



MANEJO DEL AGUA DE RIEGO EN EL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) POR TRASPLANTE, SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO AGRÍCOLA E INDUSTRIAL

Irrigation water management in rice crop (*Oryza sativa* L.) by transplant, it's effect on the agricultural and industrial performance

Michel Ruiz Sánchez^{1✉}, Yaumara Muñoz Hernández², José M. Dell'Amico¹ y Ricardo Polón Pérez¹

ABSTRACT. Rice cultivation transplant traditionally spends most of its life cycle with flooding and exhibits high adaptability to these conditions, consequently its production consumes a lot of water, although less than in the cultivation by direct seeding. This research was conducted to evaluate the effect of irrigation water management in the agricultural and industrial yield of rice transplanting technology. Plants remained in flooded conditions throughout the cycle and plants undergoing suspension of the water surface for a period of 15 at three different times tillering stage were evaluated. The suspension of the water level increased agricultural yields between 16 and 32 % over the flooded control and industrial yield was 67 % on average. The highest percentage of whole grains were obtained in the treatments under suspension of the sheet, achieving the best results with the suspension at 30 DDT. This operation allows water savings of approximately 1 931,4 m³ ha⁻¹, for the flooded treatment. The water saved would increase the area under irrigation by 11,19 % for rice cultivation.

RESUMEN. El cultivo del arroz por trasplante, tradicionalmente, permanece la mayor parte de su ciclo biológico con inundación y manifiesta una elevada adaptabilidad a dichas condiciones, consecuentemente su producción consume una gran cantidad de agua, aunque menor que en el cultivo por siembra directa. Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto del manejo del agua de riego en el rendimiento agrícola e industrial del arroz por la tecnología de trasplante. Se evaluaron plantas que permanecieron en condiciones inundadas durante todo su ciclo y plantas que se sometieron a suspensión de la lámina de agua por un periodo de 15 días en tres momentos diferentes de la etapa de ahijamiento. La suspensión de la lámina de agua incrementó el rendimiento agrícola entre un 16 y 32 %, con respecto al control inundado y el rendimiento industrial fue de un 67 %, como promedio. Los porcentajes mayores de granos enteros se lograron en los tratamientos sometidos a suspensión de la lámina, alcanzándose los mejores resultados con la suspensión a los 30 DDT. Este manejo permitió un ahorro de agua aproximadamente de 1 931,4 m³ ha⁻¹, respecto al tratamiento inundado. El agua ahorrada pudiera incrementar el área bajo riego en un 11,19 % para el cultivo del arroz.

Key words: water, saving water, rice, agronomic yield, irrigation

Palabras clave: agua, ahorro de agua, arroz, rendimiento agronómico, riego

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) tiene la particularidad de ser una planta semi-acuática y se siembra tradicionalmente en inundación continua durante la mayor parte de su ciclo de crecimiento (1), se plantea que tiene relativamente pocas adaptaciones a las condiciones de agua limitada y es extremadamente sensible a la sequía (2).

¹Unidad Científico Tecnológica de Base «Los Palacios», Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, CP 32 700.

²Universidad de Pinar del Río «Hermanos Saiz Montes de Oca», calle Martí final, # 270 esq. a 27 de noviembre, Pinar del Río, Cuba.

✉ mich@inca.edu.cu

Aproximadamente la mitad de la superficie cultivable de arroz en el mundo no cuenta con agua suficiente para mantener las condiciones de inundación y el estrés por sequía intermitente en las etapas críticas puede provocar una considerable reducción del rendimiento (3). La baja disponibilidad de agua representa un desafío para la producción de arroz, ya que cada año se necesita producir más cereal con menos agua para el riego (4). Adicionalmente, es importante destacar que no sólo la falta de agua reduce el potencial de rendimiento, sino también la época y la duración de la sequía, en relación con los procesos fenológicos y a los periodos de inundación, los cuales provocan cambios fisiológicos, físico-químicos y microbiológicos en la interacción suelo-planta-agua (5).

Los cultivares comerciales actuales han demostrado tener un potencial de rendimiento que supera las 7 t ha⁻¹; sin embargo, en las condiciones productivas de Cuba, en los últimos 20 años, no supera las 3,5 t ha⁻¹ como promedio. Entre las causas más comunes de este problema se identificaron las indisciplinas tecnológicas e incumplimiento de las buenas prácticas agrícolas, problemas edáficos, nutricionales y la disponibilidad del recurso hídrico para enfrentar los planes de producción. Es por ello que se trabaja en la búsqueda de alternativas de manejo de agua que permitan mantener o incrementar la producción de este cereal.

Teniendo en cuenta lo antes planteado el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto en el manejo del agua de riego en el cultivo del arroz de trasplante, y en el rendimiento agrícola e industrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las áreas de campo de la Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios", en los meses de enero a julio, que se correspondió con la siembra del semillero hasta la cosecha del grano, coincidiendo con la época de siembra poco lluviosa de 2011, en un suelo clasificado

como Hidromórfico Gley Nodular Petroférrico (6). Para dar cumplimiento al objetivo, se sembraron cuatro parcelas con una dimensión de 40 x 80 m (terrazas) y donde se aplicó riego independiente. En tres de ellas fueron expuestas a suspensión de la lámina de agua (Inund) a los 30, 40 y 50 días después del trasplante (DDT) por un periodo de 15 días, momentos que se enmarcaron en la etapa de ahijamiento (7) y se comparó cada una con la cuarta terraza, donde las plantas permanecieron en condiciones inundadas durante todo el ciclo (Inund). Concluido cada período de suspensión de la lámina de agua se repuso la misma hasta alcanzar 10 cm (8).

