



<http://opn.to/a/bpuPg>

REVISIÓN

Estudio sobre el balance hídrico del arroz en Cuba

Rice's Crop Water Balance Studies in Cuba

Dr.C. Julián Herrera-Puebla¹, Ing. Guillermo Hervis-Granda, Dr.C. Felicita González-Robaina, Dr.C. Carmen Duarte-Díaz
Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. El régimen de riego más practicado en el arroz en Cuba es el aniego no permanente y por tanto el cultivo depende casi totalmente del riego; este manejo del riego en el arroz determina que el balance hídrico del campo arrocero, va más allá de determinar las diferencias entre ETc y lluvias aprovechables ya que otros factores, como la percolación del suelo y la evaporación desde la superficie del agua retenida en la terraza, influyen también en la norma de riego; mientras que la tasa de evapotranspiración y la percolación, de conjunto consumen entre el 70 al 80% del agua aplicada. Pocos estudios se han realizado en el país sobre las demandas netas de agua del arroz, la mayor parte de los publicados corresponden a la región occidental y fueron desarrollados desde los años 1970 al 1990, con variedades de arroz que en la actualidad no son utilizadas. Teniendo en cuenta la alta demanda de agua del arroz en Cuba (alrededor del 50% del agua utilizada para el riego en la agricultura del país) y ante los retos que puede imponer el cambio climático con su anunciada disminución de las precipitaciones y por tanto la disponibilidad de agua para riego, el presente trabajo se propuso una revisión de las investigaciones realizados en el país, tanto teóricos como de campo, sobre los elementos que componen el balance hídrico del arroz en Cuba y su comparación con la literatura internacional con miras a obtener una guía para su futuro estudio.

Palabras clave: evapotranspiración, percolación, consumo de agua.

ABSTRACT. The most extended rice's irrigation practice in Cuba is a non-permanent flooding and as a consequence the crop's yield depend from irrigation water; these irrigation practice determine that the water balance for irrigation in a rice field is more than a simple difference between ETc and effective rainfall because others factors like soil percolation + seepage and evaporation from the ponded water also has influence in the irrigation amount and at the same time ETc + percolation consume between 70 to 80% of applied water. Fewer studies have been carry out in Cuba about the rice water requirements', most of them in the occidental part of the country during the years from 1970 to 1990 and using varieties not cultivated in these times. Taking into account the higher water demand for rice cultivation (around 50% of the total irrigation water's use in the agricultural sector in the country) and in front of the future possible effect of the climatic change with its announce about the diminishing rainfall quantities and, as a consequence the availability of irrigation's water, in this work it was reviewed the research conducted in Cuba, about the water balance in rice's crop and its related in the international literature.

Keywords: evapotranspiration, percolation, water consumption.

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oriza sativa*), ocupa solo el 7,6% de los 2 733,5 millones de ha de tierra cultivadas en Cuba ONEI (2017), sin embargo utiliza alrededor del 30% del total de agua demandada anualmente para el riego de los cultivos agrícolas en el país (Herrera *et al.*, 2011). No obstante este alto consumo de agua los rendimientos promedios (arroz cascara) para el período

2013 al 2016 fueron de 3,07 ton ha⁻¹, por lo que para suplir las demandas se importaron durante ese mismo período 456 945 ton arroz consumo (ONEI, 2017). No obstante, se han señalado potenciales de producción de arroz cascara entre 6,4 a 7,4 t ha⁻¹ para las siembras de frío y 4,4 a 5,3 t ha⁻¹ para las de primavera (Colom, 2001).

¹Autor para correspondencia: Julián Herrera-Puebla, e-mail: direccioninvest1@iagric.cu

Recibido: 12/01/2019.

Aprobado: 31/05/2019.

La cantidad de agua requerida por cualquier cultivo (evapotranspiración del cultivo, E_{Tc}) depende de su estado de desarrollo, de las características físicas del suelo, de su estado nutritivo, de la calidad del agua utilizada y de las condiciones climáticas. La medición o la estimación de la tasa de uso de agua es imprescindible para la determinación de los requerimientos de riego.

El régimen de riego más practicado en el arroz en Cuba es el llamado aniego no permanente particularmente cuando se siembra en la época de frío donde el arroz depende casi totalmente del riego Según describen Alemán *et al.* (1987), este manejo se caracteriza porque la germinación se logra sin que las semillas permanezcan bajo lámina de agua permanente y a partir de la 3ra a 5ta hoja se establece una lámina de agua en la parcela que se suspende cuando el cultivo alcanza el 50% de panículas, según resultados de Polon y Pardo (1981).

De lo anteriormente citado se puede inferir que en el balance hídrico del campo arrocero, a diferencia de otros cultivos, va más allá de determinar las diferencias entre E_{Tc} y lluvias aprovechables ya que otros factores, como la tasa de percolación del suelo y la evaporación desde la superficie del agua retenida en la terraza, determina la cuantía de la norma de riego a aplicar al cultivo. Bouman *et al.* (2007), han señalado que las demandas de agua para el arroz (lluvia + riego) para las condiciones del continente asiático, varían entre 400 mm en suelos arcillosos pesados con manto freático superficial, que suministra directamente agua para la transpiración) hasta más de 2000 mm en suelos loam arenosos con manto freático profundo.

En Cuba, las demandas de agua en el arroz se realizan sobre la base de una norma bruta de 17 400 m³ ha⁻¹, y se calcula una eficiencia global del sistema que fluctúa entre 0,68 para la región occidental y central y 0,70 para la occidental INRH (1999), lo cual debiera indicar una norma neta de 11 832 y 12 180 m³ ha⁻¹ para la región oriental –central y occidental, respectivamente. Las intensas sequías del año 2014- 2015, obligó a la reducción de estas normas con vistas a mantener el área de siembra a un nivel fijo de 14 000 m³ ha⁻¹, esta reducción no se basó en estudios del balance hídrico del cultivo, sino más bien en los promedios históricos de los consumos reales de agua para riego.

Pocos estudios se han realizado en el país sobre las demandas netas de agua del arroz, la mayor parte de los publicados corresponden a la región occidental, y otros forman parte de la "literatura gris", solo recogido en tesis de pregrado y doctorales. Otra característica general de los mismos es que la mayoría fueron desarrollados desde los años 70 al 90, casi todos con variedades de arroz que en la actualidad no son utilizadas.

Ante la reducción real de las normas de riego para el cultivo de arroz, sin que al parecer se hayan afectados los rendimientos por este concepto, la posible disminución en las cantidades de lluvia avizoradas como efecto del cambio climático y la escasez de estudios sobre el balance hídrico del cultivo, elementos todos que invitan a estudiar más fondo este balance, el presente trabajo se propone una revisión de los estudios realizados en el país, tanto teóricos como de campo, sobre los elementos que componen el balance hídrico del arroz en Cuba y su comparación con la literatura internacional con miras a obtener una guía para su futuro estudio.

DESARROLLO DEL TEMA

Componentes del Balance Hídrico del arroz

Las demandas de agua para riego del arroz están muy relacionadas con el balance hídrico peculiar de este cultivo. El balance de agua del arroz puede representarse brevemente por la fórmula de balance hídrico (Ding *et al.*, 2017):

$$\Delta H = I + Ll - E - T - P - D \quad (1)$$

Donde ΔH es la variación de agua almacenada en la terraza, I el agua aplicada como riego y Ll, E, T, P y D representan la lluvia caída, evaporación, transpiración, percolación y drenaje superficial, respectivamente.

