nivel de irreversibilidad del proceso. Aunque esto no aclara en su totalidad el impacto de las sales sobre los cultivos, ya que los cultivos pueden reducir su altura más sin embargo, pueden conservar sus tejidos turgentes.

Teoría del ajuste osmótico y teoría de la división y crecimiento celular. - Estas teorías argumentan que el impacto más dañino causado por la salinidad es la disminución de energía en el proceso de crecimiento con el objetivo de conservar el diferencial osmótico. La planta requiere energía para llevar a cabo adaptaciones de sus células. El potencial osmótico interno de las mismas se amplía a través de la elaboración de ácidos orgánicos o por absorción de sales, consecuentemente se genera una merma en el alargamiento de las células a la vez que la división celular persiste. La continuidad de la división celular explica el porque del pigmento oscuro de ciertas especies vegetales en condiciones salinas, esta particularidad se le atribuye a un elevado número de células por unidad de área foliar. Sin embargo, ciertos autores indican que puede existir un desequilibrio en la división celular con agrandamiento de las paredes que imposibiliten su crecimiento pese a la mejoría de los potenciales osmóticos, como resultado la planta tendrá una afectación en su crecimiento normal.

Taleisnik y Rodríguez (2017) señalan que se puede asociar el balance hídrico, el cual se origina debido a los solutos orgánicos e inorgánicos

para conservar la capacidad de agua, respecto a la adaptación al estrés salino, la expulsión de iones altamente dañinos en los lugares donde el proceso de metabolismo es activo (a nivel de órgano y subcelular); la conservación de aglomeraciones intracelulares con nutrientes primordiales para el desarrollo normal del metabolismo; en los procesos de detoxificación de los excedentes de las especies reactivas del oxígeno que son el resultado del estrés para prevenir el deterioro celular.

ii. **Efectos de iones específicos y la teoría de la toxicidad específica**

La teoría de la toxicidad específica es la que explica el impacto de iones específicos. La acumulación desmesurada de un ion en específico puede llegar a alterar la fisiología de la planta y es la causante principal de los efectos nocivos de las sales en los cultivos. Hayward y Bernstein (1958), indican que mientras un reducido grupo de especies vegetales contengan toxicidad al Cl^- y al Na^+ , existen varios casos donde la toxicidad se resenta al B y al HCO_3^- aunque en diferentes grados. Bohn *et al.* (1993) concuerdan en que la toxicidad producida por el boro es la más común, y que es más compleja de moderar que la salinidad general. Taleisnik y Rodriguez (2017) resaltan al Cl^- y Na^+ como iones altamente dañinos. A partir de la observación de cultivares de arroz se pudo identificar los desequilibrios iónicos y la variada repartición de macro y micronutrientes en diversas partes de plantas influenciadas por el estrés salino (Islam *et al.*, 2015a, b, 2016a, b).

Respecto al Na^+ , su impacto en los cultivos se evidencia notoriamente con reducidos grados de salinidad total. Las especies vegetales más sensitivas al Na^+ , lo acopian en sus hojas hasta alcanzar altos niveles de toxicidad, este mecanismo es similar al de los Cl^- , el cual conlleva a necrosis de hojas y finaliza con la muerte de la planta. Por otro lado, los cultivos resistentes al Na^+ y Cl^- , limitan el paso de estos iones hacia sus tejidos gracias a las membranas radicales (Islam, 2018).

La desigualdad en la proporción de K^+ entre las plantas de arroz, evidencia que la erradicación de Na^+ de los tejidos de las hojas influye de gran manera respecto a la tolerancia a la sal por este tipo de cultivo al conservar la proporción exacta de K^+ / Na^+ . Varios autores destacan el aspecto positivo que se puede obtener entre una relación K^+ / Na^+ alta y la tolerancia a la salinidad en los cultivos de arroz, a la vez que se aprecia que el coeficiente de correlación respecto a la combinación K^+ / Na^+ no tiene afinidad con la concentración de Na^+ y se correlaciona de una buena manera con la biomasa y la concentración de K^+ . Esto se debe a que ciertas variedades de arroz no son capaces de limitar de manera eficiente la aglomeración y el desabastecimiento de K^+ . Moradi e Ismail (2007) indican que la variedad IR29 es más susceptible a la solución salina en comparación con IR632 E IR651, ya que presenta una relación menor de K^+ / Na^+ . También, se puede concluir que en las accesiones con mayor cantidad de K se registra un menor

porcentaje de disminución de la biomasa en contraste con las accesiones que contienen menor proporción de K^+/Na^+ (Reddy *et al.*, 2017).

A pesar de la correlación de Na^+ y K^+ en condiciones de salinidad, el desarrollo del cultivo de arroz en suelos con estrés salino es susceptible a escasas de Fe, lo que incide en la morfología de la raíz y la relación raíz/brote. El bajo nivel de asimilación de Fe bajo condiciones de salinidad se debe al pH alcalino, la composición de complejos de Fe insolubles y la elaboración y asimilación inhibidas de quelantes de Fe en el cultivo de arroz. Abbas *et al* (2015) indicaron que la salinidad impacta negativamente la homeostasis del Fe en los genotipos de arroz, esto se debe a las liberaciones limitadas de fitosideróforos por las células estresadas por la salinidad que afectan el suministro de Fe a la planta (Abbas *et al.*, 2015). Otro efecto del estrés salino sobre los cultivos es que obstaculiza la absorción de Zn, Ca y P, los cuales son micronutrientes sustanciales y componentes esenciales de las enzimas vegetales.

iii. **Desequilibrios nutricionales**

Generalmente se relacionan con el pH de los suelos afectados por sales (Bohn *et al*, 1993). Estos autores junto a Hayward y Bernstein (1958) declaran que la toxicidad por HCO_3^- se debe imputar más que a una acción directa del ión, al desequilibrio nutricional que se genera al elevar el pH y produce una deficiencia de Fe (clorosis férricas). El exceso de Na^+ conlleva a la decadencia de Ca^{+2} y Mg^{+2} .

Varios autores señalan que la fertilidad del suelo influye en la tolerancia de las plantas respecto a la salinidad, cuando el nivel de salinidad es bajo, se intensifican las sintomatologías de la salinidad. A pesar de que generalmente los resultados sean contradictorios, ciertas prácticas demuestran que el exceso de sales es encubierto por altas fertilizaciones con N y P. No obstante, cabe resaltar que los excesos de sales provocados por los fertilizantes son más difíciles de controlar, ejemplo las deficiencias inducidas.

Bohn *et al* (1993), hacen referencia a la falta de conocimiento respecto a la relación de los efectos de la salinidad sobre la nutrición de las plantas. Esto está en uso, en el control de la salinidad y fertilización en los cinturones hortícolas. La considerable decadencia del rendimiento causado por problemas relacionados a los procesos de salinización y alcalinización, se procura restablecer a través de grandes cantidades de fertilizantes. Esto provoca la hiperfertilización, desequilibrios nutricionales, polución del agua, suelos, plantas, aumento de costos sin conseguir recobrar el grado de productividad que se obtenía antes de la degradación (Alconada *et al.*, 2000).

2.3. Efectos de la salinidad sobre antioxidativos y antioxidantes

El estrés salino a través de la elaboración de especies reactivas de oxígeno (ROS) genera estrés oxidativo en las células de arroz. Los lípidos de la membrana se oxidan debido al incremento de ROS, ya que estos se encuentran de forma inmediata y abundante cerca de los puntos de elaboración de ROS. Generalmente, el radical de hidroxilo (OH) y el radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$, H_2O_2) son capaces de erradicar los átomos de hidrogeno presentes en las moléculas de lípidos de ácidos grasos poliinsaturados para componer un radical. Continuamente estos radicales orgánicos se fusionan con el oxígeno molecular para generar un radical hidroperóxido, que después suprime un átomo de hidrogeno de las moléculas aledañas y finalmente se transforma en un hidroperóxido de lípidos (LOOH). El hidroperóxido o endoperóxido se genera a través del aumento de moléculas de oxígeno singlete al doble enlace de ácido graso insaturado de LOOH. Las moléculas de LOOH se caracterizan por ser inestables y por deshacerse instantáneamente para dar origen a diversos aldehídos y cetonas en plantas que contienen estrés oxidativo incitado por sal. Diversas enzimas, por ejemplo la lipoxigenasa (LOX), colaboran a la peroxidación de los lípidos de la membrana e influyen notoriamente al daño oxidativo en los cultivos de arroz estresadas por sal. Se evidenció que la muerte celular programada incitada por sal en las plantas era medida por el carbonilo de cadena corta derivado del peróxido de lípidos (Biswas y Mano, 2015).

Cabe mencionar que la señalización obtenida a partir de los lípidos en las plantas de arroz puede ser el resultado a diferentes factores estresantes, tanto abióticos como bióticos, los cuales encienden mecanismos de defensa a nivel transcripcional, molecular y fisiológico. Asimismo, una gran cantidad de enzimas utilizan lípidos como sustrato, lo que indica un sistema de señalización por lípidos altamente flexible y obligado que aporta a las respuestas relacionadas al estrés a través de la conservación y restauración de las características de la membrana que altera la dinámica de los lípidos, la integridad de la membrana y las actividades a realizar por parte de las proteínas ligadas a la membrana (Golldack *et al.*, 2014). Han surgido varios casos donde resalta el importante papel que cumple la remodelación regida por lípidos de las membranas celulares, para contrarrestar las transformaciones de los cambios incitados por las sales en las plantas. Los niveles de fosfatidilinositol bisfosfato, ácido fosfatídico, pirofosfato de diacilglicerol y proteínas de transferencia de lípidos (LTP) incrementaron en las plantas de arroz, a causa del tratamiento con solución salina. La transferencia de fosfolípidos entre membranas así como a la matriz extracelular para generar cera cuticular es una de las características de las plantas LTP (Lin *et al.*, 2017; Yeats y Rose, 2008; Cameron *et al.*, 2006). Esto destaca el importante papel de los LPT bajo condiciones de estrés hídrico incitados por la sal o la desecación (Lin *et al.*, 2017; Cameron *et al.*, 2006). Para gestionar el incremento de Na^+ en las láminas de las hojas es primordial la señalización de Ca, la cual es mediada por fosfolipasa C

(PLC). Debido a la modulación de la señalización de Ca por PLC se origina una susceptibilidad desmesurada a la sal (SOS) y la expresión génica dependiente de Ca, que detecta un nexo funcional entre la señalización de PLC y Ca respecto al nivel de tolerancia de las plantas de arroz con la sal.

2.4. Efectos de la salinidad sobre el metabolismo del nitrógeno

Los mecanismos de adaptación además de la formación de síntesis de solutos compatibles y su aglomeración son los factores que han permitido la supervivencia y el crecimiento de las plantas bajo condiciones de estrés salino. Varios de estos solutos son compuestos dotados con nitrógeno, lo que indica que el metabolismo del nitrógeno es el responsable de la renuencia del arroz al estrés salino. A pesar de que la interrelación entre la salinidad y el metabolismo del nitrógeno es complicada y cualquier cambio puede afectar e incluso limitar el desarrollo de las plantas bajo condiciones de estrés (Islam, 2018).

Adicionalmente se debe destacar que el nitrógeno es uno de los componentes primordiales de varias moléculas biológicas, por ejemplo los nucleótidos, aminoácidos y proteínas, lo que identifica al nitrógeno y el metabolismo del nitrógeno como elementos esenciales para el desarrollo de las plantas y la productividad de los cultivos. El equilibrio iónico y el metabolismo del nitrógeno en las plantas de arroz puede ser alterado por la salinidad, la cual afecta la nitrificación y amonificación del suelo. El estrés salino disminuye la reserva de nitrógeno y afecta la forma de las raíces, y en ciertas ocasiones, incrementa la biomasa de las raíces a fin de mejorar la asimilación de nutrientes. Se ha corroborado que la competencia entre los iones de cloruro y nitrato originados por la salinidad, impiden la absorción de nitratos, por lo que se deduce que la reducción en la productividad agrícola está relacionada con el deterioro de metabolismo de N (Islam, 2018).

Las formas inorgánicas del nitrógeno que se encuentran en el suelo son: nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) estas pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas de arroz. Sin embargo, el NH_4^+ próximo a la superficie de la raíz se puede oxidar en NH_4^+ es la forma primordial de nitrógeno en el arroz, mientras que el NO_3^- . Alrededor del 40% del nitrógeno total se asimila como NO_3^- el cual se acumula en las vacuolas como reserva (Yin *et al.*, 2014). Los encargados de transportar el amonio son los transportadores de la familia de proteínas AMT y los transportadores de nitrato son de la familia de proteínas NRT. Debido a la reducción de NO_3^- a nitrito por nitrato reductasa (NR) en el citosol, el nitrato se transforma en NH_4^+ en primer lugar, a la vez que el nitrito se disminuye a NH_4^+ por nitrito reductasa en los plastidios / cloroplastos en el segundo paso. Por medio de la glutamina sintetasa (GS) y glutamato sintasa se lleva a cabo la adhesión extra de NH_4^+ en el aminoácido, o bien a través de la ruta de glutamato deshidrogenasa (GDH) (Islam, 2018).

Los impactos del estrés salino sobre la incorporación de N de las plantas de cultivo son diferenciales. Las plantas de arroz y algunas otras muestran una reducción en la asimilación neta de NO_3^- bajo condiciones de estrés salino (Abdelgadir *et al.*, 2005), Lo que puede generar una deficiencia de NO_3^- en las hojas, debido a que la salinidad restringe la asimilación de NO_3^- y disminuye los niveles de NO_3^- en las raíces. Generalmente, se refleja la insuficiencia de NO_3^- en las hojas más jóvenes que en las más viejas. La reducción de los transportadores de nitrato OsNRT1; 1 y OsNRT1; 2 y la actividad enzimática NR en hojas jóvenes son efectos que se derivan de la disminución de NO_3^- en las hojas viejas (Shi *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2011, 2012a, b).

La salinidad modula la actividad de GDH en cultivares de arroz sensibles al estrés lo que afecta el metabolismo del nitrógeno, mientras que en cultivares resistentes la actividad catalítica de GDH se mantiene significativamente elevada (Kumar *et al.*, 2000). La actividad y expresión de GS usualmente depende de órganos de plantas de cultivo en condiciones de estrés salino. Se verificó que la alteración de OsGH1; 1 en plantas de arroz podría generar una detención en el desarrollo y una baja en la productividad de los cultivos (Tabuchi *et al.*, 2005). Asimismo, se puede producir una resistencia a la salinidad gracias a la sobreexpresión de genes OsGS en el arroz (Cai *et al.*, 2009). Por otro lado, gracias al análisis en cultivares de arroz en Malasia y China se ha demostrado que la actividad de GD disminuye en condiciones de estrés salino, indistintamente de su nivel de tolerancia a la sal (Zhou *et al.*, 2007). Gao y Col. (2016) han comprobado que las plantas cultivadas bajo nutrición con amonio presentan tendencia al estrés salino, lo cual puede ser causado por la disminución de la biomasa debido al contenido de Na^+ , por otro lado, la limitación de Na^+ en el apoplasto ayuda a una mayor limitación de la biomasa y cuida a las plantas de arroz de la toxicidad iónica y resistencia bajo nutrición NO_3^- .

La distribución espacial del Na^+ en las plantas de arroz puede ser influenciada por el metabolismo del nitrógeno, lo cual podría producir tolerancia a la sal, indistintamente del tipo de nutrición del vegetal, ya sea con NH_4^+ o NO_3^- .

2.5. Efectos de salinidad en la fotosíntesis

La salinidad incita muchas alteraciones estructurales en las plantas de arroz, siendo el cloroplasto con las mitocondrias los principales lugares de modificación. Diversos autores han evidenciado que el estrés por sal afecta las estructuras delgadas de los tilacoides, la forma del cloroplasto se modifica de ovalada a ligeramente circular, lo cual incrementa el espacio intratilacoide. Además, la salinidad degrada la envoltura del cloroplasto e incrementa su tamaño y número (Islam *et al.*, 2016, 2017a, b; Cui *et al.*, 2016; Tripathy *et al.*, 2017). Todas estas alteraciones en la estructura del cloroplasto incitadas por la salinidad son las causantes de la disminución del contenido de clorofila, la eficacia del PSII y las modificaciones en la fluorescencia de la clorofila.

El estrés oxidativo incitado por la sal es considerado un agente altamente perjudicial, debido a que los cloroplastos son la fuente primordial de producción de ROS. Un análisis de Yamane *et al.* (2012a) ha demostrado una correlación entre las ubicaciones subcelulares de ROS, en especial H₂O, con las modificaciones en la estructura del cloroplasto bajo estrés salino. Asimismo, indican que la producción de H₂O bajo condiciones de estrés salino está sujeta a la luz y el excedente de H₂O, que induce la inflación de los tilacoides en las células del mesófilo del arroz. También, el impacto de la salinidad en el cloroplasto varía del genotipo / cultivo. Se percibió que los genotipos / cultivares sensibles presentaron mayor daño estructural en los cloroplastos en contraste con los cultivares tolerantes, lo que puede estar relacionado con la alta concentración de estrés oxidativo inducido por la sal en las plantas de arroz sensibles, como se indica en diferentes artículos (Islam *et al.*, 2016a, b, 2017a, b; Cui *et al.*, 2016).

Además de las modificaciones en la clorofila, diversos autores han notado un abultamiento en el cloroplasto (CP), un fragmento estromal sin tilacoides, bajo condiciones de estrés salino Yamane y Col. (2012b) mostraron la formación de CP en células del mesófilo del arroz, una vez que las plantas de arroz se trataron con salinidad (75 mM) durante 14 días. Percibieron que el CP presenta RuBisCo y que se encuentra alejado del cuerpo principal del cloroplasto, se mencionó que la CP podría ser una fuente de transporte de RuBisCo desde los cloroplastos hasta el citoplasma en la salinidad, donde es degradado por la vacuola.

2.6. Efectos de la salinidad sobre la estructura del cloroplasto

El proceso de fotosíntesis se puede ver afectado por distintos factores de estrés ambiental, sin exclusión de la salinidad. En los procesos fotosintéticos, la eficiencia del fotosistema I y II resultan afectados por el estrés salino. El cierre estomático es otra de las limitaciones impuestas por la salinidad, al igual que la degeneración de la clorofila y las membranas, el deterioro del cloroplasto y el disfuncionamiento de las proteínas primordiales en la maquinaria fotosintética de las plantas (Naeem *et al.*, 2012). Se puede concluir, que el tardío del desarrollo generado por la salinidad está íntimamente ligado con una capacidad fotosintética escasa, en el caso de los cultivos de arroz.

La salinidad también induce estrés osmótico que podría conducir a una disminución considerable de la apertura estomática, lo que puede ralentizar la capacidad fotosintética. Diferentes autores han demostrado, utilizando cultivares / genotipos de arroz experimentales, que el estrés por salinidad provoca una gran disminución de la conducción estomática en las plantas de arroz. Se cree que la primera respuesta a la salinidad está asociada con el cierre estomático debido al estrés osmótico (Moradi e Ismail, 2007; Chen *et al.*, 2015a, b), pero se ha observado que la conducción estomática, mesófila, de electrones y la velocidad de transporte (ETR) se ve afectada primero con el tratamiento con sal, mientras que otros parámetros relacionados con la fotosíntesis se ven afectados más tarde (Wang *et*

al., 2017b). Este fenómeno también está asociado con la inhibición fotoquímica en condiciones de estrés salino (Murchie y Lawson, 2013; Koyro *et al.*, 2013; Wankhade y Sanz, 2013).

La fotoinhibición bajo estrés salino puede estar relacionada a la reducción de la concentración de CO₂ en el cloroplasto por la disminución de la conducción estomática y mesófila que podrían alterar el balance entre la actividad fotoquímica del PSII y la demanda de electrones para el proceso de fotosíntesis (Wang *et al.*, 2017b; Negrao *et al.*, 2017). El cierre de los estomas causa la disminución de dióxido de carbono (CO₂), lo cual reduce la función de diversas enzimas fotosintéticas, inclusive RuBsiCo, ya que la propagación de CO₂ de la atmosfera hasta el lugar de carboxilación cumple un papel esencial en la restricción de la fotosíntesis en plantas de arroz con condiciones de estrés (Negrao *et al.*, 2017). Esto podría ser un efecto causado por la reducción de la conducción del mesófilo en las plantas de arroz, que representa más del 50% en los cultivares susceptibles en contraste con los cultivares tolerantes. Algunos autores han indicado que la restricción del mesófilo aporta a la disminución de la fotosíntesis en plantas bajo estrés salino.

El daño causado por la salinidad en las proteínas y RuBisCo está sujeto al genotipo y al nivel de estrés salino.

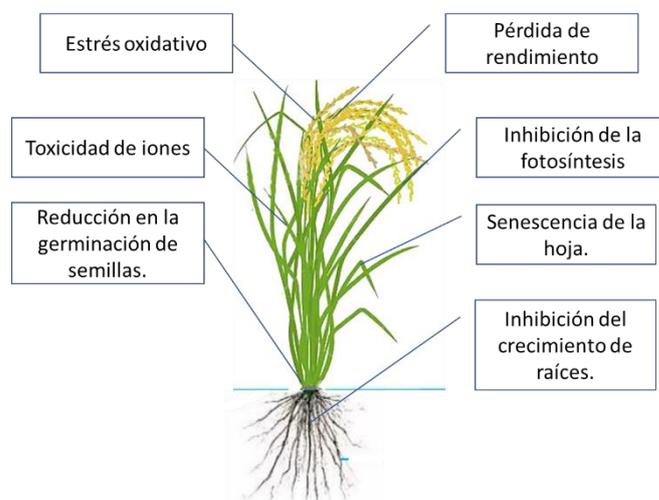
El gran deterioro de RuBsiCo en cultivares susceptibles en contraste con cultivares tolerantes demostró que es una proteína importante de acopio y es también una vía de transporte de nitrógeno en las plantas de arroz que presentan estrés por sal (Masclaux-Daubresse *et al.*, 2010). Asimismo, se evidencio que la actividad enzimática de RuBsiCo no mostró ninguna alteración en las plantas de arroz con estrés salino, lo que indica que los rasgos bioquímicos pueden no estar relacionados en la reducción de la fotosíntesis en plantas de arroz, al igual que con la disminución de la fotosíntesis en hojas de arroz bajo estrés salino generalmente asociada con la baja conducción estomática y mesófila con estrés salino (Wang *et al.*, 2017b). El potencial hídrico puede disminuir debido al estrés osmótico generado por la salinidad, lo que puede originar restricción estomática. También se evidencia que las restricciones estomáticas están relacionadas con el potencial osmótico de la hoja en mayor grado que con el estrés iónico en las plantas de arroz. Esta demuestra que la salinidad reduce el proceso de la fotosíntesis en las plantas de arroz al minorar el potencial osmótico, la ETR y la acumulación de CO₂ en el cloroplasto, a la vez que el incremento de las restricciones del mesófilo bajo estrés salino está asociado con estrés osmótico e iónico (Wang *et al.*, 2017b).

2.7. Cambios morfológicos y anatómicos inducidos por sal en plantas

Las reacciones de las plantas respecto al estrés por sal es un fenómeno complejo, la reprogramación de varios procesos fisiológicos, moleculares y de desarrollo permiten que las plantas puedan resistir un estrés salino bajo o moderado. En

general, la salinidad incita modificaciones estructurales y anatómicas en raíces, tallos y células foliares junto con sus tejidos que alteran patrones de desarrollo en diversos niveles de organización (Zhang *et al.*, 2006; Islam *et al.*, 2015a, b) (Ilustración 3). La causa de un menor crecimiento en plantas estresadas se relaciona con la disminución del tamaño de los meristemos apicales, la corteza y el cilindro vascular, esto se debe a la obstrucción de la división y la expansión celular causada por la salinidad. Las alteraciones estructurales morfológicas y anatómicas están vinculadas con los mecanismos de resistencia y adaptación de las plantas de arroz en condiciones de salinidad. Siendo las primeras barreras a la salinidad y reaccionan como modo de autodefensa en las plantas de arroz. Una de las tácticas esenciales de defensa a la salinidad es la mejora/ ajuste de la estructura de las hojas, que son la parte más significativa, grande y asimiladora de las plantas de arroz. La presencia de sal incrementa el tamaño de las células epidérmicas y bulliformes. La mayor parte de estas células están vacuoladas y presentan una baja actividad metabólica (Alvarez *et al.*, 2008; Moulia, 2000). Se considera que las grandes vacuolas de estas células se utilizan como lugares de descarga de iones dañinos para evitar la contaminación de las células del mesófilo bajo estrés salino (Epimashko *et al.*, 2004; Tester y Davenport, 2003).

Ilustración 3. Efectos del estrés salino en la morfología y fisiología del arroz.



Las raíces de las plantas de arroz presentan una plasticidad considerable en términos de patrones de desarrollo y estructura bajo condiciones de estrés salino. El estrés salino provoca que el diámetro de la raíz se vuelva grueso y corto, asimismo, la biomasa de la raíz se reduce con el incremento de la severidad del tratamiento con sal. Además, se ha evidenciado que las raíces laterales incrementan en el momento que el arroz se somete a salinidad. Diversos estudios relacionados con la anatomía de las raíces del arroz han demostrado que el decaimiento de las células corticales centrales y la formación de aerénquima son palpables luego de una semana de tratamiento con solución salina de 100 mM (Islam *et al.*, 2017b; Krishnamurthy *et al.*, 2009). En las plantas estresadas por sal se puede evidenciar el desarrollo de las bandas casparias en las puntas de las

raíces. Esto demuestra que las raíces del arroz reprograman su morfología con el fin de regular el agua y la asimilación selectiva de iones nutrientes por medio del apoplasto. Otra táctica factible para limitar el movimiento de iones no deseados es la incitación de barreras apoplásticas, pero su inducción es un proceso especialmente lento y demanda de varios días (Krishnamurthy *et al.*, 2009). La deposición de calosa y suberina junto con la lignificación de la pared celular bajo condiciones de salinidad también podría suministrar resistencia estructural y durabilidad debido a una gran deposición de estos metabolitos secundarios. La salinidad optimiza la pared celular, la corteza y la epidermis, asimismo la franja caspariana y los elementos de traquería se compactan por la lignificación en la planta estresada, lo cual conlleva a un movimiento simplástico mejor organizado del agua y la asimilación de iones (Shafi *et al.*, 2015; Islam *et al.*, 2017b). El crecimiento de la endodermis y la franja caspariana al igual que la vacuolización de las células próximas al ápice de la raíz representan los caracteres anatómicos adaptativos que controlan el transporte eficiente de nutrientes y agua impidiendo el paso de iones tóxicos incontrolados al xilema.

2.8. Efectos de la salinidad en las etapas fenológicas del arroz.

Los impactos de la salinidad en los cultivos agrícolas son relevantes, generan un tardío desarrollo vegetativo y después alteran el desarrollo reproductivo. La principal consecuencia de la salinidad es la disminución en la formación de hojas nuevas y sitios de crecimiento, a esta fase se la denomina etapa osmótica y se caracteriza porque hay concentraciones de sal en los puntos de crecimiento, la segunda etapa consiste en una lenta inhibición del crecimiento, la cual puede llevar de días a semanas, a causa del incremento en el tiempo de sales, principalmente en las hojas más antiguas causando una temprana senescencia, esta fase se denomina etapa iónica o toxicidad por sal (Roy *et al.*, 2014).

Los efectos más evidentes de la salinidad en los cultivos de arroz es la presencia de parches de plantas que dejan de crecer y presentan hojas con puntas de color blanco, ciertas hojas muestran clorosis, que paraliza el crecimiento y el macollamiento, al inicio estos signos se muestran en las primeras hojas, después en la segunda y finalmente en la hoja en crecimiento. En la fase de germinación este cultivo es más tolerante a la sal, aunque sufren efectos al trasplantarse, en la fase de floración aumenta el nivel de infertilidad de las espigas minimizando el peso y el contenido completo en el grano, afectando los rendimientos (Dobermann y Fairhurst, 2012; Cobos *et al.*, 2021).

Con respecto al mejoramiento genético del arroz con especies silvestres, japónicas y criollas (*Oryza rufipogon* G., *Oryza saliva* L. ssp. indica, *Oryza saliva* L. ssp. japónica); se estableció la respuesta agronómica del cultivo de arroz a diversos grados de salinidad en diferentes fases fenológicas.