Tratamientos

Momento de la suspensión de la lámina de agua:

- A1 - suspensión de la lámina de agua a los 30 DDT
- A2 - suspensión de la lámina de agua a los 40 DDT
- A3 - suspensión de la lámina de agua a los 50 DDT
- A4 - testigo (Inund)

Antes de iniciar la investigación se realizó el análisis de las propiedades químicas del suelo, a partir de cinco muestras tomadas en forma de bandera inglesa, para conformar una única muestra por terraza a una profundidad de 0 a 20 cm, las cuales se procesaron en el laboratorio del Instituto de Suelo Provincial, Pinar del Río (Tabla I).

El área experimental fue previamente preparada por la tecnología de fangueo (8). La preparación de suelo se realizó a una profundidad entre 0 y 25 cm, con una lámina de agua no superior a los 10 cm. El trasplante se realizó a los 30 días después de la emergencia (DDE) de forma manual a una distancia entre plantas de 20 x 20 cm y una planta por nicho. El comportamiento de las variables meteorológicas durante el periodo del ensayo de campo se evaluó *in situ* (Tabla II), se utilizó para medir las precipitaciones un pluviómetro de cuña graduado (mm), fijado a un soporte de madera a 1 m de altura de la superficie del suelo ubicado en el centro del área experimental. La temperatura (°C) y la humedad relativa (%) se midieron con un equipo Testoterm (JAPAN, testo® 610).

Tabla I. Algunas propiedades que caracterizan la fertilidad del horizonte cultivable (0-0,20 m) del área experimental

Propiedad	Unidad	Media	Mediana	Error estándar	Varianza
pH		6,46	6,50	0,15	0,09
MO	%	2,86	2,80	0,13	0,07
Ca ²⁺		6,97	7,01	0,13	0,08
Mg ²⁺	cmol kg ⁻¹	3,11	3,09	0,06	0,01
Na ⁺		0,21	0,19	0,02	0,01
K ⁺		0,18	0,18	0,02	0,01
P asimilable	mg kg ⁻¹	46,80	46,00	3,80	5,70

Tabla II. Comportamiento de las variables meteorológicas (año 2011), promedios mensuales

Meses	Temperaturas (°C)			Precipitaciones (mm)	Humedad relativa (%)
	mínima	máxima	media		
Enero	17,67	25,71	21,69	8,72	63
Febrero	18,44	27,64	23,04	0,00	61
Marzo	18,79	28,95	23,87	11,70	67
Abril	22,05	31,58	26,82	2,81	72
Mayo	22,95	31,70	27,33	20,60	76
Junio	24,34	31,97	28,15	9,38	79
Julio	24,60	31,96	28,28	12,74	83

La fertilización se realizó según recomendaciones del Instructivo Técnico del Cultivo de Arroz (8), utilizando para ello Urea (46 %), Superfosfato triple (46 %) y Cloruro de potasio (60 %) como portadores de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente. Los fertilizantes se aplicaron a los 20, 35 y 70 DDT. En cada momento se aplicó un 30, 40 y 30 % de la dosis total de cada fertilizante, respectivamente (dosis total: 185 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 75 kg ha⁻¹ de fósforo y 90 kg ha⁻¹ de potasio).

Se realizaron dos muestreos, uno al finalizar cada periodo de suspensión de la lámina de agua, a los 45, 55 y 65 DDT y el otro en el momento de la cosecha del grano de arroz (130 DDT). En cada muestreo se tomaron 20 plantas al azar por terraza.

Se evaluó la altura de las plantas (cm), que se midió desde la superficie del suelo hasta el extremo superior de la hoja más larga proyectada en la misma dirección del tallo; el número de hijos se determinó por conteo de tallos en cada planta muestreada y a la cantidad determinada se le restó el valor 1 (planta madre).

Después de realizadas las mediciones de altura y el conteo de hijos, se tomaron las plantas evaluadas y, mediante un corte en la base del tallo, se separó la parte aérea del sistema radical para determinar la masa seca de ambas. Las raíces se lavaron con abundante agua para eliminar el suelo adherido y se secaron con papel absorbente. Ambas secciones de la planta se mantuvieron en estufa con circulación forzada de aire a 70 °C, hasta alcanzar masa constante, la que se midió en una balanza técnica (Denver Instrument PK-601), el resultado obtenido se expresó en g planta⁻¹.

En el momento de la cosecha se evaluaron las mismas variables, además del rendimiento agrícola al 14 % de humedad del grano (t ha⁻¹) y sus componentes (panículas por m², granos llenos por panículas y masa de 1000 granos), así como, la productividad (kg m⁻³) y la eficiencia en el uso del agua (m³ kg⁻¹).

La productividad y la eficiencia en el uso el agua se determinaron según las siguientes expresiones^A.

Productividad del agua (WP): (1)

$$WP = \frac{\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Gasto de agua (m}^3\text{ ha}^{-1}\text{)}}$$

Eficiencia en el uso del agua (EUA): (2)

$$EUA = \frac{\text{Gasto de agua (m}^3\text{ ha}^{-1}\text{)}}{\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

donde:

Rendimiento agrícola al 14 % de humedad del grano.

El gasto de agua se estimó, a partir de la entrega en cada parcela de (20 L s⁻¹), según proyecto constructivo del sistema de riego de la Unidad Científica Tecnológica "Los Palacios", Pinar del Río.

