

Artículo Original

Respuesta de la planta de arroz a la suspensión de la lámina de agua.

Parte III

Michel Ruiz-Sánchez^{1*}

José M. DellÁmico-Rodríguez¹

Juan A. Cabrera-Rodríguez¹

Yaumara Muñoz-Hernández²

Fernando M Almeida³

Ricardo Aroca⁴

Juan M. Ruiz-Lozano⁴

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

²Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saiz Montes de Oca”. Calle Martí final, #300, Pinar del Río, Cuba

³Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad "José Eduardo dos Santos", Huambo, Angola

⁴Estación Experimental del Zaidín. Calle Prof. Albareda, 1, 18160 Granada, España

* Autor por correspondencia: mich@inca.edu.cu

RESUMEN

La investigación se realizó en la Estación Experimental del Zaidín, Granada, España, con el objetivo de evaluar la respuesta fisiológica y bioquímica de la planta de arroz, cultivada en condiciones de anaerobiosis y expuestas a una suspensión de la lámina de agua por un periodo de 15 días en el rendimiento agrícola. Las plantas de arroz (cv. `INCA LP-5`) se cultivaron en condiciones semi-controladas en macetas plásticas. La suspensión de la lámina de agua se realizó en tres momentos de su desarrollo, a los 30, 40 y 50 días después del trasplante (DDT). Se evaluó el rendimiento agrícola, el número de panículas por planta, granos llenos por panícula y la masa de 100 granos, a los 147 DDT. Se realizó una correlación del rendimiento

con la altura de la planta, masa fresca aérea y de las raíces, potencial hídrico foliar, conductancia estomática, contenido foliares de peróxido de hidrógeno y daño oxidativo a lípidos, que se evaluaron a los 122 DDT. Se obtuvo que, el número de panículas por planta y los granos llenos por panícula se favorecieron con la aplicación del estrés hídrico, indicadores que contribuyeron con el incremento del rendimiento agrícola en los tratamientos expuestos a estrés hídrico (30 DDT = 23 %, 40 DDT = 20 % y 50 DDT = 11 %, respecto al testigo). Se encontró que el rendimiento agrícola se correlacionó con la altura de la planta, la masa fresca aérea y de las raíces, el potencial hídrico foliar, la conductancia estomática, los contenidos foliares de peróxido de hidrógeno y el daño oxidativo a lípidos.

Palabras clave: peróxido de hidrógeno, *Oryza sativa*, estrés hídrico, per oxidación lipídica, recuperación

Recibido: 05/07/2019

Aceptado: 04/03/2020

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) constituye la fuente de alimentación de 3 000 millones de personas en todo el mundo. La producción anual mundial de arroz cáscara es de 650-700 millones de toneladas aproximadamente ⁽¹⁾. Este cereal puede crecer en una amplia gama de situaciones hidrológicas, tipos de suelos y climas. En este cultivo el medioambiente donde crecen las plantas se conoce como sistema convencional de arroz inundado, lo que conduce a utilizar mayores cantidades de agua dulce para su cultivo en comparación con el sistema de producción de arroz en seco ⁽²⁾.

En el mundo existen cerca de 158 millones de hectáreas de arroz inundado (incluidos los cultivos dobles), de los cuales 101 millones de hectáreas corresponden a cosechas de arroz de riego y constituyen el 75 % de la producción mundial de arroz; mientras que, los 57 millones de hectáreas restantes corresponden a arroz de seco y contribuyen con el 19 % de la producción mundial ⁽¹⁾. En Cuba, este cereal se cultiva en condiciones de inundación, es decir, en presencia de una lámina de agua la mayor parte de su ciclo, donde el manejo del agua de riego es un factor limitante en producción de arroz.

La disminución de la productividad del arroz en la mayoría de los casos se atribuye a diversos factores abióticos, incluyendo la sequía. Este último se ha convertido en una grave amenaza para garantizar la seguridad alimentaria en el mundo en desarrollo ⁽³⁾. Aunque el agua es necesaria en todos los períodos de crecimiento de la planta de arroz, hay algunas etapas críticas cuando el estrés por sequía afecta gravemente y crear una reducción masiva en la cantidad y calidad del rendimiento agrícola. Las respuestas de los cultivos al estrés por sequía y su nivel de tolerancia pueden medirse mediante el seguimiento de diferentes cambios fisiológicos y bioquímicos después del período de sequía y de la recuperación de la planta ⁽⁴⁾. Las plantas responden al estrés por sequía a nivel molecular, celular y fisiológico que varían entre especies y el genotipo, la duración y la severidad del estrés hídrico, la edad del cultivo y la etapa de desarrollo ⁽³⁾. Todos estos elementos son indispensables para poder entender y trabajar en función de ahorrar agua, a la vez que no se afecte el rendimiento agrícola.