El presente trabajo de investigación se efectuó en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo. Las coordenadas geográficas en UTM fueron X: 1.7723946; Y:79.7102593. La zona cuenta con un clima tropical húmedo, con una temperatura que oscila entre los 24 y 26 °C, con humedad relativa de 88%, con altura de 8 msnm y 990 horas de heliofanía de promedio anual. (INAMHI, 2019).

La variedad empleada fue INIAP 14, de ciclo temprano y moderadamente sensible a salinidad. Es una variedad tipo índica, de grano largo, que representa un porcentaje predominante de la superficie arroceras del Ecuador. El experimento cuenta con un arreglo factorial 8 X 3 (A x B) con cuatro repeticiones, el cual se estableció bajo un diseño totalmente al azar.

El factor A corresponde a 8 etapas vegetativas del arroz (germinación, plántula, macollamiento, crecimiento de tallo, primordio floral, embuchamiento, floración y estado lechoso del grano); el factor B a los tratamientos salinos que comprenden: testigo 0.2 dS/m (agua normal), 3.5 dS/m (nivel de salinidad media) y 7,00 (nivel de salinidad alta). Las variables evaluadas fueron sometidas al análisis de variancia y la prueba de Tukey ($p > 0,05$), para establecer diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos.

Se adaptó un sistema hidropónico utilizando cajas de madera con medidas de 60cm de ancho y 80cm de largo, cubiertas con polietileno para el almacenamiento de las plantas de arroz. Se utilizó piedra pómez como sustrato inerte, la cual fue lavada y homogenizada. Se plantaron dos semillas por lugar y 6 plantas por caja para permitir el establecimiento de la unidad experimental, después de la fase de germinación, se desechó una de las plántulas para finalmente dejar seis plantas por caja. Fueron aplicados dos riegos por semana durante los primeros dos meses del cultivo, después, un riego por semana hasta concluir el experimento. Con el objetivo de conseguir los niveles de salinidad en los tratamientos antes mencionados, se provisiono agua con alta conductividad eléctrica, la cual se salinizo con cloruro de sodio (NaCl), puesto que dicha sal es la que prevalece en los suelos con estrés salino y muestra mayor nivel de toxicidad.

2.8.1. Expresión de los principales componentes agronómicos

Referente a la variable vigor (Cuadro 6), las fases fenológicas del primordio floral, embuchamiento, floración y estado lechoso de formación del grano, mostraron el mejor vigor con un promedio de 3, siendo superiores estadísticamente al resto de tratamientos. El nivel de salinidad de 0.2 dS/m con un promedio de 1, fue estadísticamente superior en comparación al resto de tratamientos, siendo el tratamiento de 7.0 dS/m el más afectado con un promedio de 6.13, que corresponde a plantas con menor vigorosidad, de acuerdo a la escala utilizada.

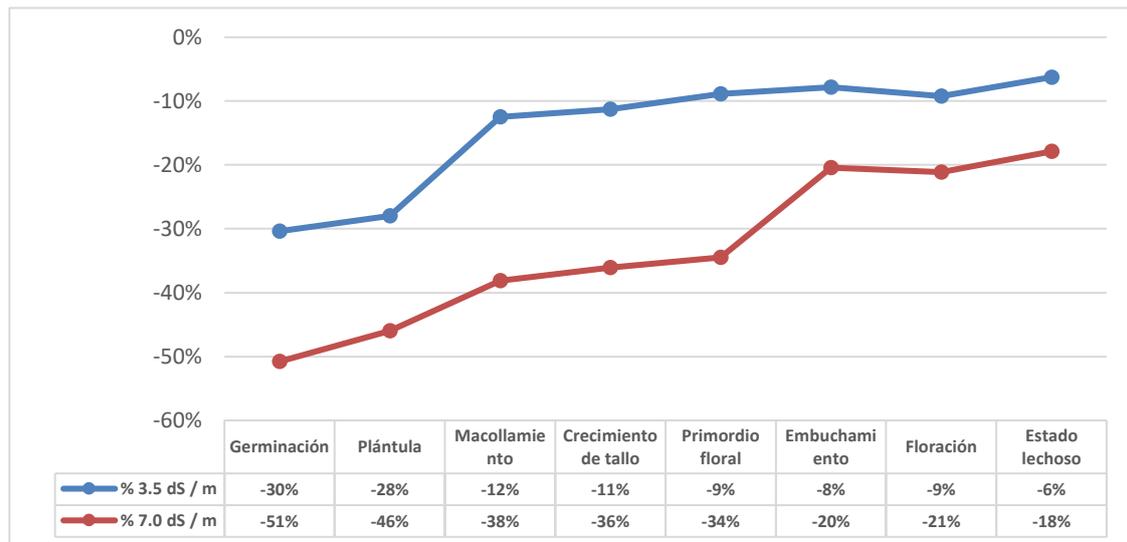
Cuadro 6. Respuesta de las variables Vigor, esterilidad de panícula (%), altura de planta (cm) y número de macollos, sometidas al análisis de variancia y prueba de Tukey ($p > 0,05$) de los factores A (Etapas Fenológicas), B (Niveles de Salinidad) y sus interacciones (AxB).

Factor A	Factor B	Vigor	Esterilidad de panícula (%)	Altura de planta (cm)	# de macollos
Eta	Nivel de Salinidad (dS/m)				
Germinación		4.67 c	31.71 d	49.45 d	15.19 d
Plántula		4.33 b	30.05 d	54.79 c	15.69 d
Macollamiento		4.33 b	22.83 c	54.63 c	17.31 c
Crecimiento de tallo		4.33 b	17.77 b	61.37 b	17.54 c
Primordio floral		3 a	14.15 ab	68.92 a	17.82 bc
Embuchamiento		3 a	12.82 a	69.15 a	18.87 a
Floración		3 a	12.04 a	70 a	18.72 ab
Estado lechoso		3 a	10.32 a	69.33 a	19.15 a
	0.2	1a	10.06 a	75.75 a	20.83 a
	3.5	4 b	17.6 b	61.28 b	17.85 b
	7.0	6.13 c	29.22 c	49.59 c	13.93 c
Germinación	0.2	1a	10.06 a	75.75 a	20.83 a
Germinación	3.5	5 c	26.33 f	49.5 ef	14.5 ghi
Germinación	7.0	8 e	58.75 h	23.1 h	10.25 i
Plántula	0.2	1 a	10.06 a	75.75 a	20.83 a
Plántula	3.5	5 c	25.5 ef	52.88 e	15 fgh
Plántula	7.0	7 d	54.59 h	35.75 g	11.25 jk
Macollamiento	0.2	1 a	10.06 a	75.75 a	20.83 a
Macollamiento	3.5	5 c	21.08 cdef	50.6 ef	18.23 bcd
Macollamiento	7.0	7 d	37.36 g	37.55 g	12.89 ijk
Crecimiento de tallo	0.2	1 a	10.06 a	75.75a	20.83 a
Crecimiento de tallo	3.5	5 c	19.02 bcdef	59.98 d	18.48 bcd
Crecimiento de tallo	7.0	7 d	24.22 def	48.39 f	13.31 hi
Primordio floral	0.2	1 a	10.06 a	75.75a	20.83 a
Primordio floral	3.5	3 b	14.66 abc	68.87 b	18.98 abc
Primordio floral	7.0	5 c	17.74 abcde	62.15 c d	13.65 hi
Embuchamiento	0.2	1 a	10.06 a	75.75a	20.83 a
Embuchamiento	3.5	3 b	12.12 ab	68.56 b	19.2 ab
Embuchamiento	7.0	5 c	16.28 abcd	63.15 c d	16.58 def
Floración	0.2	1a	10.06 a	75.75a	20.83 a
Floración	3.5	3 b	11.77 ab	70.5 b	18.9 abc
Floración	7.0	5 c	14.29 abc	63.75 c	16.43 efg
Estado lechoso	0.2	1 a	10.06 a	75.75a	20.83 a
Estado lechoso	3.5	3 b	10.34 a	69.33 b	19.52 ab
Estado lechoso	7.0	5 c	10.55 a	62.9 c d	17.1 cde
Promedio general		3.71	18.96	62.21	17.54
Significancia	Factor A	**	**	**	**
	Factor B	**	**	**	**
	Interacciones	**	**	**	**
CV %		6.36	16.11	2.25	4.24

Acorde con las interrelaciones de las fases fenológicas de germinación, plántula, macollamiento, crecimiento de tallo, primordio floral, embuchamiento, floración y estado lechoso del grano con un grado de salinidad de 0.2 dS/m (control); no difieren estadísticamente entre sí y son superiores al resto de interrelaciones. Las etapas fenológicas de germinación, plántula, macollamiento, crecimiento de tallo, con grado de salinidad de 7.0 dS/m, mostraron promedios de 7 y 8, que corresponden a plantas muy débiles y pequeñas, de acuerdo a la escala utilizada.

La salinidad limita el desarrollo ya que hay una reducción del potencial osmótico en el medio de crecimiento, consecuentemente, también es afectado su potencial hídrico (García et al., 2009). En la Ilustración 4, se presenta la variación del vigor que mostraron las plantas en las 8 etapas fenológicas correspondientes a los grados de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m.

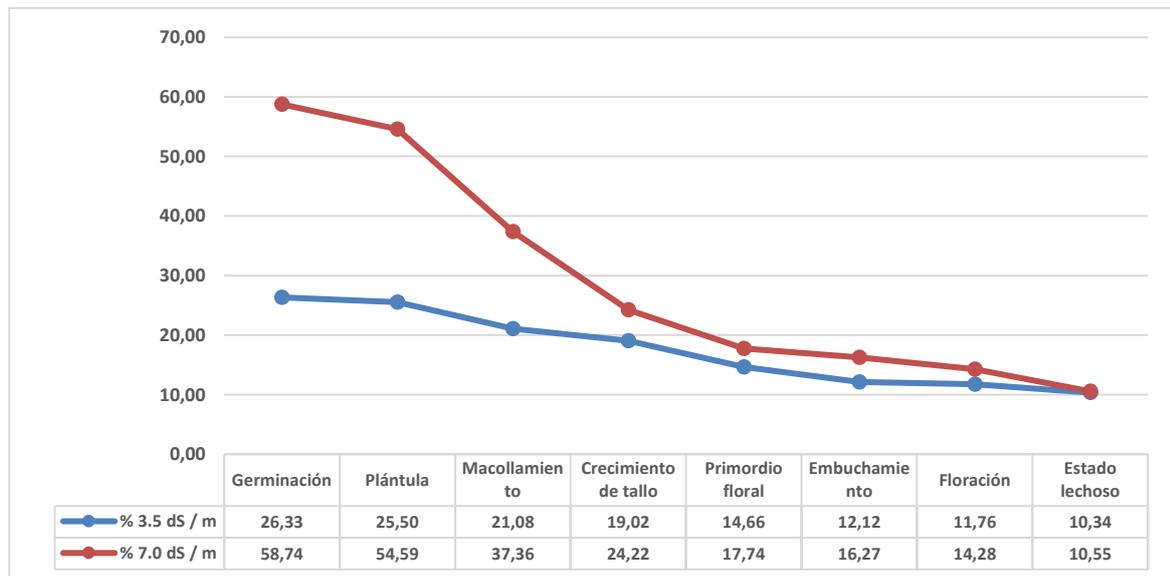
Ilustración 4. Variación del vigor de plantas de arroz en 8 fases fenológicas sujetas a los niveles de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m.



Los valores para esterilidad de panícula se muestran en el Cuadro 6. Las etapas fenológicas, tales como el estado lechoso de formación del grano, floración, embuchamiento y primordio floral, fueron las que mostraron menor infertilidad; con promedios de 10.32, 12.04, 12.82 y 14.15 %, correspondientemente, y casualmente presentan semejanza en la significancia estadística. Las demás etapas, registraron promedios altos respecto a esta variable. La menor infertilidad se evidenció en el nivel de 0.2 dS/m que presentó un promedio de 10.06 %.

Respecto a las interrelaciones de las fases fenológicas de germinación, plántula, macollamiento, crecimiento de tallo, primordio floral, embuchamiento, floración y estado lechoso del grano con salinidad de 0.2 dS/m, mostraron estadísticamente similitud en sus resultados; asimismo las etapas de primordio floral, embuchamiento y floración con un nivel de salinidad de 3.5 dS/m y las fases de primordio floral, embuchamiento y floración con 7.0 dS/m; fueron estadísticamente equivalentes entre sí, pero superiores en contraste con las demás interrelaciones. Las interacciones restantes, obtuvieron un porcentaje superior de infertilidad de panícula. Referente a esto, Ashraf y Harris (2013) indican que las modificaciones en los procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares en plantas son efectos de los ambientes estresantes, tales como la salinidad y la sequía. En la Ilustración 5, se muestra la variabilidad de la infertilidad de panícula respecto a los grados de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m.

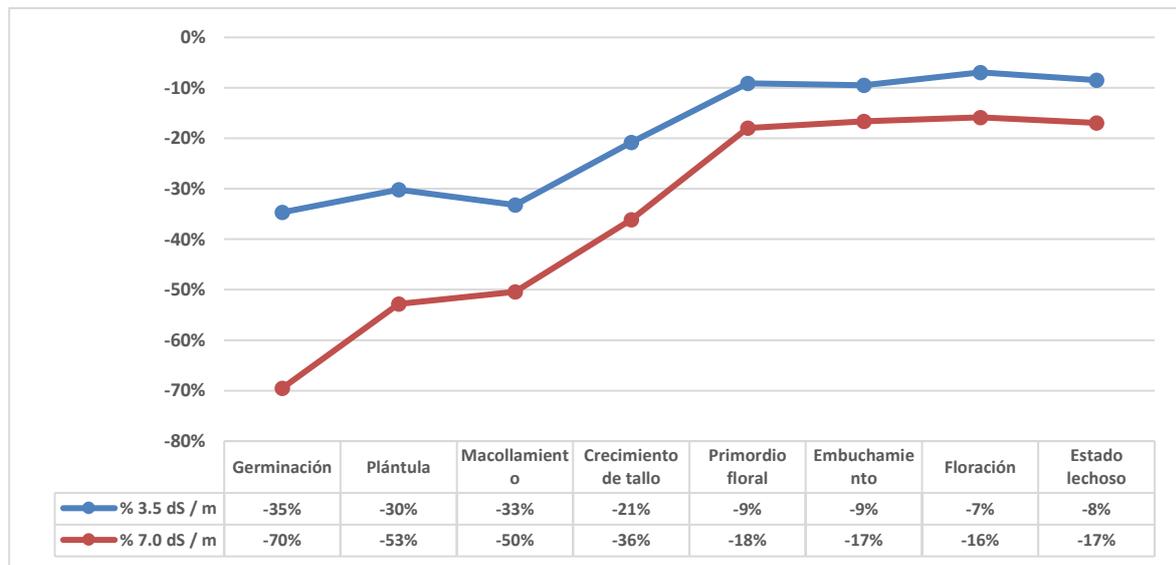
Ilustración 5. Variación de la esterilidad de panícula obtenida con niveles de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m.



Referente a la altura de planta (Cuadro 6), las fases fenológicas de floración, estado lechoso del grano, embuchamiento y primordio floral, demostraron la mejor altura de planta con valores de 68.92, 69.15, 70 y 69.33 cm, correspondientemente; siendo superiores estadísticamente en comparación al resto de tratamientos. El promedio de 75.75 cm que se alcanzó con un grado de salinidad de 0.2 dS/m (control), fue estadísticamente superior a los demás tratamientos.

De acuerdo a las interrelaciones de las fases fenológicas de germinación, plántula, macollamiento, crecimiento de tallo, primordio floral, embuchamiento, floración y estado lechoso del grano, con salinidad de 0.2 dS/m; se mostraron estadísticamente idénticas entre sí y superiores al resto de las interacciones. Las etapas fenológicas de germinación, plántula, macollamiento y crecimiento de tallo, con grado de salinidad de 7.0 dS/m; presentaron los promedios más bajos con 23.1, 35.75, 37.55 y 48.39 cm, correspondientemente. La reducción de la talla de las plantas está relacionada con el aumento de acopio de NaCl ya que las sales afectan el crecimiento de las plantas al alterar la asimilación de agua a través de las raíces, a este fenómeno se lo denomina como componente osmótico conforme a López *et al.*, (2018). Efectos parecidos observó Batista *et al.*, (2017) la altura de las plántulas de albahaca se redujo conforme el grado de NaCl aumentaba. En la Ilustración 6, se muestran porcentajes no favorables que representan valores porcentuales que fueron reducidos debido a la salinidad en grados de 3.5 y 7.0 dS/m, relacionados con respecto al control de 0.2 dS/m.

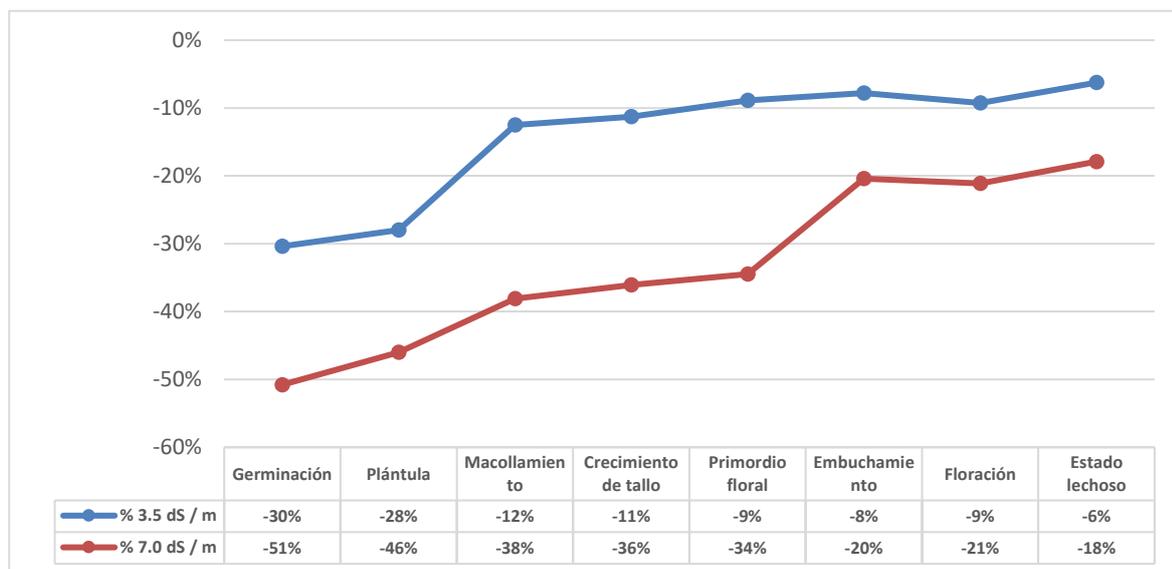
Ilustración 6. Variación de altura de planta obtenida con niveles de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m.



Acorde a la variable número de macollos por planta (Cuadro 6), las etapas fenológicas de estado lechoso del grano, embuchamiento y floración obtuvieron el mejor promedio de macollos con promedios de 19.15, 18.87 y 18.72, correspondientemente; siendo superiores estadísticamente al resto de tratamientos. El grado de salinidad de 0.2 dS/m) con un promedio de 20.83, fue estadísticamente superior en comparación al resto de tratamientos, a la vez que el valor más bajo lo presentó el grado de salinidad de 7.0 dS/m, con 13.93 macollos.

Con respecto a las interrelaciones de las fases fenológicas de germinación, plántula, macollamiento, crecimiento de tallo, primordio floral, embuchamiento, floración y estado lechoso del grano con salinidad de 0.2 dS/m y primordio floral, embuchamiento, floración, estado lechoso del grano, con un grado de salinidad de 3.5 dS/m; fueron estadísticamente idénticas entre sí y superiores al resto de interrelaciones. Las fases fenológicas de germinación, plántula, macollamiento, crecimiento de tallo y primordio floral, con salinidad de 7.0 dS/m; obtuvieron los promedios más bajos con 10.25, 11.25, 12.89, 13.31 y 13.65 macollos, respectivamente. Esto coincide con lo mencionado por Nawaz *et al.*, (2010), que señalan que estos daños son el efecto de los trastornos causados en el metabolismo de las plantas, primordialmente por las alteraciones en el potencial osmótico del suelo, el desequilibrio nutricional por la interrelación entre los iones dañinos y los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo. En la Ilustración 7, se indica la diferencia porcentual de la variable macollos por planta, representada en valores no favorables por la disminución de la variable cuando se sometieron a grados de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m, contrastados con respecto al control con 0.2 dS/m de salinidad.

Ilustración 7. Variación de número de macollos / planta obtenida con los niveles de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m.



2.8.2. Expresión de los principales componentes de rendimiento

En relación a la variable longitud de panícula (Cuadro 7), la prueba de Tukey ($p > 0,05$), estableció que las fases fenológicas del estado lechoso del grano, floración, embuchamiento, primordio floral, crecimiento de tallo y macollamiento, mostraron significancias estadísticas parecidas, alcanzando la mayor longitud de panícula con promedios de 23.7, 22.99, 22.75, 22.64, 22.39 y 21.89 cm, correspondientemente. El grado de salinidad de 0.2 dS/m con un promedio de 25.43 cm, fue estadísticamente superior en comparación al resto de tratamientos.

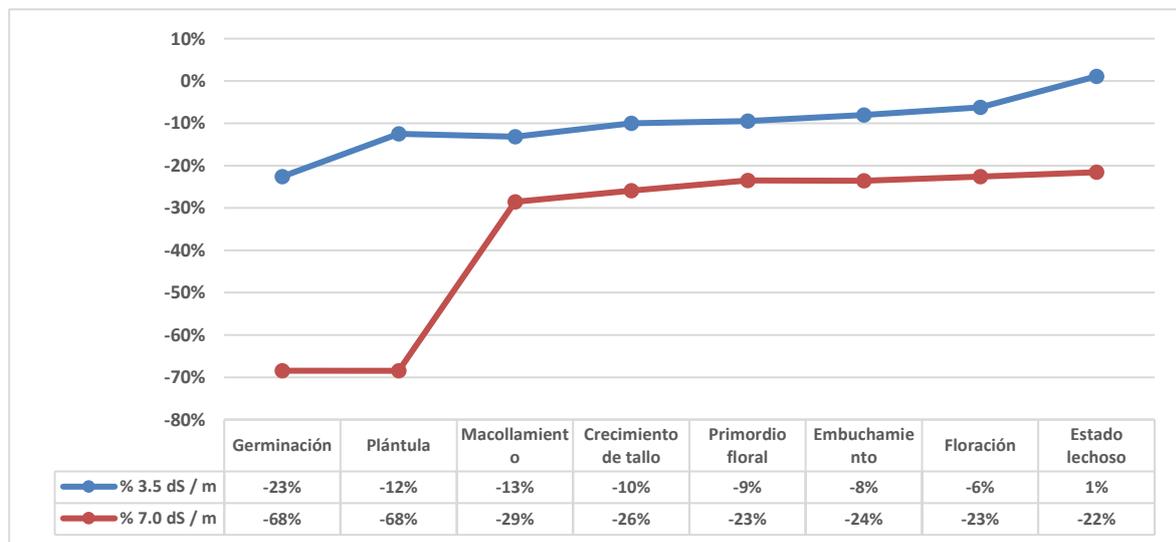
Cuadro 7. Respuesta de las variables longitud de panícula (cm), granos por panícula, peso de granos por panícula (g) y peso de 1000 granos, sometidas al análisis de variancia y prueba de Tukey ($p > 0,05$) de los factores A (Etapas Fenológicas), B (Niveles de Salinidad) y sus interacciones (A x B).

Factor A	Factor B	Longitud de panícula (cm)	Granos por panícula	Peso de granos por panícula (g)	Peso de 1000 granos
Etapas Fenológicas	Nivel de Salinidad (dS/m)				
Germinación		17.72 b	98.72 c	1.26 c	21.1 d
Plántula		18.57 b	103.78 c	1.34 c	22.01 cd
Macollamiento		21.89 a	115.35 b	1.51 b	22.88 c
Crecimiento de tallo		22.39 a	120.24 ab	1.54 b	25.08 b
Primordio floral		22.64 a	123.28 ab	1.56 ab	25.44a b
Embuchamiento		22.75 a	125.32 a	1.55 b	25.74a b
Floración		22.99 a	126.93 a	1.61 ab	26.68a b
Estado lechoso		23.7 a	128.51 a	1.67 a	26.79 a
	0.2	25.43 a	140.33 a	1.78 a	29.8 a
	3.5	22.86 b	123.07 b	1.46 b	23.35 b
	7.0	16.45 c	89.89 c	1.27 c	20.25 c
Germinación	0.2	25.43 a	140.33 a	1.78 a	29.8 a

Germinación	3.5	19.69 bcde	100.73 efg	1.15 d	19.88 fg
Germinación	7.0	8.03 f	55.1 h	0.84 e	13.63 h
Plántula	0.2	25.43 a	140.33 a	1.78 a	29.8 a
Plántula	3.5	22.26 abcd	107.25 defg	1.39 bcd	21.33 ef
Plántula	7.0	8.02 f	63.76 h	0.84 e	14.91 h
Macollamiento	0.2	25.43 a	140.33 a	1.78 a	29.8 a
Macollamiento	3.5	22.08 abcd	115.84 bcde	1.43 bc	21.86 def
Macollamiento	7.0	18.17 e	89.87 g	1.32 cd	16.96 gh
Crecimiento de tallo	0.2	25.43 a	140.33 a	1.78 a	29.8 a
Crecimiento de tallo	3.5	22.88 abc	125.75 abcd	1.54 abc	23.45 bcde
Crecimiento de tallo	7.0	18.85 de	94.63 fg	1.31 cd	22 def
Primordio floral	0.2	25.43 a	140.33 a	1.78 a	29.8 a
Primordio floral	3.5	23.03 abc	127.73 abc	1.54 abc	23.56 bcde
Primordio floral	7.0	19.46 cde	101.79 efg	1.36 cd	22.95 bcdef
Embuchamiento	0.2	25.43 a	140.33 a	1.78 a	29.8 a
Embuchamiento	3.5	23.39 ab	136.86 a	1.49 bc	24.83 bcd
Embuchamiento	7.0	19.44 cde	98.75 efg	1.38 bcd	22.6 cdef
Floración	0.2	25.43 a	140.33 a	1.78 a	29.8 a
Floración	3.5	23.85 a	130.27 ab	1.52 bc	25.78 bc
Floración	7.0	19.68 bcde	110.2 cdef	1.52 bc	24.45 bcde
Estado lechoso	0.2	25.43 a	140.33 a	1.78 a	29.8 a
Estado lechoso	3.5	25.71 a	140.18 a	1.61 ab	26.1 b
Estado lechoso	7.0	19.95 bcde	105.01 efg	1.62 ab	24.48 bcde
Promedio general		21.58	117.77	1.5	24.47
Significancia	Factor A	**	**	**	**
	Factor B	**	**	**	**
	Interacciones	**	**	**	**
CV %		6.57	5.89	6.21	5.24

En cuanto a las interrelaciones de las fases fenológicas de germinación, plántula, macollamiento, crecimiento de tallo, primordio floral, embuchamiento, floración y estado lechoso del grano, con el grado de salinidad de 0.2 dS/m y las etapas de plántula, macollamiento, crecimiento de tallo, primordio floral y embuchamiento con salinidad de 3.5 dS/m; no difieren estadísticamente entre sí y mantienen superioridad en comparación con el resto de interrelaciones. Las fases fenológicas de germinación y plántula, con el nivel de salinidad de 7.0 dS/m, obtuvieron menores promedios con valores de 8.03 y 8.02 cm, respectivamente. Los resultados del presente estudio concuerdan con lo mencionado por Páres y Basso (2013), que realizaron estudios parecidos en plantas de papaya (*Carica papaya* L.), evidenciando que a mayores niveles de NaCl se mostró mayor afectación desfavorable en el crecimiento de la planta, a causa del impacto negativo de la salinidad en el desarrollo del cultivo. En la Ilustración 8, se demuestra la diferencia porcentual de la variable longitud de panícula, figurada con valores desfavorables disminuidos por los granos de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m, contrastados en relación con control de 0.2 dS/m de salinidad.

