Impacto de la salinidad en las principales variedades de arroz cultivadas en España

Los ensayos se han realizado en dos localizaciones del Delta del Ebro con distinto nivel de salinidad

Mª del Mar Català[1], Concha Domingo[2], Maite Martínez-Eixarch[3], Núria Tomàs[1], Eva Pla[1] y Andrea Bertomeu[1].

[1] IRTA/Estació Experimental de l'Ebre.
[2] IVIA/Departamento del Arroz.
[3] IRTA/Sant Carles de la Ràpita.

El aumento de la salinidad, producido principalmente por el cambio climático, acelera la necesidad de cultivar variedades tolerantes a la salinidad como estrategia más sostenible. Durante 2016 y 2017 se evaluó el comportamiento de las principales variedades cultivadas en España con la finalidad de realizar asesoramiento agronómico a los arroceros. Las variedades Gleva y JSendra, aunque han reducido su producción un 21% y 28% respectivamente en condiciones de salinidad, han sido las variedades con un mayor potencial productivo.

En España, el cultivo del arroz representa una importante actividad económica, además de formar parte como agrosistema de los parques naturales del Delta del Ebro y La Albufera y el Parque Nacional de Doñana en el Valle del Guadalquivir.

El cultivo del arroz en el Delta del Ebro representa un 65% de la superficie, siendo el motor económico más importante. La zona se caracteriza por una salinidad del suelo elevada, causada en su mayor parte por las aguas freáticas con altos valores de conductividad eléctrica (Casanova, 1998) y con un 30% de la superficie deltaica alcanzando valores de conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada superiores a 4 dS/m (Casanova, 1998).

Según estudios previos realizados en la zona, la conductividad eléctrica del extracto de saturación está directamente relacionada con la disminución del rendimiento del cultivo, de tal forma que un valor superior a los 4 dS/m supone una pérdida de cosecha de hasta el 32% (Catala *et al.,* 1997). La capacidad del cultivo del arroz de crecer en condiciones de inundación favorece su cultivo en condiciones de salinidad, evitándose el ascenso por capilaridad del agua freática con elevada concentración de sales.

Además, el actual escenario de cambio climático actúa como agravante de

Parcelas de ensayo de la localización con salinidad elevada, La Marquesa, en estadio fenológico de llenado del grano.

esta situación de salinidad elevada. Efectos inminentes como el incremento del nivel del mar, dando lugar a intrusiones marinas en los campos de cultivo, y la escasez de agua son factores que conducirán con seguridad a una tendencia de salinización en las zonas más vulnerables como son los deltas (Genua *et al*., 2016). En concreto el 50% de la superficie del Delta del Ebro se encuentra actualmente a menos de 0,5 m por encima del nivel del mar (Ibañez *et al.*, 1997). Se han realizado múltiples trabajos de predicciones de escenarios de cambio climático, contemplando el incremento de la salinización de los suelos. Por ejemplo, Genua *et al*. (2016) prevé una pérdida de cosecha en el Delta del Ebro del 33,8% para el año 2100 correspondiendo a una pérdida de ganancias de 300 €/ha, considerando el peor escenario de proyección del IPCC. Además, en España se prevén sequías que agravarían el problema al conllevar restricciones de agua, que con seguridad contribuiría a la salinización más agudizada del suelo.

Otro hecho que conduce a una situación de incremento de la salinidad es la lucha contra el caracol manzana (*Pomacea maculata)*, declarado plaga invasora en el Delta del Ebro en 2009. Tratándose de una especie sensible a la salinidad, durante los últimos años se han contemplado como estrategias de lucha la inundación invernal de los campos con agua de mar y la siembra en seco del arroz, contribuyendo ambas a elevar los niveles de salinidad en suelo.

La problemática de la salinidad y las estrategias para minimizar su impacto se está estudiando desde un punto de vista multidisciplinar, siendo el uso de variedades tolerantes a la salinidad la estrategia más sostenible. El proyecto que a continuación se presenta, financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), se ha desarrollado con el objetivo de adaptar el arroz a las actuales demandas del sector y al cambio climático. El objetivo del presente estudio ha sido el de evaluar la respuesta agronómica a condiciones de salinidad de variedades comerciales de arroz españolas, para mejorar su productividad y adaptarse a los nuevos escenarios de cambio climático.

Control *in situ* de la conductividad eléctrica mediante conductímetro FieldScout en la localización con salinidad elevada, La Marquesa.