El rendimiento de los cultivos suele ser el atributo en el que se centran principalmente los programas de mejoramiento y las decisiones de gestión. En el caso de los cultivos de cereales, es el resultado final del crecimiento y los procesos de desarrollo, que están fuertemente regulado por factores genéticos, condiciones ambientales y las interacciones genéticas y ambientales a lo largo de una temporada de crecimiento ⁽⁵⁾. La mayoría de los fisiólogos de cultivos trabajan en identificar los procesos que determinen las diferencias en el rendimiento debido a factores genéticos y ambientales ⁽⁵⁾. El rendimiento es la proporción de la biomasa total del cultivo asignada a los órganos aprovechables. En el caso de los cereales y otros cultivos de granos, es la biomasa asignada a los granos ⁽⁵⁾.

Para mantener la productividad de los cultivos bajo estrés por sequía y garantizar la seguridad alimentaria, se debe adoptar una tecnología de cultivo mejorada para aumentar la eficiencia del uso del agua ⁽³⁾. En Cuba, se han alcanzado resultados relevantes con la aplicación del estrés hídrico (Déficit hídrico en el suelo) en el cultivo del arroz por siembra directa ⁽⁶⁾. Sin embargo, no se cuenta con todos los elementos que validen la aplicación del estrés hídrico en este cultivo por la tecnología de trasplante. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta fisiológica y bioquímica de la planta arroz, cultivada en condiciones de anaerobiosis y expuestas a suspensión de la lámina de agua por un periodo de 15 días en el rendimiento agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Estación Experimental del Zaidín, Granada, España (EEZ) en el año 2010 en condiciones de invernadero con plantas de arroz cv. INCA LP-5. Inicialmente se estableció un semillero de arroz en bandejas plásticas de 0,40 x 0,80 x 0,08 m con arena estéril. Para lograr la germinación del arroz, se regaron las bandejas hasta lograr una lámina de agua de 5 cm por encima de la superficie de la arena por un periodo de 24 horas, momento a partir del cual se desaguó la bandeja, manteniendo la arena a máxima capacidad de retención de agua, hasta que brotaron dos hojas por planta. Con posterioridad, se restableció la lámina de agua de 3 cm hasta los 30 días después de la emergencia (DDE). A los 30 DDE se trasplantó una planta en cada maceta de 1 kg de capacidad (0,18 m de alto y 0,13 m de diámetro), conteniendo un sustrato compuesto por arena (granulometría <1 mm) y suelo (granulometría <5 mm) en proporción 1:1 (v:v), que previamente se esterilizó; la arena a 120 °C durante 20 min, en una autoclave Selecta, modelo PRESOCLAVE-II 75 L, y el suelo a 95-100 °C, pero durante 60 min diarios por tres días consecutivos. El suelo que se utilizó, se clasificó como Fluvisoln Háplico Calcáreo ⁽⁷⁾, el que presentó un pH de 8,1 (medido por potenciometría), 1,81 % de materia orgánica (método de Walkley y Black), fósforo asimilable 6,2 mg kg⁻¹ (P-Olsen) y potasio intercambiable 0,34 cmol kg⁻¹ (extracción con NH₄OAc 1 mol L⁻¹ a pH 7).

Las macetas se colocaron en el invernadero donde se estableció el semillero, con temperaturas de 26 y 22 °C (día/noche, respectivamente); humedad relativa entre 50-70; fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad y radiación fotosintéticamente activa de 850 μmol m⁻² s⁻¹, medida con un LICOR portátil (Lincoln, NE, EE.UU., modelo LI-188B), siguiendo un diseño experimental completamente Aleatorizado, con arreglo bifactorial y cinco repeticiones, para lo cual se emplearon 15 macetas por tratamiento, que permitieron realizar las evaluaciones después de cada periodo sin lámina de agua.

El suministro de agua consistió, en mantener una lámina de agua a 5 cm sobre la superficie del sustrato en todos los tratamientos (Sin E), hasta el momento en que se suspendió la lámina de agua, a los 30, 40 y 50 DDT (Con E), por un periodo de 15 días, momento en el cual se repuso la lámina de agua que permaneció hasta los 15 días antes de efectuar la cosecha; el grupo de macetas a las que no se les suspendió la lámina de agua quedaron como tratamientos testigos (Figura 1).