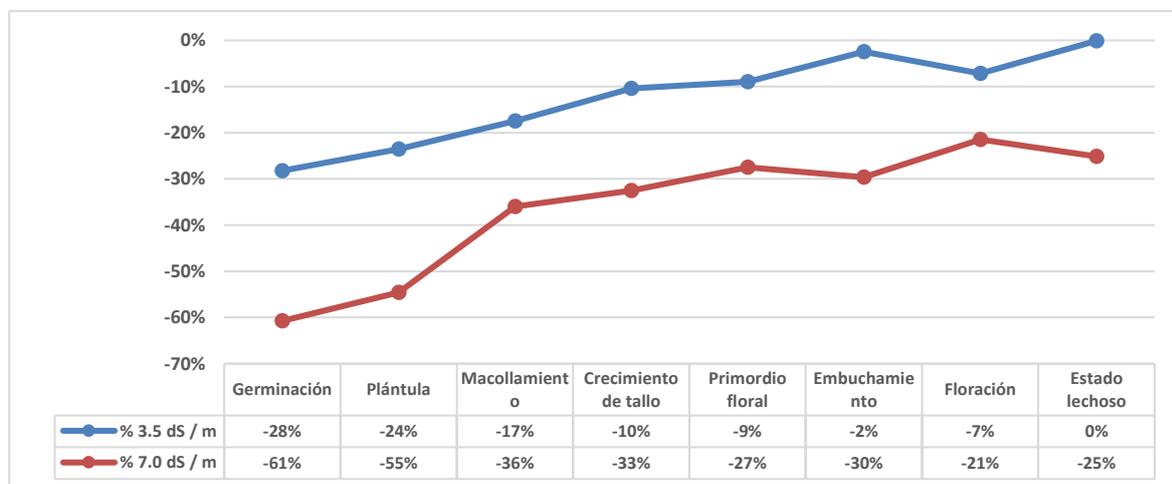
Ilustración 8. Variación de longitud de la panícula obtenida con los niveles de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m.



Los promedios para el número de granos por panícula se presentan en el Cuadro 7. Las etapas fenológicas del estado lechoso del grano, floración, embuchamiento, primordio floral y crecimiento de tallo obtuvieron la mayor cantidad de granos por panícula con valores de 128.51, 126.93, 125.32, 123.28 y 120.24 granos; correspondientemente, siendo superiores estadísticamente en comparación al resto de tratamientos. El grado de salinidad de 0.2 dS/m con un promedio de 140.33 granos, fue estadísticamente mejor respecto al resto de tratamientos, mientras el tratamiento de 7.0 dS/m, fue el que obtuvo el valor más bajo con 89.89 granos.

Referente a las interacciones de las fases fenológicas de germinación, plántula, macollamiento, crecimiento de tallo, primordio floral, embuchamiento, floración y estado lechoso del grano con el nivel de salinidad de 0.2 dS/m y las etapas crecimiento de tallo, primordio floral, floración y estado lechoso del grano con grado de salinidad de 3.5 dS/m; fueron estadísticamente equivalentes entre sí, pero superiores al resto de interacciones. Las etapas fenológicas de germinación y plántula, con salinidad de 7.0 dS/m; mostraron los promedios más bajos con 55.1 y 63.76 granos, correspondientemente. En la Ilustración 9, se contempla la desigualdad porcentual de la variable número de granos por panícula, cuyos valores no favorables representan la aminoración de la variable por los grados de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m, contrastados con relación al control con 0.2 dS/m de salinidad.

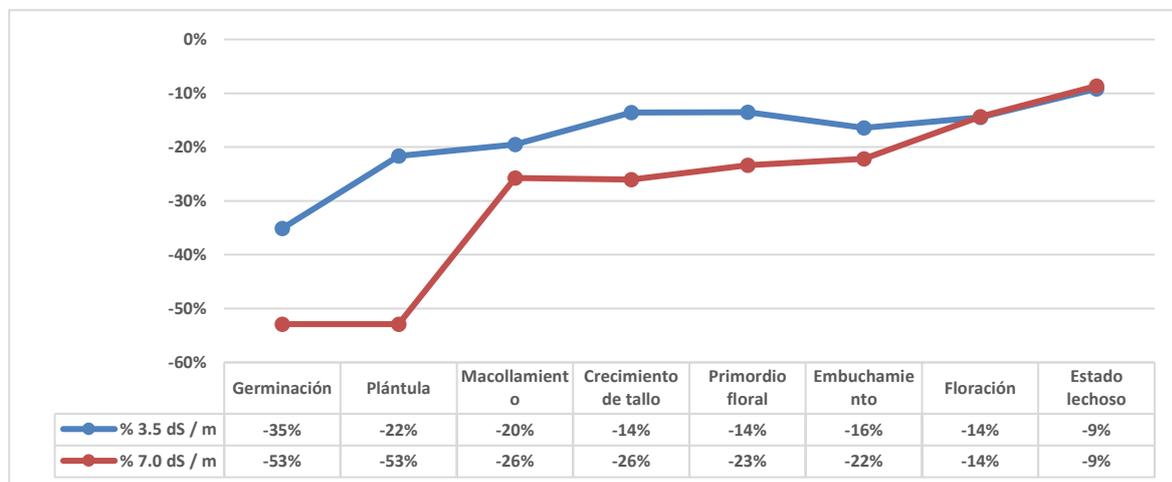
Ilustración 9. Variación de número de granos por panícula obtenida con los niveles de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m.



Para la variable peso de grano por panícula (Cuadro 7), las fases fenológicas de estado lechoso del grano, floración y primordio floral mostraron los mejores valores de peso de grano, con valores de 1.67, 1.61 y 1.56 gramos, correspondientemente; siendo superiores estadísticamente al resto de tratamientos. El grado de salinidad de 0.2 dS/m con un promedio de 1.78 gramos, fue estadísticamente superior en comparación al resto de tratamientos, mientras, el tratamiento de 7.0 dS/m presentó el menor valor con 1.27 gramos.

En consideración a las interrelaciones de las etapas fenológicas de germinación, plántula, macollamiento, crecimiento de tallo, primordio floral, embuchamiento, floración y estado lechoso del grano con salinidad de 0.2 dS/m, y resultados semejantes a las fases crecimiento de tallo, primordio floral y estado lechoso del grano con salinidad de 3.5 dS/m y estado lechoso del grano con nivel de salinidad de 7.0 dS/m; resultaron estadísticamente parecidas entre sí y superiores al resto de interacciones. Las fases fenológicas germinación y plántula, con el grado de salinidad de 7.0 dS/m; obtuvieron el promedio mínimo con 0.84 gramos. Este análisis demostró una reducción significativa del peso del grano en las fases fenológicas evaluadas, conforme se aumentaba la concentración salina. Este resultado concuerda con lo descrito por Tavakkoli *et al.*, (2011) que atribuyen el impacto dañino causado por la salinidad a los cultivos en fases iniciales. En la Ilustración 10, se presenta la desigualdad de los promedios porcentuales de la variable peso de grano por panícula, afectados por los grados de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m, contrastados con respecto al control de 0.2 dS/m.

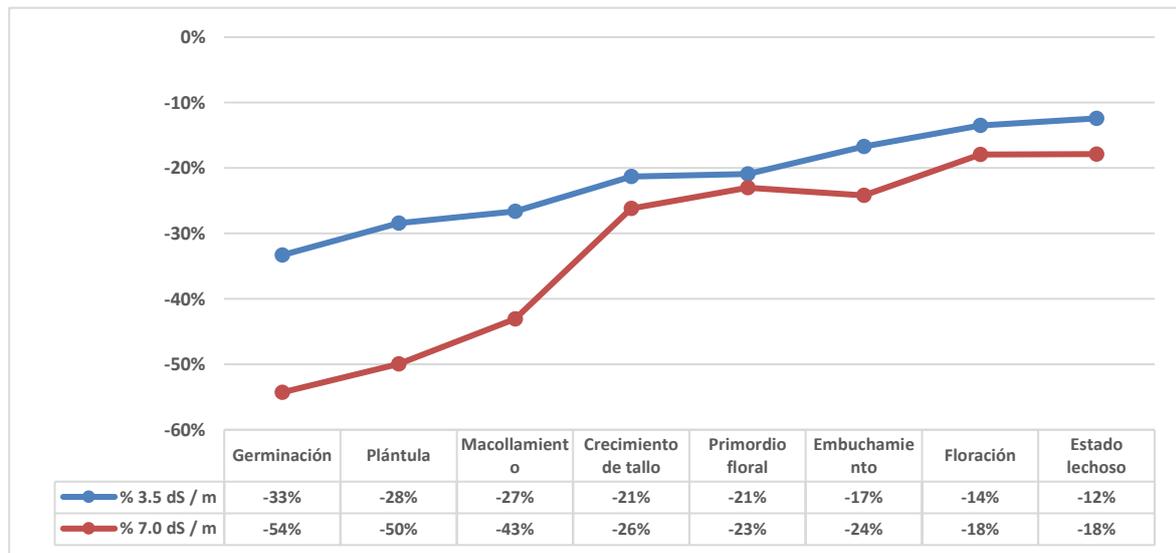
Ilustración 10. Variación del peso de grano por panícula obtenida con los niveles de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m.



Referente al peso de 1000 granos (Cuadro 7), la prueba de Tukey ($p > 0,05$) estableció que las fases fenológicas de estado lechoso del grano, floración, embuchamiento y primordio floral demostraron significancias parecidas, logrando los mayores valores de peso con 26.79, 26.68, 25.74, 25.44 gramos, correspondientemente. El grado de salinidad de 0.2 dS/m con un promedio de 29.8 gramos, fue estadísticamente superior en comparación al resto de tratamientos, mientras que el peso más bajo lo alcanzó el grado de salinidad de 7.0 dS/m con 20.25 gramos.

En cuanto a las interacciones de las fases fenológicas de germinación, plántula, macollamiento, crecimiento de tallo, primordio floral, embuchamiento, floración y estado lechoso con salinidad de 0.2 dS/m); no difieren estadísticamente entre sí y son superiores al resto de interacciones. Las etapas fenológicas germinación, plántula y macollamiento, con el grado de salinidad de 7.0 dS/m; obtuvieron menores resultados. En la Ilustración 11, se presenta la desigualdad de los promedios porcentuales de la variable peso de 1000 granos, perjudicados por la salinidad en los grados de 3.5 y 7.0 dS/m, que fueron contrastados con respecto al control de 0.2 dS/m.

Ilustración 11. Variación del peso de 1000 granos obtenida con los niveles de salinidad de 3.5 y 7.0 dS/m.



Con respecto a la variable contenido de clorofila registrada a los 30, 45, 60 y 75 días (Cuadro 8), la fase fenológica de germinación en las valoraciones realizadas a los 30, 45, 60 y 75 días, obtuvieron los promedios más bajos con valores de 36.95, 29.71, 23.24 y 19.53 %, correspondientemente. El grado de salinidad 0.2 dS/m con promedio de 44.94, 38.23, 29.32 y 24.87 % respectivamente, se mostraron estadísticamente superior al resto de tratamientos, mientras el nivel de salinidad de 7.0 dS/m, presentó los valores más bajos.

En cuanto a las interrelaciones de las fases fenológicas por los grados de salinidad, el daño causado a las células del mesófilo se evidencia en la disminución de la concentración de clorofila como consecuencia del aumento de sales en las plantas. Estos resultados coinciden con lo señalado por Sandoval *et al.*, (2010) que argumentan que el factor iónico de la salinidad radica en su nivel de toxicidad, el cloro y el sodio son los iones que generan más problemas, sin embargo, el nitrato, sulfato o amonio son tóxicos. La concentración de estos iones en las hojas origina clorosis marginal continuamente de una reducción de la zona fotosintética, lo cual establece disminuciones en la fotosíntesis total. Ragab y Abd (2015) en su experimento con maíz, indican que las plantas bajo estrés salino reducen el contenido de clorofila y la tasa de transpiración, afectando enormemente la actividad fotosintética.

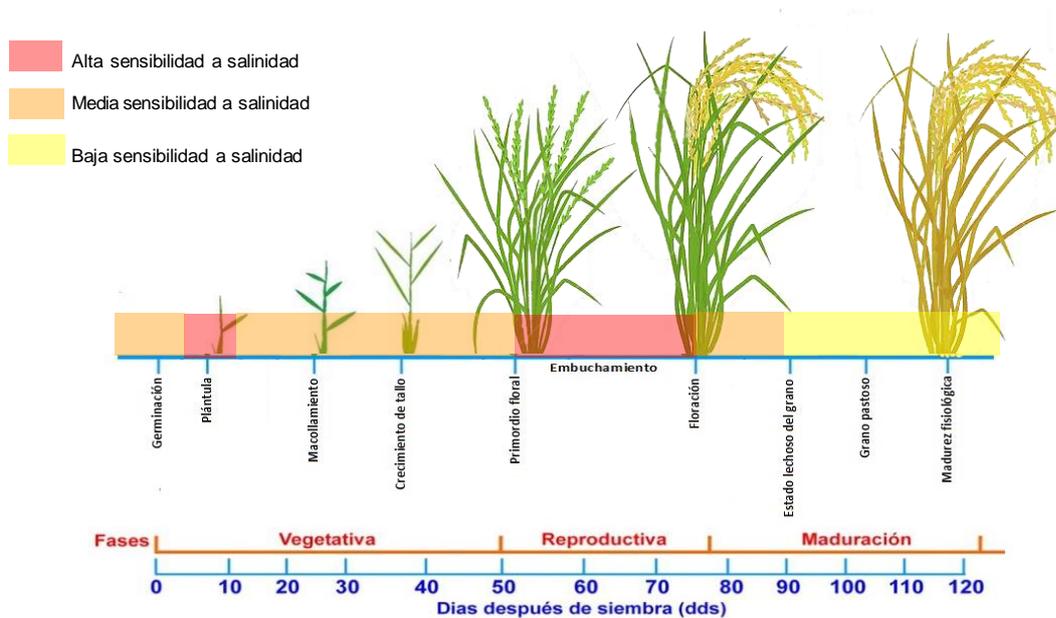
Cuadro 8. Respuesta de la variable Contenido de clorofila a los 30, 45, 60 y 75 días, sometidas al análisis de variancia y la prueba de Tukey ($p > 0,05$) de los factores A (Etapa Fenológica), B (Nivel de Salinidad) y sus interacciones (AxB).

Factor A	Factor B	Clorofila (30 días)		Clorofila (45 días)		Clorofila (60 días)		Clorofila (75 días)	
Etapa Fenológica	Nivel de Salinidad (dS/m)								
Germinación		36.95	c	29.71	c	23.24	b	19.53	c
Plántula		38.48	b c	33.21	b	24.16	a b	21.28	b c
Macollamiento		39.04	b c	33.55	b	25	a b	21.68	a b c
Crecimiento de tallo		40.34	a b	34.4	a b	25.3	a b	22.59	a b
Primordio floral		40.31	a b	35.17	a b	26.46	a b	23.37	a b
Embuchamiento		41.57	a b	35.75	a b	27.17	a	23.8	a b
Floración		42.48	a	36.13	a b	27.11	a	23.87	a
Estado lechoso		43.53	a	37	a	27.53	a	23.53	a b
	0.2	44.94	a	38.23	a	29.32	a	24.87	a
	3.5	40.48	b	33.2	b	24.75	b	22.33	b
	7.0	35.59	c	31.66	b	23.16	b	20.18	c
Germinación	0.2	44.94	a	38.23	a	29.32	a	24.87	a
Germinación	3.5	35.5	b c d e	29.19	b	22.85	a b c d	18.35	d e
Germinación	7.0	30.42	e	21.7	c	17.54	d	15.36	e
Plántula	0.2	44.94	a	38.23	a	29.32	a	24.87	a
Plántula	3.5	38	a b c d	32.11	a b	23.74	a b c d	20.58	a b c d e
Plántula	7.0	32.5	d e	29.28	b	19.42	c d	18.4	d e
Macollamiento	0.2	44.94	a	38.23	a	29.32	a	24.87	a
Macollamiento	3.5	38.23	a b c d	32.51	a b	24.86	a b c d	21.36	a b c d
Macollamiento	7.0	33.96	c d e	29.92	b	20.82	b c d	18.82	c d e
Crecimiento de tallo	0.2	44.94	a	38.23	a	29.32	a	24.87	a
Crecimiento de tallo	3.5	41.13	a b	33.1	a b	24.27	a b c d	23.42	a b c d
Crecimiento de tallo	7.0	34.96	b c d e	31.87	a b	22.3	a b c d	19.49	b c d e
Primordio floral	0.2	44.94	a	38.23	a	29.32	a	24.87	a
Primordio floral	3.5	41.38	a b	33.22	a b	25.64	a b c	23.78	a b c
Primordio floral	7.0	34.63	b c d e	34.07	a b	24.42	a b c d	21.46	a b c d
Embuchamiento	0.2	44.94	a	38.23	a	29.32	a	24.87	a
Embuchamiento	3.5	41.38	a b	33.37	a b	25.24	a b c	23.47	a b c d
Embuchamiento	7.0	38.41	a b c d	35.64	a b	26.95	a b	23.05	a b c d
Floración	0.2	44.94	a	38.23	a	29.32	a	24.87	a
Floración	3.5	43.41	a	34.46	a b	25.05	a b c	24.22	a b
Floración	7.0	39.08	a b c d	35.7	a b	26.96	a b	22.53	a b c d
Estado lechoso	0.2	44.94	a	38.23	a	29.32	a	24.87	a
Estado lechoso	3.5	44.85	a	37.67	a	26.35	a b c	23.43	a b c d
Estado lechoso	7.0	40.79	a b c	35.08	a b	26.91	a b	22.3	a b c d
Promedio general		40.34		34.36		25.75		22.46	
Significancia	Factor A		**		**		**		**
	Factor B		**		**		**		**
	Interacciones		**		**		**		**
Coeficiente de variación		6.43		7.6		10.81		8.88	

Durante la investigación, se determinó que los efectos negativos en las plantas de arroz expuestas a tratamientos con sal, son más notorios en los criterios de desarrollo y productividad. Los signos de quemaduras en hojas, crecimiento tardío, infertilidad de las panículas y el bajo peso del grano fueron evidentes. Referente a esto, Torabi y Halim (2013) señalan que la reducción del crecimiento de las plantas, la presencia de signos de sequía, como el envejecimiento o pigmentación

verdeazulada oscura, clorosis e incluso presencia de hojas cerosas de mayor espesor, son efectos generados por la baja asimilación de agua a través de las raíces, lo que está relacionado a su vez con las elevadas concentraciones de salinidad. Estos signos cambian de acuerdo a la fenología del cultivo, y son más notorios en las fases tempranas del crecimiento. En base a los datos obtenidos se puede apreciar que estos signos fueron menos evidentes en las fases fenológicas de germinación, macollamiento, crecimiento del tallo, primordio floral y estado lechoso del grano (Ilustración 12). Autores como Zeng y Shannon, (2003). Indican que, en la fase de germinación, el arroz presenta una gran tolerancia a la salinidad, sin embargo, es muy susceptible en las plántulas y en las fases reproductivas. Asimismo, muestra menor sensibilidad en las fases del macollamiento y el llenado de granos. Mientras que en las fases con alto grado de sensibilidad se destacan las fases de plántula y floración. Estos resultados coinciden con lo mencionado por Singh *et al.*, (2004), quienes argumentan que la fase de floración es una etapa de crecimiento enormemente susceptible dentro del ciclo de vida del cultivo, que se ve alterada debido al estrés salino. El alto grado de salinidad en esta etapa, altera la viabilidad del polen, lo que origina una polinización ineficiente, consiguientemente se presenta una disminución en el promedio de granos llenos, lo que afecta la productividad neta de la planta. En un reciente análisis dirigido por Mohammadi *et al.*, (2010), haciendo uso de diferentes genotipos; se estableció que la mayoría de las variables de arroz presentan una baja viabilidad del polen en condiciones de estrés salino.

Ilustración 12. Efectos del estrés salino sobre las fases de desarrollo y estados fenológicos del arroz.



2.10. Determinaciones analíticas en suelos afectados por sales

Para valorar la respuesta de las plantas y el comportamiento de los suelos respecto a la salinidad y a la sodicidad se ha generalizado el uso de dos parámetros.

Salinidad.- A pesar de que la resistencia eléctrica se ha utilizado desde hace mucho para medir las sales solubles en los suelos, la conductividad eléctrica que es la equitativa de la resistencia es adecuada para medir el nivel de salinidad, debido a que incrementa con la concentración de sales, lo que facilita la interpretación de las lecturas. La conductividad eléctrica de un extracto de pasta saturada es el procedimiento más aceptado y difundido en el mundo para evaluar la salinidad. Este procedimiento "mide la salinidad de una muestra en condiciones de saturación". Las unidades actualmente utilizadas son decisiemens por metro ($dSm.m^{-1}$) que es semejante a la denominación antigua de la conductividad eléctrica de milimhos por centímetro ($mmhos.cm^{-1}$) (CE.10-3). En cuanto al agua de riego frecuentemente se usa $\mu mhos.cm^{-1}$ (CE.10-6) o $mS.m^{-1}$ ($1 mS.m^{-1} = 10 \mu mhos.cm^{-1}$).

Seguidamente se muestran ciertas transformaciones y equivalencias relacionadas a iones y sales. $1 dS.m^{-1} = 1 milimhos.cm^{-1} = 1000 \mu S.cm^{-1}$; $1 mS.m^{-1} = 10 \mu mhos.cm^{-1}$; $1 \mu S.cm^{-1} = 1 \mu mhos.cm^{-1}$; $0.1 mS.m^{-1} = 1 \mu mhos.cm^{-1}$. Para convertir $\mu mhos.cm^{-1}$ a $mS.m^{-1}$ se divide por 10

- ppm dividido 1000 = $g.kg^{-1} = g.l^{-1} = Kg.m^{-3}$
- CE a meq.l⁻¹.....meq.l⁻¹ = 10. CE.(10⁻³)
- CE a ppmppm = 0,64 .CE.(10⁻⁶)
- meq.l⁻¹ a ppm..... ppm= meq.l⁻¹. PE
- Sales solubles en extractos en meq.l⁻¹ a meq/100 de Ca, Mg, Na o K
- meq/100= meq.l⁻¹. Hs /1000. Hs = humedad a saturación, gr de agua/gr de suelo por 100 (Hs=es la humedad que existe en la muestra al momento de extraer los solubles de la pasta a saturación).

Determinación de la salinidad por medio de la Conductividad eléctrica, a través de un conductímetro (puente de Wheatstone), refiriendo las lecturas a 25°C.

- i) **Pasta saturada del suelo:** Se elabora la pasta, tomando 250 grs. de suelo, se añade agua destilada, revolviendo con una espátula, al saturarse la muestra la pasta brilla por la reflexión de la luz. Se deja reposar varias horas y se comprueba la saturación. Se vierte la pasta a la célula de ebonita para estimar resistencia en pasta.
- ii) **Extracto de saturación:** El proceso comprende la elaboración de una pasta saturada de suelo, como se señaló anteriormente. La pasta

se envasa en unos embudos particulares (Butchner) revestidos con papel de filtro y se administra vacío a un kitasatos mediante una bomba de vacío. Si el filtrado inicial presenta material en suspensión se puede desechar o filtrarlo nuevamente. En el extracto de suelo obtenido se mide con conductímetro la conductividad eléctrica.

iii) Relaciones suelo-agua 1:2 a 1:5: Nijensohn (1988) ha hecho uso de la relación suelo-agua 1:5 obteniendo buenos resultados. Caro Fernández (1964) muestra ciertos vínculos entre las distintas diluciones. En el Cuadro 9 se observa la reciprocidad entre CE medida en distintas relaciones a 25° C. Jarabejo *et al.* (2018) indican que la CE en el extracto puede medirse a partir de una relación suelo-agua 1:5 de acuerdo a las texturas. En el caso de una textura arenosa se multiplica el valor resultante con la relación 1:5 por 23 para medir la CE en el extracto, en textura franca por 10, y en textura arcillosa por 6. Sin embargo, cabe resaltar que estas relaciones deben ser adaptadas en cada lugar, siendo los valores presentados mera referencia.

En cuanto a la temperatura de medición, se señala que la CE de las soluciones y extractos de suelos, incrementan alrededor de 2% por cada grado centígrado que asciende la temperatura. Actualmente los equipos presentan añadida la corrección por temperatura a 25°C, siendo innecesario algún cálculo adicional.

Cuadro 9. Correspondencia de la CE dS.m⁻¹ en diferentes relaciones suelo: agua (T 25°C).

Relación 1:2	Relación 1:5	Extracto saturado	Efectos en planta
0- 0,25	0-0,12	0-0,74	Escasos nutrientes
0,25-0,75	0,12-0,35	0,75-1,49	Deseables plantas sensibles
0,75-1,25	0,35-0,60	1,5-2,99	Optimo mayoría cultivos
1,25-1,75	0,60-0,85	3,0-4,5	Reducción del crecimiento
1,75-2,25	0,85-1,0	4,5-5,5	Síntomas toxicidad
>2,25	>1,0	>5,5	Tóxico para la mayoría de las plantas

Determinación de la salinidad conociendo la resistencia eléctrica de la pasta o la conductividad del extracto. - La CE es contraria a la

resistencia de la pasta de suelo (R). La resistencia ocasionalmente se indica en las presentaciones de perfiles edáficos, el valor de R de 2000- 300 Ohms es el valor de referencia a partir del cual se considera libre de sales. Si el valor es mayor generalmente no se realiza el extracto del suelo para medir el CE, ya que se considera libre o con baja salinidad. En ciertos estudios se señala el valor de 170 Ohm como referencia para determinar a los suelos libres de salinidad, no obstante, generalmente los suelos libres de sal presentan unas resistencias cercanas a 1000 Ohms. En cambio, si la resistencia es baja indica que La CE es alta en salinidad, se elabora el extracto del suelo y frecuentemente también se miden los cationes solubles en me.l⁻¹. Es preciso resaltar que en las presentaciones de perfiles edáficos cuando se omite el valor de CE, es debido a que la resistencia es elevada. En el caso de que no se presentase ninguno de los dos valores, es porque el evaluador desestimó la presencia de sales.

Determinación de la salinidad por sales totales_. Este criterio es considerado en la taxonomía de suelos para establecer los horizontes diagnósticos sálicos (Soil Survey Staff, 2014). Generalmente se indican las siguientes escalas Tabla 6.

Cuadro 10. Valores de referencia de sales totales g.l⁻¹

sales totales g.l ⁻¹	
0 - 2,0	libre de salinidad
2,0- 3,5	ligeramente afectado
3,5-6,5	medianamente afectado
>6,5	fuertemente afectado

Sodicidad. - A partir del PSI (porcentaje del sodio intercambiable) o a partir del RAS (relación de adsorción sodio) se estima el nivel de sodificación. Hoy en día, también se utiliza el CCROSS, el cual considera el posible efecto dispersivo del Mg⁺² y el K⁺ (Pla Sentis, 2017). Menciona que los suelos sódicos muestran un alto grado de Na⁺, ocasionalmente acompañado de Mg⁺² en el complejo de intercambio del suelo. Aristizabal Arboleda (2009), estudia el impacto del Mg⁺² como dispersante, enfatizando que aumentan los efectos dispersivos de Na⁺, cuando el Mg+2 se encuentra en grandes proporciones del complejo de intercambio (> 35%).

El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) se mide de la siguiente forma (me.100⁻¹ o cmol.kg⁻¹).

$$PSI = \frac{Na \text{ me. } 100^{-1} g}{CIC \text{ me. } 100^{-1} g} 100$$

Gapon junto a otros autores, han señalado que al tomarse en cuenta la influencia de la concentración catiónica total, se obtiene una correlación lineal entre cationes intercambiables y solubles monovalentes y divalentes, una vez que la concentración molar de catión soluble monovalente se divide por la raíz cuadrada de la concentración molar de cationes divalentes solubles. Así, para discutir la correlación de estabilidad que existe entre los cationes solubles y los intercambiables se usa la relación de adsorción del sodio (RAS)

La Relación de Adsorción Sodio (RAS) estima la relación de los cationes solubles, los cuales están en equilibrio con el PSI. Varios trabajos presentan las ventajas de la RAS a fin de indicar el problema de sodicidad de los suelos dado que hay una estrecha relación entre ambas determinaciones. Debido a esto, frecuentemente se utiliza la RAS en reemplazo del PSI, ya que la obtención del valor de este último resulta laborioso y costoso. Además, en los suelos que contienen minerales silicatados ricos en Na^{+1} soluble o altos niveles de NaCl el dato del PSI se considera no fiable. Bajo estas condiciones el PSI podría dar datos erróneos y la RAS resulta más conveniente. Pla Sentis (2017) señala que para fines prácticos es preferible y recomendable usar la RAS, Ya que el PSI es difícil de establecer correctamente, en especial en los suelos sódicos y es mucho más costoso en comparación con la RAS. Bajo diversas condiciones la RAS es más fiable como índice de sodicidad que el PSI.

$$\text{RAS} = \text{Na} / ((\text{Ca} + \text{Mg})/2)^{1/2} \text{ (me.litro-1)}^{1/2}$$

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^{+}}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}}{2}}}$$

De acuerdo al Manual 60 (USDA, Richards, 1973) un valor de 13 de RAS se corresponde con un valor de 15 del PSI. Consiguientemente, en base a los datos presentados por este autor se puede medir el valor de PSI a partir de los valores de RAS. Sin embargo, pueden diferir respecto al tipo de suelo. En caso de investigación se aconseja usar un RAS teórico, que es el resultante de la corrección de la RAS práctico debido a los efectos que generan los pares iónicos (Porta et al., 1994). Sin embargo, para uso común sigue siendo de utilidad la RAS obtenida como aquí se señala.

