



# RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L.) CULTIVAR INCA TH 4 AL DÉFICIT HÍDRICO

## Physiological response of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar INCA TH 4 to water deficit

José M. Dell'Amico<sup>✉</sup>, Roberqui Martín Martín, Eduardo I. Jerez Mompie,  
Donaldo Morales Guevara y Rodolfo Plana Llerena

**ABSTRACT.** In areas of the National Institute of Agricultural Sciences (INCA) an experiment was conducted with crop wheat in order to assess their physiological response to water stress by default, for which the effect of two irrigation treatments on soil moisture content, development variables, water relations, yield and water use efficiency (WUE) in culture were evaluated. The INCA TH 4 cultivar was grown at double row in concrete containers of 1,56 m<sup>2</sup>. The two irrigation treatments T 100 and T 50, they consisted of applying 50 to 100 % of standard crop evapotranspiration (ETc), respectively. Background fertilization was performed before planting with complete formula NPK (9-13-17) and urea (46-0-0) applied to each container 0,1 and 0,04 kg., respectively. Irrigation was applied using an automated system micro sprinkler and water delivery was controlled by valves placed in each treatment. The results showed a significant effect of treatments on soil water content and T 50 at 52 and 67 days after sowing (DDS) that dropped below 15 %, something that was confirmed with the values of potential deficit soil moisture (Dp) which was 178 in T 50 and 77 mm in T 100, respectively. Also the results of leaf water potential ( $\Psi_{\text{foliar}}$ ) showed that T 50 plants were exposed to severe water deficit at 41 and 62 DDS, with lower values of -1.5 MPa and T 100 at 62 DDS. Stomatal conductance (gs) showed greater sensitivity to water stress than the remaining variables of water relations. Studied treatments hardly exerted any effect on growth variables, mainly in the accumulation of dry matter and leaf area. In T 50 plants had a lower yield and water use efficiency (WUE) was slightly higher than the T 100.

**RESUMEN.** En áreas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) se realizó un experimento en el cultivo de trigo con el objetivo de evaluar su respuesta fisiológica al estrés hídrico por defecto, para lo cual, se evaluó el efecto de dos tratamientos de riego en el contenido de humedad del suelo, variables del desarrollo, las relaciones hídricas, el rendimiento y el uso eficiente del agua (WUE) en el cultivo. El cultivar empleado fue el INCA TH 4 cultivado en doble hilera en contenedores de hormigón de 1,56 m<sup>2</sup>. Los dos tratamientos de riego T 100 y T 50, consistieron en aplicar el 50 y el 100 % de la evapotranspiración estándar del cultivo (ETc), respectivamente. Se realizó una fertilización de fondo antes de la siembra con fórmula completa NPK (9-13-17) y urea (46-0-0) aplicando a cada canaleta 0,1 y 0,04 kg, respectivamente. El riego se aplicó mediante un sistema automatizado de micro aspersión y la entrega del agua se controló mediante válvulas colocadas en cada tratamiento. Los resultados mostraron un efecto importante de los tratamientos en el contenido hídrico del suelo y en T 50 a los 52 y 67 días después de la siembra (DDS) este descendió por debajo del 15 %, aspecto que se corroboró con los valores del déficit potencial de humedad del suelo (Dp) que en T 50 fue de 178 y en T 100 de 77 mm, respectivamente. También los resultados del potencial hídrico foliar ( $\Psi_{\text{foliar}}$ ) evidenciaron que las plantas de T 50 estuvieron expuestas a déficit hídrico severo a los 41 y 62 DDS, con valores menores de -1,5 MPa y las de T 100 a los 62 DDS. La conductancia estomática (gs) reflejó una sensibilidad mayor a la deficiencia hídrica que las restantes variables de las relaciones hídricas. Los tratamientos estudiados prácticamente no ejercieron efecto alguno en las variables del crecimiento, principalmente en la acumulación de materia seca y el área foliar. En T 50 las plantas tuvieron un rendimiento menor y su uso eficiente del agua (WUE) fue ligeramente mayor que las de T 100.

**Key words:** growth, wheat, crop yield, irrigation,  
water use

**Palabras clave:** crecimiento, rendimiento, riego, trigo,  
uso del agua

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32 700.

✉ amico@inca.edu.cu

## INTRODUCCIÓN

El trigo es una especie que tiene un amplio rango de adaptación, crece y se desarrolla en ambientes muy diversos y puede sembrarse tanto en invierno como en primavera, lo que unido a su gran consumo, ha permitido que se extienda a muchas partes del mundo (1).

En Cuba el trigo fue introducido desde los primeros años de la conquista de la isla por los españoles y su cultivo se prolongó hasta principios del siglo XIX. Sin embargo, a partir de estos años su cultivo fue prohibido por la metrópoli que tem a la competencia en el mercado (2). Es por ello que resulta de gran importancia brindar conocimientos, resultados de investigaciones y recomendaciones para la siembra del trigo a estudiantes, investigadores y productores en las condiciones de Cuba (3).

La competencia por el agua entre varios sectores como la agricultura, la industria, la hidroelectricidad, la acuicultura, el turismo y el consumo urbano, impone que la práctica del riego en la producción agrícola sea cada vez más eficiente (4–6). La sequía es una de las adversidades que frecuentemente enfrentan los cultivos durante su crecimiento y desarrollo. En los últimos años, las sequías causadas por el cambio climático global son cada vez más frecuentes (7), por lo que las investigaciones relacionadas con la repuesta de las plantas al déficit hídrico resultan imprescindibles. Según algunos autores, la humedad del suelo tiene un impacto importante en la acumulación y distribución de la biomasa seca en plantas de trigo, la que contribuye con más del 70 % al rendimiento (8).

Algunos autores han demostrado previamente en este cultivo, que el uso eficiente del agua (WUE) es una variable fisiológica clave que indica la habilidad del cultivo a conservar el agua en áreas con limitaciones hídricas al combinar la resistencia a la sequía y el potencial de rendimiento elevado (9, 10).