Los datos obtenidos para cada muestreo después de la suspensión de la lámina de agua se analizaron a partir de los intervalos de confianza ($\alpha \leq 0,05$). En el momento de la cosecha, se tomaron muestras de las cuatro parcelas y se realizó un análisis de varianza simple. Las diferencias entre las medias de los tratamientos se determinaron a partir de la prueba de Tukey, para ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades que caracterizan la fertilidad del horizonte cultivable (0-0,20 m) en el experimento, no mostraron valores de error estándar y varianzas que indiquen variabilidad dentro de estos caracteres, resultado que permitió descartar el efecto de la fertilidad en el comportamiento de las plantas durante el experimento.

Las variables climáticas que incidieron durante el experimento, en cuanto a las precipitaciones no fueron representativas, debido a que se registraron valores inferiores a los 20,60 mm, pluviometría que por debajo

^A Walser, S.; Schütze, N. y Schmidhalter, U. "Yield response and water use efficiency of deficit irrigated aerobic rice under highly controlled conditions". En: *XXIII European Regional Conference of ICID*, Lviv, Ukraine, 2009, pp. 17-22. ^A Walser, S.; Schütze, N. y Schmidhalter, U. "Yield response and water use efficiency of deficit irrigated aerobic rice under highly controlled conditions". En: *XXIII European Regional Conference of ICID*, Lviv, Ukraine, 2009, pp. 17-22.

de los 25 mm de precipitación no ocasionan cambios fisiológicos bruscos en la planta de arroz (5). Las temperaturas mínimas influyeron desde la etapa de semillero hasta los 40 DDT, puesto que el crecimiento del arroz depende principalmente de las temperaturas como factor del medio, las que por debajo de 25 °C disminuyen la absorción de nutrientes y los procesos metabólicos en la planta que ocurren con lentitud (7).

En el momento que se repuso la lámina de agua en cada una de las terrazas que fueron sometidas a suspensión de la lámina de agua por un periodo de 15 días, el suelo estaba agrietado y con más del 50 % de las hojas de las plantas enrolladas, comportamientos que indicó un déficit hídrico en las plantas condicionado por el periodo sin lámina de agua impuesto.

Después del período de suspensión de la lámina de agua

Las variables meteorológicas que imperaron en el área de investigación permitieron el buen desarrollo de las plantas, exceptuando la temperatura mínima, que pudiera ser la causa del alargamiento del ciclo; no obstante, los resultados encontrados son el efecto de los tratamientos.

Al evaluar la altura de las plantas después de cada período de suspensión de la lámina de agua (A1, A2 y A3), se observó que el manejo aplicado reduce el crecimiento de las plantas de arroz con respecto al testigo inundado (Figura 1). Estas diferencias representaron una menor altura de las plantas de 10,20; 9,61 y 7,99 % (A1, A2 y A3, respectivamente) en relación con las cultivadas en condiciones inundadas (A4).

Al parecer la suspensión de la lámina de agua desencadenó los mecanismos de respuesta en las plantas ante una condición de déficit hídrico, específicamente la evasión (9), comportamiento que está muy relacionado con la fisiología de las plantas (7, 10). Similares resultados se informaron por otros investigadores (9, 10) al someter plantas de arroz a condiciones de inundación y sequía.

El crecimiento es un proceso asociado, tanto al incremento del número de células (división celular), como en su tamaño (alargamiento celular) (7). La disminución del crecimiento expresado por la altura de la planta, se pudiera interpretar como una inhibición en el alargamiento celular, pues este es más sensible a la reducción de la turgencia que la división celular (11). Por otra parte, los tratamientos inundados están influenciados por la altura de la lámina de agua (15 cm), la cual induce el alargamiento en los entrenudos de la planta^B (9), con respecto a los no inundados durante el período de suspensión de la lámina de agua.

Al evaluar el ahijamiento por planta (Figura 1 D, E y F) en los tratamientos que fueron sometidos a suspensión de la lámina de agua a los 30, 40 y 50 DDT, se observó que el manejo aplicado no estimuló el ahijamiento, aunque en la suspensión de la lámina de agua a los 40 DDT (A2) no se encontró diferencias. El ahijamiento tiene una marcada influencia en los resultados finales de producción (12); está relacionado con el número de tallos de la planta con posibilidad de panicular y madurar, además, de ser un carácter varietal con relevancia en la selección participativa (13).