Cación Ratio of Structural Stability (CROSS). Bajo este criterio se sugiere la separación de los efectos de los cationes Na^{+} , Mg^{+2} y K^{+} , del Ca^{+2} (autores citados en Pla Sentis, 2017). Puede medirse:

$$\text{CROOS} = \text{Na} \cdot 0,56 \cdot \text{K} / [(\text{Ca}^{+} \cdot 0,6\text{Mg})^2]^{1/2} \text{ meq/l }^{1/2}$$

Procedimiento para efectuar las mediciones de Sodicidad. - I) Elaboración del extracto de saturación, idem CE. li) Luego, en dicho extracto se mide los niveles de Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^{+} soluble. Frecuentemente, la técnica más utilizada para estimar el grado de Ca^{+2} y Mg^{+2} es por Titulación con etilén-diamino-tetraacetato (EDTA 0,01 M) (Método 7 del Versenato, en Manual 60, Richards, 1973) y la alteración de esta última EDTA 0,02 M (SAMPLA, 2018). Las facilidades y ventajas de un u otro procedimiento son varias y hay distintos criterios para su selección, por ejemplo: precios, confiabilidad, disponibilidad. En base a la fotometría de llama, se puede realizar la determinación de sodio. En la actualidad, hay metodologías más modernas y de mayor precisión para todos los cationes, tal como los análisis espectrofotométricos, los cuales se basan en la cantidad de la intensidad asimilada o emitida de una radiación conocida (absorción y emisión atómicas). Puede usarse: espectrometría de absorción atómica (AA), espectrometría de emisión atómica (EA), o por espectrofotometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP) SAMPLA (2018).

Muestreos de suelos. - La acumulación de sales en los suelos puede cambiar considerablemente en el espacio (horizontal y vertical) y en el tiempo, y principalmente con la humedad edáfica. Se sugiere que la humedad edáfica sea estimada. No hay ni un solo proceso de muestro para su evaluación, los detalles varían de acuerdo al propósito de estudio. En caso de una evaluación general de salinidad y/ o de concentración de Na^{+} en una zona en específico, el contenido medio de sales de cierto número de muestras evidencia un índice moderado de estrés salino, la complejidad del lugar establece la intensidad de muestreos y debe regirse a los criterios de cualquier otro muestreo de suelos.

Los pilares fundamentales para muestrear son:

- i) Variabilidad (dispersión en el ambiente).
- ii) Homogeneidad (cada muestra extraída de igual condición).
- iii) Representatividad (a fin de extrapolar).
- iv) Selectividad (según la variable).

En cuanto a lo señalado en relación al origen de las sales, se aconseja realizar mediciones de cationes y aniones solubles, los cuales permiten inferir la calidad del agua incidente (Alconada *et al.*, 2016)

Se aconseja seguir los siguientes pasos para muestrear de una manera correcta:

- a) En el caso que el suelo presente rastros de desarrollo del perfil o estratificación, extraer las muestras por horizonte o por capa, hasta la profundidad en la que se considere exista influencia de la superficie freática o bien hasta la profundidad donde se presente alguna impedancia mecánica, por ejemplo, las rocas.
- b) En función del sitio de desarrollo radicular, la naturaleza del problema y el detalle requerido.

- c) Si no hay horizontes o capas bien definidas, pueden extraerse muestras a intervalos de 0-15, o cualquier otro intervalo que se determine pertinente hasta las profundidades mencionadas en i).
- d) Las muestras de suelos designadas al análisis de salinidad o alcalinidad, pueden combinarse para formar muestras compuestas, en el caso de que el sector a muestrear se determine homogéneo, a mayor intensidad mayor será la precisión. Se aconseja medir la humedad edáfica actual del suelo a evaluar en todos los casos.

III. MEJORAMIENTO GENÉTICO

3.1. Tolerancia al estrés abiótico de las plantas

Los impactos inducidos por el cambio climático, principalmente las fluctuaciones ambientales erráticas, han generado como resultado un suceso sin precedentes de estrés, tanto a nivel abiótico (salinidad, sequía, etc.) como nivel biótico (plagas y patógenos) en las plantas de cultivo (Batley y Edwards, 2016). Las plantas han desarrollado mecanismos de resistencia inmensamente avanzados, tales como, la reprogramación fisiológica, bioquímica y molecular, para adaptarse a los cambios climáticos incitados por factores de estrés abiótico (Ferguson, 2019). El potencial de rendimiento genético de las plantas de cultivo con tolerancia al estrés abiótico y biótico, presenta un incremento significativo gracias al fitomejoramiento (Tester y Langridge, 2010; Cobos *et al.*, 2020). Debido a que los métodos de reproducción tradicionales demandan mucho tiempo y son exhaustivos, los enfoques biotecnológicos han mostrado ser propicios en el desarrollo de cultivos para la tolerancia de estrés abiótico y biótico (Varshney *et al.*, 2011).

La salinidad es un estrés que afecta a las plantas en el desarrollo y la productividad debido al gran número de modificaciones morfológicas, fisiológicas, bioquímicas y moleculares (Suprasanna *et al.* 2018). El estrés a nivel molecular afecta a los reguladores maestros estructurales, regulatorios y otros (Zhu, 2016; Patel *et al.*, 2019a). En diversos sistemas vegetales se ha observado las reacciones incitadas por el estrés en la recepción de señales, homeostasis iónica y osmótica, señalización hormonal y el sistema de captación de especies reactivas de oxígeno (ROS). En las últimas décadas, se ha evidenciado un gran interés en hallar genes candidatos y loci de rasgos cuantitativos para los rasgos esenciales que dirigen las reacciones de las plantas respecto al estrés abiótico (Krasensky y Jonak 2012). Los estudios genómicos, proteómicos y metabolómicos han arrojado cierta información sobre cómo las plantas responden al estrés por salinidad (Haak *et al.*, 2017).

Diversos genes están incluidos en la percepción y señalización del estrés, cooperando a señales moleculares, bioquímicas, celulares, fisiológicas y morfológicas que finalizan en la tolerancia de toda la planta (Munns y Tester, 2008; Suprasanna y Ghag, 2019). Referente al nivel celular, la concentración del estrés se hace evidente por diversas conductas celulares como el cloroplasto, la mitocondria, el núcleo y la membrana celular, y es fascinante analizar y comprender una imagen integrada de todas las vías de señalización y las expresiones génicas incitadas por el estrés para restaurar y conservar todas las actividades celulares (Zhu, 2016). Gracias a los enfoques de genómica, proteómica y metabolómica se ha logrado comprender la tolerancia de las plantas respecto al estrés abiótico. Actualmente, existe una variabilidad de opciones accesibles para diseñar rasgos de tolerancia en plantas de cultivo bajo una condición de estrés dada. Aunque, la mayoría de los análisis se han enfocado en probar y evaluar el rendimiento de la

planta en condiciones de invernadero, lo que demanda la configuración experimental que imite las condiciones del campo natural (Atkinson y Urwin 2012).

3.2. Variabilidad genética y tolerancia a la salinidad

La variedad genética del arroz presenta una variabilidad natural para soportar la salinidad. En un experimento realizado por el Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI), el cual se basó en la selección a gran escala de genotipos de arroz, dio como resultado que alrededor del 17% de total de 1,38,000 genotipos tienen niveles moderados respecto a la tolerancia a la sal EC 10 dsm) en la etapa de plántula (De Datta et al. 1993). El conocimiento básico de la genética, las interrelaciones entre los varietales y la variedad fenotípica para la tolerancia a la salinidad, es esencial para la bioprospección de genes y la extracción de alelos beneficiosos. Hasta ahora, no hay ningún estudio sistemático para contrastar la variabilidad genética del arroz con esta tolerancia (Mohammadi *et al.*, 2010).

Hasta la década de 1970, se sabía poco acerca de la herencia de la tolerancia a la salinidad en el arroz, hecho que cambió con los aportes de Akbar y Yabuno (1977; Reyes *et al.*, 2020) cuando informaron que la esterilidad de las panículas bajo estrés salino era un rasgo predominante regido por un número reducido de genes.

Anteriormente, se evidenció una sobre dominancia de la tolerancia respecto a la sal en cruces entre variedades sensibles y tolerantes, acompañada de dominancia y un nivel considerable de variación aditiva fija (Moeljopawiro e Ikehashi 1981). De acuerdo con estudios genéticos posteriores señalaron que la tolerancia a la sal en las plantas de arroz era un rasgo complicado bajo control poligénico (Flowers, 2004) con afectaciones ambientales y reducida herabilidad (Gregorio y Senadhira, 1993). Aunque, en cruces moderadamente tolerantes y sensibles, se evidenció un modelo duplicado de epistasis (Ray e Islam, 2008). Los impactos genéticos de los rasgos tolerantes son complejos de establecer y cuantificar debido a que los métodos de rastreo de la tolerancia fueron distintos en cada etapa de crecimiento y escasamente hay relación entre las expresiones de tolerancia fenológica.

Varios investigadores han estudiado los componentes genéticos en diversos rasgos, principalmente en la compensación de Na^+ / K^+ y han evidenciado efectos y sobre dominio de genes aditivos y dominantes (Gregorio y Senadhira, 1993; Ray e Islam, 2008). El rendimiento agronómico en circunstancias de salinidad demostró predominancia de la acción genética dominante para los elementos del rendimiento y la acción genética aditiva para los rasgos morfológicos (Kalaiyarasi *et al.*, 2002; Sankar *et al.*, 2008). Un estudio genético de los nuevos modelos mixtos (Wang *et al.*, 2010) acerca de la germinación de semillas bajo salinidad, mostró un dominio poligénico de los rasgos elementos con predominancia de dos a tres genes esenciales que evidencian una gran heredabilidad y conforman del 12,5 al 99,0% de la variación fenotípica total. Se adaptó un modelo genético particular para cada

rasgo, que evidenció el dominio de dos genes primordiales en la tasa de imbibición, dos genes esenciales en índices de germinación y vigor, tres genes principales en tasa de germinación y dos genes predominantes o dos genes principales en la longitud del tallo y la raíz. Asimismo, se han mostrado efectos dominantes significativos y carencia de epistasis para los rasgos tolerantes a la sal, lo que insinúa la probabilidad de desarrollo de arroz híbrido en condiciones salinas (Ray e Islam, 2008) y la utilización de métodos modificados de descendencia de semillas básicas y a granel con selecciones de generaciones posteriores que usan poblaciones más extensas como tácticas de reproducción. (Gregorio y Senadhira, 1993).

3.3. Tolerancia a la sal inducida por la bioingeniería

La resistencia de los cultivos respecto al estrés ambiental, particularmente en el caso de salinidad, pueden mejorar debido a los numerosos aportes y herramientas otorgados por la ingeniería genética vegetal y la secuenciación de siguiente generación. Estos enfoques se han ejecutado con éxito para elaborar plantas de arroz tolerantes a la sal por medio de la incorporación de nuevos genes relacionados con un extenso espectro de procedimientos fisiológicos y moleculares, inclusive proteínas involucradas en la excepción de Na, homeostasis iónica (relación Na^+ / K^+), osmoprotectores y otros genes vinculados con el estrés (Islam, 2018).

Se han encontrado diversas proteínas transportadoras, las cuales colaboran en la expulsión o descarga de Na^+ de las raíces o haces vasculares con el fin de cuidar a las hojas de los efectos dañinos de la toxicidad del Na^+ bajo condiciones de estrés salino. Se presentó una mayor resistencia a la salinidad en las plantas transgénicas que sobre expresan un transportador de magnesio (OsMGT1), al intervenir la actividad de OsHKT1; 5, implicado en la expulsión de xilema Na^+ en las raíces. Esto induce la reducción de la concentración de Na^+ en los brotes y eventualmente coopera a una mayor tolerancia respecto a la sal en las plantas de arroz Asimismo, un transportador de potasio OsHAK1, es primordial para sustentar el crecimiento y desarrollo mediado por K^+ de las plantas de arroz bajo condiciones de estrés salino (Chen *et al.*, 2015a, b). La variación de OsHAK21 en plantas de arroz moduló la asimilación de Na^+ a la vez que la homeostasis de Na^+ / K^+ se minimizó, lo que generó hipersensibilidad a la sal. La concentración de K^+ incrementó en un mutante de arroz, en las plantas OsHAK21. Esto evidencia que OsHAK21 media las reacciones al estrés salino incrementando la concentración de K^+ y sustentando niveles óptimos de homeostasis de Na^+ / K^+ (Shen *et al.*, 2015). La proteína OsHKT1; 4, transportadora de arroz, es un transportador selectivo de Na^+ , que maneja la captación de Na^+ a lo largo de la fase de crecimiento reproductivo. Esta proteína cumple un papel esencial en la limitación de la concentración de Na^+ en las partes aéreas, principalmente, en las láminas de las hojas en el estrés por sal a lo largo de la etapa de crecimiento reproductivo (Suzuki *et al.*, 2016). La función

de la proteína OsHKT1; 1 también es regular la tolerancia de la sal en el arroz. El resultado del estudio de la savia del floema mostró una concentración mínima de Na⁺ en el mutante en contraste con WT, lo que indica que OsHKT1; 1 funciona para descartar la acumulación de Na⁺ de la savia del xilema (Wang *et al.*, 2015).

Las redes transcripcionales complejas bajo estrés salino en plantas de arroz han sido explicadas en diversos estudios. El entendimiento de los factores de transcripción (TF) y sus genes mediadores podría ser utilizado para dirigir la expresión genética de elementos esenciales en vías acondicionadas por estrés, que podrían optimizar la subsistencia de las plantas bajo estrés salino. Almeida *et al.* (2017) comprobaron que la expresión de OsNHX1 en el arroz es controlada por cinco TF. En cultivares de arroz experimentales estos TF pueden ejercerse como accionadores o restrictivos transcripcionales de OsNHX1. Asimismo, la tolerancia a la sal en la variedad de arroz es optimizada por la sobreexpresión de NAC1 sensible al estrés (SNAC1) de acuerdo a BRRIdhan 55 (Parvin *et al.*, 2015). De la misma manera, otro integrante de la familia NAC, OsNAC2 presentó características de tolerancia a la sal al momento que se sobre expresa en el arroz. Los estudios demostraron que varios genes relacionados con las vías del ácido abscísico (ABA), como LEA3, algunas GTPasas (RAB21, RAB16C, RAB16D) y genes de proteína quinasa SnRK2 (SAPK1 y SAPK10), eran moderados positivamente de manera relevante en plantas sobre expresadas, lo que manifestó una probable correlación entre OsNAC2 y la vía de señalización de estrés dependiente de ABA (Shen *et al.*, 2017). En cuanto al arroz transgénico, también mejoró su tolerancia a la sal debido a la sobre expresión de OsMYB48-1. Se evidenció que la expresión de la biosíntesis de ABA, la señalización temprana y los genes de respuesta tardía en plantas transgénicas podrían ser reguladas por OsMYB48-1, lo que indica que los TF correlacionados con MYB podrían controlar la expresión de la vía de síntesis de ABA incitada por estrés salino (Xiong *et al.*, 2014).

Uno de los tipos de TF, bZIP, también está relacionada en la vía de señalización ABA en condiciones de estrés abiótico en plantas. Se mostró que la sobreexpresión de OsbZIP71 optimiza inmensamente la tolerancia a la sal en las plantas de arroz. Distintos genes susceptibles al estrés, tales como OsVHA-B, OsNHX1, COR413-TM1 y OsMyb4 no estaban moderados mientras que OsbZIP71 estaba regulado positivamente en plantas sobre expresadas. Asimismo, se determinó que OsbZIP71 cumple un papel predominante en la tolerancia a la sal regulada por ABA en el arroz (Liu *et al.*, 2014). En las semillas y hojas de plantas de arroz se presentó un incremento endógeno de ABA bajo condiciones de salinidad, lo cual indica que la vía de transducción de señalización dependiente de ABA es esencial para optimizar la tolerancia a la sal. Aunque, la función de ABA en el estrés de sal continua sin estar aclarado (Zhu *et al.*, 2015). Se ha concentrado una inmensa cantidad de conocimiento respecto a los FT que enfatiza su acción en respuesta a la sal y demás tensiones bióticas y abióticas en las plantas de arroz. Se ha encontrado varios TF prometedores en arroz, pero la redundancia funcional entre

diversos TF dificulta definir la función de la señal TF. Asimismo, cabe destacar que los TF no solo trabajan de forma independiente, sino que también se relacionan con otros TF y regulan el desempeño de los genes, lo que sugiere que los TF se ajustan al complejo proceso regulador para optimizar las reacciones al estrés en las plantas. Sin embargo, hay una necesidad de entender el mecanismo regulador involucrado, lo que permitirá la personificación de nuevos TF con el objetivo de mejorar el desarrollo de los cultivos de arroz tolerantes a la sal (Wang *et al.*, 2017b).

Con el objetivo de incitar tolerancia al estrés por la sal en las plantas de arroz, varios investigadores han insertado genes particulares para optimizar la resistencia a la sal. En el caso, Tripathy *et al.* (2017) añadieron PgRab7 de *Pennisetum glaucum*, en plantas de arroz para comprobar su función bajo condiciones de estrés salino. Se evidencia una expresión alterada de varios genes transportadores, tales como, OsNHX1, OsNHX2, OsSOS1, OsVHA y OsGLR en las plantas transgénicas los que podrían haber cumplido una función predominante en la disminución de la asimilación de Na⁺ (Tripathy *et al.*, 2017). De manera similar, la transmutación del gen BrCIPK1 de *Brassica rapa* en arroz ha mostrado estar relacionada en la adaptación al estrés salino mediante la activación del gen P5CS1, optimizando la elaboración de prolina bajo salinidad (Abdula *et al.*, 2016). Un gen PgGPx de *P. glaucum* al modular la vía de biosíntesis de prolina optimiza la subsistencia de las plantas de arroz bajo condiciones de salinidad (Islam *et al.*, 2015a, b).

Las plantas de arroz presentaron una marcada tolerancia a la salinidad debido a la introducción de ciertas proteínas. La transmutación del gen regulador de *Cajanus cajan* (CcCCR) demostró una mejoría respecto al crecimiento y desarrollo de plantas transgénicas en condiciones de salinidad. La sobre expresión de la proteína Psp68 del guisante (*Pisum sativum*) se relaciona con diversas proteínas, tales como la fosfatasa 2C, receptores ricos en leucina como quinasa, calmodulina y argonauta. Se presentó que la proteína Psp68 regula el enlace de Ca₂⁺ / CaM, lo que provoca la activación de diversos TF y la red de protección antioxidante, mejorando la tolerancia contra el estrés por salinidad (Banu *et al.*, 2015). Una de las consecuencias de la salinidad en las plantas de arroz es la elaboración de ROS

Varios estudios han confirmado el importante papel de diversas proteínas relacionadas con el estrés para la eliminación de ROS en las plantas de arroz y han indicado que la modulación de la homeostasis de ROS podría determinarse como una táctica potencial para optimizar la tolerancia a la sal por medio de la integración del desarrollo y la fisiología e la planta con síntomas las ambientales (Cabello *et al.*, 2014). La sobre expresión de eventos de señalización incitados por RGG1 da tolerancia respecto a el estrés por sal al activar la expresión de enzimas implicadas en la desintoxicación de ROS. El RGG1 también se correlaciona con la Ca-ATPasa (PMCA) de la membrana plasmática, las proteínas quinasas dependientes de calcio / calmodulina (CDPK), el cyt-P450, es la proteína que tiene una función semejante a la rodanasa, la peptidilprolil isomerasa (PPI) y la gliceraldehído 3-fosfato deshidrogenasa. Lo que indica que el RGG1 se relaciona con diversas proteínas

que presentan características bioquímicas y posibilitaría mediar diversos procedimientos celulares y fisiológicas, lo cual podría dirigir a la adaptación al estrés salino del arroz transgénico (Swain *et al.*, 2017).

Para contrarrestar el estrés oxidativo inducido por la sal, las plantas utilizan sistemas antioxidantes complejos. Diversas publicaciones en relación a la sobre expresión / eliminación de genes asociados con la defensa antioxidante, desecharon el papel de la elaboración de ROS bajo condiciones de salinidad y su probable descarte por medio de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, indican que la desintoxicación del estrés oxidativo incitado por la sal y el mantenimiento de la homeostasis redox es también un factor predominante, aspecto crítico de habituación al estrés salino en las plantas, incluido el arroz. Para la eliminación del estrés oxidativo incitado por la sal es predominante las actividades de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, que colabora al ajuste redox que permite que las plantas incrementen su tolerancia a diversos estreses ambientales, incluida la salinidad. El incremento de la susceptibilidad al estrés salino en las plantas de arroz está relacionado con la caída de POD citosólico (Cunha *et al.*, 2016) y GR 3 (Wu *et al.*, 2015), en cambio, la sobre expresión de DHAR (Kim *et al.*, 2014), el glutatión sintetasa (Park *et al.*, 2017) y otras enzimas antioxidantes aportan tolerancia a la salinidad en el arroz transgénico a causa de la optimización en el balance redox celular, lo que comprueba que la adhesión de genes y proteínas de desintoxicación de ROS, lograría ser una táctica para dirigir el genoma de la planta para optimizar la productividad del arroz bajo condiciones de estrés por sal.

Aunque hay una gran cantidad de investigaciones exitosas respecto al mejoramiento de la tolerancia al estrés salino en plantas transgénicas, aún existen varios problemas que requieren solución. Muchos de los análisis transgénicos que adjuntan genes nuevos se enfocan en el desarrollo y la resistencia de las plantas en una etapa y un estrés en particular, mas no en toda la fase. Generalmente, los experimentos transgénicos se realizan bajo condiciones controladas o en laboratorios. De acuerdo con los estudios, se ha validado que la expresión de ciertos genes puede colaborar a incrementar la resistencia a la salinidad, pero no se presenta información detallada acerca de los efectos perjudiciales en el crecimiento de las plantas, tales como el enanismo, floración tardía y reducción del rendimiento. En conclusión, el mecanismo regulador completo del gen inoculado, así como sus interrelaciones con otros genes por su sobreexpresión / eliminación, aun es en gran parte desconocido. El conocimiento de todos estos mecanismos es esencial para medir la productividad de las plantas transgénicas para desarrollar cultivos de arroz tolerantes a la sal (Islam, 2018).

3.4. Selección de líneas avanzadas de arroz (*Oryza Sp.*) como alternativa para el manejo de suelos degradados por salinidad

El perfeccionamiento genético es una herramienta que colabora en el desarrollo de variedades resistentes a la sal, las cuales pueden ser cultivadas en sitios degradados por salinidad. Entre todos los métodos de optimización viables, resaltan las cruces amplias o cruces interespecíficas con parientes silvestres resistentes a la salinidad (Arzate *et al.*, 2008; Cobos *et al.*, 2020). Estas variabilidades son fenotípicamente subalternas al arroz cultivado. Aunque, hay precedentes de segregación transgresiva para la productividad en los cruces entre especies silvestres y cultivadas, incluso fenotipos inferiores, presuntamente tienen genes que pueden optimizar caracteres cuantitativos, en relación con el rendimiento (Sánchez, 2013).

Referente a lo indicado la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo elabora un programa de mejoramiento genético de arroz en el que se han producido distintas líneas avanzadas con buenas características agronómicas y productivas, originadas a partir de cruces interespecíficos entre *Oryza rufipogon* G. (nombre local Puyón) x *Oryza sativa* L. ssp. japónica y cruces entre líneas tipo japónica que son analizadas tomando en cuenta los factores que restringen su productividad. Con este enfoque y las consideraciones anteriores, se elaboró una investigación para determinar genotipos con resistencia a salinidad a fin de ayudar a la productividad y desarrollo del sector agrícola de la región y del país.

El proyecto se realizó en dos zonas, la fase de invernadero fue desarrollada en los predios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo. La fase de campo, se efectuó en el cantón San Jacinto de Yaguachi. La zona cuenta con un clima tropical húmedo, con una temperatura que oscila entre los 24 y 26 °C, humedad relativa de 88%, precipitación promedio anual de 1262 mm, con altura de 8 msnm y 990 horas de heliofanía de promedio anual. (INAHMI, 2019).

En la etapa de invernadero se hizo uso de un total de 30 genotipos: 12 líneas de arroz F₅ mejoradas provenientes de cruces interespecíficos entre *Oryza rufipogon* G. x *Oryza sativa* L. ssp. rosal japonés; 12 líneas F₅ avanzadas producidas de cruces entre tipo japonés; cinco líneas parentales; y la variedad comercial SFL-011 (Comercial), empleada como control (Cuadro 11).

Cuadro 11. Genotipos de arroz F₅ sometidos a salinidad en condiciones de invernadero.

Líneas	F ₅ Genotipos	Descripción
1	Puyón/JP002 P8-324816	Cruces interespecíficos

Líneas	F ₅ Genotipos	Descripción
2	Puyón/JP002 P8-3210919	Cruces interespecíficos
3	Puyón/JP002 P8-32816	Cruces interespecíficos
4	Puyón/JP002 P8-305511	Cruces interespecíficos
5	Puyón/JP002 P8-289311	Cruces interespecíficos
6	Puyón/JP002 P8-30552	Cruces interespecíficos
7	Puyón/JP002 P8-29669	Cruces interespecíficos
8	Puyón/JP002 P8-323523	Cruces interespecíficos
9	Puyón/JP002 P8-294930	Cruces interespecíficos
10	Puyón/JP002 P8-295616	Cruces interespecíficos
11	Puyón/JP003 P11-103115	Cruces interespecíficos
12	Puyón/JP003 P11-106716	Cruces interespecíficos
13	JP001/JP003 P1 * 11P 1233	Cruces entre tipo Japónica
14	JP001/JP003 P1 * 11P 413	Cruces entre tipo Japónica
15	JP001/JP003 P 9 # 15P 732	Cruces entre tipo Japónica
16	JP001/JP003 P 9 # 15P 629	Cruces entre tipo Japónica
17	JP001/JP003 P 3 # 13P 4230	Cruces entre tipo Japónica
18	JP002/JP001 P * P 5P 1322	Cruces entre tipo Japónica
19	JP002/JP001 P * P 5P 3621	Cruces entre tipo Japónica
20	JP003/JP001 P 1 # P 1P 168	Cruces entre tipo Japónica
21	JP003/JP001 P 1 # P 1P 1530	Cruces entre tipo Japónica
22	JP003/JP001 P * 2 # 3P 2119	Cruces entre tipo Japónica
23	DH/JP003 P 1 # 25P 1433	Cruces entre tipo Japónica
24	DH/JP003 P2 # 40P 425	Cruces entre tipo Japónica
25	JP001	Línea parental
26	JP002	Línea parental
27	JP003	Línea parental
28	Puyón	Línea parental
29	DH	Línea parental
30	SFL-011	Cultivar comercial (control)

En la fase de campo, se usaron líneas avanzadas de arroz F₆ selectas por su resistencia a la salinidad y mejor adaptación en circunstancias de invernadero.

Las líneas de arroz F₆ mejoradas fueron: Cuatro líneas procedentes de los cruces de *Oryza rufipogon* G. x *Oryza sativa* L. ssp. japónica: Puyón / JP003 P11-106716, Puyón / JP002 P8-30552, Puyón / JP003 P11-103115 y Puyón / JP002 P8-294930; dos líneas japónicas: JP002 / JP001 P * P 5P 1322 y JP001 / JP003 P1 * 11P 413; cuatro líneas parentales: JP001, JP002, JP003 y Puyón; y dos variedades comerciales: SFL-011 y Arenillas (Cuadro 12).

Cuadro 12. Genotipos de arroz F₆ sometidos a salinidad en condiciones de campo.