La Figura 1 (Bouman *et al.*, 2007) muestra esquemáticamente este balance, en ella O y S son equivalentes a las pérdidas por drenaje superficial (D). Como puede observarse de la ecuación y la Figura 1, las entradas consisten en el riego, lluvia y ascenso capilar y las salidas por transpiración, evaporación, desborde sobre los diques, seepage y percolación

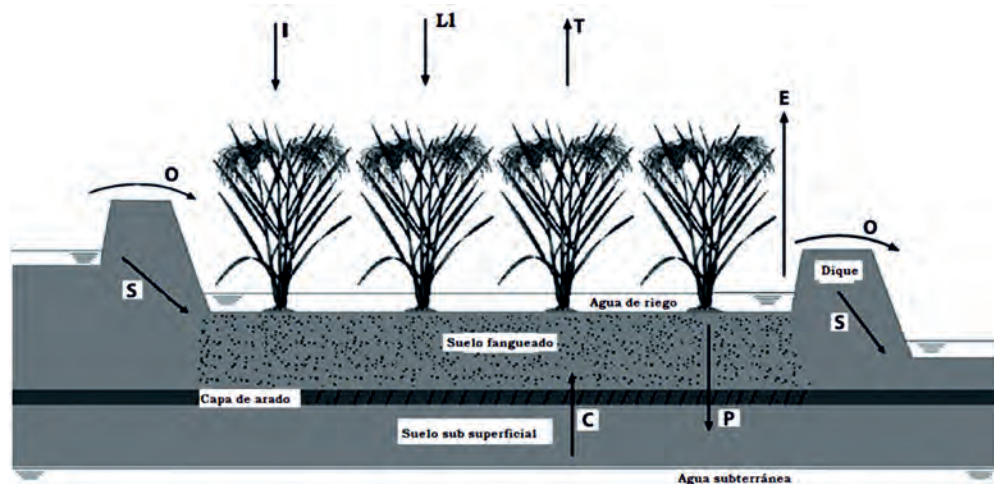


FIGURA 1. Balance de agua en un campo arrocero, C= Ascenso capilar, E = evaporación, I = Irrigación, Ll = Lluvias, O = Desborde de los diques, P = Percolación, S = Flujo lateral, T = Transpiración (adaptada de Bouman *et al.* (2007).

A continuación se discutirán cada uno de los términos de esta ecuación teniendo en cuenta las condiciones en que se cultiva el arroz en Cuba.

Ascenso capilar

En el caso en que la terraza se mantiene permanentemente inundada, como es el caso más común en Cuba Alemán *et al.* (1987), el ascenso capilar puede desestimarse del balance hídrico pues con la inundación permanente se produce un flujo descendente continuo mientras dure esta.

Lluvias

Los potenciales ingresos por lluvias varían de acuerdo a la región donde se siembre el cultivo y a la época de siembra. La

Tabla 1, muestra el calendario de siembra para las tres épocas en que se puede dividir el cultivo del arroz en Cuba (Minag, 2005).

TABLA 1. Épocas y períodos de siembra del arroz en Cuba (Minag, 2005)

Épocas	Periodo de siembra	
	desde	hasta
Invierno	15 de noviembre	28 de febrero
Pre-primavera	1 de marzo	30 de abril
Primavera	1 de mayo	15 de agosto

Grillo y Carrazana (2017) analizaron el comportamiento promedio de las precipitaciones en los principales macizos arrocero del país, estudio que permitió elaborar la Tabla 2 donde se muestran las lluvias mensuales promedios para estas zonas de producción arrocera.

TABLA 2. Precipitaciones mensuales promedio (mm/mes) de las principales zonas arroceras de Cuba (promedio hasta el año 2000, adaptado de Grillo y Carrazana (2017)).

Meses	Zonas arroceras en Cuba						Media	CV (%)
	Paso Real	Colón	La Sierpe	Florida	Jucarito	Veguitas		
Enero	50	37	26	33	26	32	34	26,2
Febrero	62	36	38	42	43	36	43	23,0
Marzo	57	51	37	51	49	43	48	14,6
Abril	86	63	63	56	75	82	71	16,9
Mayo	175	170	174	213	198	191	187	9,0
Junio	212	248	223	266	182	170	217	17,1
Julio	119	171	179	156	132	132	148	16,3
Agosto	153	187	193	169	136	171	168	12,6
Septiembre	221	187	213	180	158	173	189	12,8
Octubre	121	127	138	155	119	150	135	11,2
Noviembre	75	48	47	53	38	48	52	24,3
Diciembre	32	20	26	27	21	17	24	23,0
Total	1363	1345	1357	1401	1177	1245	1315	6,5
Época Seca	362	255	237	262	252	258	271	16,8
Época lluvia	1001	1090	1120	1139	925	927	1034	9,3

Como puede observarse en la Tabla 2, la mayor variabilidad en las precipitaciones corresponde a la época de seca (16,8 %) y las precipitaciones aumentan desde el occidente (Paso Real, provincia Pinar del Río) hacia el oriente (Jucarito y Veguitas, provincia Granma), aunque con muy poca diferencia.

En el cálculo del balance de humedad en los cultivos a cielo abierto la precipitación juega un papel fundamental

Lluvia efectiva

Sin embargo, no toda la lluvia es aprovechada por los mismos, ya que las condiciones físicas del suelo, así como el

estado de humedad de éste en el momento de la lluvia, condiciona la fracción aprovechable de ésta. A dicha fracción desde el punto de vista agronómico se le conoce como precipitación efectiva (Pe).

En el caso del arroz, cuando se cultiva bajo aniego, el cálculo de PE toma un camino diferente por cuanto es necesario tener en cuenta la altura de los diques que rodean la terraza y su capacidad de almacenar la lluvia al momento de ocurrir esta.

Dastane (1974), al analizar diferentes métodos de determinación de la PE, propone un método particular para el caso del arroz, donde interviene la altura del agua tolerable en la terraza según el estado de desarrollo del cultivo, las pérdidas por percolación y la Evapotranspiración del cultivo. Por su parte, García (1982, citado

por Conte (1991) señala que el cálculo de la lluvia aprovechable en el arroz se hace difícil al mantenerse la terraza con agua durante casi todo el cultivo, este autor indica que si el campo arrocero se encuentra sin lámina de agua al momento de ocurrir la lluvia, puede considerarse como lluvia aprovechable toda aquella cantidad que no ocasione que el campo drene, mientras que en el caso de existir lámina de agua en la terraza, se considera aprovechable solo aquella cantidad que permita a la lámina de agua en la terraza ascender hasta alcanzar el nivel permitido por los diques.

Los estudios sobre la lluvia aprovechable en el arroz en Cuba son escasos. Pérez (1975), al proponer una metodología para el cálculo del régimen de riego de proyecto del arroz, indicaba utilizar la lluvia del 50 % de probabilidad y un coeficiente de aprovechamiento de la misma entre 0,5 y 1, mientras que Egaña (1969), para las condiciones de Pinar del Río propuso un coeficiente de utilización del 45%. Rey y De la Hoz (1979) señalaron valores entre el 20 al 30 % y Dueñas (1981, citado por Camejo *et al.* (2017) propuso un coeficiente (K_p) igual a 1 para la lluvia aprovechable en el caso que la etapa o fase de desarrollo del cultivo dure más de 10 días. Los trabajos antes citados fueron estudios teóricos realizados durante las primeras etapas de crecimiento de los planes de producción de arroz en Cuba desarrollados a partir de 1969.