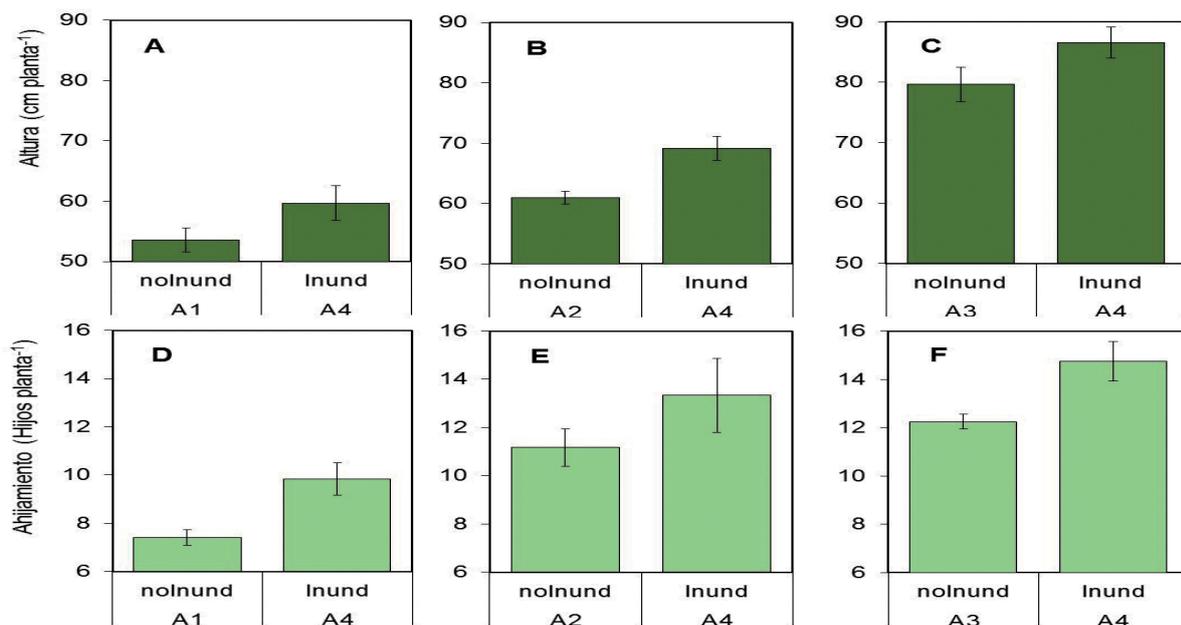
Es importante señalar que la condición impuesta (suspensión de la lámina de agua) redujo la altura de las plantas mediante los mecanismos de evasión que experimentan las mismas, que presumiblemente pudiera estar asociado a un cambio en la movilización de hormonas de crecimiento, desde la zona apical de las hojas hacia la base de la raíz de la planta, como vía de adaptación ante una posible condición de estrés que se pudiera ocasionar en la planta, si el periodo de suspensión se alarga.

El incremento del número de hijos en las plantas no inundadas durante todo el ciclo, puede deberse al efecto de la oxigenación del suelo (14) y la incidencia de las temperaturas en el calentamiento de la superficie con respecto a la otra parcela inundada, lo cual pudo estimular el ahijamiento (15), además de condicionar una mayor fertilidad de los hijos secundarios y terciarios, que logran terminar su ciclo de vida de conjunto con la planta madre.

En la Figura 2, se muestra el comportamiento de la acumulación de la masa seca área (MSA) y de la raíz (MSR). Las plantas que fueron expuestas a suspensión de la lámina de agua en la fase vegetativa, acumularon menos MSA que el testigo (Inund) en los tres momentos en que se aplicó el manejo del agua de riego, aunque en la suspensión de la lámina de agua a los 40 DDT (A2) no se encontró diferencias.

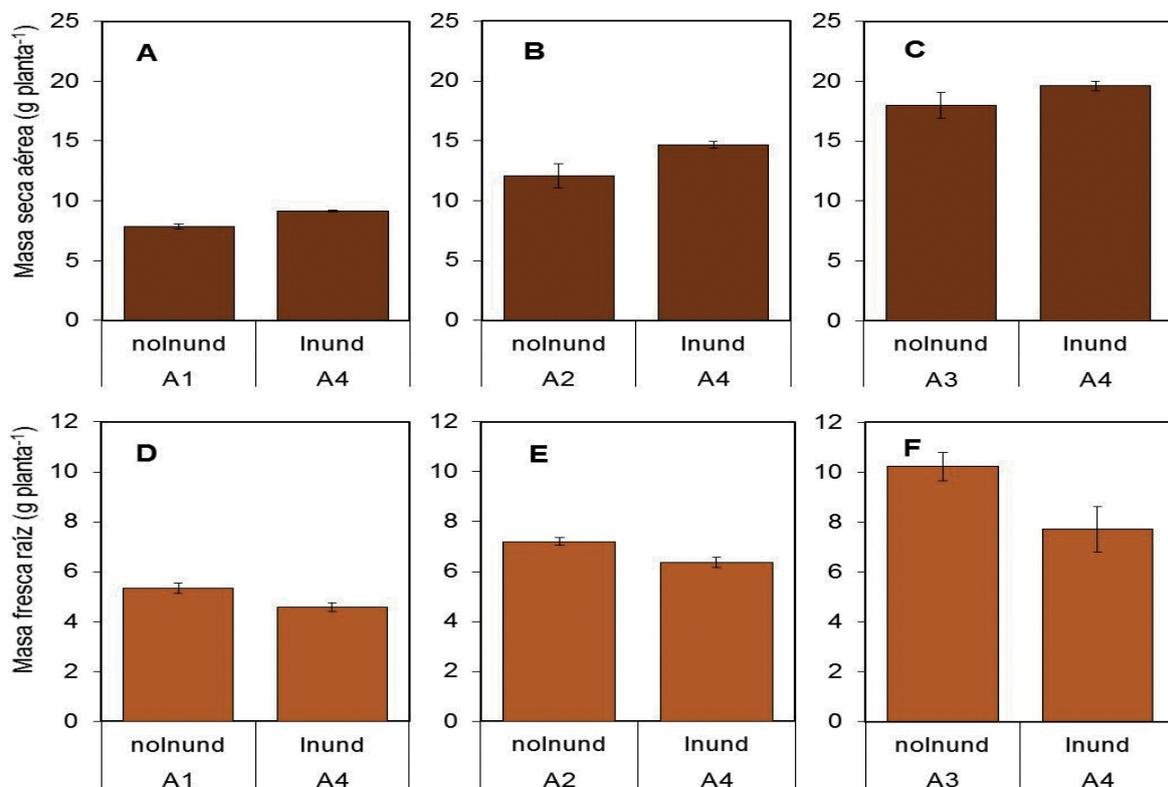
Sin embargo, para el comportamiento de la MSR se observó una respuesta inversa (Figura 2 D, E y F). Resultados que responden al manejo de agua aplicado, a partir de una deficiencia hídrica en el suelo; condición que en su momento provocó una reducción en el crecimiento aéreo y un incremento en el sistema radical. Varios autores encontraron similar respuesta al someter el cultivo del arroz a estrés hídrico durante la fase vegetativa (16–18), demostrando que existe respuesta adaptativa de las plantas de arroz al déficit hídrico en el suelo.