En Cuba, existen pocos trabajos de investigación relacionados con el efecto de tratamientos de riego en el desarrollo y el rendimiento de este cultivo, por lo que el objetivo fundamental del trabajo consistió en evaluar la respuesta fisiológica del cultivar INCA TH 4 a la deficiencia hídrica en el suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó durante los meses de noviembre 2013 a febrero 2014 en el área central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) para lo cual se sembraron seis contenedores de hormigón de 2,60 m de largo por 0,60 m de ancho (1,56 m<sup>2</sup>) y 0,50 m de profundidad que contenían suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (11). En cada contenedor fueron sembradas 30 gramos de semillas de trigo cultivar INCA TH 4

dispuestas en dos hileras y con una separación entre ellas de 0,25 m.

La fertilización de fondo se realizó antes de la siembra con fórmula completa NPK (9-13-17) y urea (46-0-0) aplicando a cada contenedor 0,1 y 0,04 kg, respectivamente. El riego se aplicó mediante un sistema automatizado de micro aspersión y la entrega del agua se control  mediante válvulas colocadas en el lateral de riego en cada tratamiento.

Se ensayaron dos tratamientos de riego (tres contenedores por tratamiento) distribuidos según un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones. Los tratamientos de riego ensayados fueron:

**T 100**, regado al 100 por ciento de la ETc. (Evapotranspiración estándar del cultivo)

**T 50**, regado al 50 por ciento de la ETc

La evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) se calculó utilizando los datos de una estación meteorológica cercana (aproximadamente a 200 m del experimento) y se empleó el método de FAO Penman-Monteith (12). La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$ETc = ETo * Kc. \quad [1]$$

dónde:

ETc: evapotranspiración del cultivo [mm d<sup>-1</sup>]

Kc: coeficiente del cultivo [adimensional]

ETo: evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d<sup>-1</sup>]

Los coeficientes de cultivo Kc empleados fueron los siguientes:

Kc. inicial= 0,15; Kc. medio= 1,10 y Kc. final= 0,65

Durante el período comprendido entre el 27 de noviembre y el 10 de diciembre (primeros 14 días) el riego fue de 3 mm diarios en ambos tratamientos para garantizar una germinación y crecimiento inicial homogéneos. A partir del 11 de diciembre el riego se aplicó según correspondió a cada tratamiento. Se consideró lluvia efectiva cuando esta fue superior a 3 mm. Otras atenciones culturales fueron realizadas por igual en ambos tratamientos.

Los datos graficados de las temperaturas máximas, mínimas y de radiación solar corresponden a los valores obtenidos de los días con lluvia.

## EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO

La humedad del suelo (%) se evaluó semanalmente, mediante una sonda TDR (Reflectometría en Dominio del Tiempo) Field Scout TDR 100 System, Spectrum Technologies, Inc., en cada tratamiento se realizaron 30 mediciones (diez en cada canaleta) a 20 cm de profundidad.

Como una medida del estrés de humedad del cultivo se calculó el Déficit potencial de humedad del suelo (Dp, mm) (13). El Dp es una medida de la cantidad en que la demanda atmosférica es superior a la aportada mediante el riego y la lluvia (R+I) y es independiente de la humedad disponible en el suelo. El Dp se calculó según la fórmula siguiente:

$$Dp = \int PET dt - \sum (P+I) + Ds \quad [2]$$

donde:

$\int PET$  es la evapotranspiración estándar (mm) calculada en este caso por el método de FAO Penman-Monteith (12) desde la siembra

$\sum (P+I)$  (mm) es la lluvia total y el riego aplicado desde la siembra

$Ds$  (mm) corresponden al déficit de humedad del suelo en el momento de la siembra (PET-P).

Si el Dp aumenta, alcanzará un máximo nivel de déficit potencial al que el cultivo no será capaz de extraer agua. Así, el Dp Máximo (mm) durante todo el periodo de desarrollo es una medida de la cantidad total de estrés experimentado por un cultivo.

### EVALUACIÓN DE LAS RELACIONES HÍDRICAS

A los 22, 41, 62 y 77 días de la siembra, se realizaron evaluaciones de potencial hídrico foliar ( $\Psi_{\text{foliar}}$ ), potencial de soluto ( $\Psi_{\text{soluto}}$ ) y del potencial de soluto a máxima saturación ( $\Psi_{\text{soluto Sat.}}$ ) en hojas. Todas las evaluaciones se realizaron en dos plantas por repetición (seis observaciones por tratamiento).

El  $\Psi_{\text{foliar}}$  se midió entre las 10:00 y las 11:00 am., con una cámara de presión del tipo Scholander, Soil Moisture Modelo P80 L08. Las hojas seleccionadas al azar se tomaron del tercio superior de las plantas, bien expuestas al sol y completamente desarrolladas. Inmediatamente después de evaluar el  $\Psi_{\text{foliar}}$  las muestras se cubrieron con papel aluminio y se congelaron en nitrógeno líquido y se almacenaron en congelador a -80 °C. Para la determinación de  $\Psi_{\text{soluto Sat.}}$  se tomaron hojas aledañas a las seleccionadas para la medida de  $\Psi_{\text{foliar}}$  y se colocaron en cámaras de hidratación con agua destilada, a la oscuridad entre 6 y 8 °C durante 24 horas. Inmediatamente después se envolvieron con papel aluminio para su congelación en nitrógeno líquido y se almacenaron en congelador a -80 °C.