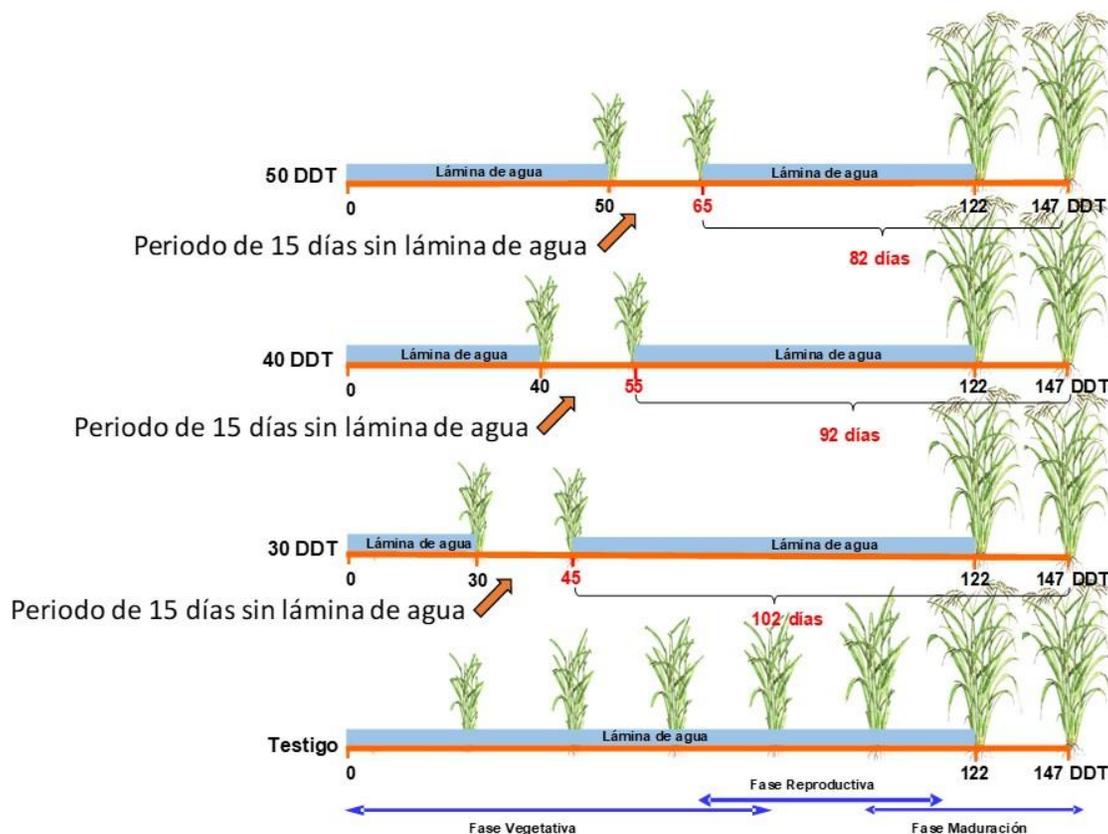


Figura 1. Esquema general de riego desarrollado en el experimento con plantas de arroz cv. INCA LP-5 expuestas a estrés hídrico a los 30, 40 y 50 días después del trasplante (DDT) por un periodo de 15 días

La aplicación total de nutrientes, correspondiente a 0,123 g de N; 0,050 g de P_2O_5 y 0,059 g de K_2O por maceta, se realizó a los 20, 35 y 60 DDT, aplicando en cada momento el 30, 40 y 30 %, respectivamente, utilizando como portadores Urea (46 % de N), Superfosfato Triple (46 % de P_2O_5) y Cloruro de Potasio (60 % de K_2O), respectivamente.