^B Bharat, B. V. *Evaluación de la simbiosis micorrízica de Glomus intraradices en plantas de arroz (Oryza sativa L.) cv. INCA LP-5, en condiciones inundadas y no inundadas*. Tesis de Grado, Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba, 2012, 63 p.



Medias con letras iguales no difieren significativamente ($\alpha \leq 0,05$) según prueba de Tukey

Figura 1. Altura en plantas (A, B y C) y número de hijos por plante de arroz (D, E y F) expuestas a suspensión de la lámina de agua (nolnund) a los 30, 40 y 50 DDT (A1, A2 y A3) respectivamente por un periodo de 15 días en cada manejo de agua y su testigo inundado (A4) durante todo el ciclo (Inund)



Barras \pm intervalo de confianza ($\alpha \leq 0,05$), n=4

Figura 2. Acumulación de masa seca aérea (A, B y C) y de la raíz en plantas de arroz (D, E y F) expuestas a suspensión de la lámina de agua (nolnund) a los 30, 40 y 50 DDT (A1, A2 y A3) respectivamente por un periodo de 15 días en cada manejo de agua y su testigo inundado (A4) durante todo el ciclo (Inund)

En el momento de la cosecha

Al evaluar la altura de las plantas en el momento de la cosecha (Tabla III) se observó que los tratamientos A1 y A2, a pesar de haberlos sometido a la suspensión de la lámina de agua durante la fase vegetativa (a los 30 y 40 DDT respectivamente) alcanzaron los mayores valores de la variable de referencia con respecto al tratamiento A3 y el testigo A4. Resultados que demuestran, que la suspensión de la lámina de agua durante la fase vegetativa al inicio (30 DDT) y 15 días después de comenzar el mismo, no afectó el crecimiento de la planta al finalizar su ciclo.

Tanto para la acumulación de MSA como de MSR se encontraron los valores mayores en las plantas expuestas a suspensión de la lámina de agua a los 30 DDT respecto al testigo inundado A4; aunque en la última variable no hubo diferencias con la suspensión de la lámina de agua a los 40 DDT. Estos resultados indican que las plantas se recuperaron de la condición a la que fueron expuesta (suspensión de la lámina de agua, por un periodo de 15 días), la cual permitió estimular el desarrollo de la planta, debido a que el mismo se puede considerar como un estrés hídrico (17, 19). Los incrementos de estas variables juegan un rol importante en el rendimiento agrícola, al respecto se informó que la masa seca, guarda una estrecha relación con el rendimiento final del cultivo (20), que está en correspondencia con un buen sistema radicular; entonces se favorecen los componentes del rendimiento y la translocación de asimilados en el llenado del grano (20).

En cuanto a los componentes del rendimiento granos llenos por panículas y panículas por m² se encontró que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos A1 y A2 con respecto al A3 y el testigo inundado A4. No obstante, en cuanto al rendimiento agrícola los valores mayores se observaron cuando se suspendió la lámina de agua a los 30 DDT (A1), en relación con el resto de los tratamientos, resultados que están muy relacionados con sus componentes.

La suspensión de la lámina de agua a los 30, 40 y 50 DDT en esta tecnología de producción mostró diferencias, en relación con el tratamiento inundado, con incrementos del rendimiento agrícola en 1,84; 1,52 y 0,79 t ha⁻¹, respectivamente, valores que representaron el 31,03; 27,09 y 16,11 % de diferencia.

Es importante resaltar que la suspensión de la lámina de agua a los 50 DDT, cuando fisiológicamente la planta de arroz comienza a prepararse para iniciar su fase reproductiva, provoca una disminución del rendimiento agrícola. Además, el periodo sin la lámina de agua no se puede considerar como un estrés hídrico severo, pues el rendimiento no disminuyó respecto al testigo. La diferencia en el rendimiento agrícola respecto a este momento, se justifica con el incremento en el número de panículas por m², porque en el resto de las variables que componen al mismo, no se encontró diferencias con el testigo; así como en las variables del crecimiento, altura, masa seca aérea y de la raíz, indicando un efecto marcado del estrés hídrico en estas variables, las cuales no se recuperaron del mismo.

En la calidad industrial no se encontró diferencias en cuanto al rendimiento de molinería (industrial) (Figura 3); sin embargo, los valores mayores de granos blancos enteros y menores de granos partidos se encontraron en el tratamiento expuesto a suspensión de la lámina de agua a los 30 y 40 DDT, aunque ambos tratamientos difieren del resto de los manejos de agua.