Posteriormente todas las muestras se descongelaron a temperatura ambiente y por centrifugación a 3000 rpm durante tres minutos se obtuvo el jugo celular de las hojas. A partir de alícuotas de 100  $\mu\text{L}$ , se determinó el  $\Psi_{\text{soluto}}$  y el  $\Psi_{\text{soluto Sat.}}$  de hojas, con un osmómetro de presión de vapor Vapro 5520. El potencial de presión ( $\Psi_p$ ) de las hojas se calculó a partir de la diferencia entre el  $\Psi_{\text{foliar}}$  y el  $\Psi_{\text{soluto}}$ , mediante la fórmula:

$$\Psi_p = \Psi_{\text{foliar}} - \Psi_{\text{soluto}} \quad [3]$$

De igual forma, se midió la conductancia estomática mediante un porómetro de difusión modelo SC-1. Todas las evaluaciones correspondientes a los 41, 62 y 77 días de la siembra se realizaron en la hoja bandera. El estrés hídrico en las plantas se evaluó basado en los valores del  $\Psi_{\text{foliar}}$ . Un estrés hídrico ligero se consideró cuando el  $\Psi_{\text{foliar}}$  fue mayor de -1.0 MPa, estrés moderado cuando el valor del  $\Psi_{\text{foliar}}$  estuvo comprendido en un rango entre -1,0 y -1,5 MPa y estrés hídrico severo referido a un  $\Psi_{\text{foliar}}$  menor de 1,5 MPa (11).

### EVALUACIONES DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO

Las variables del crecimiento y desarrollo (longitud de la parte aérea y raíz en centímetros, masa seca de la parte aérea y raíz en gramos y el área foliar en  $\text{cm}^2$ ) se evaluaron a los 21, 40, 61 y 76 días de la siembra. La superficie foliar se midió utilizando un integrador de área foliar modelo AMP-300 y las masas secas se obtuvieron por secado en estufa de tiro forzado a 80 °C hasta peso constante.

### EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO

Para la evaluación del rendimiento y sus componentes a los 90 DDS, se cosecharon 10 plantas (espigas) al azar en cada contenedor (30 plantas por tratamiento) a las que se les midió el número de granos, su masa y granos vanos por espiga. Además, se evaluó el rendimiento total de cada contenedor ( $\text{g m}^{-2}$ ). A partir de los datos de rendimiento y del agua aplicada (ET) en cada tratamiento se calculó el uso eficiente del agua (WUE siglas en inglés,  $\text{kg m}^{-3}$ ) mediante la fórmula:

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad [4]$$

donde:

WUE es el uso eficiente del agua, Y es el rendimiento en ( $\text{kg m}^{-2}$ ) y ET (mm) es la evapotranspiración real del cultivo en cada tratamiento (9).

En este experimento la ET se calculó empleando la ecuación siguiente:

$$ET = I + P - R - D - SW \quad [5]$$

donde:

ET (mm) es la evapotranspiración

I (mm) la cantidad de agua aplicada por el riego

P (mm) es la precipitación

R (mm) es la escorrentía (en este caso dadas las condiciones de cultivo no fue considerada)

D es el drenaje, que en este caso fue despreciable

SW es el cambio en el contenido de humedad del suelo en el perfil explotado por las raíces (14).

Para el procesamiento de los datos, la comparación de medias y el cálculo del intervalo de confianza se utilizó el Programa estadístico SPSS 19.0 para Windows (15). La graficación de los resultados se realizó mediante el programa SIGMA PLOT 11.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de temperaturas y de lluvia evidencian que el período experimental se caracterizó por ser relativamente caliente y seco, como se puede observar en las figuras (Figura 1 A y C) debido fundamentalmente a que las temperaturas mínimas y máximas tuvieron muy poca variación y sus promedios fueron de 17 y 27 °C, respectivamente y la lluvia acumulada fue de 68 mm solamente, equivalentes a 6 mm semanales.

Por otra parte, la radiación solar (Figura 1 B) fue relativamente alta, con un valor promedio de 19,62  $\text{Mj m}^{-2} \text{d}^{-1}$  comparada con períodos similares con valores entre 15 y 16  $\text{Mj m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . Los valores más altos de radiación se presentaron al inicio del experimento (primeros 17 días) y a partir de los 52 días de la siembra se alcanzaron hasta los 22  $\text{Mj m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . La demanda hídrica climática acumulada (ETo) en el período fue de 306 mm, lo que representa una evapotranspiración media diaria de 4 mm.

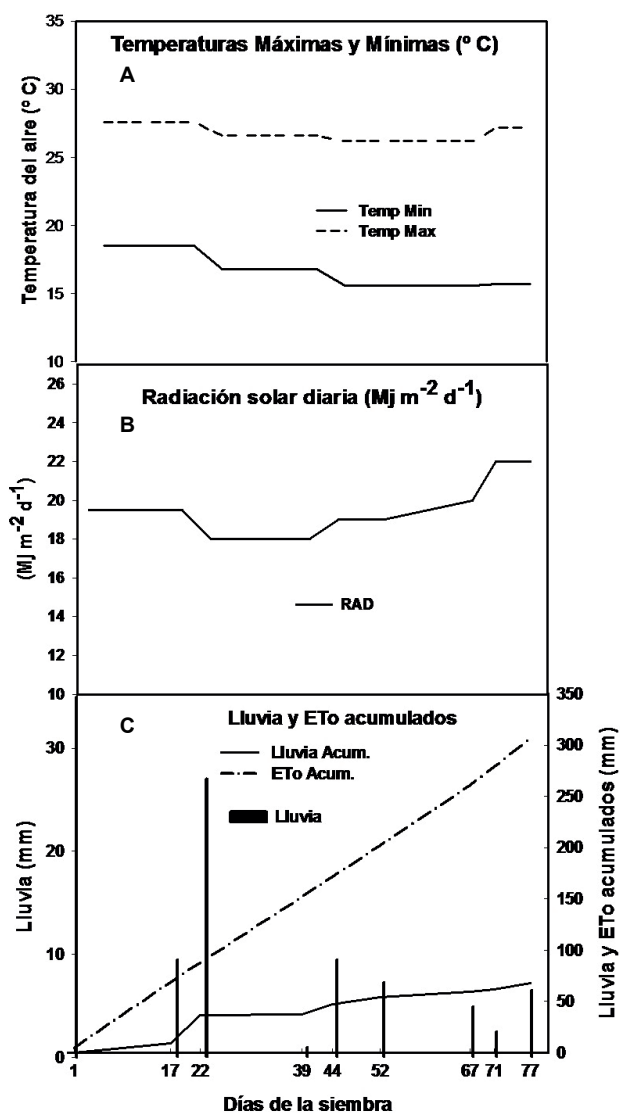
En general, excepto las temperaturas que fueron relativamente cálidas, los valores de las precipitaciones y de ETo, son típicas de los meses en que se realizó el experimento.