Dueñas (1976, citado por Alvarez (2017) al estudiar varios manejos de agua en la región Central de Cuba (provincia Sancti Espíritus) durante dos años en siembra de invierno encontró una contribución de la lluvia al balance total de agua en el arroz del 30 % para un campo bien nivelado y lamina de aniego no mayor de 8-12 cm y de solo el 4. 1 % cuando el campo no fue nivelado y la lámina de aniego fluctuó entre 15-20 cms.

Conte (1991), en el Occidente del país (Municipio Los Palacios, provincia Pinar del Río) encontró coeficientes de aprovechamiento de las lluvias entre 12 al 31 % en sistemas de riego poco tecnificados (semi ingenieros) y del 75% en sistemas tecnificados (ingenieros) atribuyendo estas diferencias al estado técnico de los sistemas en uno y otro caso. Camejo *et al.* (2017), en la región central (Municipio Chambas, provincia Ciego de Ávila) al estudiar dos sistemas de manejo diferentes del agua durante dos años (en uno de ellos se suministra agua hasta alcanzar 10 cm solo cuando la lámina en la terraza descendió a 3 cm hasta el 50 % de paniculación (Variante I) y suministro de agua según el método tradicional utilizado en Cuba con lámina de agua permanente de 15 cms hasta 50 % de paniculación (Variante II) y dos épocas de siembra (invierno y primavera). Este autor encontró valores de lluvia aprovechable del 23 y 12 % en las épocas de siembra de invierno y primavera respectivamente para la variante I y de 1,93 y 2,04 % para la variante II en invierno y primavera respectivamente.

Como puede observarse de los trabajos antes analizados, el aprovechamiento de la lluvia en el cultivo del arroz es dependiente de la forma en que se maneje el agua y de la época de siembra, siendo al parecer el primer factor el más importante. Los máximos valores obtenidos en campo (Dueñas 1976, citado por Conte (1991), Alvarez (2017) y Camejo *et al.* (2017), son coincidentes con el estudio teórico de Rey y De la Hoz (1979) quienes situaban este valor en 27,5 % como promedio.

Evaporación

Rey y De la Hoz (1979) calcularon un valor de pérdida de agua por evaporación en campos arroceros con ciclos entre 125 y 155 días de 488 mm, lo que representaba el 3% del agua total balanceada para el cultivo. En Texas, Roel *et al.* (1996), encontraron variaciones en las pérdidas por evaporación al utilizar dos manejos de agua diferentes en el cultivo, uno de ellos con aniego permanente donde las pérdidas fueron de 80 mm y el otro llamado Pint-Point por los autores (consiste en drenar la terraza 24 horas después de la siembra, durante aproximadamente 3 días y luego reinundarla hasta la cosecha) donde se obtuvieron pérdidas de solo 40 mm.

Conte (1991), en estudios de campo, utilizando evapotranspirómetros tipo Zaitsev (una descripción detallada de estos equipos, su uso e instalación puede ser consultada en García, 1994) solo obtuvo pérdidas por E_o durante las primeras decenas de crecimiento, cuando las plántulas estaban en proceso de germinación y el campo fue inundado con este propósito, los valores obtenidos fluctuaron entre 33 y 163 mm según época de siembra y estado de la terraza.

La evaporación (E_o) en los campos arroceros ocurre directamente desde la capa de agua de aniego, y es importante solo en la primera fase de desarrollo del cultivo donde el riego se aplica para lograr la germinación. En estas condiciones el valor de la E_o desde el suelo saturado se corresponde con el valor de la Evaporación medida en el tanque evaporímetro ya que al no existir aun un cultivo desarrollado, la tasa de ET_c está limitada solo por la energía disponible, la evaporación desde la superficie del suelo saturado tiene la posibilidad de tener una tasa de ET_c similar a una superficie inundada (Linguist *et al.*, 2015).

Para la estimación de las pérdidas por evaporación en un suelo arrocero saturado, Pérez (1975) propuso su cálculo a partir de la expresión:

$$E_a = 0,8 E_o \quad (2)$$

Donde E_a es la evaporación desde el suelo desnudo, E_o la evaporación desde el tanque evaporímetro clase A. Por su parte, Ventura *et al.* (2006, Citado por Linguist *et al.* (2015) propusieron la utilización de un coeficiente K_x para calcular la evaporación desde un suelo desnudo (K_x) a partir de la Evapotranspiración de referencia.

$$K_x = 1,22 - 0,04 ET_o \quad (3)$$

En general en el balance hídrico del campo arrocero, al valor de E_o no suele dársele mucha importancia toda vez que el volumen de agua utilizado en el primer riego, depende más bien de las características físicas del suelo y el momento del segundo riego lo define, más que la humedad del suelo, la germinación de las plántulas de arroz.

Infiltración y Percolación

Al ponerse en contacto una masa de agua con un suelo seco, esta comienza a escurrir a través de los poros del mismo dando así comienzo a lo que se denomina infiltración. Al principio, este movimiento vertical hacia abajo es muy rápido, pero con el transcurso del

tiempo, el agua va saturando las distintas capas del perfil del suelo y este movimiento se hace más lento hasta que se estabiliza a una tasa constante, numéricamente similar a la conductividad hidráulica del suelo saturado (Marquez y Salgueiro, 1984; Azwan *et al.*, 2010).

Junto a la percolación como tasa de movimiento vertical del agua por debajo de la zona radicular hacia el manto freático, ocurre también un flujo lateral sub superficial de un campo hacia otro y hacia los canales de drenaje denominado seepage. Debido a que el seepage y la percolación ocurren simultáneamente y son difíciles de separar en el campo, su valor se suele considerar de conjunto (Azwan *et al.*, 2010). Wicman (1971, citado por Azwan *et al.* (2010) y Ding *et al.* (2017) señalan a la percolación y el seepage como los componentes más oscuros al conducir estudios del balance de agua en campos arroceros debido a la dificultad de realizar medidas exactas de los mismos y de lograr una clara diferenciación de estos dos componentes,

que en la práctica pueden considerarse en conjunto.

La importancia de la tasa de percolación en el balance hídrico del arroz puede deducirse de lo mostrado en la Figura 2, preparada a partir de los datos de Bouman *et al.* (2007), Tabla 1; en la misma puede observarse el incremento lineal de la cantidad de agua a aplicar a partir de una tasa de filtración de 5 mm día⁻¹, donde el agua aplicada fluctúa entre 500 a 1000 mm para todo el ciclo del cultivo.

Dependiendo de la textura y estructura del suelo, profundidad del manto, altura del agua en el campo, intensidad del fangueo, y el espaciamiento entre los drenes, se pierde por percolación una considerable cantidad de agua en el arroz inundado (Azwan *et al.*, 2010); Ding *et al.*, 2017). También se ha señalado como factores importantes en las pérdidas por percolación (al menos en el primer riego con siembra en seco) al caudal unitario entregado y a la longitud de la terraza (Hervis *et al.*, 2016).