El incremento de los granos enteros del tratamiento A1 con respecto a A2 y A3 fue de 4,93 % y de 35,65 % respectivamente. Estos resultados indican que el manejo del agua tiene un componente fuerte en la calidad industrial del grano de arroz, así como la época de siembra (21), que al parecer, el déficit hídrico a los 50 DDT del trasplante, próximo a la fase reproductiva afecta el llenado de los granos^c y por

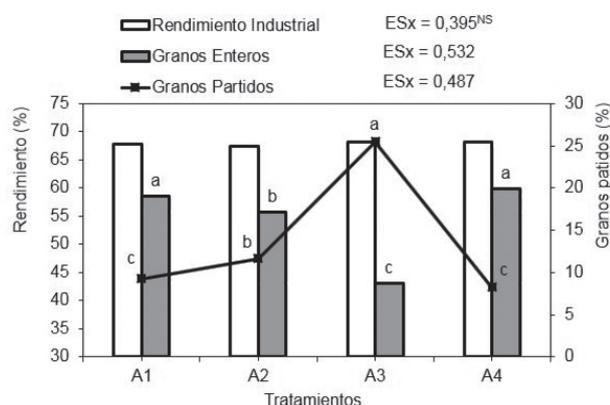
^c Polón, R. "Impacto nacional en el incremento del rendimiento agrícola, economizar agua de riego y energía en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) como consecuencia del estrés hídrico" [en línea]. En: *XVI Forum de Ciencia y Técnica Nacional*, 2007, [Consultado: 1 de diciembre de 2015]. Disponible en: <<http://www.forumcyt.cu/UserFiles/forum/Textos/0109604.pdf>>.

Tabla III. Comportamiento de la altura, masa seca aérea (MSA) y radical MSR), granos llenos por panículas (Gll panículas⁻¹), panículas por m² (P m⁻²) y el rendimiento agrícola en el momento de la cosecha de plantas arroz expuestas a suspensión de la lámina de agua (noInund) a los 30, 40 y 50 DDT (A1, A2 y A3) respectivamente y su testigo inundado (Inund)

Tratamientos		Altura (cm)	MSA	MSR	Granos llenos panícula ⁻¹	P m ⁻²	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Momento	Manejo		(g planta ⁻¹)				
A1		92,62 a	48,01 a	27,80 a	83,63 ab	411,11 a	5,94 a
A2	noInund	92,37 a	43,62 b	26,80 ab	90,05 a	381,94 a	5,61 b
A3		88,56 b	39,57 c	26,55 b	77,57 bc	306,25 b	4,88 c
A4	Inund	89,50 b	39,52 c	26,22 b	72,67 c	270,83 c	4,09 d
ESx		0,488	0,45	0,289	1,945	7,595	0,079

Medias con letras iguales no difieren significativamente (p<0,05) según prueba de Tukey, n=4

tanto, provocó que en el proceso de la molinería se tome quebrado. Sumado a esto, los porcentajes de humedad relativa fueron los más altos (79 y 83 %, junio y julio, respectivamente) durante el periodo de llenado y maduración del grano, valores que pudieron elevar el contenido de humedad en el grano y contribuir con la fisura del mismo. Al respecto, el autor en un estudio anterior sobre época de siembra, con el cultivar de arroz INCALP-4 encontró que las siembras de febrero que se cosecharon en junio y julio disminuyeron su calidad industrial, debido a la inundación del cultivo y a alto porcentaje de humedad relativa en la fase de maduración del grano (21).



Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p \leq 0,05$), según prueba de Tukey, $n=4$

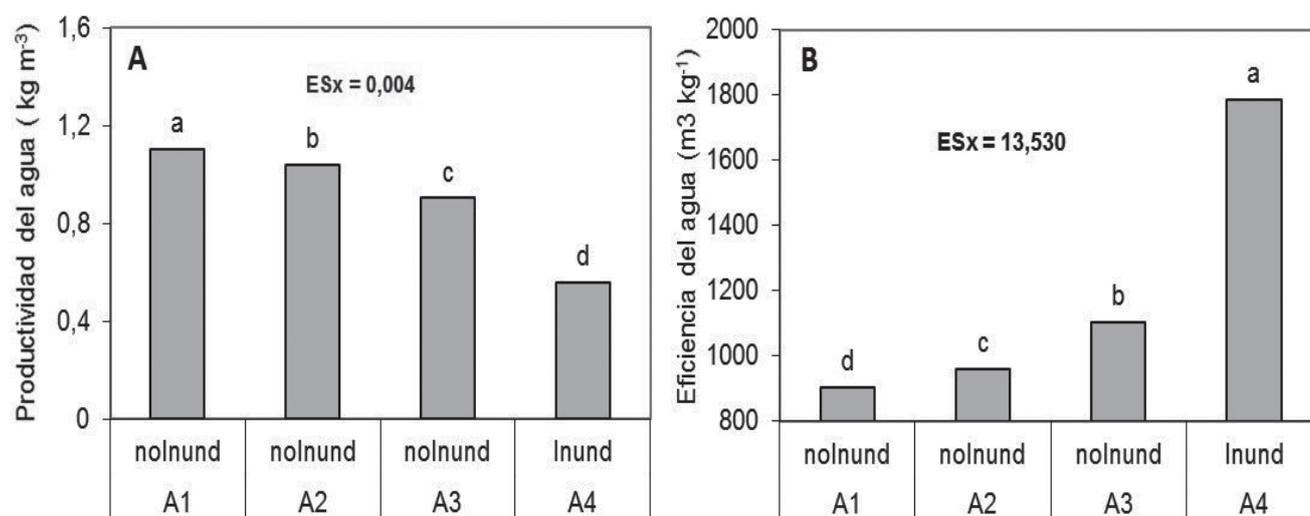
Figura 3. Calidad industrial (rendimiento de molinería, granos enteros y granos partidos) en plantas de arroz expuestas a suspensión de la lámina de agua (nolnund) a los 30,40 y 50 DDT (A1, A2 y A3) respectivamente

por un periodo de 15 días en cada manejo de agua y su testigo inundado durante todo el ciclo (Inund)

Al evaluar la productividad del agua (WP), a partir de los rendimientos, se encontró que la WP fue mayor en la parcela en la que se suspendió la lámina de agua a los 30, 40 y 50 DDT (A1, A2 y A3, respectivamente), mientras que en el tratamiento testigo (Inund) resultó en un rendimiento menor (Figura 4); es importante destacar que hubo diferencias entre los tratamientos y que los valores mayores de la variable de referencia se encontraron cuando se suspendió el agua a los 30 DDT.