En la Figura 2 se representan las variaciones del contenido de humedad del suelo (2 A), donde se pudo apreciar que en ambos tratamientos de riego a los 22 DDS se presentaron valores de alrededor del 40 % de humedad, debido a la ocurrencia de una lluvia de 25 mm y a partir de esa fecha se produjo una disminución brusca de la humedad en el tratamiento T 50 y a los 52 y 71 DDS llegó a alcanzar valores de alrededor del 13 % del contenido de agua. Sin embargo, en T 100 los valores del contenido hídrico del suelo oscilaron entre un 30 y 45 % durante todo el período experimental. Estos resultados evidencian el efecto notorio de los tratamientos aplicados al cultivo.

El hecho de que los valores acumulados de Dp en los tratamientos de riego fuera inferior a la ETo acumulada son indicativos de que las plantas en ambos tratamientos estuvieron expuestas a algún grado de estrés hídrico y para T 50 el valor de Dp fue de 178 mm, mientras que para T 100 fue de 77 mm, lo que representa una diferencia de 101 mm.

Estos resultados sugieren que quizás la programación del riego empleada, resultó práctica a la hora de establecer y aplicar los tratamientos, pero no permitió aportar las cantidades de agua realmente necesarias para satisfacer las demandas del cultivo, fundamentalmente a las plantas de T 100. En trabajos realizados en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) dulce encontraron una tendencia similar en los valores de Dp, con una diferencia entre los tratamientos estudiados de 83 mm (13).

Atendiendo a los valores de  $\psi_{\text{foliar}}$  (Figura 3 A) en T 50 y T 100 se evidencia que las plantas de T 50 a los 41 y 62 DDS estuvieron sujetas a estrés hídrico

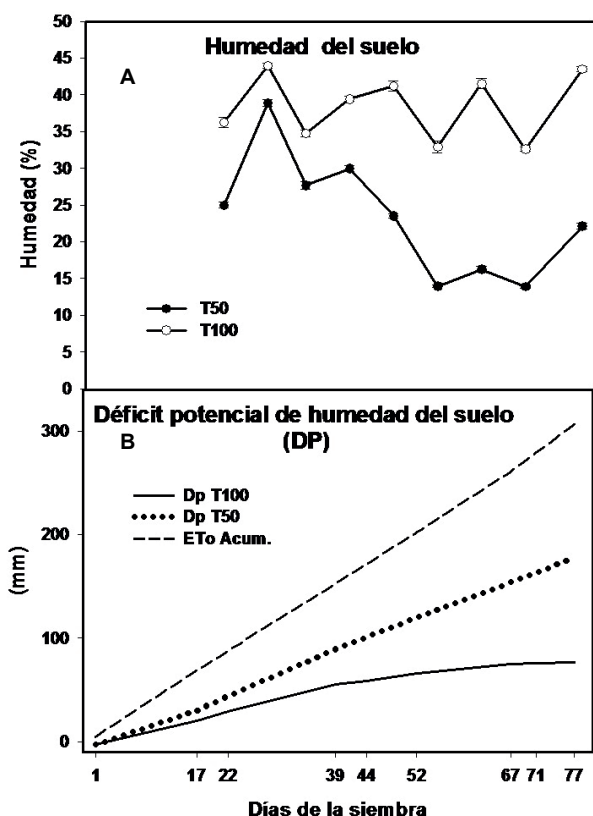


Temperatura del aire (A), radiación solar (B), lluvia, lluvia acumulada y evapotranspiración estándar (ETo) acumulada (C)

**Figura 1. Condiciones ambientales durante el período experimental en el INCA, San José de las Lajas, Mayabeque**

severo con valores promedios de -1,6 y -1,83 MPa, respectivamente, mientras que las de T 100 solamente a los 62 días estuvieron en esa condición con valores de  $\psi_{\text{foliar}}$  de -1,62 MPa. Por otra parte, el aumento de los valores de esta variable en las plantas de ambos tratamientos al final del experimento, se debió al aumento de la humedad del suelo debido a un ingreso por lluvia.

El  $\psi_{\text{sóluto}}$  en ambos tratamientos (Figura 3B) siguió el mismo comportamiento que el  $\psi_{\text{foliar}}$ , aunque lógicamente con valores más negativos y prácticamente las diferencias entre las plantas de ambos tratamientos solamente se apreciaron a los 41 DDS.



Las barras sobre los valores medios de (A) representan el intervalo de confianza de las medias,  $\alpha = 0,5$

**Figura 2. Variación estacional del contenido de agua del suelo en ambos tratamientos T 50 y T 100 (A) a 20 cm de profundidad, y del déficit potencial de la humedad del suelo y la demanda hídrica climática (ETo) (B)**

Por otra parte, en los valores de  $\psi_{\text{sóluto Sat}}$  (Figura 3D) se apreciaron diferencias entre las plantas de ambos tratamientos a los 41 (-0,30) y a los 62 DDS (-0,19 MPa) y los valores más negativos correspondieron a las plantas de T 50.

Estos resultados sugieren la posibilidad de la ocurrencia del proceso de ajuste osmótico en las plantas de T 50 y esto haya permitido mantener niveles de turgencia positivos (como se aprecia en la Figura 3C) aun cuando las plantas estuvieron afectadas por un estrés hídrico severo en ambos momentos de evaluación.

Resultados similares en cuanto al comportamiento del  $\psi_{\text{foliar}}$  en las plantas de ambos tratamientos, se han informado en este cultivo al estudiar los mecanismos fisiológicos que contribuyen al incremento del uso eficiente del agua en el trigo de invierno con riego deficitario (16) y de igual forma, al evaluar las diferencias en las funciones de las raíces durante un período largo de adaptación a la sequía de dos genotipos de trigo (17).