Muestreo y evaluaciones realizadas

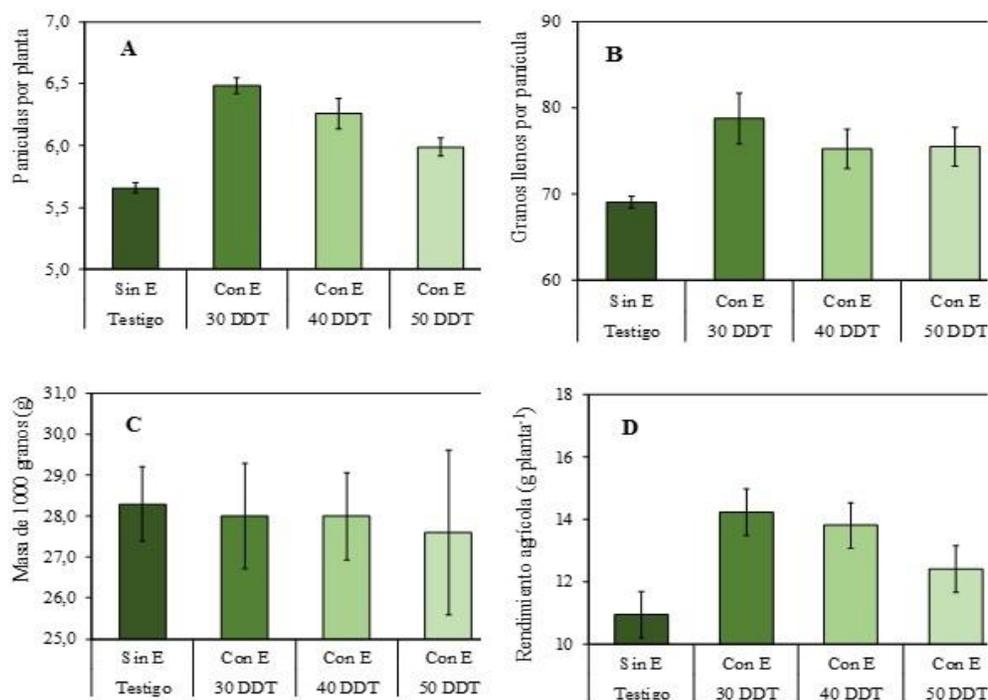
Se tomaron cinco plantas por tratamiento a los 122 DDT (25 días antes de la cosecha del grano), para evaluar la altura de las plantas (ALT), la masa fresca aérea (MFA) y de las raíces (MFR), el potencial hídrico foliar (Ψ_h), la conductancia estomática (CE), los contenidos foliares de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el daño oxidativo a lípidos (DOL). La ALT, MFA, MFR, Ψ_h , CE, H_2O_2 y el DOL, se determinaron siguiendo los mismos procedimientos y protocolo que se describen en la primera parte de este artículo ⁽⁸⁾.

En el momento de la cosecha (147 DDT) cuando el 85 % de las espigas en la planta se tornaron de coloración amarilla ⁽⁹⁾. Se evaluaron los componentes de rendimiento agrícola [número de panículas por planta (P_p), granos llenos por panícula (GLL_p) y se tomaron c panículas para el conteo de los granos llenos por tratamiento]. Además, se determinó masa de 100 granos (M100) por replica y por tratamiento, y el rendimiento agrícola (REND), que se expresó en g planta⁻¹.

Los valores medios de P_p, Gll_p, M100 y REND, de cada tratamiento se compararon a partir de los Intervalos de Confianza para $\alpha=0,05$. Con los datos de las evaluaciones de ALT, MFA, MFR, Ψ_h , CE, H₂O₂ y DOL, se realizaron Correlaciones de Pearson en función del efecto que condujo la suspensión de la lámina de agua a los 30, 40 y 50 DDT sobre el rendimiento agrícola de arroz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de comprobado que la suspensión de la lámina de agua en diferentes momentos de la fase vegetativa de la planta de arroz por un periodo de 15 días provocó un estrés hídrico a la planta ⁽⁸⁾ y de demostrar que éstas plantas se recuperan del mismo ⁽⁴⁾ se encontró un efecto diferencial sobre el rendimiento agrícola y sus componentes del cultivo (Figura 2).



Barras sobre las columnas indican intervalos de confianza ($\alpha \leq 0,05$)

Figura 2. Panícula por plantón (A), granos llenos por panícula (B), masa de 1000 granos (C) y rendimiento agrícola (D) en plantas de arroz sin estrés hídrico (Sin E) y expuestas a estrés hídrico (Con E) por un periodo de 15 días a los 30, 40 y 50 DDT, respectivamente, evaluadas en la cosecha (147 DDT)