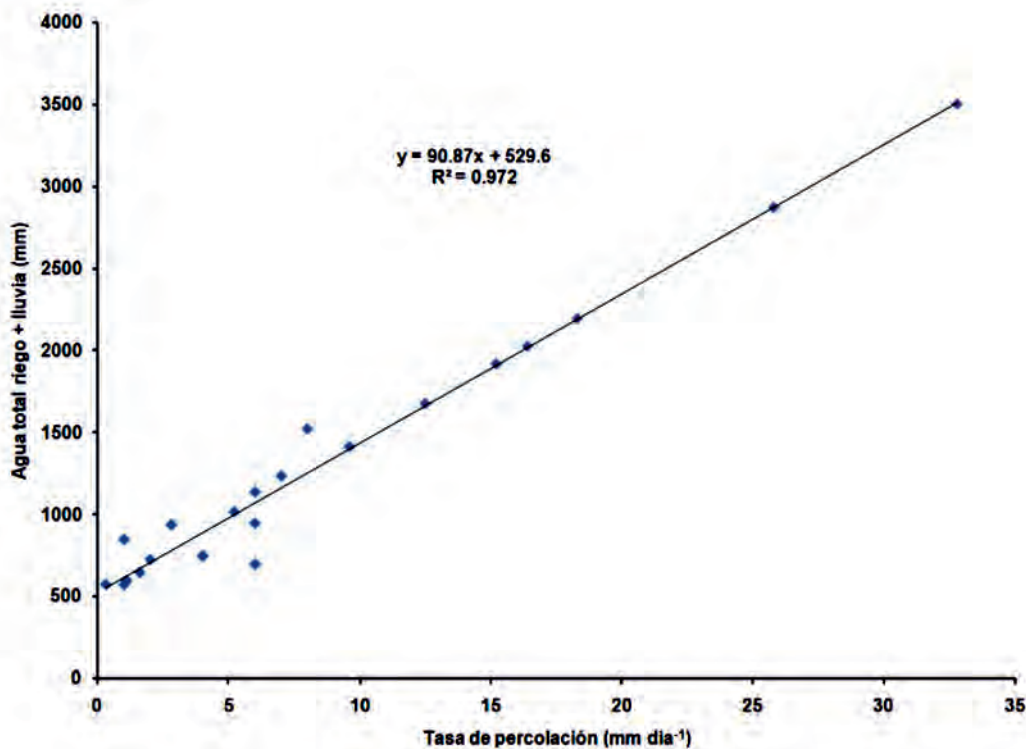


FIGURA 2. Relación entre el agua total aplicada al cultivo del arroz y la tasa de filtración en condiciones de aniego permanente (elaborada a partir de datos de (Bouman *et al.*, 2007).

Kung *et al.* (1965, citado por Azwan *et al.* (2010) señalaron que el requerimiento de agua del arroz en Tailandia fluctúa entre 520 a 2549 mm, de los cuales 273 a 1275 mm representan la percolación, mientras que Dastane (1974), para la India, encontraron valores de requerimientos de agua entre 750-2500 mm de los que el 60% es perdido por percolación. Por su parte, Renault (2004), señala que las pérdidas por percolación en un campo arroceros pueden llegar a ocupar entre el 22 al 58% del agua aplicada al campo. En general, las tasas de percolación pueden variar desde 1 mm día⁻¹ en suelos arcillosos con un fangueo intenso hasta 20 mm día⁻¹ en suelos de textura ligera.

En Cuba, en estudios teóricos sobre el régimen de riego del arroz para la zona occidental, Egaña (1969), señaló valores de

percolación de 4 mm día⁻¹, para una pérdida total de 440 mm en todo el ciclo, lo que represento para este autor una pérdida del 32,8% del total de agua a aplicar al arroz. Pérez (1975), también en estudios teóricos, para Vertisuelos en la zona central del país calculo valores de 4.8 a 6.9 mm día⁻¹ y Rey y De la Hoz (1979) calcularon un total de 466 mm en un ciclo promedio de 140 días (3.33 mm día⁻¹), lo que significó el 29.1 % del total de agua calculada como riego en el ciclo.

En estudios de campo, en suelos Vérticos, Hernández e Infante (1976) determinaron valores de 5.8 mm día⁻¹, mientras que Polon y Pardo (1982) encontraron valores de 6,33 y 8,94 en dos campañas de invierno y primavera respectivamente. Tanto Hernández e Infante (1976) como Polon y Pardo (1982)

realizaron sus mediciones en tanques evapotranspirometros (García, 1994), en algunos de los cuales crecían plantas de arroz y en otros no y señalaron incrementos de la tasa de percolación cuando el suelo tenía plantas comparado con el suelo desnudo, según estos autores la percolación se incrementó en la medida en que las plantas desarrollaron y atribuyeron este incremento a la porosidad creada por el desarrollo del sistema radicular de las mismas.

Conte (1991), también en estudios de campo, en cuatro lotes asentados sobre suelo Gley ferralítico, en Los Palacios (Provincia Pinar del Río, Cuba) obtuvo valores de percolación entre 2,19 a 2,85 mm día⁻¹, equivalentes a 252-399 mm para todo el ciclo, equivalente al 21,8 – 30 % del agua aplicada al cultivo.

Como puede observarse de los trabajos antes citados, las pérdidas por percolación en los campos arroceros, en general fluctúan entre el 20 al 30% del agua total aplicada, y ellas dependen del tipo de suelo (del valor de la conductividad hidráulica saturada, K_s , del mismo y también de la altura de la lámina que se mantenga sobre la terraza una vez que el suelo se sature. Basado en estos factores se han propuesto varios métodos para el cálculo de la percolación como factor de egreso en el balance de agua de arroz.

Pérez (1975), calculó las pérdidas por percolación y seepage de modo independiente y propuso las formulas siguientes:

$$W_5 = 10K_f t_x \quad (4)$$

$$W_6 = \frac{Q_u L n}{F} \quad (5)$$

$$Q_u = K_f \frac{h_1^2 - h_2^2}{21} \quad (6)$$

donde:

W_5 = cantidad que percola en el suelo en sentido vertical

W_6 = cantidad que se filtra a través de los diques de contorno en sentido horizontal.

K_f = coeficiente de filtración del suelo (equivalente a la infiltración básica o la conductividad hidráulica saturada, mm día⁻¹).

Q_u = gasto unitario por filtración lateral (m³ s⁻¹ m).

L = longitud de los diques

n = tiempo en que hay una lámina de agua en el campo (segundos)

F = área del campo considerado.

h_1, h_2 altura de la lámina en el tiempo t_x

Azwan *et al.* (2010), proponen utilizar la Ley de Darcy para la estimación de la percolación, la cual calculan como:

$$DP = \frac{-k_s \Delta h}{\Delta Z} \quad (7)$$

donde: Dp es la percolación (mm día⁻¹); K_s es la conductividad hidráulica saturada (mm día⁻¹) y $\Delta h/\Delta Z$ es el gradiente hidráulico.

Para la determinación del valor de conductividad hidráulica en la zona del perfil considerada, estos autores proponen:

$$K_s = \frac{\sum Z}{\frac{Z_1}{K_1} + \frac{Z_2}{K_2}} \quad (8)$$

K_s es la conductividad hidráulica saturada para la zona de cálculo (cm s⁻¹) K_1 y K_2 es la conductividad hidráulica de la capa 1 y 2 respectivamente (cm s⁻¹), $\sum Z$ es la profundidad total de la capa estudiada (cm) y Z_1 y Z_2 son las profundidades respectivas de las capas 1 2.