Al analizar el comportamiento de la conductancia estomática (Figura 4) se encontró que los resultados de esta variable fueron muy similares al seguido por la humedad del suelo y se apreciaron diferencias marcadas a los 22,41 y 62 DDS con reducciones en las plantas de T 50 respecto a las de T 100 de 16, 72 y 77 %, respectivamente. Sólo al final del experimento los valores fueron similares en las plantas de ambos tratamientos.

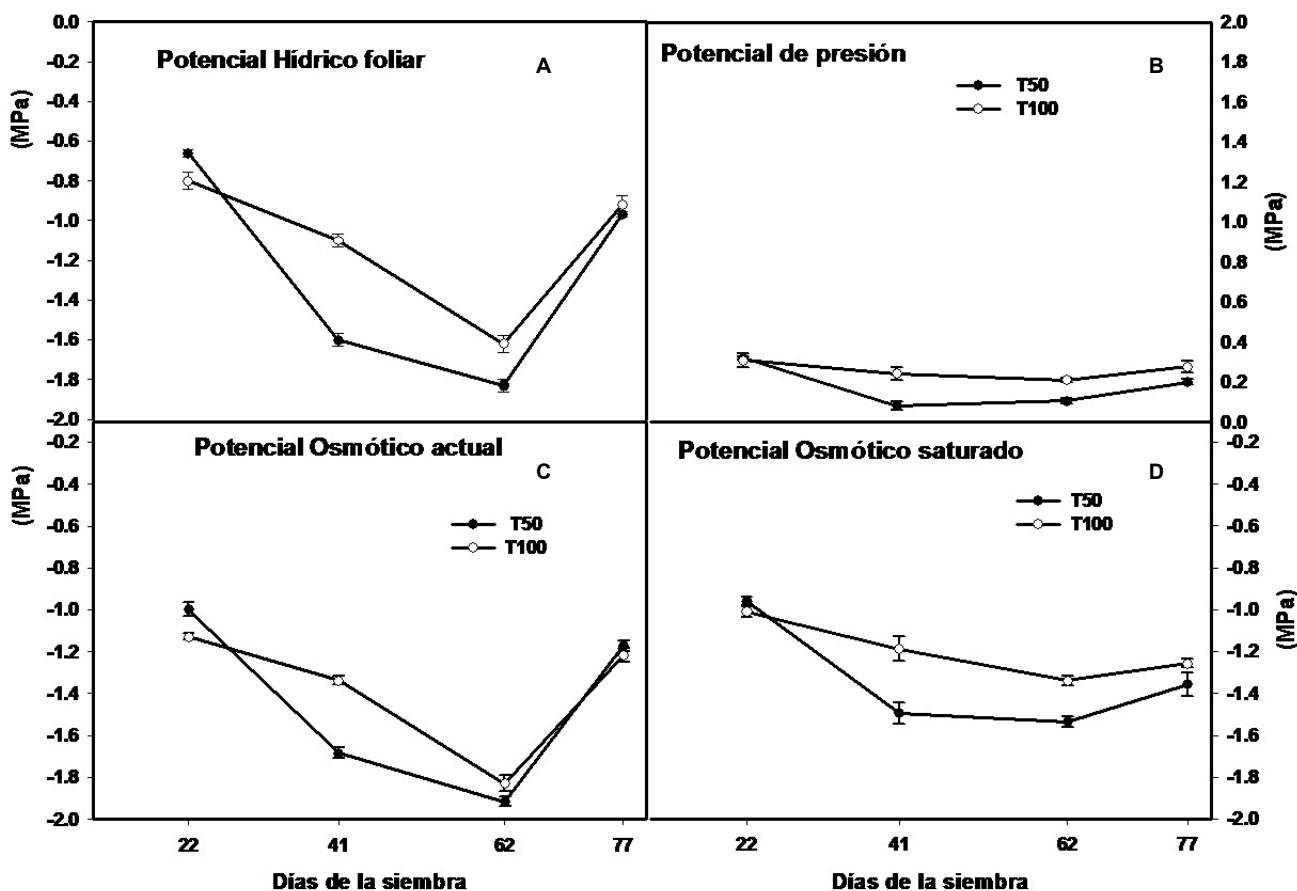
Cabe destacar que de las variables de las relaciones hídricas evaluadas, la conductancia estomática resultó ser la más sensible a las limitaciones hídricas del cultivo.

En trabajos realizados en cebada (*Hordeum vulgare* L.) (18) encontraron reducciones de hasta el 43 % de la conductancia estomática en plantas de este cultivo afectadas por el estrés hídrico y comparadas con sus correspondientes controles bien regados.

Los diferentes indicadores del crecimiento evaluados en distintos momentos del ciclo del cultivo se presentan en la tabla, donde se encontró que tanto a los 22, como a los 77 DDS no se encontraron diferencias significativas en ninguna de estas variables entre las plantas de los dos tratamientos. A los 41 DDS, solamente se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la longitud del tallo a favor de las plantas de T 100. A los 62 DDS, estas diferencias únicamente se presentaron en la longitud de las raíces a favor de las plantas T 100 y contrario a la tendencia observada a los 41 DDS, los valores del resto de los indicadores tendieron a ser ligeramente superiores en las plantas de T 100.

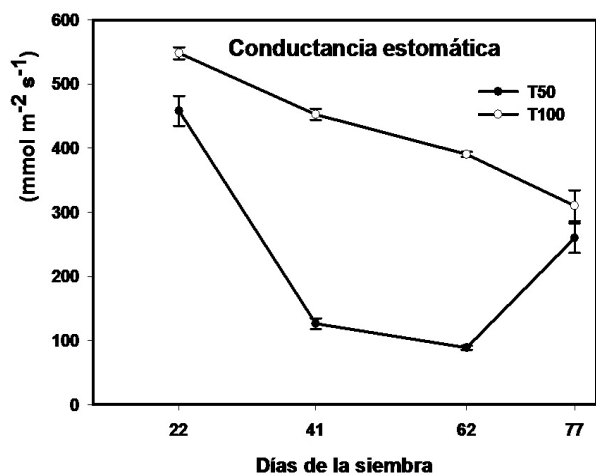
En general, puede resumirse que los tratamientos de riego prácticamente no ejercieron efecto alguno en las variables del crecimiento de las plantas, pues solo se encontraron diferencias significativas en las longitudes del tallo a los 41 DDS y de la raíz a los 62 DDS, respectivamente y siempre a favor de las plantas de T 100. Sin embargo, en la acumulación de biomasa seca en la parte aérea, en la raíz y en el área foliar, en ninguno de los momentos evaluados se encontraron diferencias estadísticamente significativas, comportamiento que puede estar asociado a que las plantas en ambos tratamientos prácticamente tuvieron hasta los primeros 22 DDS un suministro hídrico adecuado y esto fuera suficiente para permitir a las plantas mantener niveles adecuados de acumulación de biomasa seca y del crecimiento foliar.