Se encontraron los valores mayores de panículas por planta, granos llenos por panícula y rendimiento agrícola en las plantas expuestas a suspensión de la lámina de agua por un periodo de 15 días durante la fase vegetativa respecto al tratamiento testigo. En el caso de las panículas por plantas (P_p) los valores mayores de este indicador se correspondieron con la suspensión de la lámina de agua a los 30 DDT. Sin embargo, el manejo de agua aplicado no condujo a variaciones en el número de granos llenos por panículas entre los tratamientos que estuvieron expuestos a estrés hídrico, pero estos alcanzaron mayor número de granos llenos por panículas (GL_p) que el tratamiento testigo. Por el contrario, no se encontró diferencias en cuanto a la masa de 100 granos (M_{100}) entre los tratamientos con E y sin E (testigo). El rendimiento agrícola se incrementó en los tratamientos expuesto a estrés hídrico (Con E) respecto al testigo. El incremento a los 30 DDT respecto al testigo fue de 23,03 %, a los 40 DDT fue de 20,66 % y a los 50 DDT fue de 11,72 %, No obstante, no se encontró diferencias

en el rendimiento con la aplicación del estrés hídrico a los 30 y 40 DDT, a la vez que no hubo diferencias entre la aplicación de déficit hídrico entre 40 y 50 DDT.

Exponer a la planta de arroz a reducción del suministro hídrico en algún momento de la fase vegetativa por un periodo de tiempo de 15 días, no afectó al cultivo y garantizó el incremento del rendimiento agrícola. Al respecto, algunos autores afirmaron que el estrés hídrico en la fase vegetativa en plantas de arroz incrementa el número de panículas por planta ⁽¹⁰⁾, variable que identificaron como determinante en el rendimiento agrícola. Sin embargo, en esta investigación, se encontró que también el número de granos llenos por panículas fue determinante en el rendimiento agrícola. En condiciones de campo ⁽¹¹⁾, no se encontró diferencias significativas en cuanto a la masa de 1000 granos y la mejor respuesta al estrés hídrico por un periodo de 15 días la encontró cuando aplicó el mismo a los 30 DDT ⁽¹¹⁾.

El incremento del número de panículas por planta puede estar relacionado con el desarrollo del sistema radical, expresado en este caso como MFR ^(4,8). Este incremento radical se favoreció por el estímulo por déficit hídrico. Otros autores aseguran que el estrés hídrico favorece el crecimiento radical ^(10,11). Además, puede deberse al periodo de recuperación, el cual fue mayor cuando las plantas fueron expuesta a esta condición al inicio de la fase vegetativa, o se a los 30 DDT (82 días), 40 DDT (92 días) y 50 DDT (102 días).

El número de panículas por planta y los granos llenos por panícula, en el caso específico del arroz por trasplante, son determinantes en el rendimiento agrícola; puesto que, con menor número de plantas por m² e igual cantidad de granos llenos por panícula, se logra igualar o incrementar el rendimiento agrícola, que se alcanza en la producción de arroz por siembra directa ⁽¹¹⁾. En estos resultados se demuestra que en esta forma de producción (arroz por trasplante) se comportó un comportamiento similar.

La evaluación que se realizaron a los 122 DDT de las variables fisiológicas y bioquímicas (ALT, MFA, MFR, Ψ_h , CE, H₂O₂, DOL, PRO) en correlación con el rendimiento, explicaron su efecto sobre variable, inducido por el déficit hídrico impuesto a los 30, 40 y 50 DDT (Tabla 1).

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Pearson de variables filológicas y bioquímicas, respecto al rendimiento agrícola, por efecto de la suspensión de la lámina de agua a los 30, 40, y 50 DDT, por un periodo de 15 días en el momento de la cosecha a los 147 DDT. n=8

Variables	Rendimiento agrícola (REND)		
	30 DDT	40 DDT	50 DDT
ALT	-0,811**	-0,786**	-0,881**
MFA	-0,928**	-0,890**	-0,871**
MFR	-0,967**	-0,970**	-0,846**
Ψ_h	0,161	-0,466	-0,794**
CE	0,945**	-0,848**	-0,882**
H ₂ O ₂	-0,970**	0,949**	0,885**
DOL	-0,333	0,824**	0,696*
PRO	-0,716*	0,937**	0,867**

Altura de las plantas (ALT); Masa fresca aérea (MFA); Masa de las raíces (MFR); Potencial hídrico foliar (Ψ_h); Conductancia estomática (CE); Contenidos foliares de peróxido de hidrógeno (H₂O₂); Daño oxidativo a lípidos (DOL); Prolina (PRO); y Rendimiento agrícola (REND); Días después del trasplante (DDT)

*La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas)

**La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas)

El estrés hídrico aplicado a los 30 DDT por un periodo de 15 días condujo a una respuesta positiva o negativa en cuanto a las correlaciones que se encontraron entre el REND y el resto de las variables fisiológicas y bioquímica evaluadas. Este se relacionó positivamente con la CE y negativamente con ALT, MFA, MFR, H₂O₂ y PRO. A la vez que no mostró relación con el Ψ_h y el DOL. El estrés hídrico impuesto a los 40 y 50 DDT al momento de la cosecha mostró una respuesta similar. Se encontró que el rendimiento agrícola (REND) se correlacionó con todas las variables evaluadas de forma inversa con ALT, MFA, MFR, Ψ_h , CE y positiva con el H₂O₂, DOL y PRO.