Ding *et al.*, (2017). estimaron la percolación utilizando el método propuesto por Lin y Luo (2003, citado por Ding *et al.*, 2017), en el cual la percolación diaria se calcula como:

$$S_i = \frac{1000K_0}{1 + K_0 \alpha \frac{t_i}{H}} \quad (9)$$

dónde: S_i es la tasa de percolación del día i (mm); K_0 es la conductividad hidráulica saturada (m día⁻¹); α es una constante empírica, que varía entre 50 y 250 e incrementa con el incremento en la profundidad del suelo; t_i es el número de días desde la última ocasión en que se saturó el suelo (días); H es la profundidad de las raíces del arroz (m). Para el cálculo más exacto de α , estos autores proponen la relación:

$$\alpha = 50 + 2,0 (\% \text{ arcilla}) \quad (10)$$

En la actualidad se ha hecho popular la utilización del modelo CropWat 8.0 (FAO 2009) para los estudios de demanda de agua en el arroz (Ruiz, 2014; Song *et al.*, 2016; Hossain *et al.*, 2017; Narmilan y Sugirtharan, 2018); este programa contiene una subrutina de datos de suelo en la que también interviene la conductividad saturada, el programa ofrece una tasa máxima de percolación (default) de 3,4 mm día⁻¹, aunque la misma puede ser introducida por el usuario a voluntad.

Cualquiera de los métodos antes expuestos pueden ser utilizados para estimar las tasas de percolación en campos arroceros en los suelos cubanos, donde existe una abundante información sobre la tasa de infiltración básica (Nakaidze y Simeón, 1972; Ascanio *et al.*, 1980; Cid *et al.*, 2011).

Evapotranspiración del cultivo (ETc)

Se conoce como evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Allen *et al.*, 2006). En el arroz inundado, la evaporación ocurre directamente desde la superficie del agua que cubre la terraza, mientras que la transpiración se produce por la extracción de agua por las plantas de arroz desde la capa de suelo que exploran las raíces. Como la evaporación y la transpiración son difíciles de medir por separado una vez establecido el cultivo del arroz, al realizar el balance de agua del mismo, ambos parámetros se utilizan de conjunto como evapotranspiración del cultivo (Bouman *et al.*, 2007).

Según Bouman *et al.* (2012), la ETc para un ciclo de cultivo de arroz varía entre 400 y 700 mm en los trópicos y de

800 a 1100 mm en regiones templadas, lo que significa del 56 al 53% del agua total entregada al cultivo de acuerdo con Renault (2004). A la mitad del ciclo del cultivo, cuando ya existe una cobertura completa del cultivo, el arroz evapotranspira a una tasa ligeramente superior a la evapotranspiración de referencia (ET_0), con tasas diarias de ET promedios de 4-5 mm día⁻¹ en estación húmeda tropical y 6-7 mm día⁻¹ en estación seca tropical, pero que pueden llegar hasta 10-11 mm día⁻¹ en las regiones áridas (Bouman *et al.*, 2007).

La Tabla 3 muestra valores de la ETc del arroz para varias regiones del mundo, la misma no incluye la evaporación del agua utilizada en la preparación del suelo para aquellos casos en que se utilizó el fangueo o se sembró por trasplante. De acuerdo con esta tabla el consumo promedio por ETc es de 577 mm, con los menores valores en China (406 mm promedio) y los mayores en Malasia y California con más de 700 mm.

TABLA 3. Evapotranspiración del cultivo de arroz en varias regiones del mundo

Localidad	Consumo (ETc para todo el ciclo, mm)	Autores
Zhenjiang, China	307-378	Haofang <i>et al.</i> (2017)
North China Plain	458-483	Xue <i>et al.</i> (2008)
Bangladesh	441-553	Fahmida <i>et al.</i> (2017)
Nigeria	502,1	Adeniran <i>et al.</i> (2010)
Japón	534-419	Ikawa <i>et al.</i> (2017)
Viet-Nam	557	Ngo <i>et al.</i> (1982)
Karmal, India	587	Tyagi <i>et al.</i> (2000)
Serdang, Malasia	569,8	Maina <i>et al.</i> (2014)
Thailandia	614	Hossain <i>et al.</i> (2017)
Butte County, California	690-762	Montazar <i>et al.</i> (2017)
Colusa County, California	681-813	
Kirtipur, Kathmandu	711,45	Aryal (2012)
Malaysia	775	Azwan <i>et al.</i> (2010)
California	798	Lal <i>et al.</i> (2012)

En estudios teóricos sobre el balance de agua para el arroz en la zona del "Sur del Gibaro" (provincia Sancti Spiritus) en Cuba,

Pérez (1975) señaló valores de ETc para el arroz de 1431 mm: Este autor en su estudio utilizó la fórmula de Blaney y Criddle, la cual Rey y De la Hoz (1979) indicaron no era adecuada para la determinación de la ETc de los cultivos en Cuba. Estos mismos autores Rey y De la Hoz (1979), determinaron consumos por

evapotranspiración en ciclo de 155 días (siembra en diciembre) de 882 mm, ciclo de 140 días (siembra en marzo) de 981 mm y ciclo de 125 días (siembra en julio) de 763 mm.

TABLA 4. Evapotranspiración del arroz en estudios realizados en Cuba

Localidad	Consumo (ETc para todo el ciclo, mm)	Época	Duración del ciclo (desde la germinación a la cosecha, días)	Variedad	Autores
La Habana	870,5	marzo-agosto	132	IR-8	Hernández y Infante (1976)
La Habana	657	(julio-noviembre)	112	IR-8	Hernández y Infante (1976)
Los Palacios (Pinar del Río)	1173	invierno	140		Polon y Pardo (1982)
	1104	primavera	125		Polon y Pardo (1982)
Los Palacios (Pinar del Río)	955	abril-agosto	153	J-104	Conte (1991)
	758	mayo-septiembre	129	Amistad 82	Conte (1991)
Los Palacios (Pinar del Río)	712	marzo-agosto	137	Amistad 82	Conte (1991)
	856	abril-agosto	137	J-104	Conte (1991)

Localidad	Consumo (ETc para todo el ciclo, mm)	Época	Duración del ciclo (desde la germinación a la cosecha, días)	Variedad	Autores
	649,4	diciembre	150		Ruiz (2014)
Los Palacios	831,3	mayo	140		Ruiz (2014) P
(Pinar del Río)	585,9	julio	110		Ruiz (2014)

La Tabla 4 muestra los valores de ETc para el arroz determinados en lisímetros en estudios publicados en Cuba y también valores obtenidos por Ruiz (2014) utilizando el programa CropWat 8.0 (FAO, 2009) con los coeficientes (Kc) propuestos por Allen *et al.* (2006).

Los valores obtenidos por Polon y Pardo (1982) son extremadamente elevados al compararlos con los obtenidos fuera de Cuba (Tabla 3) y también con los de Hernández e Infante (1976 a,b) en localidades diferentes y con los de Conte (1991) y Ruiz (2014) Pinar del Río, "publisher": Universidad Tecnológica de La Habana, Facultad de Ingeniería Civil, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH en la misma localidad).

El trabajo de Hernández e Infante (1976 a y b) comprendió una sola cosecha en invierno y primavera, mientras que Conte (1991) trabajo durante 4 cosechas y dos variedades diferentes en cada ciclo por el estudiado. Por su parte, Ruiz (2014) realizó sus estudios con datos de clima de 21 años teniendo en cuenta solo la duración teórica del ciclo del cultivo sin atenerse a ninguna variedad del mismo, reportándose en la Tabla 4 solo la probabilidad de ocurrencia de la ETc correspondiente al 25%.