Material y métodos

Los ensayos de campo se llevaron a cabo durante las campañas 2016 y 2017 en dos localizaciones del Delta del Ebro **(figura 1)** y fueron dirigidos por las investigadoras del IRTA (Institut de Recerca i Tecnologia

FIG. 1 Localización de las parcelas de ensayo en el Delta del Ebro.

CUADRO I

CARACTERÍSTICAS DE LAS PARCELAS DE ENSAYO.

Localización	Clase textural USDA	PSI (%)	Tipo de suelo	CE_{extsat} (dS/m)	CE suelo[a] (dS/m)		CE agua[b] (dS/m)	
					2016	2017	2016	2017
La Marquesa (salinidad elevada)	Franco limoso	23,5	Salino-sódico (elevado)	17,9	3,7	4,07	2,8	3,18
EEE (salinidad media)	Franco arcillo limoso	6,6	Salino (medio)	4,37	0,96	1,18	0,94	0,73

Clase textural; PSI (porcentaje de sodio intercambiable), tipo de suelo según la clasificación de los suelos salinos y sódicos de Richards, 1954; CE_{extsat}: conductividad eléctrica del extracto de saturación realizado al inicio del ensayo, CE suelo[a]: promedio de la conductividad eléctrica del suelo durante el ciclo de cultivo y CE agua[a]: promedio de la conductividad eléctrica del agua de la parcela durante el ciclo de cultivo para el 2016 y el 2017.

Siega a mano de las parcelas experimentales de la localización con salinidad media, Estación Experimental del Ebro.

Agroalimentaries) Mª del Mar Català y Maite Martínez Eixarch en coordinación con la investigadora del IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) Concha Domingo.

Con el fin de cumplir con el objetivo del proyecto, los ensayos se implementaron en dos localizaciones del Delta del Ebro con distintos niveles de salinidad: La Marquesa (suelo con niveles de salinidad elevados) y la Estación Experimental del Ebro/EEE (suelo con niveles de salinidad medios), para poder comparar el potencial agronómico de las variedades en ambas condiciones **(cuadro I)**.

En 2016 se ensayaron las variedades JSendra, Gleva y Puntal, por ser las más representativas de Valencia, Cataluña y Andalucía respectivamente. El segundo año de ensayo, además de las variedades anteriormente citadas, se agregaron al estudio las siguientes: Montsianell, Guara y Sirio CL. El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones.

En las dos localizaciones del ensayo se realizó un análisis de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo antes de la implementación del ensayo, así como un seguimiento semanal de los niveles de salinidad en suelo y en agua mediante medidas *in situ* con un conductímetro FieldScout **(cuadro I)**.

Durante el cultivo se realizaron valoraciones de los caracteres agronómicos más relevantes, destacando el establecimiento del cultivo, el rendimiento en grano y sus componentes.

Resultados y discusión

El comportamiento agronómico de las variedades estudiadas se vio afectado por el factor año, produciendo interacción significativa entre las variables año y nivel de salinidad del suelo en el análisis estadístico de la mayoría de valoraciones. Consecuentemente y para las variedades que se ensayaron ambos años, los resultados se analizaron de forma separada.

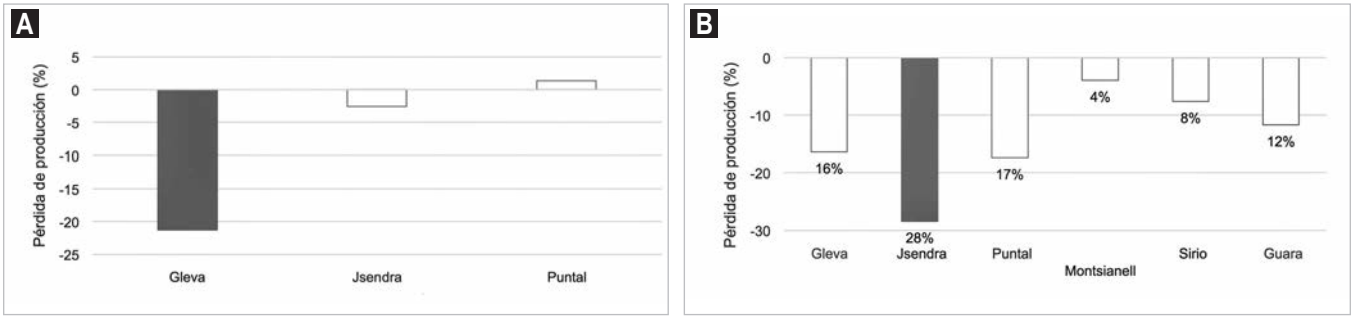
CUADRO II

EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD DE PLANTA Y DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DEL RENDIMIENTO DE TODAS LAS VARIEDADES ESTUDIADAS LOS DOS AÑOS DE ENSAYO EN LAS DOS LOCALIZACIONES (SUELO CON SALINIDAD ELEVADA-LA MARQUESA Y SUELO CON SALINIDAD MEDIA-EEE).