Líneas	F ₆ Genotipos	Descripción
1	Puyón/JP002 P8-30552	Cruces interespecíficos
2	Puyón/JP002 P8-294930	Cruces interespecíficos
3	Puyón/JP003 P11-106716	Cruces interespecíficos
4	Puyón/JP003 P11-103115	Cruces interespecíficos
5	JP001/JP003 P1 * 11P 413	Cruces entre tipo Japónica
6	JP002/JP001 P * P 5P 1322	Cruces entre tipo Japónica
7	JP001	Línea parental
8	JP002	Línea parental
9	JP003	Línea parental
10	Puyón	Línea parental
11	SFL-011	Cultivar comercial (control)
12	Arenillas	Cultivar comercial (control)

Para elegir y caracterizar líneas avanzadas de arroz F₅ en condiciones de invernadero con salinidad, el experimento se instauró en un diseño netamente al azar con diseño factorial 30 x 2 (A x B) y seis repeticiones. El factor A concernió a los 30 genotipos de arroz (24 líneas de arroz F₅, 5 líneas parentales y una variedad comercial SFL-011 (Comercial); y factor B correspondió a los tratamientos de salinidad: control 0.2 dS / m (agua normal) y 7.0 dS / m (grado de salinidad adaptado con cloruro de sodio - NaCl). La unidad experimental se basó en una caja con 6 plantas.

En la segunda etapa, para escoger y caracterizar líneas avanzadas de arroz F₆ bajo condiciones de campo perjudicados por estrés salino, el experimento se llevó a cabo con 12 tratamientos (genotipos) y 3 repeticiones bajo un Diseño de Bloques Completamente Aleatorio. A fin de determinar la desigualdad estadística entre las medidas de los tratamientos cada una de las variables fueron sujetas al análisis de varianza y a la prueba de Tukey al 95%. Además, se efectuaron análisis de componentes principales, análisis de conglomerados y variabilidad relativa (%).

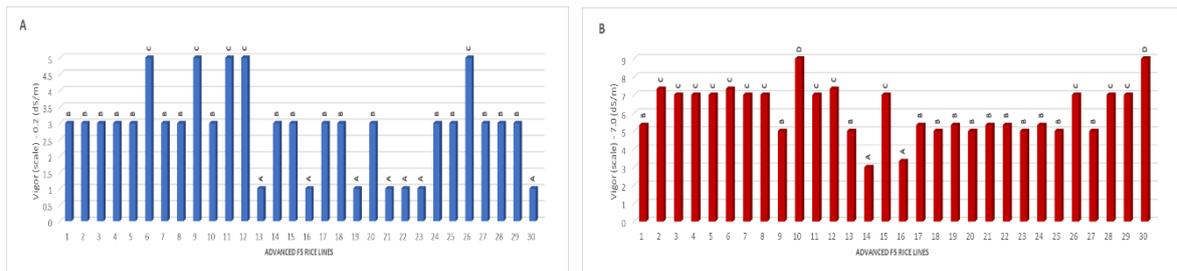
3.4.1. Selección y caracterización de líneas avanzadas de arroz F₅ bajo invernadero en condiciones de salinidad

En las ilustraciones 14-18 se muestra los resultados del comportamiento agronómico de líneas avanzadas de arroz F₅ bajo condiciones de invernadero.

Respecto a la variable vigor con grado de salinidad de 0.2 dS / m (control), el cultivar comercial SFL011 (No. 30) y las líneas F₅ No. 13: JP001 / JP003 P1 * 11P 1233, No. 16: JP001 / JP003 P 9 # 15P 629, No. 19: JP002 / JP001 P * P 5P 3621, No. 21: JP003 / JP001 P 1 # P 1P 1530, No. 22: JP003 / JP001 P * 2 # 3P 2119, y No.

23: DH / JP003 P 1 # 25P 1433 presentó el puntaje más alto de 1.0 siendo las más vigorosas y estadísticamente ($p < 0.0001$) superiores en comparación al resto de las otras líneas de arroz (Ilustración 14, A). Menor grado de salinidad de 7.0 dS / m, las líneas No. 14: JP001 / JP003 P1 * 11P 413 y No. 16: JP001 / JP003 P 9 # 15P 629 obtuvieron un promedio de 3.0, convirtiéndolas en las líneas de mejor vigor y estadísticamente sobresalientes ($p < 0,0001$) en contraste al resto de las otras líneas de arroz (Ilustración 14, B).

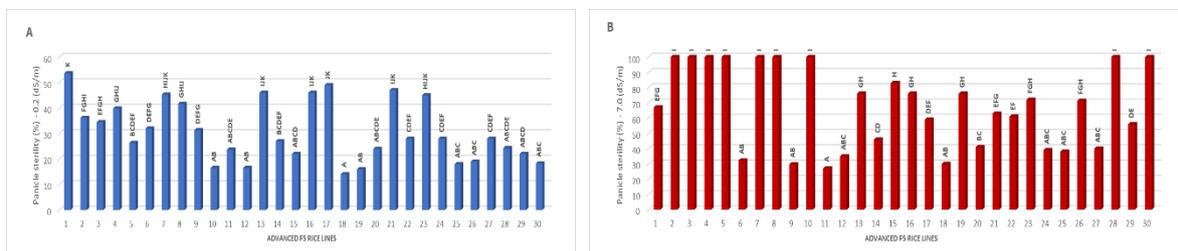
Ilustración 14. Variación del vigor en las plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 0,2 dS / m (control) (A) y 7,0 dS / m (B).



En cuanto a la variable esterilidad de la panícula, se evidenció que el grado de salinidad 0.2 dS / m (control), en relación con la línea No. 18: JP002 / JP001 P * P 5P 1322 fue la que mostró el grado más bajo de esterilidad ($p < 0,0001$) equivalente al 14,0%. Las demás líneas manifestaron promedios de esterilidad entre intermedia a alta (Ilustración 15, A), con salinidad de 7.0 dS / m, la línea No. 11: Puyón / JP003 P11-103115 presentó el porcentaje más bajo de esterilidad con un promedio de 27.0% y fue estadísticamente inferior ($p < 0.0001$) en comparación a las otras líneas de arroz (Ilustración 15, B).

Ilustración 15. Variación en la esterilidad de panículas en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 0.2 dS / m (control) (A) y 7.0 dS / m (B).

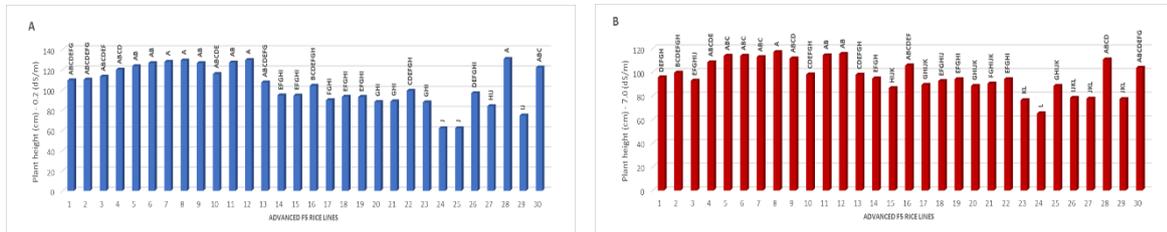
Ilustración 15. Variación en la esterilidad de panículas en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 0.2 dS / m (control) (A) y 7.0 dS / m (B).



En cuanto a la altura de la planta con grado de salinidad de 0.2 dS / m (control), la línea parental Puyón (No. 28), las líneas No. 12: Puyón / JP003 P11106716, No. 8: Puyón / JP002 P8-323523 y No. 7: Puyón / JP002 P8-29669, mostró superior altura con valores de 130.5, 129.3, 129.0 y 127.7 cm; correspondientemente, siendo estadísticamente superiores ($p < 0,0001$) respecto al resto de los genotipos (Ilustración 16, A). Con de salinidad de 7.0 dS / m, la línea No. 8: Puyón / JP002

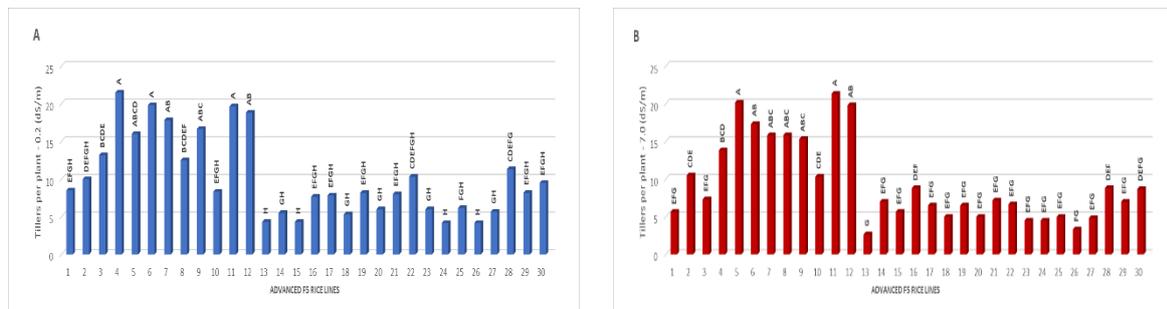
P8-323523 manifestó la mayor altura de planta con un valor de 116.8 cm y fue estadísticamente superior ($p < 0.0001$) en comparación al resto de las líneas de arroz (Ilustración 16, B).

Ilustración 16. Variación de la altura en plantas de arroz F_5 sujetas a nivel de salinidad 0,2 dS / m (control) (A) y 7,0 dS / m (B).



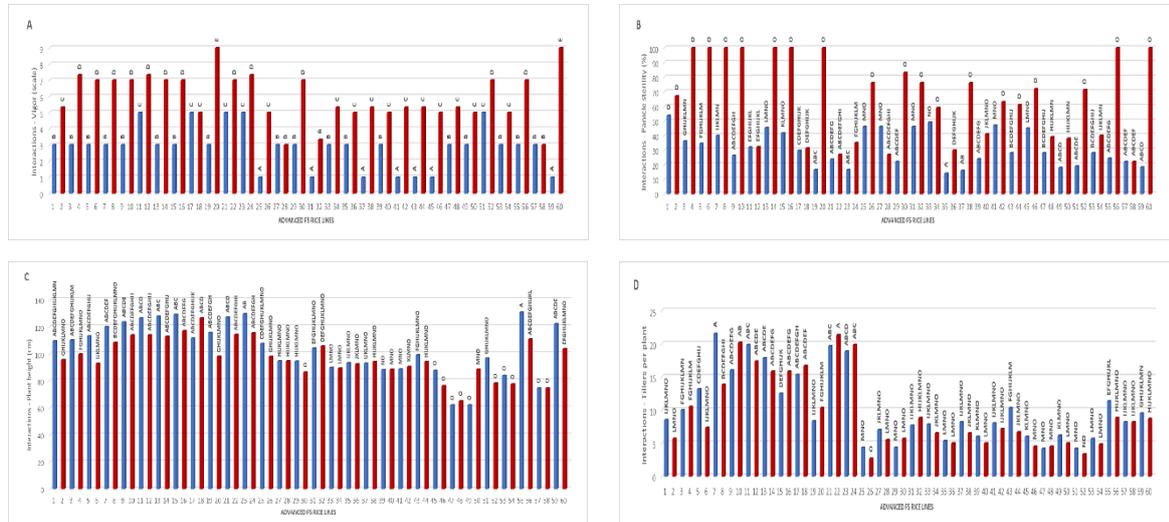
En consideración al número de macollos por planta, con grado de salinidad de 0.2 dS / m (control), en las líneas No. 4: Puyón / JP002 P8-305511, No. 6: Puyón / JP002 P830552 y No. 11: Puyón / JP003 P11-103115, presentó el mejor número de macollos con valores medios de 21,5, 19,8 y 19,7; correspondientemente, ubicándose superiores estadísticamente ($p < 0,0001$) al resto de líneas de arroz (Ilustración 17, A). Con grado de salinidad de 7.0 dS / m, el No. 11: Puyón / JP003 P11-103115 y el No. 5: Puyón / JP002 P8-289311 fueron las líneas con mejor número de macollos, con los valores de 21.3 y 20.2; respectivamente, y estadísticamente superior ($p < 0,0001$) en comparación a otros genotipos de arroz (Ilustración 17, B).

Ilustración 17. Variación del número de macollos por planta en plantas de arroz F_5 sujetas a nivel de salinidad 0.2 dS / m (control) (A) y 7.0 dS / m (B).



El estudio sobre la interrelación entre el comportamiento agronómico y la condición de salinidad presentó para Vigor, el control (0.2 dS / m) con un valor de 2.9 siendo estadísticamente superior ($p < 0.0001$) en contraste con el tratamiento con solución salina (7.0 dS / m) el cual produjo una puntuación promedio de 6.0, lo que establece que las plantas son menos vigorosas de lo normal. Con tratamiento de 0.2 dS / m (control), variedad comercial SFL-011 y líneas No. 13: JP001 / JP003 P1 * 11P 1233, No. 16: JP001 / JP003 P 9 # 15P 629, No. 19: JP002 / JP001 P * P 5P 3621, No. 21: JP003 / JP001 P 1 # P 1P 1530, No. 22: JP003 / JP001 P * 2 # 3P 2119 y No. 23: DH / JP003 P 1 # 25P 1433 no difirió estadísticamente de entre sí y son mejores ($p < 0,0001$) en comparación al resto de las otras líneas (Ilustración 18, A).

Ilustración 18. Interacción para Vigor (A), esterilidad de panícula (%) (B), altura de la planta (C) y número de macollos (D) de plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad (0.2 dS / m) y 7.0 dS / m.



Referente a la esterilidad de la panícula (%), el control (0,2 dS / m) con un porcentaje de 30,6% se mostró estadísticamente superior ($p < 0,0001$) en contraste al tratamiento con solución salina (7,0 dS / m) que manifiesta mayor esterilidad con un promedio de 67,3%. En interrelaciones, la línea No. 18: JP002 / JP001 P * P 5P 1322 línea, con el grado de control (0.2 dS / m) presentó un valor de 14.0% de esterilidad, el cual es estadísticamente superior ($p < 0.0001$) al resto de las interacciones (Ilustración 18, B).

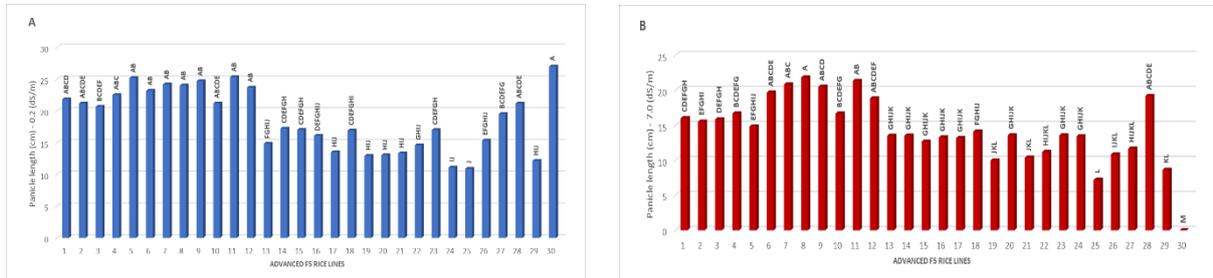
Con respecto a la altura de la planta, el control (0.2 dS / m) obtuvo un puntaje de 104.2 cm siendo estadísticamente ($p < 0.0001$) mayor que el tratamiento con solución salina (7.0 dS / m). En cuanto a la interacción, la línea Puyón Parental con grado de control (0.2 dS / m) mostró un valor de 130.5 cm y fue estadísticamente ($p < 0.0001$) mayor en comparación con las demás interacciones Ilustración 18, C).

En cuanto el número de macollos por planta, el grado de salinidad de 0.2 dS / m presentó un valor de 10.2 siendo estadísticamente superior ($p = 0.007$) que el tratamiento salino de 7.0 dS / m que obtuvo 9.4 macollos por planta. El estudio de interrelación demostró que las líneas No. 11: Puyón / JP003 P11-103115 con 21.33 y la línea No. 4: Puyón / JP002 P8-305511 con un puntaje de 21.5 eran estadísticamente idénticas superiores ($p = 0.0007$) respecto al resto de las interacciones. La línea No. 13: JP001 / JP003 P1 * 11P 1233 con salinidad de 7.0 dS / m mostró el menor promedio de macollos con 2.7 (Ilustración 18, D).

Con relación a la longitud de la panícula (Ilustración 19, A), la variedad comercial SFL-011 (Comercial) con nivel de salinidad de 0.2 dS / m obtuvo la mejor longitud de 27.0 cm y rebasó estadísticamente ($p < 0.0001$) todos los tratamientos. Con nivel de salinidad de 7.0 dS / m, la línea No. 8: Puyón / JP002 P8-323523 alcanzó la

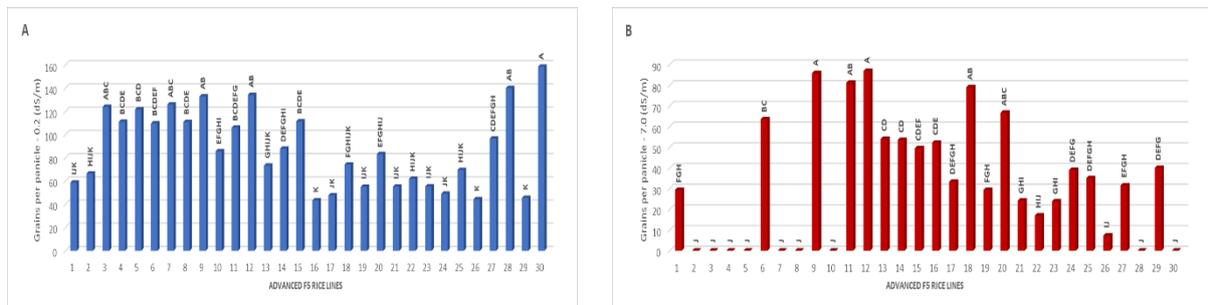
panícula de mayor longitud con un valor de 21.8 cm y fue estadísticamente mejor ($p < 0.0001$) a los demás tratamientos (Ilustración 19, B).

Ilustración 19. Variación de la longitud de la panícula en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 0.2 (A) y 7.0 dS / m (B).



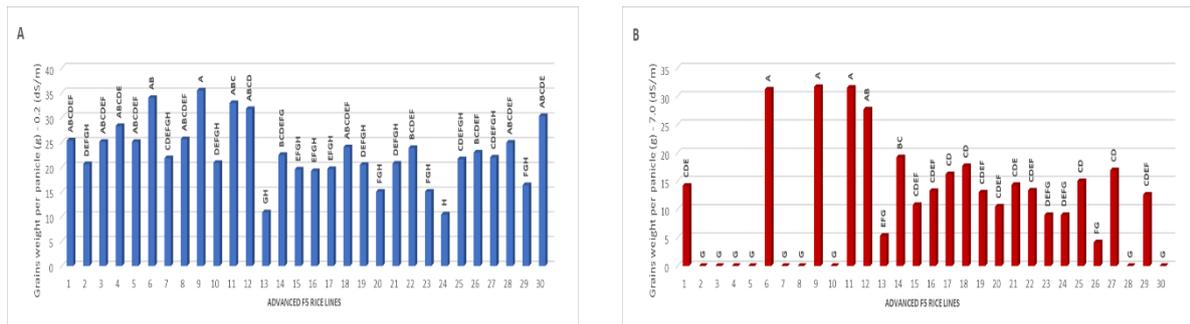
Por lo que concierne a los granos por panícula, la variedad SFL-011 (Comercial) bajo un grado de salinidad de 0.2 dS / m alcanzó el mejor puntaje con 158.5 granos siendo estadísticamente superior ($p < 0.0001$) en comparación al resto de los tratamientos (Ilustración 20, A). Con salinidad de 7.0 dS / m, las líneas No. 12: Puyón / JP003 P11-106716 y No. 9: Puyón / JP002 P8-294930 mostraron el mejor número de granos por panícula con un valor de 86.8 y 85.8, correspondientemente; y son estadísticamente mejores ($p = < 0,0001$) a los demás tratamientos (Ilustración 20, B).

Ilustración 20. Variación de granos por panícula en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 0.2 (A) y 7.0 (B) dS / m.



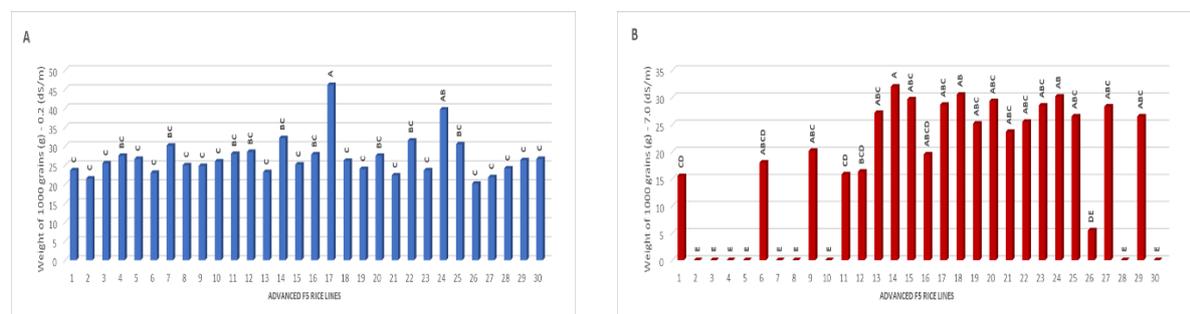
Referente a el peso de grano por panícula (Ilustración 21, A), la línea No. 11: Puyón / JP003 P11-103115 y el cultivar comercial SFL-011 (Comercial) bajo salinidad de 0.2 dS / m obtuvieron el mejor promedio con valores de 30,3 y 29,8 gramos, correspondientemente; y son estadísticamente mejores ($p < 0,0001$) al resto de tratamientos. Para el grado de salinidad de 7.0 dS / m, las líneas No. 12: Puyón / JP003 P11-106716 y No. 9: Puyón / JP002 P8-294930 alcanzaron el mayor peso de grano por panícula con un valor de 12.7 y 12.3 gramos; respectivamente, siendo estadísticamente superiores ($p < 0,0001$) al resto de los tratamientos (Ilustración 21, B).

Ilustración 21. Variación del peso de grano por panícula en plantas de arroz F₅ sujeto a nivel de salinidad 0.2 (A) y 7.0 dS / m (B).



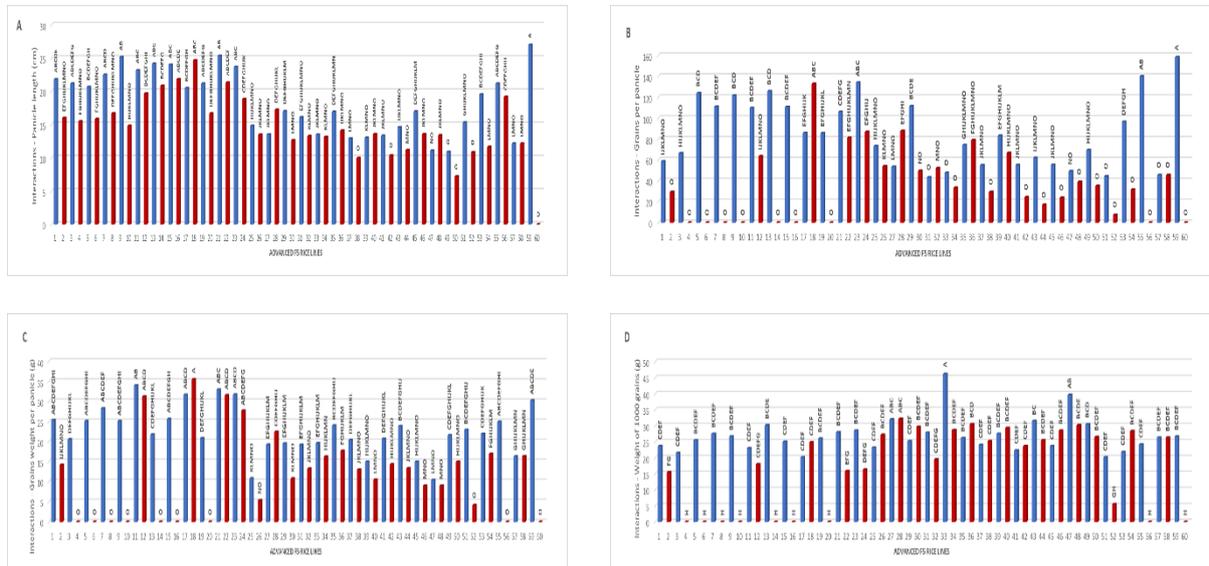
Referente al peso de 1000 granos (Ilustración 22, A), la línea No 17: JP001 / JP003 P 3 # 13P 4230 bajo el grado de salinidad de 0.2 dS / m alcanzó el mejor peso con un valor de 46.2 gramos, siendo estadísticamente superior ($p < 0,0001$) en comparación al resto de tratamientos. Con salinidad de 7.0 dS / m, la línea No. 14: JP001 / JP003 P1 * 11P 413 mostró un peso de 1000 granos con un promedio de 32.0 gramos y fue significativamente distinto ($p < 0.0001$) del resto de tratamientos (Ilustración 22, B).

Ilustración 22. Variación para peso de 1000 granos en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 0.2 (A) y 7.0 dS / m (B).



En cuanto a la interrelación de la longitud de la panícula (Ilustración 23, A) con el grado de salinidad de 0.2 dS / m (control) obtuvo un valor de 18.6 cm siendo estadísticamente mejor ($p < 0.0001$) al tratamiento con solución salina de 7.0 dS / m que presentó un promedio de 14,4 cm. La variedad SFL-011 (Comercial) con un valor de 27.0 cm fue superior ($p < 0.0001$) al resto de interrelaciones con un grado de salinidad de 0.2 dS / m. Aunque, en un grado de salinidad de 7.0 dS / m; el No. 30: SFL-011 (Comercial), las líneas parentales No. 25: JP001 y No. 26: JP002, las líneas No. 19: JP002 / JP001 P * P 5P 3621 y No. 21: JP003 / JP001 P 1 # P 1P 1530 mostró los menores promedios con 0, 7.2, 11.0, 10.0 y 10.4 cm correspondientemente.

Ilustración 23. Interacción para longitud de la panícula (cm) (A), granos por panícula (B), peso de granos por panícula (C) y peso de 1000 granos (D) en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 0.2 (A) y 7.0 dS / m (B)



En consideración a la variable granos por panícula (Ilustración 23, B), el grado de salinidad de 0.2 dS / m (87.9 granos) fue estadísticamente mejor ($p < 0.0001$) en comparación al tratamiento de 7.0 dS / m (32.7 granos). El estudio de interrelaciones evidenció que la variedad SFL011 (Comercial) fue superior ($p < 0.0001$) a las demás interacciones con un grado de salinidad de 0,2 dS / m.

En lo concerniente al peso de grano por panícula (Ilustración 23, C) el tratamiento con 7.0 dS / m presentó un valor de 4.98 gramos que es estadísticamente menor en comparación con el promedio de 13.3 gramos a un nivel de salinidad de 0.2 dS/m. La línea No. 11: Puyón / JP003 P11-103115 con 30.3 gramos y la variedad SFL-011 (Comercial) con un valor de 29.8 gramos, bajo un nivel de salinidad de 0.2 dS / m; fueron estadísticamente parecidas ($p < 0.0001$) pero fueron mejores en comparación a las demás interrelaciones. En cada una de las valoraciones realizadas para esta variable, se observó una reducción de peso a altos grados de salinidad.