En este estudio, la productividad en el uso del agua de riego (Wp) varió de $1,11 \text{ kg m}^{-3}$ en el tratamiento (A1) con suspensión de la lámina de agua (nolnund) hasta $0,56 \text{ kg m}^{-3}$ en el tratamiento testigo (A4); mientras que, se incrementó la WP por efecto de la suspensión de la lámina de agua (A1, A2 y A3) en un 49,74; 46,32 y 38,24 %, respectivamente, con respecto al testigo (A4). Estos resultados demuestran que existieron diferencias en el comportamiento de la WP, motivado por el momento en que se aplicó la suspensión del agua.

Este comportamiento permitió asegurar que la suspensión de la lámina de agua en la fase vegetativa contribuye a la conservación del recurso agua e incrementar el rendimiento del arroz en función del riego. Al respecto se informó que, en la medida que se incrementa la productividad del agua de riego aumenta la eficiencia en su uso (4, 22).



Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p \leq 0,05$) según prueba de Tukey, $n=4$

Figura 4. Productividad (A) y eficiencia en el uso del agua (B) en plantas de arroz expuestas a suspensión de la lámina de agua (nolnund) a los 30,40 y 50 DDT (A1, A2 y A3) respectivamente por un periodo de 15 días en cada manejo de agua y su testigo inundado durante todo el ciclo (Inund)

La eficiencia mayor en el uso del agua (Ew) se obtuvo en las plantas que fueron expuestas a suspensión de la lámina de agua a los 30 DDT, con valores de 889,91 m³ kg⁻¹. Los resultados de productividad y eficiencia son aceptables si tenemos en cuenta lo informado por otros autores que han cultivado el arroz con riego intermitente, sin lámina de agua (aeróbico) y en condiciones de secano^B (19). Por otra parte, se puede afirmar que la suspensión de la lámina de agua o el riego de forma controlada, siempre contribuye con la WP, a partir de un incremento del rendimiento agronómico de las plantas (23).

CONCLUSIONES

- ◆ La suspensión de la lámina de agua incrementó el rendimiento agrícola entre un 16 y 32 % con respecto al control inundado y el industrial fue de un 67 %, con un 58 % de granos enteros cuando se suspendió la lámina de agua a los 30 DDT.
- ◆ Se logró un ahorro de agua mediante la suspensión de la lámina de agua aproximadamente de 1 931,4 m³ ha⁻¹ en el cultivo del arroz al utilizar la tecnología de siembra por trasplante, con respecto al tratamiento inundado en todo su ciclo (7 321,20 m³ ha⁻¹).
- ◆ El agua ahorrada pudiera incrementar el área bajo riego en un 11,19 %.
- ◆ La suspensión de la lámina de agua a los 30 y 40 DDT permitió una productividad en el uso del agua de riego superior a 1 kg de arroz por m³ de agua y se propone la suspensión del aniego permanente a los 30 DDT, por un periodo de 15 días, momento en el cual se repone la lámina de agua hasta los 15 días antes de la cosecha del grano.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hattori, Y.; Nagai, K. y Ashikari, M. "Rice growth adapting to deepwater". *Current Opinion in Plant Biology*, vol. 14, no. 1, febrero de 2011, pp. 100-105, ISSN 1369-5266, DOI 10.1016/j.pbi.2010.09.008.
2. Kamoshita, A.; Babu, R. C.; Boopathi, N. M. y Fukai, S. "Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments". *Field Crops Research*, vol. 109, no. 1-3, octubre de 2008, pp. 1-23, ISSN 0378-4290, DOI 10.1016/j.fcr.2008.06.010.
3. Bernier, J.; Atlin, G. N.; Serraj, R.; Kumar, A. y Spaner, D. "Breeding upland rice for drought resistance". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 88, no. 6, 30 de abril de 2008, pp. 927-939, ISSN 1097-0010, DOI 10.1002/jsfa.3153.
4. Dunn, B. W. y Gaydon, D. S. "Rice growth, yield and water productivity responses to irrigation scheduling prior to the delayed application of continuous flooding in south-east Australia". *Agricultural Water Management*, vol. 98, no. 12, octubre de 2011, pp. 1799-1807, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2011.07.004.
5. Winkel, A.; Colmer, T. D.; Ismail, A. M. y Pedersen, O. "Internal aeration of paddy field rice (*Oryza sativa*) during complete submergence – importance of light and floodwater O₂". *New Phytologist*, vol. 197, no. 4, 1 de marzo de 2013, pp. 1193-1203, ISSN 1469-8137, DOI 10.1111/nph.12048.
6. Hernández, J. A.; Pérez, J. J. M.; Bosch, I. D. y Castro, S. N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2015, 93 p., ISBN 978-959-7023-77-7.
7. Jarma, A. A.; Degiovanni, V. B. y Montoya, R. A. "Índices fisiotécnicos, fases de crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz" [en línea]. En: Degiovanni V., Martínez R. C. P., y Motta F., *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina*, edit. CIAT, Colombia, 2010, pp. 60-78, ISBN 978-958-694-102-0, [Consultado: 21 de marzo de 2016], Disponible en: <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=vdw-JYBkra8C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Producción%20C3%B3n+Eco-eficiente+del+Arroz+en+Am%C3%A9rica+Latina&ots=zC7lu9575-&sig=8kXi9L439tuMoJLY49npaKB5Fko>.
8. Rivero, L. L. E. y Suárez, C. E. *Instructivo Técnico Cultivo de Arroz*. 1.^a ed., edit. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales, La Habana, Cuba, 17 de marzo de 2015, 77 p., ISBN 978-959-7210-86-3.
9. Qin, J.; Wang, X.; Hu, F. y Li, H. "Growth and physiological performance responses to drought stress under non-flooded rice cultivation with straw mulching". *Plant Soil and Environment*, vol. 56, no. 2, 1 de febrero de 2010, pp. 51-59, ISSN 1214-1178.
10. Harris, V. C.; Esqueda, M.; Valenzuela, S. E. M. y Castellanos, A. E. "Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología". *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 32, no. 4, diciembre de 2009, pp. 265-271, ISSN 0187-7380.
11. Muthurajan, R.; Shobbar, Z.-S.; Jagadish, S. V. K.; Bruskiwich, R.; Ismail, A.; Leung, H. y Bennett, J. "Physiological and Proteomic Responses of Rice Peduncles to Drought Stress". *Molecular Biotechnology*, vol. 48, no. 2, 5 de diciembre de 2010, pp. 173-182, ISSN 1073-6085, 1559-0305, DOI 10.1007/s12033-010-9358-2.
12. Jaffuel, S. y Dauzat, J. "Synchronism of Leaf and Tiller Emergence Relative to Position and to Main Stem Development Stage in a Rice Cultivar". *Annals of Botany*, vol. 95, no. 3, 2 de enero de 2005, pp. 401-412, ISSN 0305-7364, 1095-8290, DOI 10.1093/aob/mci043.
13. Morejón, R.; Díaz, S. H.; Díaz, G. S.; Pérez, N. y Ipsán Pedrera, D. "Algunos aspectos del manejo de la semilla de arroz por productores del sector cooperativo campesino en dos localidades de Pinar del Río". *Cultivos Tropicales*, vol. 35, no. 2, junio de 2014, pp. 80-85, ISSN 0258-5936.
14. Ismail, A. M.; Ella, E. S.; Vergara, G. V. y Mackill, D. J. "Mechanisms associated with tolerance to flooding during germination and early seedling growth in rice (*Oryza sativa*)". *Annals of Botany*, vol. 103, no. 2, 1 de enero de 2009, pp. 197-209, ISSN 0305-7364, 1095-8290, DOI 10.1093/aob/mcn211.
15. Polón, R. y Castro, R. "Aplicación del estrés hídrico como alternativa para incrementar el rendimiento en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.)". *Cultivos Tropicales*, vol. 20, no. 3, 1999, pp. 37-39, ISSN 0258-5936.