Variedad	Nivel de salinidad	Plantas /m^2		Panículas /m^2		Granos totales/ panícula		Porcentaje de granos llenos (%)		Peso de mil granos llenos (g)		Kg/ha netos	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Gleva	Elevado	207,0 ± 25,5	240 ± 19,5	372,0 ± 13,1	373 ± 15,5	62,6 ± 2,6	74,7 ± 1,3	87,2 ± 0,5	87,4 ± 0,9	35,1 ± 0,4	32,0b ± 0,3	7.119b ± 305,7	7.788 ± 380,6
	Medio	148,0 ± 8, 0	261 ± 10,3	406,0 ± 19,9	393 ± 21,4	68,1 ± 3,7	76,0 ± 2,0	90,5 ± 0,7	86,1 ± 1,8	36,4 ± 0,3	35,9a ± 0,5	9.042a ± 361,1	9.219 ± 519,3
JSendra	Elevado	237,8 ± 22,5	247 ± 26,6	486,3 ± 21,3	420 ± 10,1	68,5 ± 2,0	66,9b ± 1,2	96,0 ± 0,3	88,7 ± 0,9	35,5± 0,2	30,2b ± 0,6	9.570 ± 570,1	7.535b ± 297,6
	Medio	176,0 ± 38,4	248 ± 13,4	389,0 ± 44,3	392 ± 3,7	76,8 ± 4,8	78,0a ± 2,9	96,6 ± 0,1	92,6 ± 0,3	36,8 ± 0,4	37,2a ± 0,6	9.822 ±818, 1	10.525a±501,5
Puntal	Elevado	168,0 ± 6,4	211 ± 11,3	266,8 ± 37,7	281 ± 8,2	112,6 ± 4,9	117,0 ± 4,2	90,1 ± 0,2	83,1 ± 1,0	24,0 ± 0,4	20,5b ± 0,2	6.459 ± 507,3	5.696 ± 550,9
	Medio	102,0 ± 17,8	234 ± 46,1	295,0 ± 27,0	312 ± 23,6	122,9 ± 9,5	109,5 ± 2,8	78,6 ± 2,6	82,6 ± 2,4	22,6 ± 0,3	24,6a ± 0,7	6.375 ± 615,7	6.895 ± 563,9
Sirio	Elevado	222,5 ± 10,4	234 ± 7,5	417,5 ± 36,7	434 ± 20,8	64,2 ± 2,4	66,1 ± 0,6	93,0 ± 0,3	85,3 ± 0,9	24,6 ± 0,3	21,4b ± 0,2	6.139 ± 147,1	5.243 ± 363,0
	Medio		188 ± 0,0	-	409 ± 0,0	-	65,7 ± 6,3	-	89,8 ± 0,6	-	23,5a ± 0,1	-	5.677 ± 314,5
Montsianell	Elevado	249,0 ± 12,7	278 ± 11,9	325,5 ± 50,4	369 ± 15,3	68,4 ± 2,6	80,9 ± 4,9	94,2 ± 0,5	91,9 ± 1,0	34,0 ± 0,3	28,2b ± 0,5	7.692 ± 203,9	7.691 ± 478,1
	Medio		257 ± 7,8	-	342± 5,7	-	79,1 ± 4,1	-	87,0 ± 1,1	-	34,1a ± 0,2	-	8.009 ± 470,2
Guara	Elevado	215,3± 55,7	275 ± 15,8	368,3 ± 53,4	370 ± 29,1	80,7 ± 4,2	91,0 ± 7,3	88,8 ± 0,7	68,1 ± 2,7	33,1 ± 0,2	30,5b ± 0,4	8.732 ± 183,8	6.858 ± 758,8
	Medio		200 ± 10,7	-	359 ± 15,4	-	91,2 ± 3,2	-	70,6 ± 0,7	-	33,9a ± 0,7	-	7.884 ± 631,8

Seguido del símbolo ± se indica el error estándar de los datos. Las mismas letras sobre las columnas o su ausencia indican que no existen diferencias significativas entre tipos de suelo (salinidad elevada-salinidad media) dentro de la misma variedad según el análisis estadístico GLM y el test de separación de promedios Student Newman Keuls (P<0,05).