Que no se haya encontrado correlación entre el REND y el Ψ_h a los 30 DDT, pudiera estar indicando que al final del ciclo del cultivo una estabilidad de esta variable en valores de potenciales en el orden de $-0,93$ Mpa⁽⁴⁾. Sumado a esto, es posible que en la fenofase (dentro de la fase de maduración de grano, estaría en al final de la fenofase de pastoso) fisiológica que se encontraba la planta disminuye el movimiento de agua, o sea la absorción y ocurre con mayor frecuencia la pérdida de la misma por transpiración y evapotranspiración. Sin embargo, la correlación que se encontró cuando el estrés se aplicó a los 40 y 50 DDT, es posible que responda a la disminución de potencial hídrico que tuvo un efecto marcado en

los rendimientos, a partir de una posible disminución en la translocación de foto asimilados por déficit de agua en la etapa que la planta comienza a prepararse para la fase reproductiva. Resultados que se evidenciaron en cuanto a los valores de Ψ_h ⁽⁸⁾, y la relación de este con variables bioquímica de demostraron el efecto negativo en estos momentos por el déficit hídrico provocado ⁽⁴⁾.

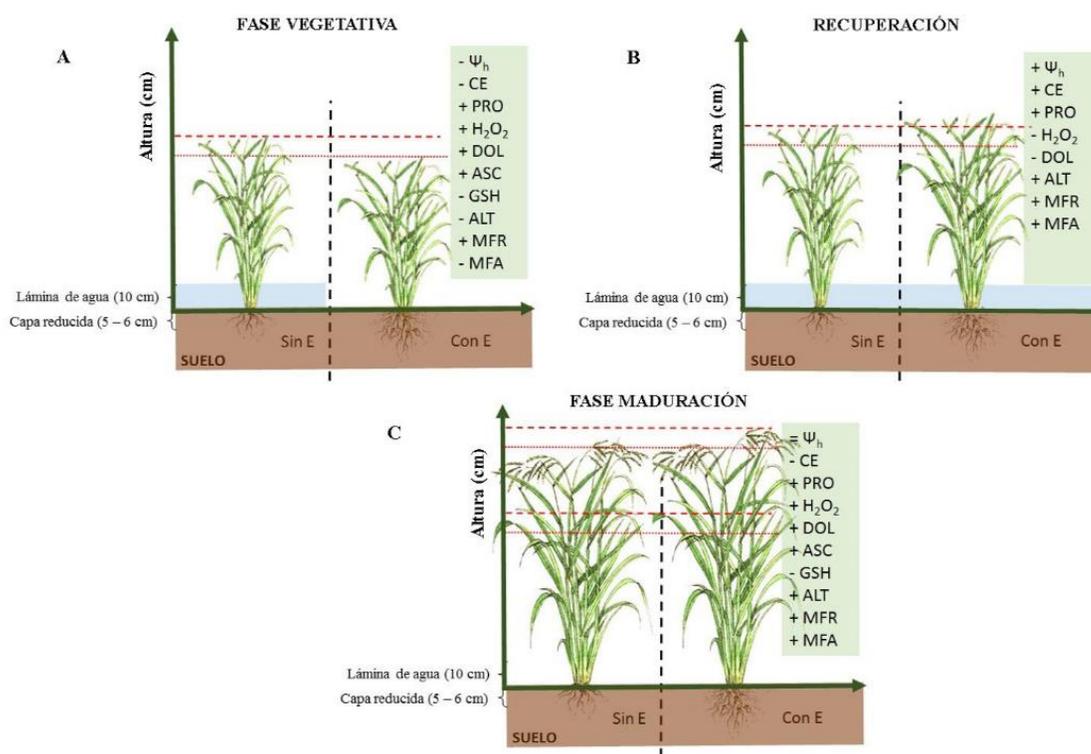
La correlación positiva que se encontró a los 30 DDT entre el REND y la CE, indicó la dependencia de un sistema de transpiración e intercambio gaseoso en la producción de P_p, el llenado de los granos en el proceso de translocación y por ende con el rendimiento agrícola. Al respecto se informó que las plantas expuestas al estrés hídrico cerraron sus estomas para mantener su contenido de humedad interna y, en consecuencia, sus tasas de transpiración y fotosintética, y la productividad disminuyó ^(4,12). Por lo tanto, se asume que la disminución de la CE durante el periodo de estrés hídrico y al final del ciclo, indicó un cierre estomático que provocó una reducción de la evapotranspiración del arroz ⁽¹²⁾, la cual disminuye con el estrés hídrico y está relacionada linealmente con el rendimiento del grano. Las correlaciones positivas que se encontraron entre el rendimiento agrícola y las variables bioquímicas se corresponde directamente con la fase vegetativa de la planta, donde se aceleran los procesos de senescencia al finalizar el ciclo biológico ⁽¹³⁾ y, por lo tanto, se incrementa la producción de H₂O₂, DOL y PRO.