Resultados similares se encontraron al estudiar los efectos del riego suplementario en la acumulación, distribución de materia seca y uso eficiente del agua en trigo de invierno (19). Sin embargo, vale señalar que en la distribución de materia seca dirigida a la formación del rendimiento si se encontraron efectos importantes de los tratamientos aspecto que será abordado seguidamente.



Las barras sobre los valores medios representan el intervalo de confianza de las medias,  $\alpha = 0,5$

Figura 3. Variaciones del potencial hídrico foliar (A) y sus componentes de soluto (B), de presión (C) y de soluto saturado (D) en plantas de ambos tratamientos T 50 y T 100



Las barras sobre los valores medios representan el intervalo de confianza de las medias,  $\alpha = 0,5$

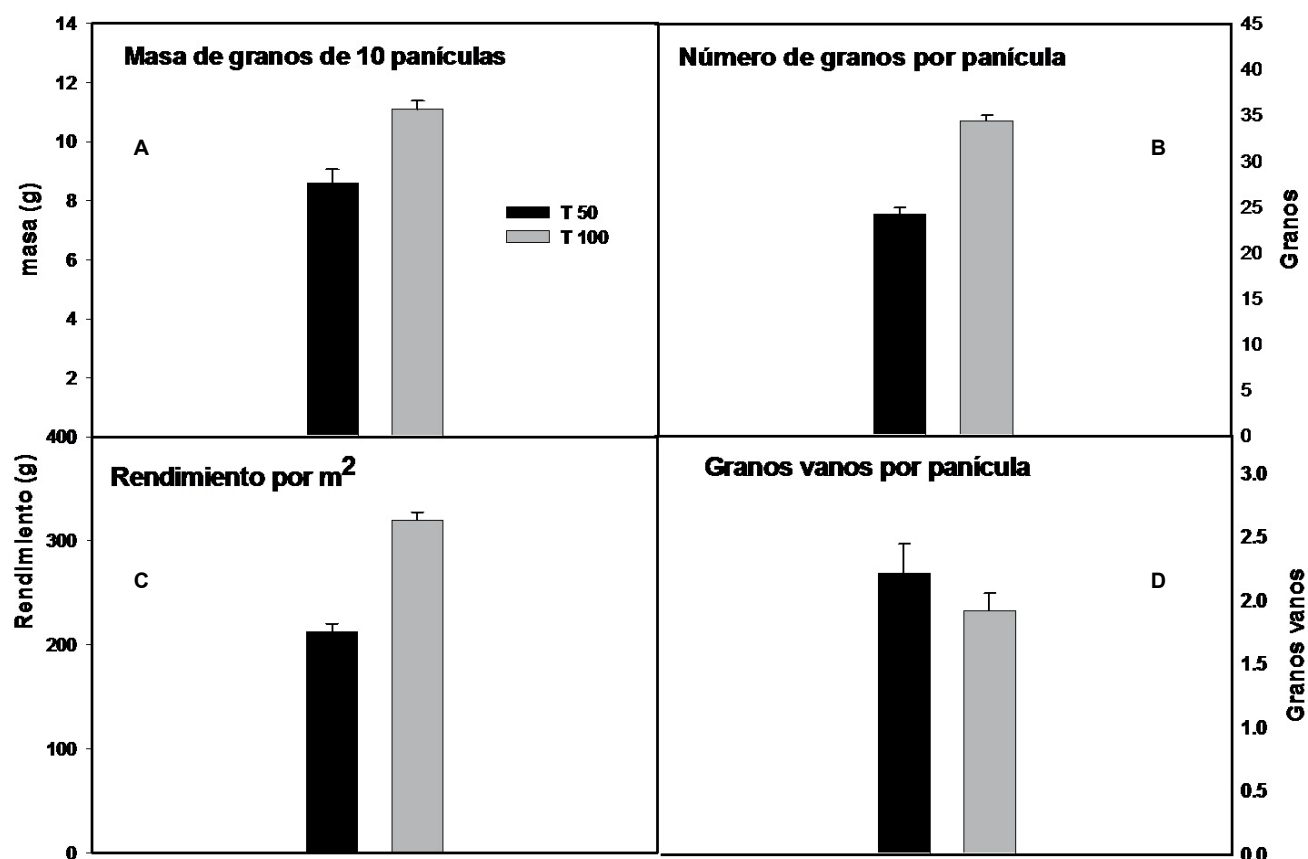
Figura 4. Comportamiento de la conductancia estomática (gs) en plantas de trigo cultivadas con diferentes tratamientos de riego

Al analizar el efecto de los tratamientos de riego en las variables del rendimiento se encontró a los 90 DDS que en la masa de granos de diez panículas, el número de granos por panícula y el rendimiento en gramos por m<sup>2</sup> (Figura 5 A, B y C, respectivamente) los valores mayores correspondieron a las plantas cultivadas en T 100. Mientras que el número mayor de granos vanos por panícula (Figura 5 D) se encontró en las plantas de T 50.

Estos resultados indican que el estrés hídrico severo que afectó principalmente a las plantas de T 50, propició una formación menor de granos y mayor número de granos vanos que las cultivadas en T 100. En relación con estos resultados vinculados a los efectos de diferentes tratamientos de riego (20), de las condiciones climáticas (19), de la humedad en el suelo (21), de la lluvia (22), etc., en el rendimiento del trigo, existe una gran cantidad de información actualizada y en general se plantea que el rendimiento en el cultivo del trigo se ve afectado negativamente cuando las plantas están expuestas a un estrés hídrico severo, tanto por defecto (20), como por exceso (21).