FIG. 2 Reducción del rendimiento en grano (kg/ha) en la localización con salinidad elevada (La Marquesa) en referencia a la localización con salinidad media (EEE) para los dos años de ensayo.



Las columnas con relleno representan variedades con rendimientos en grano de las dos localidades estadísticamente diferentes entre sí según el análisis estadístico GLM y el test de separación de promedios Student Newman Keuls (P<0,05) entre localizaciones.

En cuanto al análisis de los resultados por variedad, en los dos años de ensayo se observó el mismo porcentaje de establecimiento del cultivo en los dos tipos de suelo en todas de las variedades estudiadas **(cuadro II).** Por lo tanto, bajo las condiciones de salinidad de este ensayo, la fase de nascencia de las variedades estudiadas no se vio afectada negativamente por la salinidad elevada del suelo.

Del estudio de los componentes del rendimiento **(cuadro II)**, se observó un comportamiento diferencial de las variedades en cada uno de los años de ensayo. En 2016, la salinidad elevada del suelo sólo afectó de forma significativa al rendimiento en grano de la variedad Gleva, que produjo un 20% menos **(figura 2a)**. Sin embargo, en el segundo año de ensayo, todas las variedades estudiadas vieron mermado el peso de mil granos de forma significativa bajo la condición más severa de salinidad. Además, también en el segundo año de ensayo, se produjo una reducción del rendimiento en grano de todas las variedades en condiciones salinas elevadas respecto a la salinidad media, aunque solo fue significativa para la variedad JSendra (28% de reducción). Es de destacar que, a pesar de esta reducción, la producción de la variedad JSendra, de 7.535 kg/ha en dichas condiciones, fue superior a la media de la zona del Delta del Ebro el año 2017 (6.600 kg/ha). Destacó como variedad tolerante a la salinidad del suelo Montsianell con sólo un 4% de reducción de cosecha (año 2017), seguida de Guara con un 13% (año 2017). Gleva, JSendra y Montsianell fueron las variedades más productivas en suelo con salinidad elevada, con rendimientos estadísticamente iguales entre ellas y superiores a las variedades de grano largo (Puntal y Sirio Cl) **(figura 2b)**.

Conclusiones

Ante la creciente dinámica de salinización de los campos de arroz en el Delta del Ebro, ya sea por el efecto del cambio climático o por las acciones de lucha contra el caracol manzana, este ensayo busca dar respuesta a la demanda de los agricultores y poder proporcionar una adecuada recomendación para cada caso.

Los resultados del presente ensayo evidencian que las variedades comerciales de las que actualmente el agricultor dispone se ven afectadas en distinto grado por la salinidad elevada del suelo. En las condiciones de salinidad de este ensayo, todas las variedades estudiadas ven reducido su rendimiento en grano a causa de una elevada salinidad. A pesar de ser las únicas que reducen su rendimiento en condiciones de elevada salinidad de forma significativa, Gleva y JSendra son las que más producción alcanzan en dichas condiciones. En un segundo grupo menos productivo se encuentran las variedades Guara y Montsianell, destacando esta última por ser la que mejor respuesta agronómica muestra en 2017, reduciendo sólo un 4% su rendimiento en salinidad elevada. Las variedades de grano largo Puntal y Sirio CL, menos productivas en ambos tipos de suelo, reducen su rendimiento aunque no de forma significativa. ■

Agradecimientos

Este ensayo se ha realizado en colaboración con el IRTA y el IVIA en el marco del proyecto INIA "Adaptación del arroz a las actuales demandas del sector y al cambio climático: nuevas variedades y prácticas de cultivo" (RTA2014-00058-C03-00).La localización con elevada salinidad se ubicó en la finca propiedad del agricultor Xavi Franch en el término municipal de Deltebre (Tarragona).

BIBLIOGRAFÍA

Casanova, D., 1998. Quantifying the Effects of Land Conditions on Rice Growth. A case study in the Ebro Delta (Spain) using remote sensing (PhDThesis) Wageningen University, The Netherlands, pp. 53-54.

Català, M.M. y Fosch, T. 1997. Estudio de los factores que inciden en el rendimiento del Arroz en el Delta del Ebro. Agricola Vergel 183: 120-128.

Genua, A., Alcaraz, C., Caiola, N., Ibañez, C., 2016. Sea level rise impacts on rice production: The Ebro Delta as an example. Science of The Total Environment 11.

Ibáñez, C., Canicio, A., Day, J.W., Curcó, A., 1997. Morphologic developement, relative sea level rise and sustainable management of wàter and sediment in the Ebre Delta, Spain. J. Coast. Conserv. 3, 191-202.