Se asume que el rendimiento es igualmente sensible a los cambios en la biomasa en cualquier momento durante el crecimiento del cultivo ⁽⁵⁾. En cambio, otro autor ⁽¹⁴⁾ aseguran que los efectos del estrés hídrico en la fase de llenado del grano podrían conducir a una reducción de los granos llenos por panícula. Por lo que, la reducción o disminución del rendimiento cuando el estrés hídrico se aplica tardíamente (a los y DDT), si bien no fueron en la etapa de llenado del grano, pero fue cercano a inicio de la fase reproductiva.

El estrés hídrico por un periodo de 15 días a los 30, 40 y 50 DDT, provocó cambios fisiológicos y bioquímicos después del periodo del estrés hídrico, como disminución del crecimiento y desarrollo aéreo de la planta, disminución del potencial hídrico foliar y la conductancia estomática, por el contrario, se incrementó la masa radical de la planta ⁽⁸⁾. Desde el punto de vista bioquímico el contenido de prolina fue incrementado así como de peróxido de hidrógeno, el daño oxidativo y el contenido del antioxidante glutatión, a la vez que disminuyó el ascorbato reducido ⁽⁸⁾. Después del periodo de recuperación a los 122 DDT se

incrementó del potencial hídrico y la conductancia estomática, también se incrementó el contenido de peróxido de hidrógeno y el daño oxidativo a lípidos ⁽⁴⁾ y en el momento de la cosecha los mejores resultados se encontraron cuando el estrés hídrico se aplicó a los 30 DDT y se evaluó la respuesta de la planta en los tres momentos antes expuestos, que se resumen en la Figura 3.

En este tratamiento después del estrés en plantas de arroz respecto al testigo se disminuye el Ψ_h , CE, MFA, ALT, GSH, a la vez, que se incrementó el contenido de PRO, de ASC, de H_2O_2 y DOL durante la fase vegetativa (Figura 3 A).



Altura de las plantas (ALT), Masa fresca aérea (MFA), Masa de las raíces (MFR), Potencial hídrico foliar (Ψ_h), Conductancia estomática (CE), Contenidos foliares de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), Daño oxidativo a lípidos (DOL), Prolina (PRO)

Signo (+), incremento respecto a la condición anterior

Signo (-), disminuyo respecto a la condición anterior

Signo (=), igualo respecto a la condición anterior

Figura 3. Mecanismo de respuesta fisiológica y bioquímica en plantas de arroz sin estrés hídrico (Sin E) y expuestas a estrés hídrico (Con E) por un periodo de 15 días a los 30 DDT

Después del periodo de recuperación a los 122 DDT (Figura 3 C), el estrés hídrico impuesto en la fase vegetativa provocó cambios fisiológicos y bioquímicos, aumentó el Ψ_h , CE, MFA,

MFR, ALT, a la vez que disminuyó H_2O_2 y DOL (Figura 3 B). En el momento de la cosecha (fase de maduración), se igualaron los Ψ_h , con tendencia a la disminución, disminuyó la CE y el GSH, a la vez que se incrementó PRO, H_2O_2 , DOL y ASC.

A partir de los resultados alcanzados se puede asegurar que, el manejo del agua de riego en el cultivo de arroz es indispensable para el crecimiento y desarrollo de la plantada de arroz. Debido a que este conduce a cambios fisiológicos y bioquímicos que determinan al final del ciclo el rendimiento agrícola del cultivo ^(4,8). La relación entre las variables de relaciones hídricas (Ψ_h y CE) con las fisiológicas (ALT, MFA y MFR) y bioquímicas (H_2O_2 , DOL y PRO) demuestran la sensibilidad de la planta de arroz a variaciones en el estatus hídrico de la misma. Es por ello que la planta de arroz puede ser utilizada como modelo para las investigaciones agrícolas desde los fisiológico, bioquímico y molecular; a partir que se evidencia la respuesta de la misma a cambios en el manejo del agua de riego en este cultivo ^(11,14,15).