**Tabla. Efecto de los tratamientos de riego en variables del crecimiento de las plantas a los 22, 41, 62 y 77 DDS**

Tratamiento	Longitud tallo (cm)	Longitud raíz (cm)	Masa seca parte aérea (g)	Masa seca raíz (g)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )
<b>22 DDS</b>					
T 50	38,20	13,400	0,233	0,035	69,37
T 100	38,68	13,483	0,275	0,042	74,33
Significación	0,762	0,070	0,114	0,305	0,626
<b>41 DDS</b>					
T 50	57,92	12,55	1,211	0,131	170,60
T 100	59,55	12,19	0,985	0,123	154,35
Significación	0,012 *	0,260	0,574	0,321	0,943
<b>62 DDS</b>					
T 50	86,27	11,57	1,926	0,228	90,05
T 100	100,65	13,33	1,934	0,293	98,92
Significación	0,240	0,030 *	0,079	0,610	0,244
<b>77 DDS</b>					
T 50	66,37	11,82	1,975	0,313	23,90
T 100	83,33	14,67	2,184	0,253	30,77
Significación	0,147	0,417	0,471	0,106	0,199

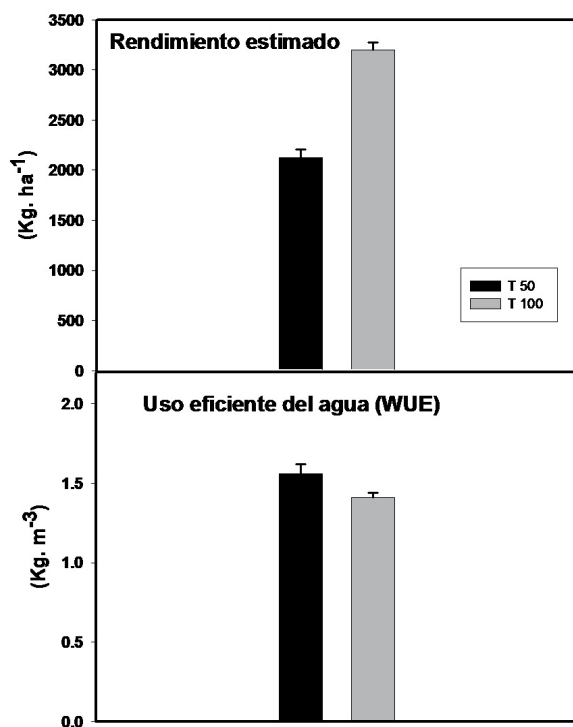


Masa promedio de granos de 30 panículas (A) número de granos por panícula (B) rendimiento por m<sup>2</sup> (C) y granos vanos promedio por panícula (D)

Las barritas sobre los valores medios representan el intervalo de confianza de las medias,  $\alpha = 0,5$

**Figura 5. Variables del rendimiento de plantas de trigo con diferentes tratamientos de riego a los 90 DDS**

En la Figura 6, se presentan los resultados en cuanto al rendimiento estimado y el uso eficiente del agua en las plantas de ambos tratamientos, donde se encontró que lógicamente el rendimiento mayor correspondió a las plantas de T 100, mientras que las del T 50 mostraron un uso eficiente del agua ligeramente mayor.



Las barras sobre los valores medios representan el intervalo de confianza de las medias,  $\alpha = 0,5$

**Figura 6. Efecto de los tratamientos de riego T 50 y T 100 en el rendimiento estimado A (kg ha<sup>-1</sup>) y el uso eficiente del agua (WUE) B (kg m<sup>-3</sup>)**

En trabajos realizados en cultivares de trigo donde se evaluó el uso eficiente del agua asociado con rasgos agronómicos y fisiológicos en dos grupos de cultivares, un primer grupo con 16 y el segundo con diez, se encontró que la mayoría de los cultivares en ambos grupos tuvieron una respuesta similar al suministro hídrico, con mayor WUE en las plantas de los tratamientos menos irrigados y un rendimiento mayor en las que estuvieron sujetas a un estrés hídrico ligero (10). Incrementos simultáneos de los rendimientos y del uso eficiente del agua se han obtenido en este cultivo al combinar eficientemente el riego con cultivares apropiados (23, 24).

## CONCLUSIONES

En general, se puede concluir que las plantas del cultivar de trigo INCA TH 4 para alcanzar un desarrollo, rendimiento y hacer un uso eficiente del agua adecuados, no necesariamente requieren de suministros excesivos de agua y si un manejo eficiente del riego.