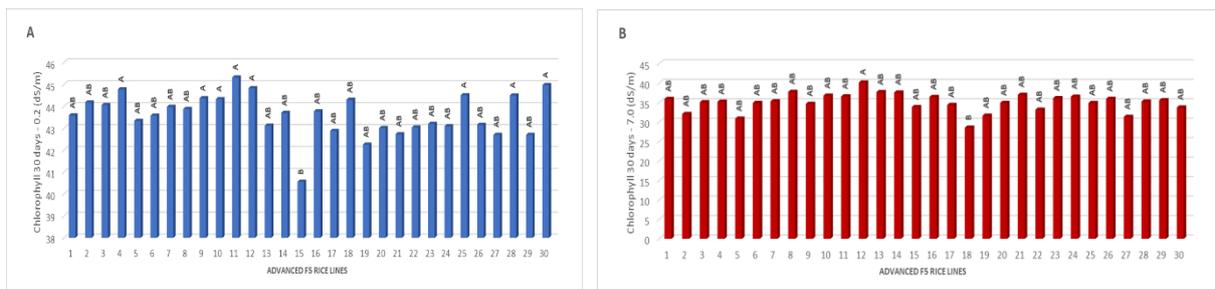
Referente a la variable el peso de 1000 granos (Ilustración 23, D) Bajo un grado de salinidad de 0.2 dS / m se obtuvo un valor de 27.0 gramos, siendo estadísticamente mejor ($p < 0.0001$) en contraste al grado de salinidad de 7.0 dS / m que alcanzó un valor promedio de 16,7 gramos. La línea No. 17: JP001 / JP003 P 3 # 13P 4230 presentó un promedio de 46.2 gramos bajo un nivel de salinidad de 0.2 dS /, siendo superior al resto de interacciones ($p < 0.0001$)

Mientras que las líneas No. 16: JP001 / JP003 P 9 # 15P 629 (27.8 vs.23.2 g), No. 23: DH / JP003 P 1 # 25P 1433 (28.5 vs.23.7 g), No. 15: JP001 / JP003 P 9 # 15P 732 (29,7 frente a 25,2 g), No. 18: JP002 / JP001 P * P 5P 1322 (30,5 frente a 26,2

g), No. 20: JP003 / JP001 P 1 # P 1P 168 (29,3 frente a 27,5 g), con línea parental No. 27: JP003 (28.3 vs.21.8 g) obtuvo un peso mayor de 1000 granos con de salinidad de 7.0 dS / m. En cambio, bajo un grado de salinidad de 0.2 dS / m no se evidencian desigualdades estadísticamente significativas entre los tratamientos.

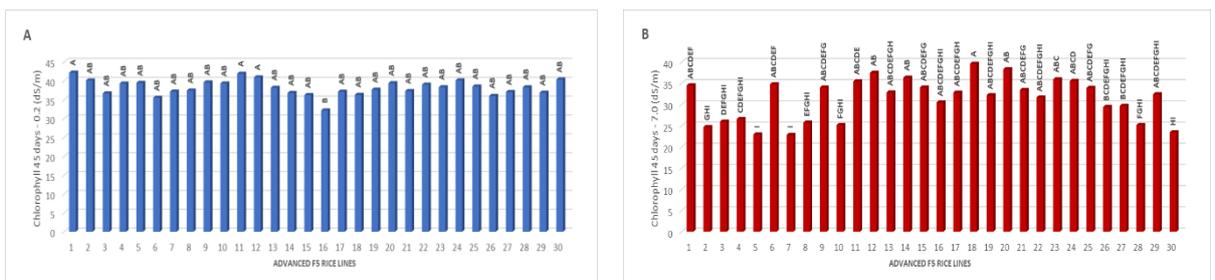
El contenido de clorofila registrado a los 30 días se muestra en la Figura 11. Las líneas No. 11: Puyón / JP003 P11103115, No. 30: SFL-011 (Comercial), No. 12 : Puyón / JP003 P11 -106716, No. 4: Puyón / JP002 P8-305511, No. 25: Parental JP001, No. 28: Parental Puyón, No. 9: Puyón / JP002 P8-294930, y No. 10: Puyón / JP002 P8-295616 obtuvieron el contenido más elevado con valores de 45.3, 45.0, 44.8, 44.8, 44.5, 44.5, 44.4 y 44.3;respectivamente, bajo un nivel de salinidad de 0.2 dS / m, siendo significativamente superior ($p = 0,0083$) al resto de los tratamientos (Ilustración 24, A). En cambio, para el grado de salinidad de 7.0 dS / m, la línea No. 12: Puyón / JP003 P11-106716 mostró el mayor contenido de clorofila con un valor de 40.2 y es notablemente mayor ($p = 0.0208$) que las demás líneas de arroz (Ilustración 24, B).

Ilustración 24. Variación del contenido de clorofila registrada a los 30 días en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 0.2 (A) y 7.0 dS / m (B).



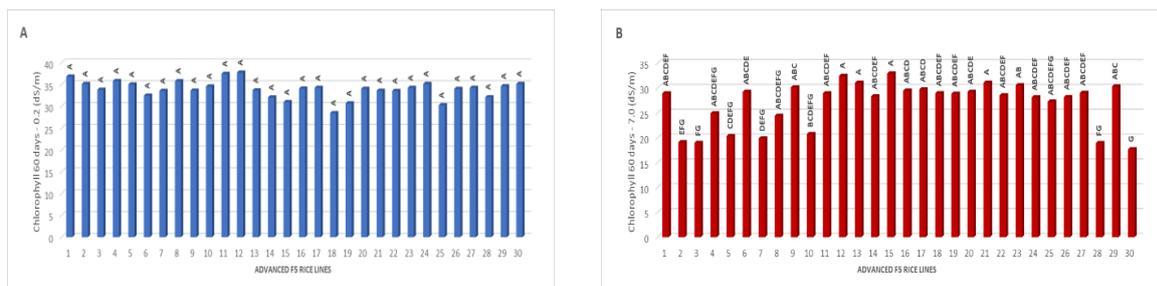
El contenido de clorofila a los 45 días, fue notablemente mayor en la línea No. 3: Puyón / JP002 P8-324816 con un promedio de 42.2 bajo un nivel de salinidad de 0.2 dS / m, asimismo, la línea No. 18: JP002 / JP001 P * P51322 bajo salinidad de 7.0 dS / m presento el mejor contenido de clorofila ($p = 0.0321$) con un valor de 39.6 (Ilustración 25, B).

Ilustración 25. Variación del contenido de clorofila registrada a los 45 días en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 0.2 (A) y 7.0 dS / m (B).



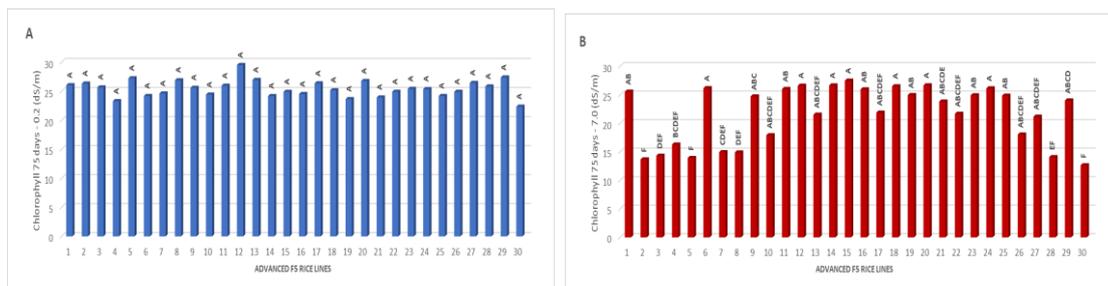
El estudio de varianza en el contenido de clorofila a los 60 días bajo un grado de salinidad de 0.2 dS / m no mostró trascendencia ($p = 0.1677$) entre las líneas de arroz, sin embargo, la línea No. 12: Puyón / JP003 P11-106716 obtuvo el superior contenido de clorofila (37.7) (Ilustración 26, A). Respecto al nivel de salinidad de 7.0 dS / m, la línea No. 12: Puyón / JP003 P11-106716 presentó el mayor contenido de clorofila (32.4) y fue trascendentalmente ($p < 0.0001$) distinta a otras líneas de arroz (Ilustración 26, B).

Ilustración 26. Variación del contenido de clorofila registrada a los 60 días de plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 0.2 (A) y 7.0 dos / m (B).



El análisis de varianza a los 75 días no presenta trascendencia estadística ($p = 0.9501$) sin embargo, la línea No. 12: Puyón / JP003 P11-106716 obtuvo consistentemente el mejor promedio con 29.52 y superó numéricamente al resto de los tratamientos (Ilustración 27, A). Bajo un grado de salinidad de 7.0 dos / m, la línea No. 15: JP001 / JP003 P 9 # 15P 732 alcanzó el grado más alto de clorofila con un valor de 27.49 siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos ($p < 0.0001$) (Ilustración 27, B).

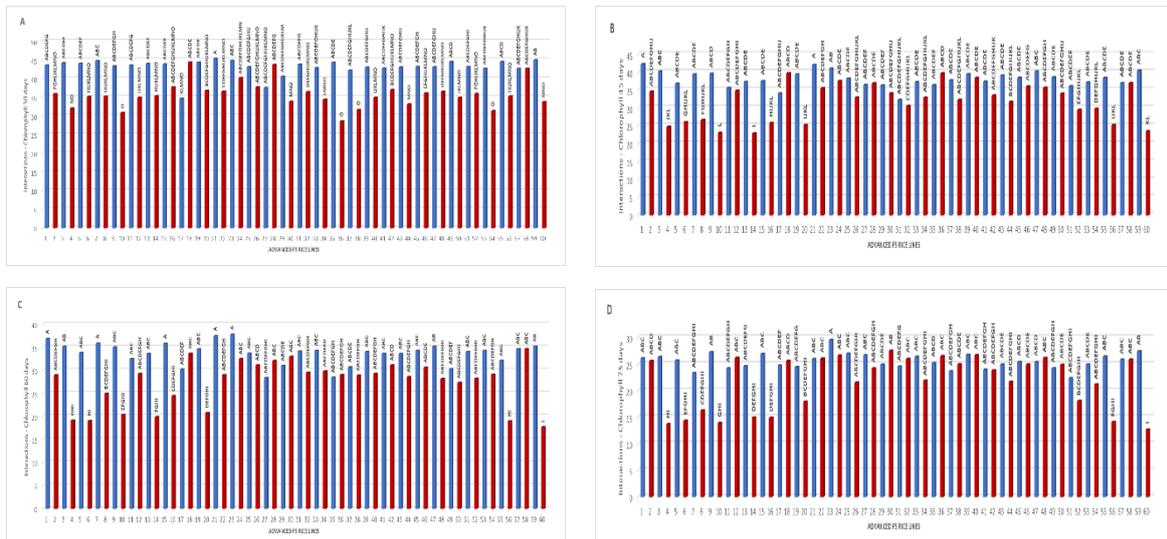
Ilustración 27. Variación del contenido de clorofila registrada a los 75 días en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 0.2 (A) y 7.0 dos / m (B).



Referente a interrelaciones para el contenido de clorofila (Ilustración 28), separadamente de las evaluaciones efectuadas a los 30, 45, 60 y 75 días con valores de 43.6, 38.2, 33.9 y 25.4%, correspondientemente, bajo un grado de salinidad de 0.2 dos / m. se determinó que sus promedios son estadísticamente mayores ($p < 0,0001$) que a los del nivel de salinidad de 7,0 dS / m. En el estudio para cada línea de arroz con salinidad de 0.2 dS / m evaluada a los 30 días (Ilustración 28, A), la línea No. 11: Puyón / JP003 P11-103115 con un valor de 45.3 superó estadísticamente ($p < 0.0001$) al resto de tratamientos. En la evaluación de 45 días (Ilustración 28, B), las líneas No. 1: Puyón / JP002 P8-324816 con un

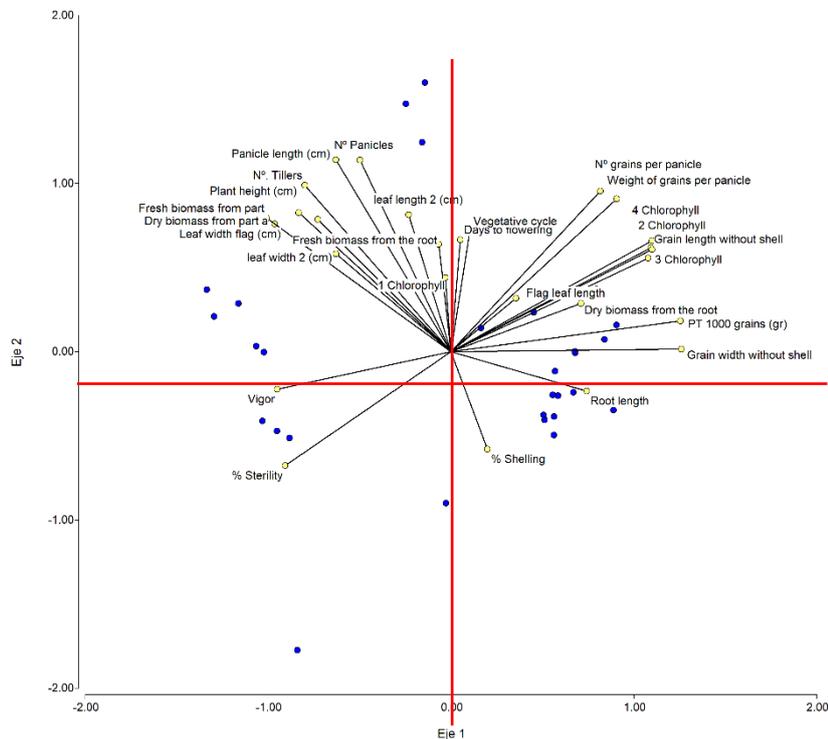
contenido medio de clorofila de 42.2 y No. 11: Puyón / JP003 P11-103115 con valor de 41.9 fueron estadísticamente superiores ($p < 0,0001$) en comparación al resto de tratamientos. A los 60 días (Ilustración 28, C), las líneas No. 12: Puyón / JP003 P11-106716 con un promedio de 37.7, No. 11: Puyón / JP003 P11-103115 con 37.4, No. 1: Puyón / JP002 P8-324816 con un valor de 36.8, No. 4: Puyón / JP002 P8-305511 con 35.8, y No. 8: Puyón / JP002 P8323523 con un puntaje de 35.8 obtuvieron un nivel de clorofila estadísticamente predominante ($p < 0,0001$) en comparación con el resto de líneas. A los 75 días (Ilustración 28, D), la línea No. 12: Puyón / JP003 P11-106716 con un promedio de 29.5 alcanzó el nivel de clorofila que fue estadísticamente superior ($p < 0.0001$) respecto a los otros tratamientos.

Ilustración 28. Interacciones del contenido de clorofila registrado a los 30 (A), 45 (B), 60 (C) y 75 (D) días en plantas de arroz F_5 sujetas a nivel de salinidad 0.2 y 7.0 dS / m.



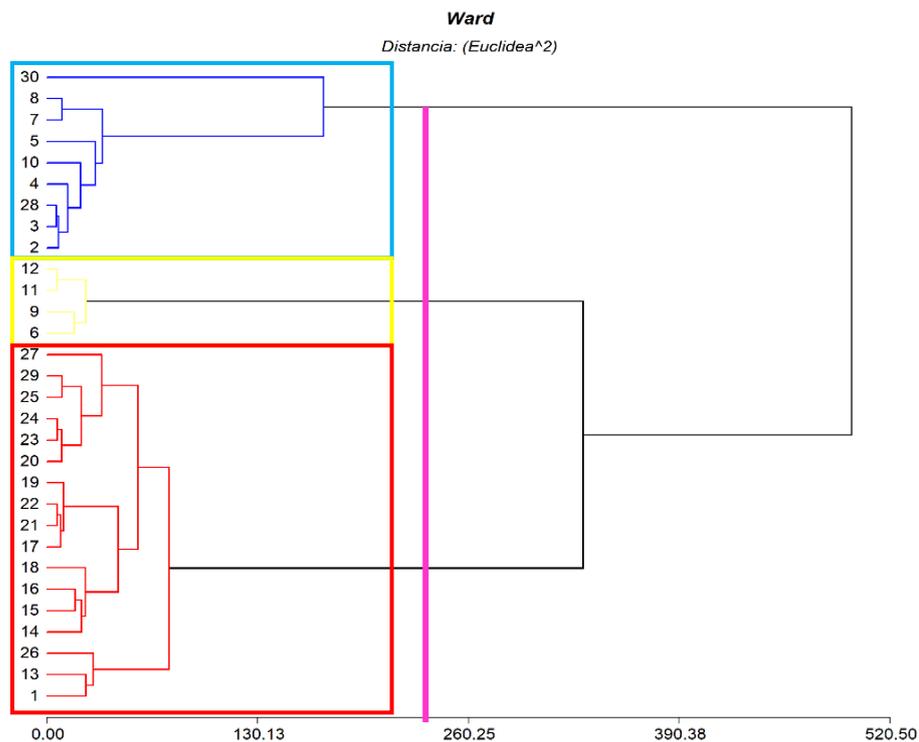
La interrelación entre ciertas variables establecidas por el estudio de componentes esenciales se presenta en la Ilustración 29. El cuadrante superior izquierdo indica la interrelación entre las variables más notorias, tales como la longitud de la panícula (cm), el número de panículas, el número de macollos y la altura de la planta (cm). Mientras, que en el cuadrante superior derecho se evidenció una correlación entre el peso de granos por panícula y el número de granos por panícula.

Ilustración 29. Correlación entre variables determinadas a nivel de invernadero en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 7.0 dS / m.



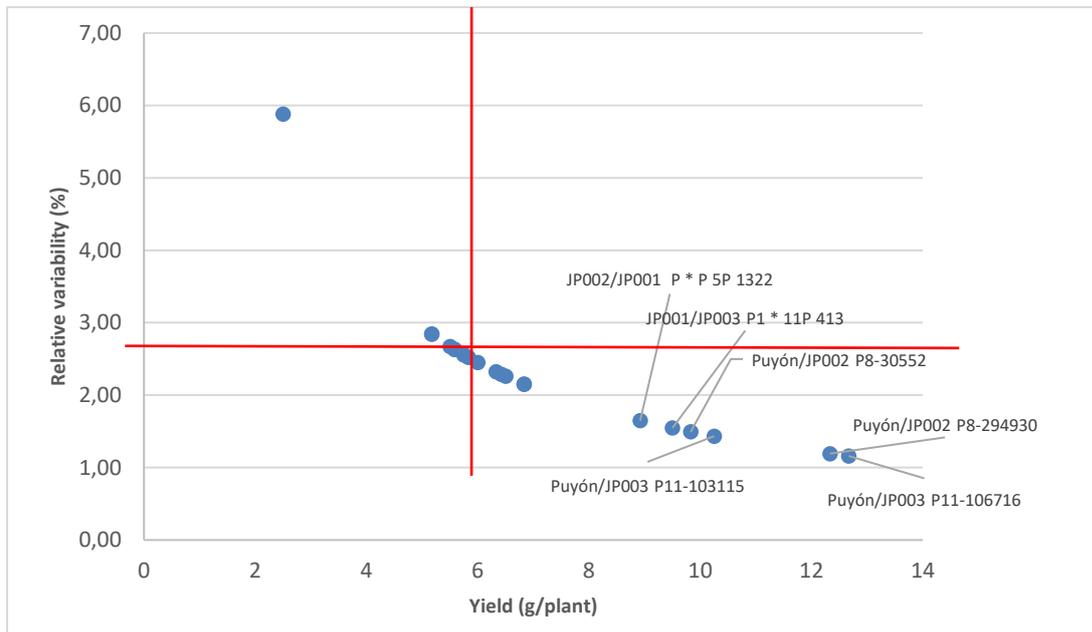
Referente al estudio de conglomerado, los datos obtenidos ayudaron a reunir las líneas en tres grupos, las cuales mostraron semejanzas en las características (Ilustración 30). En la clase I (azul), los materiales genéticos con caracteres parecidos fueron No. 2: Puyón / JP002 P8-3210919, No. 3: Puyón / JP002 P8-32816, No. 4: Puyón / JP002 P8-305511, No. 5: Puyón / JP002 P8289311, No. 7: Puyón / JP002 P8-29669, No. 8: Puyón / JP002 P8-323523, No. 10: Puyón / JP002 P8-295616, No. 28: Parental Puyón y, No. 30: SFL-011 (Comercial). En clase II (amarillo), las líneas No. 6: Puyón / JP002 P8-30552, No. 9: Puyón / JP002 P8-294930, No. 11: Puyón / JP003 P11-103115 y No. 12: Puyón / JP003 P11 -106716. En la clase III (rojo) están los No. 1: Puyón / JP002 P8-324816, No. 13: JP001 / JP003 P1 * 11P 1233, No. 14: JP001 / JP003 P1 * 11P 413, No. 15: JP001 / JP003 P 9 # 15P 732, No. 16: JP001 / JP003 P 9 # 15P 629, No. 17: JP001 / JP003 P 3 # 13P 4230, No. 18: JP002 / JP001 P * P 5P 1322, No. 19: JP002 / JP001 P * P 5P 3621, No. 20: JP003 / JP001 P 1 # P 1P 168, No. 21: JP003 / JP001 P 1 # P 1P 1530, No. 22: JP003 / JP001 P * 2 # 3P 2119, No. 23: DH / JP003 P 1 # 25P 1433, No. 24: DH / JP003 P2 # 40P 425, No. 25: Parental JP001, No. 26: Parental JP002, No. 27: Parental JP003 y No. 29: DH parental.

Ilustración 30. Análisis de conglomerado a nivel de invernadero en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 7.0 dS / m.



En cuanto al estudio de la variabilidad relativa (%), como se puede observar en la Ilustración 31, se usó como factor de elección el rendimiento por planta. En decir, los valores más bajos (por debajo del promedio) de la variabilidad relativa (%) y los valores más altos (por encima del promedio) para el rendimiento por planta, los cuales se utilizaron para la elección de las líneas superiores. Los promedios que se muestran en el cuadrante inferior derecho corresponden a las líneas escogidas y estas fueron: Puyón / JP003 P11-106716, Puyón / JP002 P8-294930, Puyón / JP003 P11103115, Puyón / JP002 P8-30552, JP001 / JP003 P1 * 11P 413 y JP002 / JP001 P * P 5P 1322. Estos evidenciaron los promedios de rendimiento predominantes que fueron de 8,9 a 12,7 gr para la variabilidad relativa, los promedios cambiaron de 1,65 a 1,16%.

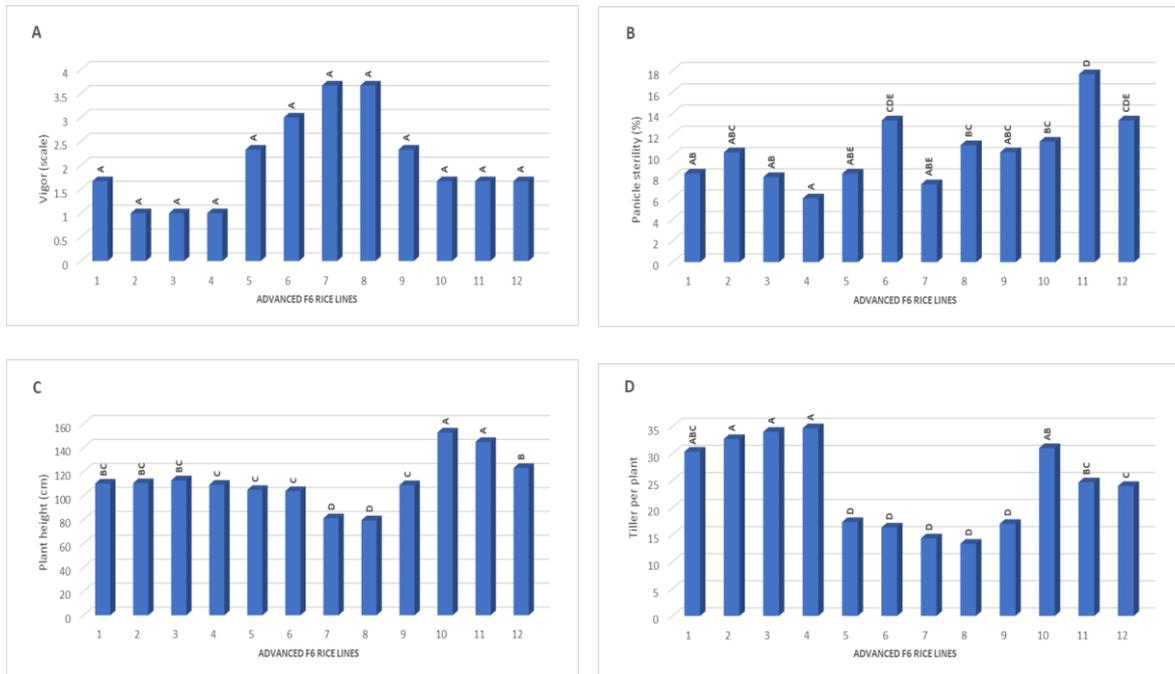
Ilustración 31. Análisis de variabilidad relativa (%) utilizando la variable rendimiento en plantas de arroz F₅ sujetas a nivel de salinidad 7.0 dS / m.



3.4.2. Selección y caracterización de líneas avanzadas de arroz F₆ sujetas a área de cultivo afectada por salinidad.

La gráfica número 32 presenta el comportamiento agronómico de las cuatro líneas de arroz F₆ avanzadas procedentes de cruces interespecíficos de *Oryza rufipogon* G. x *Oryza sativa*. ssp. rosal japonés; 2 líneas de arroz tipo japónica; 4 líneas parentales y 2 variedades comerciales No. 11: SFL-011 (Comercial) y No. 12: Arenillas (Comercial). En la variable vigor, las líneas valoradas no mostraron desigualdades trascendentales ($p = 0.0163$). No. 3: Las líneas Puyón / JP003 P11-106716, No. 4: Puyón / JP003 P11-103115, No. 2: Puyón / JP002 P8-294930 con un valor de 1 fueron las plantas con mayor vigor (Ilustración 32, A).

Ilustración 32. Variación de vigor (A), esterilidad de panícula (%) (B), altura de planta (C) y macollo por planta (D) en plantas de arroz F₆ sujetas a nivel de salinidad 7.2 dS / m en campo.

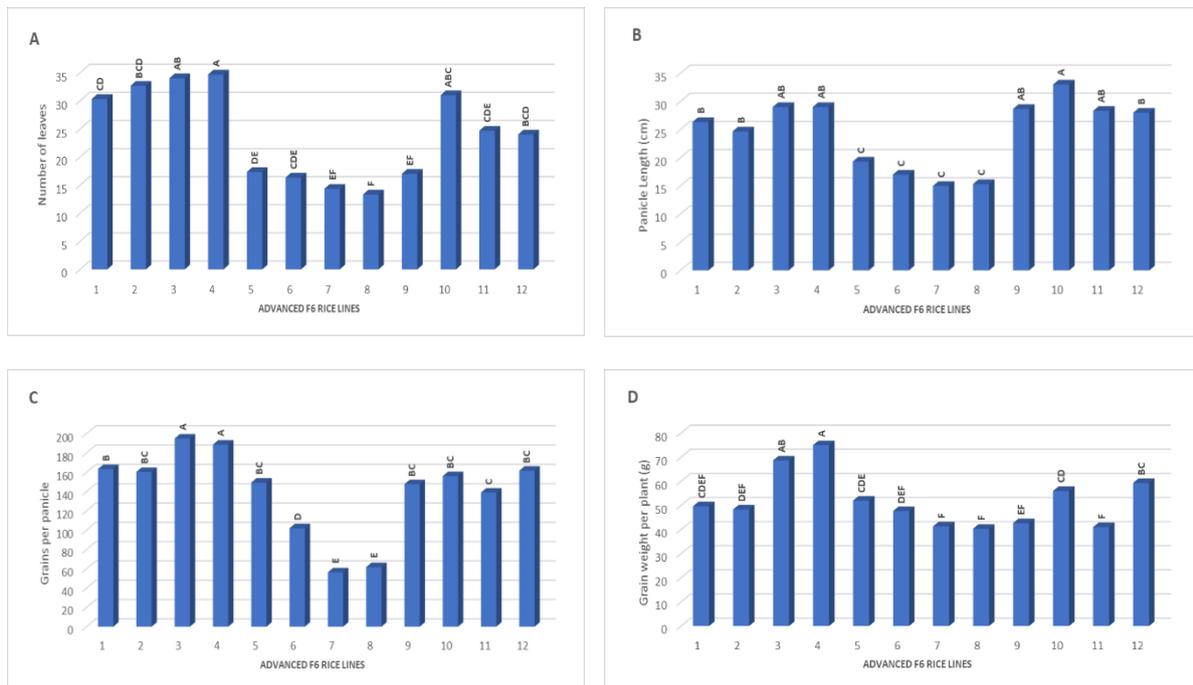


El estudio sobre la esterilidad de la panícula (%) demostró que la línea No. 4: Puyón / JP003 P11-103115 obtuvo la esterilidad más baja ($p < 0,0001$) con un promedio de 6.0. Las demás líneas mostraron una esterilidad superior (Ilustración 32, B).