CONCLUSIONES

- En sentido general a partir del efecto que provoca el estrés hídrico impuesto a los 30, 40 y 50 DDT sobre la planta, la respuesta de las misma después del periodo de recuperación y en el momento de la maduración (cosecha) se puede ahorra agua, cuando el mismo se cultiva con tal finalidad de aplicar un déficit hídrico en el suelo y en la planta con la suspensión de la lámina de agua a los 30 DDT.
- Se obtuvo que, el número de panículas por planta y los granos llenos por panícula se favorecieron con la aplicación del estrés hídrico, indicadores que contribuyen con el incremento del rendimiento agrícola en los tratamientos expuestos a estrés hídrico (30 DDT = 23 %, 40 DDT = 20 % y 50 DDT = 11 %, respecto al testigo).
- El rendimiento agrícola se correlaciona, tanto con variables fisiológicas, como con las bioquímicas, o sea que es dependiente del estado hídrico de la planta y de su transformación por efecto de un déficit hídrico. Por otra parte, destacar que el efecto positivo del estrés hídrico sobre el rendimiento se traduce en la mejora de la calidad industrial del grano.

BIBLIOGRAFÍA

1. Steduto P, Hsiao TC, Fereres E, Raes D. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y Drenaje (FAO) spa no. 66. 2012;
2. Khairi M, Nozulaidi M, Afifah A, Jahan MS. Effect of various water regimes on rice production in lowland irrigation. Australian Journal of Crop Science. 2015;9(2):153–9.
3. Zain NAM, Ismail MR, Puteh A, Mahmood M, Islam MR. Impact of cyclic water stress on growth, physiological responses and yield of rice (*Oryza sativa* L.) grown in tropical environment. Ciência Rural. 2014;44(12):2136–41.
4. Ruiz M, Muños Y, Dell Á, Cabrera JA, Polón R, Aroca R, et al. Recovery of the rice plant to the suspension of the water lamina. Part II. Cultivos Tropicales. 2018;39(2):75–80.
5. Slafer GA, Savin R. Physiology of crop yield. In: Encyclopedia of Plant and Crop Science (Print). Routledge; 2004. p. 1–4.
6. Polón R. Impacto nacional en el incremento del rendimiento agrícola, economizar agua de riego y energía en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) como consecuencia del estrés hídrico. XVI FÓRUM DE CIENCIA Y TÉCNICA. 2007.
7. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports, No. 106. FAO, Rome. 2014.
8. Ruiz-Sánchez M, Muños-Hernández Y, Dell'Ámico-Rodríguez JM, Cabrera-Rodríguez JA, Aroca R, Ruiz-Lozano JM. Respuesta de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.) a la suspensión de la lámina de agua en tres momentos de su desarrollo. Parte I. Cultivos Tropicales. 2017;38(2):61–9.
9. MINAG. Instructivo Técnico Cultivo de Arroz [Internet]. Instituto de Investigaciones de Granos; 2014 [cited 24/03/2020]. 73 p. Available from: <https://isbn.cloud/en/9789597210863/instructivo-tecnico-cultivo-de-arroz/>
10. García A, Dorado M, Pérez I, Cun R, López T, Montilla E. Dry mass accumulation of different organs of the rice plant under water deficit conditions. Agronomía Tropical (Maracay). 2009;59(1):15–24.

11. Ruiz-Sánchez M, Muñoz-Hernández Y, Dell'Amico JM, Polón-Pérez R. Irrigation water management in rice crop (*Oryza sativa* L.) by transplant, it's effect on the agricultural and industrial performance. *Cultivos Tropicales*. 2016;37(3):178–86.
12. Guimarães CM, Stone LF, Silva AC de L. Evapotranspiration and grain yield of upland rice as affected by water deficit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2016;20(5):441–6.
13. Lim PO, Kim HJ, Gil Nam H. Leafsenescence. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2007;58:115–36.
14. Polón-Pérez R. Effect of water stress on the ratoon crop (*Oryza sativa* L.). First Part. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2019;28(2):1–6.
15. Polón-Pérez R, Castillo-Toro D, Miranda-Caballero A, Ruiz-Sánchez M. Water Stress Effects on Grain Quality in the Cultivation of Rice (*Oryza sativa* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2018;27(3).