## BIBLIOGRAFÍA

- Plana, R.; Álvarez, M. y Varela, M. "Evaluación de una colección del género *Triticum*: trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*), trigo duro (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) y triticale (*X Triticum secale* Wittmack) en las condiciones del occidente de Cuba". *Cultivos Tropicales*, vol. 27, no. 4, 2006, pp. 49–52, ISSN 0258-5936. *of the wheat from Villa Clara* [en línea]. (eds. Hammer K., Esquivel M., y Knüpffer H.), edit. CABInternational, Cuba, 1992, 165-173 p., CABDirect2, [Consultado: 23 de marzo de 2016], Disponible en: <<http://www.cabdirect.org/abstracts/19931639269.jsessionid=B86097EF22CD9D1E90561C6188A4AFC5>>.
- Moreno, I.; Ramírez, A.; Plana, R. y Iglesias, L. "El cultivo del trigo. Algunos resultados de su producción en Cuba". *Cultivos Tropicales*, vol. 22, no. 4, 2001, pp. 55–67, ISSN 0258-5936.
- Erdem, T.; Arin, L.; Erdem, Y.; Polat, S.; Deveci, M.; Okursoy, H. y Gültaş, H. T. "Yield and quality response of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) under different irrigation regimes, nitrogen applications and cultivation periods". *Agricultural Water Management*, vol. 97, no. 5, mayo de 2010, pp. 681-688, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2009.12.011.
- Tran, L. D.; Schilizzi, S.; Chalak, M. y Kingwell, R. "Optimizing competitive uses of water for irrigation and fisheries". *Agricultural Water Management*, vol. 101, no. 1, 1 de diciembre de 2011, pp. 42-51, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2011.08.025.
- Gaydon, D. S.; Meinke, H. y Rodriguez, D. "The best farm-level irrigation strategy changes seasonally with fluctuating water availability". *Agricultural Water Management*, vol. 103, enero de 2012, pp. 33-42, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2011.10.015.
- Zhou, S.; Han, Y.; Chen, Y.; Kong, X. y Wang, W. "The involvement of expansins in response to water stress during leaf development in wheat". *Journal of Plant Physiology*, vol. 183, 1 de julio de 2015, pp. 64-74, ISSN 0176-1617, DOI 10.1016/j.jplph.2015.05.012.
- Lan, P. L.; Zhen, W. Y.; Dong, W.; Yong, L. Z. y Shi, Y. "Effects of Plant Density and Soil Moisture on Photosynthetic Characteristics of Flag Leaf and Accumulation and Distribution of Dry Matter in Wheat". *Acta Agronómica Sinica*, vol. 37, no. 6, junio de 2011, pp. 1049-1059, ISSN 1875-2780, DOI 10.1016/S1875-2780(11)60030-8.
- Fang, Q. X.; Ma, L.; Green, T. R.; Yu, Q.; Wang, T. D. y Ahuja, L. R. "Water resources and water use efficiency in the North China Plain: Current status and agronomic management options". *Agricultural Water Management*, vol. 97, no. 8, agosto de 2010, pp. 1102-1116, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2010.01.008.



9. Zhang, X.; Chen, S.; Sun, H.; Wang, Y. y Shao, L. "Water use efficiency and associated traits in winter wheat cultivars in the North China Plain". *Agricultural Water Management*, vol. 97, no. 8, agosto de 2010, pp. 1117-1125, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2009.06.003.
10. 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.
11. Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith, M. *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. edit. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006, 328 p., ISBN 978-92-5-304219-7.
12. Garcia, A.; Guerra, L. C. y Hoogenboom, G. "Water use and water use efficiency of sweet corn under different weather conditions and soil moisture regimes". *Agricultural Water Management*, vol. 96, no. 10, octubre de 2009, pp. 1369-1376, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2009.04.022.
13. Quanqi, L.; Baodi, D.; Yunzhou, Q.; Mengyu, L. y Jiwang, Z. "Root growth, available soil water, and water-use efficiency of winter wheat under different irrigation regimes applied at different growth stages in North China". *Agricultural Water Management*, vol. 97, no. 10, octubre de 2010, pp. 1676-1682, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2010.05.025.
14. IBM Corporation. *IBM SPSS Statistics* [en línea]. versión 19, [Windows], Multiplataforma, edit. IBM Corporation, U.S, 2010, Disponible en: <<http://www.ibm.com>>.
15. Xue, Q.; Zhu, Z.; Musick, J. T.; Stewart, B. A. y Dusek, D. A. "Physiological mechanisms contributing to the increased water-use efficiency in winter wheat under deficit irrigation". *Journal of Plant Physiology*, vol. 163, no. 2, febrero de 2006, pp. 154-164, ISSN 0176-1617, DOI 10.1016/j.jplph.2005.04.026.
16. Sečenji, M.; Lendvai, Á.; Miskolczi, P.; Kocsy, G.; Gallé, Á.; Szűcs, A.; Hoffmann, B.; Sárvári, É.; Schweizer, P.; Stein, N.; Dudits, D. y Györgyey, J. "Differences in root functions during long-term drought adaptation: comparison of active gene sets of two wheat genotypes". *Plant Biology*, vol. 12, no. 6, 1 de noviembre de 2010, pp. 871-882, ISSN 1438-8677, DOI 10.1111/j.1438-8677.2009.00295.x.
17. González, A.; Bermejo, V. y Gimeno, B. S. "Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions". *The Journal of Agricultural Science*, vol. 148, no. 03, junio de 2010, pp. 319-328, ISSN 1469-5146, DOI 10.1017/S0021859610000031.
18. Zhang, X.; Chen, S.; Sun, H.; Shao, L. y Wang, Y. "Changes in evapotranspiration over irrigated winter wheat and maize in North China Plain over three decades". *Agricultural Water Management*, vol. 98, no. 6, abril de 2011, pp. 1097-1104, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2011.02.003.
19. Liu, H.; Yu, L.; Luo, Y.; Wang, X. y Huang, G. "Responses of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) evapotranspiration and yield to sprinkler irrigation regimes". *Agricultural Water Management*, vol. 98, no. 4, febrero de 2011, pp. 483-492, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2010.09.006.
20. Tambussi, E. A.; Nogués, S. y Araus, J. L. "Ear of durum wheat under water stress: water relations and photosynthetic metabolism". *Planta*, vol. 221, no. 3, 12 de enero de 2005, pp. 446-458, ISSN 0032-0935, 1432-2048, DOI 10.1007/s00425-004-1455-7.
21. Středa, T.; Dostál, V.; Horáková, V. y Chloupek, O. "Effective use of water by wheat varieties with different root system sizes in rain-fed experiments in Central Europe". *Agricultural Water Management*, vol. 104, febrero de 2012, pp. 203-209, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2011.12.018.
22. Fang, Q.; Ma, L.; Yu, Q.; Ahuja, L. R.; Malone, R. W. y Hoogenboom, G. "Irrigation strategies to improve the water use efficiency of wheat-maize double cropping systems in North China Plain". *Agricultural Water Management*, vol. 97, no. 8, agosto de 2010, pp. 1165-1174, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2009.02.012.
23. Yan, N. y Wu, B. "Integrated spatial-temporal analysis of crop water productivity of winter wheat in Hai Basin". *Agricultural Water Management*, vol. 133, febrero de 2014, pp. 24-33, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2013.11.001.

Recibido: 12 de diciembre de 2014

Aceptado: 27 de julio de 2015