Al comparar los resultados de la ETc del arroz mostrados en la tabla 4, en los experimentos de campo con los obtenidos al utilizar el CropWat Ruiz (2014), para épocas de siembra equivalentes, se puede observar similitud en los resultados dentro de cada época y duración del ciclo. En general los valores obtenidos en Cuba son mayores que los señalados en la literatura internacional, incluso para regiones con un clima similar al nuestro (Tabla 3).

Como se señaló anteriormente, la ETc contribuye entre el 56 al 53% del agua total que requiere el riego del arroz Renault (2004), y es el agua que actúa directamente a la formación del rendimiento, sin embargo de la revisión de las investigaciones realizadas en Cuba al respecto a partir de 1959, se nota que se ha prestado poca atención al tema. De este modo en la tabla 4 solo se acotan resultados de dos regiones, aunque de acuerdo con Camejo *et al.* (2017) y Alvarez (2017) se han realizado trabajos de investigación en la región Central del país (Diakite, 1987, citados por Camejo *et al.* (2017) y Dueñas 1976, citado por Alvarez (2017) los cuales no se pudieron consultar en su fuente original. Otro aspecto a señalar es que de las variedades utilizadas en la investigaciones reseñadas, solo la J-104 aún era recomendada en el 2005 (Minag, 2005).

Otro aspecto que destacan los resultados mostrados en la Tabla 4, es la posibilidad de utilización del Programa CropWat 8.0 para el cálculo de la ETc del arroz en regiones del país de las cuales aún no se tiene información e incluso para obtener predicciones sobre el posible comportamiento de Etc ante los efectos del cambio climático tal y como han demostrado su validez en otras regiones del mundo (Seung *et al.*, 2006; Bouraima *et al.*, 2015; Surendran *et al.*, 2015; Chowdhury *et al.*, 2016; Ding *et al.*, 2017).

Norma de Riego

La expresión del resultado final del balance de agua para el cultivo del arroz durante todo su ciclo es la norma de riego neta, o sea la cantidad de agua total a planificar (sin tener en cuenta las pérdidas en el sistema de conducción, distribución y aplicación) para obtener el rendimiento deseado.

De lo visto anteriormente, los parámetros percolación y evapotranspiración por si solos ocupan entre el 80 al 90% del agua aplicada como norma de riego, de ahí la importancia de la determinación de las características de la infiltración del suelo (determina la percolación) y del consumo de agua del cultivo, el cual es una función de la variedad, la duración del ciclo y de la demanda climática, en relación esta última con la época en que se desarrolle el cultivo.

Los primeros resultados del cálculo de las normas de riego publicadas en Cuba basadas en el balance hídrico del cultivo mostraron valores de 18 000 m³ ha⁻¹ para la zona de los Palacios Egaña (1969) y de 16 113 m³ ha⁻¹ para la zona de Sancti Spiritus Pérez (1975), mientras que Rey y De la Hoz (1979) calcularon normas (promedios para Cuba) de 16 658, 17 074 y 14 305 m³ ha⁻¹ para las siembras de diciembre, marzo y julio, respectivamente.

Acorde con los criterios anteriores, Alemán *et al.* (1987) propusieron normas (no se especifican en el estudio los elementos del balance hídrico) para distintos ciclos de siembra y localidades en Cuba, las cuales fueron oficializadas por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en la Resolución 21/99 INRH (1999) y ratificadas en el 2015 (INRH, 2015). La Tabla 5 muestra las normas oficiales utilizadas para el cálculo de la demanda de agua en el arroz en Cuba. Las altas demandas de riego, en comparación con los requerimientos de agua del cultivo (ETc) ha conllevado a dirigir los esfuerzos en la modificación de los métodos de manejo del riego en el arroz, como el llamado "Sistema Intensivo del Cultivo del Arroz (SICA) que combina prácticas agrícolas novedosas de conjunto con el manejo del agua sobre la base de no mantener el campo inundado (Pérez, 2002).

Otros resultados obtenidos en Cuba, donde al modificar el manejo del agua se obtienen reducciones significativas de la norma de riego en el cultivo del arroz, son los de Camejo *et al.* (2017), quienes al comparar un sistema de manejo donde se dejó disminuir la lámina de agua en la terraza hasta 3

cm y reponiéndola posteriormente hasta 10 cm hasta el 50% de paniculación con el sistema tradicional de aniego permanente, obtuvieron una disminución de la norma de riego en un 50% sin afectaciones en el rendimiento que fue como promedio de todas las variantes de 5,8 t ha⁻¹.

Menezes (2013) señalaron que entre los años 1970-1980, en el estado de Rio Grande do Soul, en Brasil se aplicaban normas de riego al arroz entre 14 a 16 mil m³ ha⁻¹ y obtenían rendimientos de 4 t ha⁻¹, sin embargo, reportan estos mismos autores, con los cambios realizados en la tecnología de producción de arroz, en particular el manejo del agua, se logró disminuir la norma entre 10 000 a 8 000 m³ha⁻¹, mientras los rendimientos se incrementaron hasta 8 a 10 t ha⁻¹.

Una práctica común de manejo del agua en el arroz en los últimos años ha sido la denominada Alternancia de Mojado y Secado (Alternate Wetting and Drying Irrigation, AWD según la literatura en habla inglesa); Carrijo *et al.* (2017) realizaron una extensa revisión de la literatura sobre este tema en el mundo y concluyeron que el manejo del riego AWD puede reducir tanto las emisiones de gases GHC como el consumo de agua, ambos con un valioso beneficio para la meta de obtener una intensificación sostenible de la producción arrocera. A estas conclusiones, los autores antes citados añadieron que el manejo AWD puede reducir el rendimiento si no se implementa correctamente, identificando en su trabajo, las condiciones de suelo y manejo bajo los cuales AWD puede practicarse sin sacrificar los rendimientos. Concluyen estos autores que utilizando AWD se obtiene también un 23% de reducción en el uso del agua y que las propiedades del suelo afectan el comportamiento de AWD, subrayando con esto la necesidad de investigaciones regionales

para poder realizar recomendaciones finamente sintonizadas con las características de cada lugar.