16. Ruiz, S. M.; Armada, E.; Muñoz, Y.; García, de S. I. E.; Aroca, R.; Ruiz, L. J. M. y Azcón, R. "Azospirillum and arbuscular mycorrhizal colonization enhance rice growth and physiological traits under well-watered and drought conditions". *Journal of Plant Physiology*, vol. 168, no. 10, 1 de julio de 2011, pp. 1031-1037, ISSN 0176-1617, DOI 10.1016/j.jplph.2010.12.019.
17. Ruiz, S. M.; Polón, P. R.; Vázquez, del L. B.; Muñoz, H. Y.; Cuéllar, O. N. y Ruiz, L. J. M. "La simbiosis micorrizica arbuscular en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) sometidas a estrés hídrico: Parte I. Mejora la respuesta fisiológica". *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 4, diciembre de 2012, pp. 47-52, ISSN 0258-5936.
18. Maqueira, L. L. A.; Torres, de la N. W.; González, D. y Shiraiishi, M. "Evaluación del comportamiento de variables del crecimiento en variedades de arroz de tipo japónica condiciones de secano favorecido". *Cultivos Tropicales*, vol. 35, no. 1, marzo de 2014, pp. 43-49, ISSN 0258-5936.
19. Sudhir-Yadav; Gill, G.; Humphreys, E.; Kukal, S. S. y Walia, U. S. "Effect of water management on dry seeded and puddled transplanted rice. Part 1: Crop performance". *Field Crops Research*, vol. 120, no. 1, 14 de enero de 2011, pp. 112-122, ISSN 0378-4290, DOI 10.1016/j.fcr.2010.09.002.
20. García, A.; Dorado, M.; Pérez, I. y Montilla, E. "Efecto del déficit hídrico sobre la distribución de fotoasimilados en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.)". *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, vol. 35, no. 1, 2010, pp. 46-54, ISSN 0378-1844.
21. Ruiz, M.; Díaz, G.; Pérez, N.; Muñoz, Y.; Rodríguez, M. E. y Domínguez, D. "Comportamiento de la variedad de arroz (*Oryza sativa* L.) INCALP-4 sembrada en diferentes épocas del año". *Cultivos Tropicales*, vol. 30, no. 1, marzo de 2009, pp. 57-60, ISSN 0258-5936.
22. Alberto, M. C. R.; Wassmann, R.; Hirano, T.; Miyata, A.; Hatano, R.; Kumar, A.; Padre, A. y Amante, M. "Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines". *Agricultural Water Management*, vol. 98, no. 9, julio de 2011, pp. 1417-1430, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2011.04.011.
23. González, R. F.; Herrera, P. J. y López, S. T. "Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 19, no. 1, marzo de 2010, pp. 95-97, ISSN 2071-0054.

Recibido: 31 de julio de 2014

Aceptado: 11 de noviembre de 2015