En relación a la variable altura de planta, el Parental Puyón y la variedad comercial No. 11: SFL-011 (Comercial) alcanzaron la mayor talla de planta con valores medios de 152.7 cm y 144.7 cm, correspondientemente, siendo estadísticamente mejores ($p < 0.0001$) en comparación al resto de los genotipos (Ilustración 32, C). Con respecto a los macollos por planta, las líneas No. 4: Puyón / JP003 P11103115, No. 3: Puyón / JP003 P11-106716 y No. 2: Puyón / JP002 P8-294930 mostraron los promedios más altos con valores de 34.7, 34.0 y 32.6, correspondientemente, y fueron estadísticamente superiores ($p < 0.0001$) en contraste a los demás tratamientos (Ilustración 32, D).

En consideración al número de hojas la línea No. 4: Puyón / JP003 P11-103115 con un valor de 201.67; fue estadísticamente mejor ($p < 0.0001$) al resto de los tratamientos (Ilustración 33, A).

Ilustración 33. Variación de número de hojas (A), longitud de panícula (B), granos por panícula (C) y peso de grano por panícula (D) en plantas de arroz F₆ sujetas a nivel de salinidad 7.2 dS / m en campo.



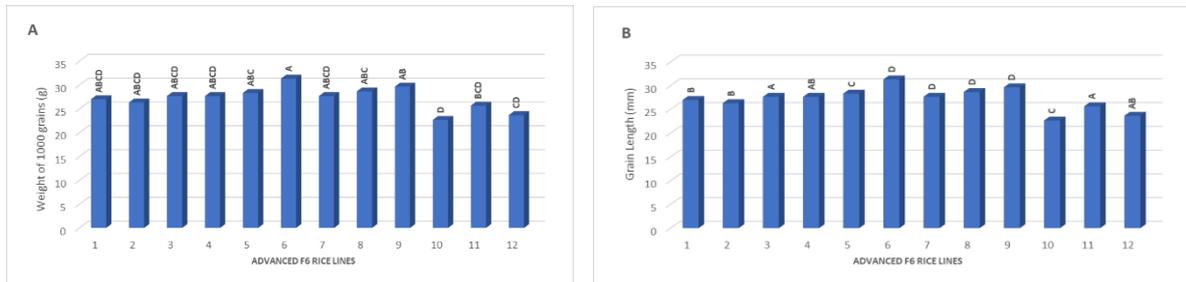
Acerca de la variable longitud de panícula (Ilustración 33, B), se observó que el parental Puyón logró la mayor longitud con 33.0 cm y estadísticamente ($p < 0.0001$) rebasó a todos los tratamientos.

Asimismo, los valores de granos por panícula evidenciaron que las líneas No. 3: Puyón / JP003 P11-106716 y No. 4: Puyón / JP003 P11-103115 mostraron el mejor número de granos por panícula con valores de 195.0 y 188.7, correspondientemente; siendo estadísticamente ($p < 0,0001$) mejores que el resto de los tratamientos (Ilustración 33, C).

En lo concerniente a la variable peso de grano por panícula, la línea No. 4: Puyón / JP003 P11-103115 mostró el promedio superior con 75 gramos, siendo estadísticamente mejor ($<0,0001$) que los demás tratamientos (Ilustración 33, D).

Para la variable peso de 1000 granos se estableció que la línea No. 6: JP002/ JP001 P * P 5P 1322 presentó el valor más alto de 31.33 gramos y es estadísticamente superior ($p = 0.0008$) en comparación al resto de los tratamientos (Ilustración 34, A).

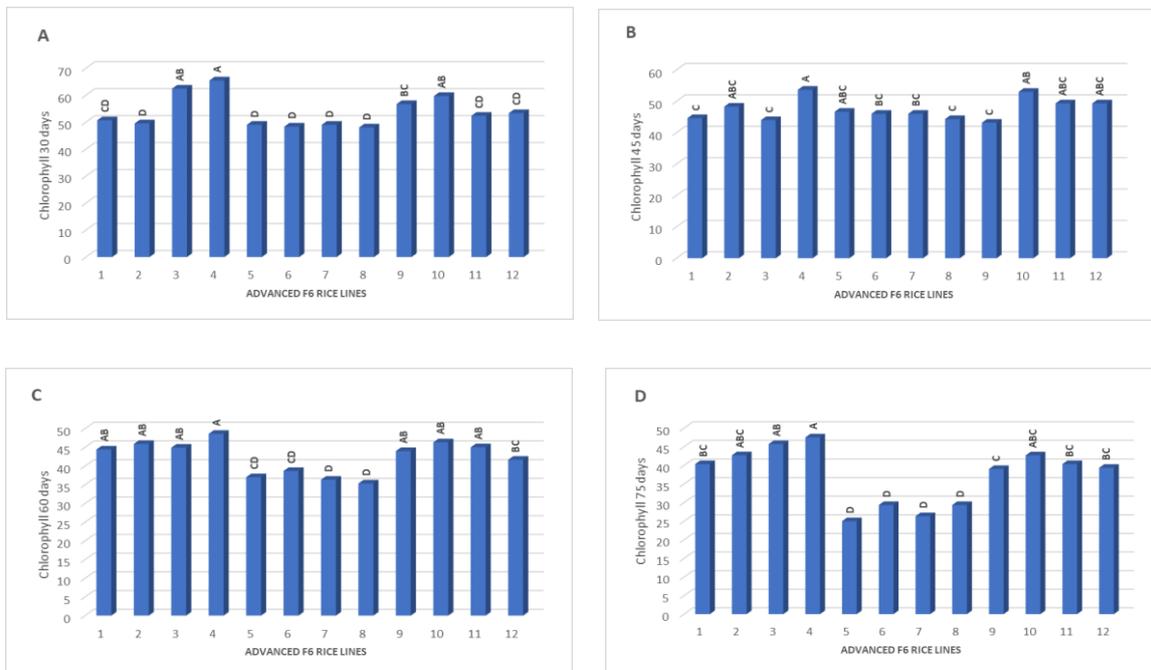
Ilustración 34. Variación de peso de 1000 granos (A) y longitud de grano (B) en plantas de arroz F₆ sujetas a nivel de salinidad 7.2 dS / m en campo.



En cuanto a la longitud de grano (Ilustración 34, B), la línea No. 3: Puyón / JP003 P11-106716 y la variedad comercial No. 11: SFL-011 (Comercial) ambas obtuvieron un valor de 8 mm siendo estadísticamente mejores ($p < 0,0001$) que el resto de tratamientos.

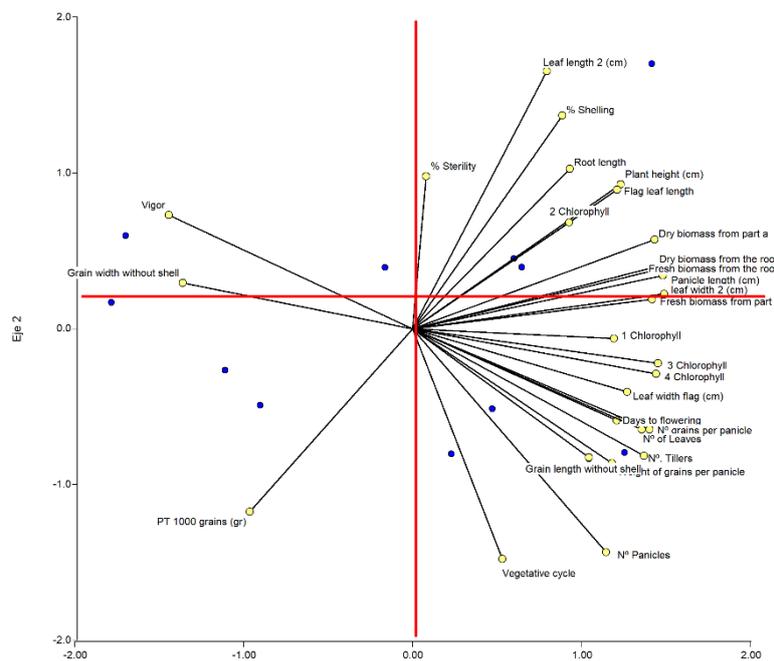
El estudio del contenido de clorofila aplicado a los 30, 45, 60 y 75 días (Ilustración 35 - A, B, C, D, respectivamente), evidenció que la línea No. 4: Puyón / JP003 P11103115 mostró el valor trascendentalmente más alto con un nivel de 65,4, 53,7, 48,6 y 47,5; correspondientemente y fue estadísticamente superior ($p < 0,0001$) a los demás tratamientos.

Ilustración 35. Variación del contenido de clorofila registrada a los 30 (A), 45 (B), 60 (C) y 75 (D) días en plantas de arroz F₆ sujetas a salinidad de 7.2 dS / m en campo.



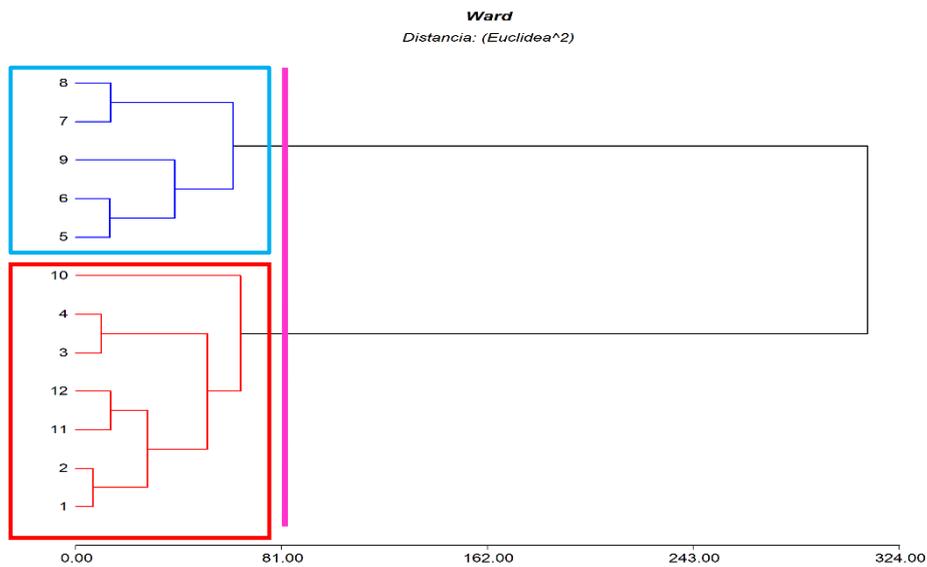
El estudio de los componentes esenciales evidencia la correlación entre determinadas variables (Ilustración 36). En el cuadrante superior derecho se presenta la correlación entre las variables más destacadas: Longitud de la hoja bandera (cm), biomasa seca de la parte aérea (g), biomasa fresca de la parte aérea (g), biomasa fresca de la raíz (g), longitud de la panícula (cm) y ancho de la segunda hoja. Asimismo, en el cuadrante inferior derecho, se observa una correlación entre el número de macollos, el número de hojas y la longitud del grano (mm).

Ilustración 36. Correlación entre variables determinadas a nivel de campo en plantas de arroz F₆ sujetas a salinidad de 7.2 dS / m.



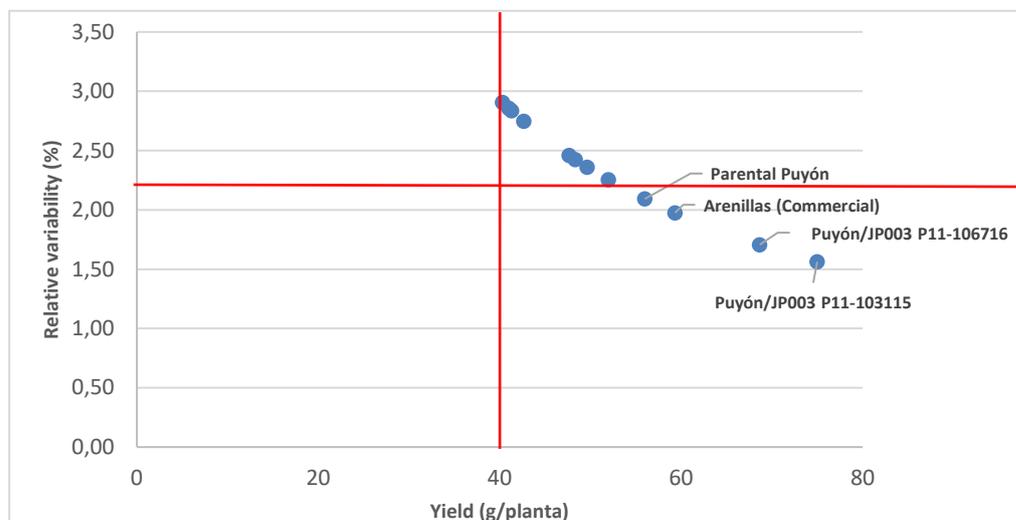
Los datos obtenidos del estudio de conglomerado, ayudó a reunir en dos grupos el material genético del arroz que presentó semejanza en sus características, los cuales se observan en la Ilustración 37. En la Clase I, diferenciada con color azul, las líneas con caracteres parecidos fueron No. 5: JP001 / JP003 P1 * 11P 413, No 6: JP002 / JP001 P * P 5P 1322, No 7: parental JP001, No 8: parental JP002 y No 9: parental JP003; Clase II (rojo) son No. 1: Puyón / JP002 P8-30552, No. 2: Puyón / JP002 P8-294930, No. 3: Puyón / JP003 P11-106716, No. 4: Puyón / JP003 P11-103115, No. 10: Parental Puyón, No. 11: SFL-011 (Comercial) y No. 12: Arenillas (Comercial).

Ilustración 37. Análisis de conglomerado a nivel de campo en plantas de arroz F₆ sujetas a salinidad de 7.2 dS / m.



Para realizar el estudio de variabilidad relativa (%), se usó como factor de elección el rendimiento por planta. Para elegir las mejores líneas se tomaron en cuenta los valores superiores (por encima del promedio) para el rendimiento por planta y los valores más bajos (por debajo del promedio) de la variabilidad relativa (%). Como se observa en la Ilustración 38, los valores que se presentan en el cuadrante inferior derecho son las líneas con mayor potencial, respectivamente a las líneas Puyón / JP003 P11-103115 y Puyón / JP003 11106716, Arenillas (Comercial) y Parental Puyón. Estas líneas alcanzaron los promedios más altos para rendimientos que van de 56.0 a 75. g / planta y para valores de variabilidad relativa (%) que van de 1.6 a 2.1%.

Ilustración 38. Análisis de variabilidad relativa (%) utilizando la variable rendimiento en plantas de arroz F₆ sujetas a salinidad de 7.2 dS / m.



En base a los datos obtenidos es eminente que las líneas provenientes de cruces interespecíficos entre *Oryza rufipogon* G. (Puyón) x *Oryza sativa* L. ssp. japonica presentó mayor resistencia a factores abióticos, tal como la salinidad, en contraste con los promedios obtenidos en las líneas de cruzamiento intraespecíficas de *Oryza sativa* L. ssp. japonica, SFL-011 (Comercial) y Arenillas (Comercial) como referentes comerciales. Esta reacción podría estar vinculada con la genética de la línea parental *Oryza rufipogon* G. (Puyón) implicada en estos cruces, por ser una especie silvestre podría haber otorgado propiedades para la resistencia a la salinidad a estos nuevos genotipos. Lamz & González (2013) indican que solo se ha hecho uso del 25% de la variabilidad genética en especies silvestres para el mejoramiento genético del arroz. Puyón es un genotipo de otra categoría vinculada con *Oryza*, que puede ser portador de genes con tolerancia tanto a factores bióticos como abióticos, en el caso de ser usado como progenitor, estas características serían heredables. Esto ayudó en la elección de cultivares con propiedades comerciales beneficiosas, que pueden ser usadas en zonas y ambientes aislados que han sido afectadas por el cambio climático.

3.5. Logros, impacto y perspectivas

Actualmente, la salinidad es uno de los factores más amenazantes para la productividad de los cultivos en las principales zonas productoras de arroz en el mundo, el problema se acrecienta debido a que el arroz es el cultivo que alimenta a la mitad del mundo, y es susceptible a la salinidad. La subsistencia y productividad de las plantas está relacionada fuertemente con la variabilidad de la salinidad en las etapas fenológicas del crecimiento del cultivo, específicamente en las fases de plántula y floración, cuando. Hay una necesidad evidente de elaborar más granos de las tierras salinizadas debido a que la población mundial sigue

incrementando día tras día, al igual que la necesidad de reutilizar los suelos afectados por la salinidad, a pesar de que hay una variabilidad en el germoplasma de arroz respecto a la resistencia a la sal, la optimización tradicional no ha sido fructífera para abordar este difícil problema. Los motivos más probables son la menor comprensión de la naturaleza de la genética de resistencia a la sal, las instalaciones de detección más ineficientes, la detección sesgada hacia la resistencia juvenil, la explotación ineficiente del germoplasma y la escases de enfoques de optimización integrados hacia un cultivar "ideal". Es esencial generar nuevas variedades que sean fenológicamente capaces de conservar el excedente de sal a lo largo de su vida y elaborar una mejor productividad y mejor calidad. Con el conocimiento más profundo de los intrincados mecanismos de resistencia a la sal y la variabilidad de genes y locus de rasgos cuantitativos (QTL) útiles que se hallan todos los días, en un futuro no tardío el escenario de la reproducción de una variable de arroz tolerante a la sal dará un giro drástico en función a la productividad. Dado que los QTL se pueden cuantificar e identificar en el genoma, es primordial determinar los genes que subyacen al rasgo para reducir la carga genética o el transporte de enlaces de los genes no deseables. En la investigación de resistencia a la sal en el arroz el mapeo de asociaciones y las selecciones generales del genoma ya están dejando su huella. La comprobación de genes candidatos haciendo uso de enfoques transgénicos y transcriptómicos son herramientas adicionales en la elaboración de tácticas específicas. Debido a que formará parte de los futuros planes de optimización, debería reducirse para que los obtentores puedan hacer la elección usando una configuración reducida de cribado de genotipo, lo que incitará el triunfo de los enfoques de optimización participativo y lanzadera que garantizan cultivos sostenibles en el futuro.

Diversas variedades a nivel mundial están en proceso de optimización basado en retrocruzamiento asistido por marcadores (MABC), se le otorga el éxito de estos programas al desarrollo de la biología molecular junto con mejores prácticas de fenotipado que han perfeccionado con la evolución de la computación, comunicación y automatización. Hay cierta expectativa de que en el futuro la investigación ómica, que mezcle genómica, proteómica y metabolómica descifre nuevas acciones e interrelaciones de los genes bajo condiciones de estrés múltiple. A pesar de que los esfuerzos de optimización tradicional en los últimos 70 años, habían concentrado una cantidad importante de datos sobre la conducta de resistencia a la sal en las plantas de arroz. Actualmente se ha incrementado más los conocimientos acerca de los intrincados mecanismos de señalización y reacción al estrés salino en las plantas. Los conocimientos recientes con la sabiduría ancestral se combinan para desarrollar nuevos cultivos con resistencia a diversos factores bióticos y abióticos, de alto rendimiento y excelente calidad.

IV. BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, G., Saqib, M., Akhtar, J., (2015). Interactive effects of salinity and iron deficiency on different rice genotypes. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 178, 306-311.
- Abdallah, M.S., Abdelgawad, Z.A., El-Bassiouny, H.M.S., (2016). Alleviation of the adverse effects of salinity stress using trehalose in two rice varieties. *South Afr. J. Bot.* 103, 275-282.
- Abdelgadir, E.M., Oka, M., Fujiyama, H., (2005). Characteristics of nitrate uptake by plants under salinity. *J. Plant Nutr.* 28, 33-46.
- Abdula, S.E., Lee, H.J., Ryu, H., Kang, K.K., Nou, I., Sorrells, M.E., et al., (2016). Overexpression of BrCIPK1 gene enhances abiotic stress tolerance by increasing proline biosynthesis in rice. *Plant Mol. Biol. Rep.* 34, 501-511.
- Abu-Sharar, T. M., Bingham F. T. and Rhoades J. D. (1987). Stability of Soil Aggregates as Affected by Electrolyte Concentration and Composition. *Soil Science Society of America Journal*, 51 (2) 309-314. Recuperado de <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/51/2/SS0510020> 309.
- Agarwal P., Reddy M. y Sopory S. (2006). Role of DREB transcription factors in abiotic and biotic stress tolerance in plants. *Plant Cell Reports*, 25: 1263–1274.
- Akbar M, Yabuno T (1977) Breeding for saline-resistant varieties of rice inheritance of delayedtype panicle sterility induced by salinity. *Japan J Breed* 27:237–240
- Alconada M. (2008). Procesos de inundación en el sector de médanos longitudinales al noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina su relación con la vegetación, suelo, agua y clima. Opciones de desarrollo. (Tesis Doctoral del Posgrado en Geografía de la UNAM Universidad Nacional Autónoma de México). 528 p y anexos. Recuperado de Biblioteca UNAM.

- Alconada Magliano, M. M., Damiano, F. y Fagundo Castillo, J. R. (2016). Estudio del suelo en el paisaje regional como base para definir su manejo agropecuario–forestal. Actas XXV Congreso Argentino Ciencias del Suelo. Río Cuarto. Córdoba.
- Alconada Magliano, M.M., Cuellas M., Poncetta P., Barragán S., Inda E, y Mitidieri A. (2011b). El cultivo de tomate protegido:1-Nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y la producción. Revista Horticultura Argentina, Asociación Argentina de Horticultura, 30: (72), 5-13. Recuperado de <http://www.horticulturamar.com.ar/publicaciones-15.htm>.
- Alconada, M., Giuffre L., Huergo L., y Pascale C. (2000). Hiperfertilización con fósforo de suelos Vertisoles y Molisoles en cultivo de tomate protegido Avances en Ingeniería Agrícola: 343–347. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, UBA.
- Ali, I., Jan, M., Wakeel, A., Azizullah, A., Liu, B., Islam, F., et al., (2017). Biochemical responses and ultrastructural changes in ethylene insensitive mutants of *Arabidopsis thaliana* subjected to bisphenol A exposure. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 144, 62-71.
- Ali, I., Liu, B., Farooq, M.A., Islam, F., Azizullah, A., Yu, C., et al., (2016). Toxicological effects of bisphenol A on growth and antioxidant defense system in *Oryza sativa* as revealed by ultrastructure analysis. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 124, 277-284.
- Alvarez, J.M., Rocha, J.F., Machado, S.R., (2008). Bulliform cells in *Loudetiopsis chrysothrix* (Nees) Conert and *Tristachya leiostachya* Nees (Poaceae): structure in relation to function. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 51, 113-119.
- Aristizabal Arboleda, A. J. (2009). Efecto de altas saturaciones de Mg^{+2} y Ca^{+2} en las propiedades físicas de un suelo del Valle del Cauca (Tesis Maestría Cs Agrarias, Universidad de Colombia). Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1794/1/7005002.2009.pdf>.
- Arzate A, Hoyos A, Vázquez L, Gutiérrez M. (2008). Caracterización isoenzimática

- de nueve variedades botánicas de *Tigridia pavonia* (L. f.) DC. *Agrociencia*, 42:519-528.
- Ashraf M, Harris P J. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*. 51(2):163-190.
- Atkinson NJ and Urwin PE (2012) The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *J. Exp. Bot.* 63 3523–3543.
- Banu, M.S.A., Huda, K.M.K., Sahoo, R.K., Garg, B., Tula, S., Islam, S.S., et al., (2015). Pea p68 imparts salinity stress tolerance in rice by scavenging of ROS-mediated H₂O and interacts with argonaute. *Plant Mol.Biol. Rep.* 33, 221-238.
- Batista D, Murillo B, Nieto A, Alcaráz L, Troyo E, Hernández L, Ojeda, C. (2017). Mitigación de NaCl por efecto de un bioestimulante en la germinación de *Ocimum basilicum* L. *Terra Latinoamericana*. 35:309-320.
- Batley J and Edwards D (2016) The application of genomics and bioinformatics to accelerate crop improvement in a changing climate. *Curr. Opin. Plant Biol.* 30 78–81.
- Biswas, M.S., Mano, J.I., (2015). Lipid peroxide-derived short-chain carbonyls mediate hydrogen peroxide induced and salt-induced programmed cell death in plants. *Plant Physiol.* 168, 885-898.
- Bohn, H.L., Mc Neal B.L. y. O'Connor G.A. (1993). *Química del suelo*. México: Ed. Limusa. 370 p.
- Burke E., Brown S. y Christidis N. (2006). Modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley Centre climate model. *Journal Hydrometeor.* 7: 1113–1125.
- Cabello, J.V., Lodeyro, A.F., Zurbriggen, M.D., (2014). Novel perspectives for the engineering of abiotic stress tolerance in plants. *Curr. Opin. Biotechnol.* 26, 62-70.
- Cai, H., Zhou, Y., Xiao, J., Li, X., Zhang, Q., Lian, X., (2009). Overexpressed

glutamine synthetase gene modifies nitrogen metabolism and abiotic stress responses in rice. *Plant Cell Rep.* 28, 527-537.

Cameron, K.D., Teece, M.A., Smart, L.B., (2006). Increased accumulation of cuticular wax and expression of lipid transfer protein in response to periodic drying events in leaves of tree tobacco. *Plant Physiol.* 140, 176-183.

Caro Fernández, M. (1965). Suelos salinos y procesos de salinización en el sureste español. Universidad de Murcia, España, 65p. Recuperado de <http://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/4867/1/Suelos%20salinos%20y%20procesos%20de%20salinizaci%C3%B3n%20en%20el%20Sureste%20espa%C3%B1ol.pdf>.

Chawla, S., Jain, S., Jain, V., (2013). Salinity induced oxidative stress and antioxidant system in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *J. Plant Biochem. Bioethanol.* 22, 27-34.

Chen, G., Hu, Q., Luo, L.E., Yang, T., Zhang, S., Hu, Y., et al., (2015a). Rice potassium transporter OsHAK1 is essential for maintaining potassium-mediated growth and functions in salt tolerance over low and high potassium concentration ranges. *Plant Cell Environ.* 38, 2747-2765.

Chen, T.W., Kahlen, K., Stutzel, H., (2015b). Disentangling the contributions of osmotic and ionic effects of salinity on stomatal, mesophyll, biochemical and light limitations to photosynthesis. *Plant Cell Environ.* 38, 1528-1542.

Cobos F, (2022). Identificación de líneas tolerantes en poblaciones segregantes de arroz como alternativa en el manejo sustentable de suelos degradados por salinidad. Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú, 153 pp. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5367>.

Cobos F, (2022). Identificación de líneas tolerantes en poblaciones segregantes de arroz como alternativa en el manejo sustentable de suelos degradados por salinidad. Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú, 153 pp. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5367>.

Cobos Mora, F., Gómez Pando, L., Reyes Borja, W., & Hasang Moran, E. (2020).

Evaluación de la tolerancia a la salinidad en poblaciones segregantes F5 de arroz (*Oryza sativa* L.). *Journal of Science and Research*, 5(CININGEC), 1–23. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/995>.

Cobos Mora, F., Gómez Pando, L., Reyes Borja, W., Hasang Moran, E., Ruilova Cueva, M., & Duran-Canare, P. L. (2021). Effects of salinity levels in *Oryza sativa* in different phenological stages under greenhouse conditions. *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 39(1), e223905. Retrieved from <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/37392>.

Cobos Mora, F., Gómez Villalva, J., Hasang Moran, E., & Medina Litardo, R. (2020). Sostenibilidad del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) en la zona de Daule, provincia del Guayas, Ecuador. *Journal of Science and Research*, 5(4), 1–16. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/692>.

Cobos Mora, F., Hasang Moran, E., Lombeida García, E., & Medina Litardo, R. (2020). Importancia de los conocimientos tradicionales, recursos genéticos y derechos de propiedad intelectual. *Journal of Science and Research*, 5(CININGEC), 60–78. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/998>.

Cominelli, E., Conti, L., Tonelli, C., Galbiati, M., (2013). Challenges and perspectives to improve crop drought and salinity tolerance. *New Biotechnol.* 30, 355-361.

Cui, P., Liu, H., Islam, F., Li, L., Farooq, M.A., Ruan, S., et al., (2016). OsPEX11, a peroxisomal biogenesis factor 11, contributes to salt stress tolerance in *Oryza sativa*. *Front. Plant Sci.* 7, 1357.