TABLA 5. Normas Netas totales del arroz para diferentes provincias y ciclos de cultivo según la Resolución 287/2015 del INRH

Época de Siembra	Ciclo	Provincia														
		PR	ART	MAY	MZA	VC	CFO	SS	CA	CMY	LT	HL	GM	SC	GTO	IJ
Normas netas totales (ciclo completo) m³ ha⁻¹																
Frío período seco / Siembra en seco	Ciclo medio	11286	11286	11286	11286	11799	11799	11799	11543	11543	11849	11849	11849	11849	11849	11286
Pre. Primavera	Ciclo medio	10415	10415	10415	10415	10700	10700	10700	10600	10600	10340	10340	10340	10340	10340	10415
Período seco/ Siembra Seco	Ciclo medio	9000	9000	9000	9000	9685	9685	9685	9585	9585	9400	9400	9400	9400	9400	9000
Primavera	Ciclo medio	8798	-	-	-	9150	9150	9150	8971	8971	8879	8879	8879	8879	8879	8798
Período seco/S. Fanguero	Ciclo medio	-	9733	9733	9733	9833	9833	9833	9659	9659	9459	9459	9459	9459	9459	-
Preparación seco/ Siembra agua	Ciclo medio	10500	10500	10500	10500	10985	10985	10985	10285	10285	10100	10100	10100	10100	10100	10500

Época de Siembra	Ciclo	Provincia														
		PR	ART	MAY	MZA	VC	CFO	SS	CA	CMY	LT	HL	GM	SC	GTO	IJ
Normas netas totales (ciclo completo) m ³ ha ⁻¹																
Frío Período Seco/ Siembra Seco	Ciclo corto	9172	9172	9172	9172	9763	9763	9763	9226	9226	9526	9526	9526	9526	9526	9172
Primavera Período seco/ Siembra agua	Ciclo corto	8326	8326	8326	8326	8362	8362	8362	8382	8382	8366	8366	8366	8366	8366	8326
Primavera Período seco/ Siembra seco	Ciclo corto	7858	7858	7858	1858	7940	7940	7940	7905	7905	7905	7905	7905	7905	7905	7858
Primavera Período seco/Agua Desinfección	Ciclo corto	9626	9626	9626	9626	9640	9640	9640	8966	8966	9066	9066	9066	9066	9066	9626
Primavera Período Fanguero (Doblaje)	Ciclo corto	-	8621	8621	-	8721	8721	8721	8543	8543	8643	8643	8643	8643	8643	-

Legenda: PR- Pinar del Río, ART- Artemisa, MAY- Mayabeque, MZA- Matanza, VC- Villa Clara, CFO- Cienfuegos, SS- Sancti Spiritus, CA- Ciego de Ávila, CMY- Camagüey, LT- Las Tunas, HL- Holguín, GM- Guantánamo, SC- Santiago de Cuba, GTO- Guantánamo, IJ- Isla de la Juventud.

CONCLUSIONES

- A pesar del gran esfuerzo en investigaciones sobre el cultivo del arroz en Cuba, poca atención se ha brindado a la determinación del consumo de agua por evapotranspiración del cultivo. A pesar de que el arroz está extendido en todo el país, y se conocen las diferencias en ETo entre diferentes regiones, solo se han realizado investigaciones al respecto en la región occidental (La Habana y Pinar del Río) y la región central (Sancti Spiritus). Por otra parte, los estudios referidos se realizaron en los años 80 y principios de los 90 del pasado siglo y con variedades que actualmente no están en uso.
- La importancia de este parámetro en el balance del agua (norma de riego) del arroz (entre el 56 al 53% del agua total que requiere el riego del arroz) reclama de estudios más profundos donde se utilicen variedades actualmente en uso. Por la gran dependencia de este parámetro con el clima, otro aspecto que obliga a un estudio más profundo del mismo lo constituye el efecto potencial que el cambio climático puede ocasionar en la demanda de agua del arroz, pero para estudiar este efecto es necesario conocer cuál es el consumo de agua real (ETc) de las variedades actualmente en uso.
- Otro elemento importante, es que a diferencia de otros cultivos, para el arroz no existen en el país, coeficientes de cultivo (Kc) que permitan estimar la ETc a partir de valores locales de ETo. Esto determina que al utilizar modelos como

CropWat, ampliamente utilizados en la actualidad para determinar las demandas de agua del arroz con buenos resultados haya que utilizar coeficientes foráneos.

- La tasa de infiltración es el segundo componente importante en el balance de agua del arroz y significa entre el 20 al 30% del componente de la norma, el mismo tiene una relación lineal positiva con el valor de esta, tal y como ha señalado con anterioridad. Este es un parámetro dependiente del tipo de suelo en que se cultiva el arroz y de la condición del mismo por lo que su valor es local y puede cambiar con el tiempo en dependencia del manejo del suelo. Los estudios existentes en Cuba sobre la infiltración en los suelos arroceros datan de los años 80 del siglo pasado, por lo que a tenor de las condiciones actuales de los suelos arroceros (posiblemente una mayor compactación producto de la explotación continuada) se requiere una revisión de estos valores.
- Los resultados de investigación obtenidos en el país al realizar diferentes manejos del riego han demostrado la posibilidad de reducir la norma de riego del cultivo sin afectar los rendimientos, estos elementos de conjunto con la introducción de nuevas variedades, condición de los suelos y otros indican la necesidad de una revisión de las normas de riego actualmente en uso, las cuales deberían ser calculadas a partir de resultados de trabajos de investigación necesarios a realizar en las diferentes zonas arroceras del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENIRAN, K.A.; AMODU, M.F.; AMODU, M.O.; ADENIJI, F.A.: "Water requirements of some selected crops in Kampe dam irrigation project", *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 1(4): 119-125, 2010, ISSN: 1836-9448.
- ALEMÁN, L.; GARCÍA, O.; LÓPEZ, I.; POLÓN, I.; DURANZA, A.; GUERRA, R.; PLA, A.; ÁLVAREZ, G.; RAMOS, J.J.; (primero): "Manejo del agua y normas de riego en el arzo", En: *Ministerio de la Agricultura, Instituto de Hidroeconomía, II Encuentro Nacional de Riego del Arroz*, La Habana, Cuba, p. 211, noviembre de 1987.
- ALLEN, G.R.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de*