Cunha, J.R., Neto, M.C.L., Carvalho, F.E., Martins, M.O., Jardim-Messeder, D., Margis-Pinheiro, M., et al., 2016. Salinity and osmotic stress trigger different antioxidant responses related to cytosolic ascorbate peroxidase knockdown in rice roots. *Environ. Exp. Bot.* 131, 58-67.

- De Datta SK, Neue HU, Senadhira D, Quijano C (1993) Success in rice improvement for poor soils. In: Proceedings of the workshop on adaptation of plants to soil stress. University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, pp 248–268.
- Desingh, R., Kanagaraj, G., (2007). Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two cotton varieties. *Gen. Appl. Plant Physiol.* 33, 221-234.
- Dobermann, A., Fairhurst, T. (2012). Arroz: desordenes nutricionales y manejo de nutrientes. IPNI. 155-156 pp.
- Epimashko, S., Meckel, T., Fischer-Schliebs, E., Luttge, U., Thiel, G., (2004). Two functionally different vacuoles for static and dynamic purposes in one plant mesophyll leaf cell. *Plant J.* 37, 294-300.
- FAO, (2012). World Water Day 2012 Celebration, 22 March 2012, UN Conference Centre, Bangkok. Available from: http://www.fao.org/asiapacific/rap/home/meetings/list/detail/en/?meetings_id=5637&year=2012.
- FAO. (2012). Guidelines for soil description. Rome, FAO. 110 pp. www.fao.org/3/a-ac339e.pdf.
- FAO. (2016). Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>. 218p.
- Farooq, M.A., Gill, R.A., Ali, B., Wang, J., Islam, F., Ali, S., et al., (2016a). Subcellular distribution, modulation of antioxidant and stress-related genes response to arsenic in *Brassica napus* L. *Ecotoxicology* 25, 350-366.
- Farooq, M.A., Gill, R.A., Islam, F., Ali, B., Liu, H., Xu, J., et al., (2016b). Methyl Jasmonate regulates antioxidant defense and suppresses arsenic uptake in *Brassica napus* L. *Front. Plant Sci.* 7, 468.

- Farooq, M.A., Islam, F., Ali, B., Najeeb, U., Mao, B., Gill, R.A., et al., (2016c). Arsenic toxicity in plants: celular and molecular mechanisms of its transport and metabolism. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 132, 42-52.
- Farooq, M.A., Li, L., Ali, B., Gill, R.A., Wang, J., Ali, S., et al., (2015). Oxidative injury and antioxidant enzymes regulation in arsenic-exposed seedlings of four *Brassica napus* L. cultivars. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 10699-10712.
- Ferguson JN. (2019). Climate change and abiotic stress mechanisms in plants. *Emerg. Topics Life Sci.* 3 165–181.
- Flowers TJ (2004) Improving crop salt tolerance. *J exp Bot* 55:307–319.
- Gao, L., Liu, M., Wang, M., Shen, Q., Guo, S., (2016). Enhanced salt tolerance under nitrate nutrition is associated with apoplast Na⁺ content in canola (*Brassica napus* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Plant Cell Physiol.* 57, 2323-2333.
- García J M, Lenzemo V, Castellanos V, Steinkellner S, Vierheilig H. (2009). Strigolactones, signals for parasitic plants and arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza.* 19:449-459.
- Golldack, D., Li, C., Mohan, H., Probst, N., (2014). Tolerance to drought and salt stress in plants: unraveling the signaling networks. *Front. Plant Sci.* 5, 151.
- Gregorio GB, Senadhira D. (1993). Genetic analysis of salinity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor Appl Genet* 86:333–338.
- Haak DC, Fukao T, Grene R, Hua Z, Ivanov R, Perrella G and Li S. (2017). Multilevel regulation of abiotic stress responses in plants. *Front. Plant Sci.* 8 1564.
- Hayward, H.E.y Bernstein L. (1958). Plant-growth relationships on salt-affected soils. *Bot. Rev,* 24, 584-635. Recuperado de <http://link.springer.com/article/10.1007%2F02872595#page-1>.
- Imbellone, P., Giménez J.E. y Panigatti J.L. (2010). Suelos de la región pampeana. Procesos de Formación. Argentina. Buenos Aires: Editorial INTA. 288p.

- Imbellone, P., Giménez J.E. y Panigatti J.L. (2010). Suelos de la región pampeana. Procesos de Formación. Argentina. Buenos Aires: Editorial INTA. 288p.
- INAMHI. (2019). National Institute of Meteorology and Hydrology. Agrometeorology Station of the Faculty of Agricultural Sciences of the Technical University of Babahoyo, Los Ríos, Ecuador.
- Islam, F. (2018). Rice Responses and Tolerance to Salt Stress: Deciphering the Physiological and Molecular Mechanisms of Salinity Adaptation. 10.1016/B978-0-12-814332-2.00040-X.
- Islam, F., Ali, B., Wang, J., Farooq, M.A., Gill, R.A., Ali, S., et al. (2016b). Combined herbicide and saline stress differentially modulates hormonal regulation and antioxidant defense system in *Oryza sativa* cultivars. *Plant Physiol. Biochem.* 107, 82-95.
- Islam, F., Ali, S., Farooq, M.A., Wang, J., Gill, R.A., Zhu, J., et al. (2017a). Butachlor-induced alterations in ultrastructure, antioxidant, and stress-responsive gene regulations in rice cultivars. *CLEAN Soil Air Water* 45, 1500851.
- Islam, F., Farooq, M.A., Gill, R.A., Wang, J., Yang, C., Ali, B., et al. (2017b). 2,4-D attenuates salinity-induced toxicity by mediating anatomical changes, antioxidant capacity and cation transporters in the roots of rice cultivars. *Sci Rep* 7, 10443.
- Islam, F., Yasmeen, T., Ali, S., Ali, B., Farooq, M.A., Gill, R.A. (2015b). Priming-induced antioxidative responses in two wheat cultivars under saline stress. *Acta Physiol. Plant.* 37, 153-161.
- Islam, F., Yasmeen, T., Arif, M.S., Ali, S., Ali, B., Hameed, S., et al. (2016a). Plant growth promoting bacteria confer salt tolerance in *Vigna radiata* by up-regulating antioxidant defense and biological soil fertility. *Plant Growth Regul.* 80, 23-36.
- Islam, T., Manna, M., Reddy, M.K. (2015a). Glutathione peroxidase of *Pennisetum glaucum* (PgGPx) is a functional Cd²⁺ dependent peroxiredoxin that enhances tolerance against salinity and drought stress. *PLoS ONE* 10,

e0143344.

- Jarabejo, J., Celis R., Ramos J.M., Busto H., Angelo S. y Pangilinan W. (abril 2018). Analyzing the Salt Level in Different Soil Textures. Recuperado de <https://www.ukessays.com/essays/sciences/analyzing-salt-level-soil-textures-2892.php>.
- Kalaiyarasi R, Palanisamy GA, Vaidyanathan P. (2002). The potentials and scope of utilizing TGMS lines in inter-subspecies crosses of rice (*Oryza sativa* L.). *J Genet Breed* 56:137–143.
- Kim, Y.S., Kim, I.S., Shin, S.Y., Park, T.H., Park, H.M., Kim, Y.H., et al. (2014). Overexpression of dehydroascorbate reductase confers enhanced tolerance to salt stress in rice plants (*Oryza sativa* L. japonica). *Int. J. Agric. Crop Sci.* 2000, 444-456.
- Koyro, H.W., Hussain, T., Huchzermeyer, B., Khan, M.A. (2013). Photosynthetic and growth responses of a perennial halophytic grass *Panicum turgidum* to increasing NaCl concentrations. *Environ. Exp. Bot.* 91, 22-29.
- Krasensky J and Jonak C. (2012). Drought, salt, and temperatura stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *J. Exp. Bot.* 63 1593–1608.
- Krishnamurthy, P., Ranathunge, K., Franke, R., Prakash, H.S., Schreiber, L., Mathew, M.K. (2009). The role of root apoplastic transport barriers in salt tolerance of rice (*Oryza sativa* L.). *Planta* 230, 119-134.
- Kumar, R.G., Shah, K., Dubey, R.S. (2000). Salinity induced behavioural changes in malate dehydrogenase and glutamate dehydrogenase activities in rice seedlings of differing salt tolerance. *Plant Sci.* 156, 23-34.
- 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>.

- Lavado, R.S. (2007). Visión sintética de la distribución y magnitud de los suelos afectados por salinidad en la Argentina. Recuperado de http://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=29764&capitulos=yes&detalles=yes&capit_id=451821.
- Lavado, R.S. y Taboada M. (2017). Génesis y propiedades de los suelos halomórficos. En Taleisnik, E. y Lavado R.S, (Ed.). Ambientes Salinos y Alcalinos de la Argentina (pp 9-27). Buenos Aires, Argentina: Editorial Orientación Gráfica.
- Lin, K.C., Wu, T.M., Chandrika, N.N.P., Chou, S.J., Hong, C.Y. (2017). Molecular characterization and subcellular localization of salt-inducible lipid transfer proteins in rice. *Biol. Plant.* 61, 501-510.
- Liu, C., Mao, B., Ou, S., Wang, W., Liu, L., Wu, Y., et al. (2014). OsbZIP71, a bZIP transcription factor, confers salinity and drought tolerance in rice. *Plant Mol. Biol.* 84, 19-36.
- Liu, D.M., Gregorio, G.B., Oliveira, M.M., Saibo, N.J. (2017). Five novel transcription factors as potential regulators of OsNHX1 gene expression in a salt tolerant rice genotype. *Plant Mol. Biol.* 93, 61-77.
- López R C, Gómez E, Campos R, Eichler B, Rodríguez L A, Guevara F, Gongora G. (2018). Afectaciones en el rendimiento de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) provocado por salinidad. *Cultivos Tropicales.* 39(1):74-80.
- Masclaux-Daubresse, C., Daniel-Vedele, F., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L., Suzuki, A. (2010). Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Ann. Bot.* 105, 1141-1157.
- Mishra, P., Bhoomika, K., Dubey, R.S. (2013). Differential responses of antioxidative defense system to prolonged salinity stress in salt tolerant and salt-sensitive Indica rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Protoplasma* 250, 3-19.
- Mittova, V., Tal, M., Volokita, M., Guy, M. (2002). Salt stress induces up-regulation

- of an efficient chloroplast antioxidant system in the salt-tolerant wild tomato species *Lycopersicon pennellii* but not in the cultivated species. *Physiol. Plant.* 115, 393-400.
- Moeljopawiro S, Ikehashi H. (1981). Inheritance of salt tolerance in rice. *euphytica* 30:291–300.
- Mohammadi G, Singh R K, Arzanic A, Rezaiee A M, Sabourid H, Gregorio G B. (2010). Evaluation of salinity tolerance in rice genotypes. *Int. J. Plant Prod.* 4: 199–207.
- Mohammadi-Nejad G, Singh RK, Arzani A, Rezaiee AM, Sabouri H, Gregorio GB. (2010). evaluation of salinity tolerance in rice genotypes. *Int J Plant Prod* 4:199–207.
- Moradi, F., Ismail, A.M. (2007). Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. *Ann. Bot.* 99, 1161-1173.
- Mouliya, B. (2000). Leaves as shell structures: double curvature, auto-stresses, and minimal mechanical energy constraints on leaf rolling in grasses. *J Plant Growth Regul.* 19, 19-30.
- Müller-Sämman, KM., Restrepo M. y José M. (1999). Conservación de suelos y aguas en la zona andina: Hacia el desarrollo de un concepto integral: Memorias. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Publicación No 309. Cali, Colombia. 230p.
- Munns R and Tester M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59 651–681.
- Munns, R., (2011). Plant adaptations to salt and water stress: differences and commonalities, *Advances in Botanical Research*, vol. 57. Academic Press, pp. 1-32.
- Murchie, E.H., Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *J. Exp. Bot.* 64,

3983-3998.

- Mwamba, T.M., Li, L., Gill, R.A., Islam, F., Nawaz, A., Ali, B., et al. (2016). Differential subcellular distribution and chemical forms of cadmium and copper in *Brassica napus*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 134, 239-249.
- Naeem, M.S., Warusawitharana, H., Liu, H., Liu, D., Ahmad, R., Waraich, E.A., et al. (2012). 5Aminolevulinic acid alleviates the salinity-induced changes in *Brassica napus* as revealed by the ultrastructural study of chloroplast. *Plant Physiol. Biochem.* 57, 84-92.
- Nawaz K, Hussain K, Majeed A, Khan F, Afghan S, Ali K. (2010). Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological and biochemical aspects. *African Journal of Biotechnology.* 9(34):5475-5480.
- Negrao, S., Schmockel, S.M., Tester, M. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Ann. Bot.* 119, 1-11.
- Nijensohn, L.N. (1988). Determinación del nivel de salinidad edáfica a partir del quintuple extracto de saturación. *Revista Ciencia del Suelo*, 6 (1), 8 -13.
- Páres, J., C. Basso. (2013). Efecto del cloruro de sodio sobre el crecimiento y estado nutricional de plantas de papaya. *Bioagro* 25:109-116.
- Park, S.I., Kim, Y.S., Kim, J.J., Mok, J.E., Kim, Y.H., Park, H.M., et al. (2017). Improved stress tolerance and productivity in transgenic rice plants constitutively expressing the **Oryza sativa** glutathione synthetase OsGS under paddy field conditions. *J. Plant Physiol.* 215, 39-47.
- Parvin, S., Biswas, S., Razzaque, S., Haque, T., Elias, S.M., Tammi, R.S., et al., (2015). Salinity and drought tolerance conferred by in planta transformation of SNAC1 transcription factor into a high-yielding rice variety of Bangladesh. *Acta Physiol. Plant.* 37, 68-75.
- Patel P, Yadav K, Ganapathi TR and Suprasanna P. (2019a). Plant miRNAome: cross talk in abiotic stressful times; in *Genomics-assisted breeding for crop improvement: abiotic stress tolerance* (Eds) Rajpal VR, Sehgal D, Kumar A

- and Raina SN (Springer) pp 25–52.
- Pizarro, F. (1978). Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. España, Ed Mundi Prensa. 521 p.
- Pla Sentís, I. (1979). Suelos salinos y elementos secundarios. Revista Suelos Ecuatoriales, X (2), 26- 50.
- Pla Sentís, I. (1993). Soil Salinization y Land Desertification. College on Soil Physics. International Centre for Theoretical Physics. Italia.
- Pla Sentis, I. (2006a). Problemas de degradación de suelos en el mundo: Causas y consecuencias. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
- Pla Sentis, I. (2014). Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland and irrigated conditions. International Soil and Water Conservation Research, 2(4):50-63. WASWAC. China.
- Pla Sentis, I. (2017). Anthropogenic and climate change factors in present and future soil and water conservation problems. (Zlatic and Kostadinov, ed.) Soil and Water Resources Protection in the Changing Environment. Advances in GeoEcology CatenaVerlag GMBH.
- Porta, J.; López Acevedo M. y Roquero C. (1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. España: Ed. Mundi Prensa. 807pág.
- Prieto Garra, D., Sánchez R.M. y Martínez R.S. (2015) Las áreas de suelos y la degradación de los suelos. En Casas, R. y Albarracín G. (Editores). El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Tomo I (pp 319-346). Buenos Aires: Editorial FECIC. 604p.
- Qadir, M., Quillérrou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R.J., et al., (2014). Economics of salt induced land degradation and restoration. Nat. Resour. Forum 38, 282-295.
- Ragab H, Abd M. (2015). Comparative Response of Salt Tolerant and Salt Sensitive Maize (*Zea mays* L.) Cultivars to Silicon. Journal of Academic. 2(1):1-5.

- Ray PKS, Islam A (2008) Genetic analysis of salinity tolerance in rice. Bangladesh J Agric Res 33:519–529.
- Reddy, I.N.B.L., Kim, S.M., Kim, B.K., Yoon, I.S., Kwon, T.R. (2017). Identification of rice accessions associated with K^+/Na^+ ratio and salt tolerance based on physiological and molecular responses. Rice Sci. 24, 360-364.
- Reyes Borja, W. O., Zamora Morejón, B. J., Ruilova Cueva, M. B., Cobos Mora, F. J., & Espinoza Espinoza, F. G. (2020). Calidad molinera de 40 líneas avanzadas f6 de arroz (*Oryza sp.*) cultivadas en dos zonas arroceras del Ecuador. Journal of Science and Research, 5(CININGEC), 267–274. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/1012>.
- Richards, L. A. (1973). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. México: Ed. Limusa.172p.
- Roy ST, Negrão S., Tester M. (2014). Salt resistant crop plants. Current Opinion in Biotechnology. 115-124 pp.
- SAMLA. (2018). Sistema de Apoyo Metodológico a Laboratorios de Análisis de suelo Recuperado de <http://www.suelos.org.ar/sitio/sistema-de-apoyo-metodologico-a-laboratorios-deanalisis-de-suelo-samla/>.
- Sánchez W. (2013). The Wild Relative of Rice: Genomes and Genomics 2. Visited on May18, 2017. Available in: http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9781461479024-c1.pdf?SGWID=0-0-45-1444425-p175172215.
- Sandoval F, Arreola J, Lagarda Á, Trejo R, Esquivel O, García G. (2010). Efecto de niveles de NaCl sobre fotosíntesis y conductancia estomática en nogal pecanero (*Carya illinoensis* Wangeh.) (K. Koch). Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas. 9:135-141.
- Sankar PD, Subbaraman N, Narayanan SL (2008) Heterosis, combining ability and gene action studies in TGMS based rice hybrids under normal and salt affected environments. Indian J Agric Res 42:177–182.

- Shafi, A., Chauhan, R., Gill, T., Swarnkar, M.K., Sreenivasulu, Y., Kumar, S., et al., (2015). Expression of SOD and APX genes positively regulates secondary cell wall biosynthesis and promotes plant growth and yield in *Arabidopsis* under salt stress. *Plant Mol. Biol.* 87, 615-631.
- Shalata, A., Mittova, V., Volokita, M., Guy, M., Tal, M. (2001). Response of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt-dependent oxidative stress: the root antioxidative system. *Physiol. Plant.* 112, 487-494.
- Shao H., Chu L., Jaleel, C. y Zhao C. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331: 215–225.
- Shen, J., Lv, B., Luo, L., He, J., Mao, C., Xi, D., et al., (2017). The NAC-type transcription factor OsNAC2 regulates ABA-dependent genes and abiotic stress tolerance in rice. *Sci. Rep* 7, 40641. Available from: <https://doi.org/10.1038/srep40641>.
- Shen, Y., Shen, L., Shen, Z., Jing, W., Ge, H., Zhao, J., et al., (2015). The potassium transporter OsHAK21 functions in the maintenance of ion homeostasis and tolerance to salt stress in rice. *Plant Cell Environ.* 38, 2766-2779.
- Shi, W.M., Xu, W.F., Li, S.M., Zhao, X.Q., Dong, G.Q. (2010). Responses of two rice cultivars differing in seedling-stage nitrogen use efficiency to growth under low-nitrogen conditions. *Plant Soil* 326, 291-293.
- Singh R K, Mishra B, Singh K N. (2004). Salt tolerant rice varieties and their role in reclamation programme in Uttar Pradesh. *Indian Far.* 6–10.
- Soil Survey Staff. (2014). Claves para la Taxonomía de suelos. USDA, Dpto de Agricultura de los Estados Unidos. Traducción, Ortiz Solorio C.A., Gutiérrez Castorena M.C. y Gutiérrez Castorena E.V. 410p. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf.
- Soto, F. (2017). Respuesta al estrés salino de injertos de *Jatropha curcas* (L.) en

portainjerto de *Jatropha cinerea* (Ortega) Muell. Arg. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz- Bolivia. 6-8 pp.

Suprasanna P and Ghag SB. (2019). Plant tolerance to environmental stress: translating research from lab to land; in Molecular plant abiotic stress: biology and biotechnology 1st edition (Eds) Roychoudhury A and Tripathi DK (JohnWiley & Sons Ltd).

Suprasanna P, Ghuge SA, Patade VY, et al. (2018). Genomic roadmaps for augmenting salinity stress tolerance in crop plants; in Salinity responses and tolerance in plants (Eds) Kumar V, Wani SH, Suprasanna P and Tran L-SP (Springer, Berlin) pp 189–216.

Suzuki, K., Yamaji, N., Costa, A., Okuma, E., Kobayashi, N.I., Kashiwagi, T., et al., (2016). OsHKT1; 4-mediated Na⁺ transport in stems contributes to Na⁺ exclusion from leaf blades of rice at the reproductive growth stage upon salt stress. BMC Plant Biol. 16, 22.

Swain, D.M., Sahoo, R.K., Srivastava, V.K., Tripathy, B.C., Tuteja, R., Tuteja, N., (2017). Function of heterotrimeric G-protein γ subunit RGG1 in providing salinity stress tolerance in rice by elevating detoxification of ROS. Planta 245, 367-383.

Szabolcs, I. (1988). Solonetz Soils. Proceeding of the International Symposium on Solonetz Soils. Problems Properties Utilization. Yugoslavia, 9-25.

Tabuchi, M., Sugiyama, K., Ishiyama, K., Inoue, E., Sato, T., Takahashi, H., et al., (2005). Severe reduction in growth rate and grain filling of rice mutants lacking OsGS1; 1, a cytosolic glutaminesynthetase1; 1. Plant J. 42, 641-651.

Talesnik, E. y AA Rodriguez. (2017). Aspectos fisiológicos de la tolerancia a la salinidad en plantas superiores.. En Taleisnik, E. y Lavado R.S, (Ed.). Ambientes Salinos y Alcalinos de la Argentina (pp 327-338). Editorial Orientación Gráfica.

Tavakkoli E, Fatehi F, Coventry S, Rengasam P, & McDonald G. (2011). Additive effects of Na⁺and Cl⁻ions on barley growth under salinity stress. J. Exp. Bot.

62:2189-2203.

Tester M and Langridge P. (2010). Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science* 327 818–822.

Tester, M., Davenport, R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91, 503-527.

Torabi M, Halim R. (2013). Physiological and biochemical responses of plants in saline environment. Roychowdhury, R. (Ed.). *Crop Biology and Agriculture in Harsh Environments*. Lambert Academic Publishing. 35-80.

Töth, J. (2000). Las aguas subterráneas como agente geológico: causas procesos y manifestaciones. *Boletín Geológico y Minero, Instituto Tecnológico GeoMinero España*, 8, 49-26.

Tripathy, M.K., Tiwari, B.S., Reddy, M.K., Deswal, R., Sopory, S.K. (2017). Ectopic expression of PgRab7 in rice plants (*Oryza sativa* L.) results in differential tolerance at the vegetative and seed setting stage during salinity and drought stress. *Protoplasma* 254, 109-124.

Tripathy, M.K., Tiwari, B.S., Reddy, M.K., Deswal, R., Sopory, S.K. (2017). Ectopic expression of PgRab7 in rice plants (*Oryza sativa* L.) results in differential tolerance at the vegetative and seed setting stage during salinity and drought stress. *Protoplasma* 254, 109-124.

UNFPA, 2014. Linking Population, Poverty and Development [Online]. Available from: <http://www.unfpa.org/pds/trends.htm>.

Varallyay, G. (1981). Extreme Moisture Regime as the Main Limiting Factor of the Fertility of salt affected soils. *Agrokemia es Talajtan*, 3, 73-95.

Varshney RK, Bansal KC, Aggarwal PK, Datta SK and Craufurd PQ. (2011). Agricultural biotechnology for crop improvement in a variable climate: hope or hype? *Trends Plant Sci.* 16 363–371.

Vighi, I.L., Benitez, L.C., Amaral, M.N., Moraes, G.P., Auler, P.A., Rodrigues, G.S., et al., (2017). Functional characterization of the antioxidant enzymes in rice

- plants exposed to salinity stress. *Biol. Plant.* 61, 540-550.
- Wang ZF, Wang JF, Bao YM, Wu YY, Su X, Zhang HS. (2010). Inheritance of rice seed germination ability under salt stress. *Rice Sci* 17:105–110
- Wang, H., Wang, H., Shao, H., Tang, X., (2017b). Recent advances in utilizing transcription factors to improve plant abiotic stress tolerance by transgenic technology. *Front. Plant Sci.* 7-4563.
- Wang, H., Wu, Z., Chen, Y., Yang, C., Shi, D., (2011). Effects of salt and alkali stresses on growth and ion balance in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Soil Environ.* 57, 286-294.
- Wang, H., Wu, Z., Han, J., Zheng, W., Yang, C., (2012a). Comparison of ion balance and nitrogen metabolism in old and young leaves of alkali-stressed rice plants. *PLoS ONE* 7, e37817. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037817>.
- Wang, H., Zhang, M., Guo, R., Shi, D., Liu, B., Lin, X., et al., (2012b). Effects of salt stress on ion balance and nitrogen metabolism of old and young leaves in rice (*Oryza sativa* L.). *BMC Plant Biol.* 12, 194.
- Wang, J., Lv, M., Islam, F., Gill, R.A., Yang, C., Ali, B., et al., (2016). Salicylic acid mediates antioxidant defense system and ABA pathway related gene expression in *Oryza sativa* against quinclorac toxicity. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 133, 146-156.
- Wang, R., Jing, W., Xiao, L., Jin, Y., Shen, L., Zhang, W., (2015). The rice high-affinity potassium Transporter1; 1 is involved in salt tolerance and regulated by an MYB-type transcription factor. *Plant Physiol.* 168, 1076-1090.
- Wankhade, S.D., Sanz, A., (2013). Chronic mild salinity affects source leaves physiology and productivity parameters of rice plants (*Oryza sativa* L., cv. Taipei 309). *Plant Soil* 367, 663-672.
- Xiong, H., Li, J., Liu, P., Duan, J., Zhao, Y., Guo, X., et al., (2014). Overexpression of OsMYB48-1, a novel MYB-related transcription factor, enhances drought

- and salinity tolerance in rice. PLoS ONE 9, e92913.
- Xu, L., Islam, F., Ali, B., Pei, Z., Li, J., Ghani, M.A., et al., (2017). Silicon and water-deficit stress differentially modulate physiology and ultrastructure in wheat (*Triticum aestivum* L.). *3 Biotech* 7, 273.
- Xu, L., Zhang, W., Ali, B., Islam, F., Zhu, J., Zhou, W., (2015). Synergism of herbicide toxicity by 5-aminolevulinic acid is related to physiological and ultrastructural disorders in crickweed (*Malachium aquaticum* L.). *Pestic. Biochem. Physiol.* 125, 53-61.
- Yamane, K., Mitsuya, S., Taniguchi, M., Miyake, H., (2012b). Salt-induced chloroplast protrusion is the process of exclusion of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase from chloroplasts into cytoplasm in leaves of rice. *Plant Cell Environ.* 35, 1663-1671.
- Yamane, K., Taniguchi, M., Miyake, H., (2012a). Salinity-induced subcellular accumulation of H in leaves of rice. *Protoplasma* 249, 301-308.
- Yeats, T.H., Rose, J.K., (2008). The biochemistry and biology of extracellular plant lipid-transfer proteins (LTPs). *Protein Sci.* 17, 191-198.
- Zeng L, Shannon M C. (2003). Salinity Effects on Seedling Growth and Yield Components of Rice. *Crop Sci.* 40:996–1003.
- Zhang, H., Li, D., Zhou, Z., Zahoor, R., Chen, B., Meng, Y., (2017). Soil water and salt affect cotton (*Gossypium hirsutum* L.) photosynthesis, yield and fiber quality in coastal saline soil. *Agric. Water Manage.* 187, 112-121.
- Zhang, Z.J., Li, H.Z., Zhou, W.J., Takeuchi, Y., Yoneyama, K., (2006). Effect of 5-aminolevulinic acid on development and salt tolerance of potato (*Solanum tuberosum* L.) microtubers in vitro. *Plant Growth Regul.* 49, 27-34.
- Zhou, J., Wang, X., Jiao, Y., Qin, Y., Liu, X., He, K., et al., (2007). Global genome expression analysis of rice in response to drought and high-salinity stresses in shoot, flag leaf, and panicle. *Plant Mol. Biol.* 63 (5), 591-608.
- Zhu JK (2016) Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell* 167 314–324.

Zhu, N., Cheng, S., Liu, X., Du, H., Dai, M., Zhou, D.X., et al., (2015). The R2R3-type MYB gene OsMYB91 has a function in coordinating plant growth and salt stress tolerance in rice. *Plant Sci.* 236, 146-156.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO



EDITORIAL
UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE BABAHOYO



ISBN: 978-9942-606-07-5



9 789942 606075