- agua de los cultivos, Ed. Food & Agriculture Org., Estudio FAO Riego y Drenaje ed., vol. 56, Roma, Italia, 2006, ISBN: 92-5-304219-2.
- ALVAREZ, C.I.: *Determinación de la Norma Total de Riego Neta en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.) para 2 tipos de nivelación del suelo en el "Sur del Jibaro"*, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tesis presentada para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2017.
- ARYAL, S.: "Rainfall and water requirement of rice during growing period", *The Journal of Agriculture and Environment*, 13: 1-4, 2012, ISSN: 2091-1009.
- ASCANIO, O.; BOUZA, H.; HERNANDEZ, A.; AGAFONOV, O.: "Principales propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos arroceros de Cuba.", *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Riego y Drenaje*, 3(1-2): 5-28, 1980, ISSN: 0138-8487.
- AZWAN, M.M.; MUSTAPHA, S.; PUASA, S.: "Determination of Water requirement in paddy field at Seberang Perak rice cultivation area", *Journal The Institution of Engineers*, 71(4), 2010.
- BOUMAN, B.A.M.; HAEFELE, S.M.; HIZZI, G.; PENG, S.; HSIAO, T.C.: *Respuesta del rendimiento de los cultivos al Agua*, Ed. International Rice Research Institute, Estudio FAO Riego y Drenaje ed., vol. 56, 2012, ISBN: 971-22-0219-4.
- BOUMAN, B.A.M.; LANPAYAN, R.-M.; TUONG, T.P.: *Water management in irrigated rice: coping with the scarcity*, Ed. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, 54 p., 2007, ISBN: 978-971-22-0219-3.
- BOURAIMA, A.K.; ZHANG, W.; WEI, C.: "Irrigation water requirements of rice using Cropwat model in Northern Benin.", *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(2): 58-64, 2015, ISSN: 1934-6352.
- CAMEJO, L.E.; DUARTE, L.; RIVERÓN, A.R.: "El riego del arroz (Oryza sativa) con limitación de agua en suelos oscuros plásticos del municipio Chambas", *Universidad & Ciencia*, 6(Esp.): 61-78, 2017, ISSN: 2227-2690.
- CARRIJO, R.D.; LUNDY, M.E.; LINQUIST, B.A.: "Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation. A meta-analysis.", *Field Crops Research*, 203: 173-180, 2017, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.002>.
- CHOWDHURY, S.; AL-ZAHRANI, M.; ABBAS, A.: "Implications of climate change on crop water requirements in arid region: an example of Al-Jouf, Saudi Arabia", *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 28(1): 21-31, 2016, ISSN: 1018-3639.
- CID, G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M.E.: "Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 42-46, 2011, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- COLOM, L.: *Planificación, uso del agua y otras acciones para ejecutar el riego en las arroceras*, Inst. Ministerio de la Agricultura, Unión de complejos Agroindustriales del arroz, Sub Dirección de la Mecanización y el Riego, La Habana, Cuba, 2001.
- CONTE, F.: *Determinación de los elementos del balance hídrico de los suelos arroceros de "Cubanacán" Pinar del Río*, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana "Fructuoso Rodríguez". Facultad de Agronomía, PhD. Thesis, La Habana, Cuba, 1991.
- DASTANE, N.G.: *Effective rainfall in irrigated agriculture, [en línea]*, Inst. FAO, Irrigation and drainage paper 25, FAO, Roma. Italy, 1974, Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/X5560E/X5560E00.htm>, [Consulta: 22 de marzo de 2013].
- DING, Y.; WANG, W.; SONG, R.; SHAO, Q.; JIAO, X.; XING, W.: "Modeling spatial and temporal variability of the impact of climate change on rice irrigation water requirements in the middle and lower reaches of the Yangtze River, China", *Agricultural water management*, 193: 89-101, 2017, ISSN: 0378-3774, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08008>.
- EGAÑA, J.: "El arroz en Cuba: Experiencia en Pinar del Río", *Revista Voluntad Hidráulica*, 16: 48-51, 1969, ISSN: 0505-9461.
- FAHMIDA, G.; REZA, K.M.; KURNY, A.S.W.: "Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO₂: a review", *Applied Water Science*, 7(4): 1569-1578, 2017, ISSN: 2190-5487.
- GARCÍA, O.R.: *Irrigación y desecación en los sistemas arroceros*, Ed. Academia, La Habana, Cuba, 1994, ISBN: 959-02-0086-9.
- GRILLO, J.F.; CARRAZANA, A.: "El agua para el cultivo del arroz", En: *Manejo Integrado del riego en el cultivo del arroz*, Ed. Científico-Técnica, primera ed., vol. Cap. 2, La Habana, Cuba, pp. 15-33, 2017.
- HAOFANG, Y.; CHUAN, Z.; OUE, H.; GUANGJIE, P.; DARKO, R.O.: "Determination of crop and soil evaporation coefficients for estimating evapotranspiration in a paddy field", *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(4): 130-139, 2017, ISSN: 1934-6352.
- HERNÁNDEZ, G.A.; INFANTE, J.: "El uso consuntivo, la filtración y la evaporación en el cultivo del arroz. II Siembra de marzo", *Agrotecnia de Cuba*, 8(1): 57-68, 1976.
- HERVIS, G.G.; REYES, F.J.; HERRERA, P.J.: "Criterios hidráulicos y validación matemática para el diseño del campo arrocero", *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(3): 33-40, 2016, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- HOSSAIN, M.B.; YESMIN, S.; MANIRUZZAMAN, M.; BISWAS, J.C.: "Irrigation Scheduling of Rice (Oryza sativa L.) Using CROPWAT Model in the Western Region of Bangladesh", *The Agriculturists*, 15(1): 19-27, 2017, ISSN: 2304-7321, 1729-5211 FAO.
- IKAWA, T.; ABDULLAH, S.; NAKAJIMA, H.; AKAI, S.: "2-(Trimethylsilyl) phenyl Trimethylsilyl Ethers as Stable and Readily Accessible Benzene Precursors", *The Journal of organic chemistry*, 82(8): 4242-4253, 2017, ISSN: 0022-3263.
- INRH: *Resolución No. 21/99. Normas Totales Netas y Coeficiente de Eficiencia para la Determinación de las Normas Brutas de los Principales Cultivos Agrícolas*, Inst. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Resolución, Presidencia del INRH, La Habana, Cuba, 1999.
- INRH: *Resolución 287/2015, Anexo 2. Índices de Consumo: Normas de Riego Netas Totales para los Cultivos Agrícolas*, Inst. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Resolución, Presidencia del INRH, La Habana, Cuba, 2015.
- LAL, D.; CLARK, B.; BETTNER, T.; THORESON, B.; SNYDER, R.: "Rice evapotranspiration estimates and crop coefficients in Glenn-Colusa irrigation district, Sacramento Valley, California", [en línea], En: *USCID Water Management Conference Proceedings, Austin, California, USA*, pp. 145-156, 2012, Disponible en: www.sebal.us13_2012_TX_USCID_Lal.pdf, [Consulta: 12 de diciembre de 2018].
- LINQUIST, B.; SNYDER, R.; ANDERSON, F.; ESPINO, L.; INGLESE, G.; MARRAS, S.; MORATIEL, R.; MUTTERS, R.; NICOLOSI, P.; REJMANEK, H.: "Water balances and evapotranspiration in water-and dry-seeded rice systems", *Irrigation science*, 33(5): 375-385, 2015, ISSN: 0342-7188, DOI: 10.1007/s00271-015-0474-4.

- MAINA, M.M.; AMIN, M.S.M.; ROWSHON, M.K.; AIMRUN, W.; SAMSUZANA, A.A.; YAZID, M.A.: "Effects of crop evapotranspiration estimation techniques and weather parameters on rice crop water requirement", *Australian Journal of Crop Science*, 8(4): 495, 2014, ISSN: 1835-2707.
- MARQUEZ, J.L.; SALGUEIRO, J.L.: "Estimación de la Conductividad Hidráulica "K" a partir de la Velocidad de Infiltración Básica", *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Riego y Drenaje*, 7, 1984, ISSN: 0138-8487.
- MENEZES, G.V.: *Projeto 10- Management Strategies to increase Productivity and Sustainability of Irrigated Rice Growth in the State of Rio Grande do Soul, Brazil: Development and new challenges*, Ed. IRGA/Estação Experimental de Arroz, Cachoeirinha, Rio Grande do Soul, Brazil, 100 p., 2013, ISBN: 978.85-65970-02-0.
- MINAG: *Instructivo Técnico del Cultivo del Arroz*, Ed. Ministerio de la Agricultura, Instituto de Investigaciones del Arroz, La Habana, Cuba, 2005, ISBN: 959-246-037-X.
- MONTAZAR, A.; REJMANEK, H.; TINDULA, G.; LITTLE, C.; SHAPLAND, T.; ANDERSON, F.; INGLESE, G.; MUTTERS, R.; LINQUIST, B.; GREER, C.A.: "Crop coefficient curve for paddy rice from residual energy balance calculations", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(2), 2017, ISSN: 0733-9437, DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001117.
- NAKAIDZE, E.K.; SIMEÓN, F.: "Características de las principales propiedades hidrofísicas de los suelos de Cuba", *Revista Voluntad Hidráulica*, 23, 1972, ISSN: 0505-9461.
- NARMILAN, A.; SUGIRTHARAN, M.: "Modelling the crop water requirement in Batticaloa district, Sri Lanka: FAO-Cropwat modelling for rice", [en línea], En: *4th Jaffna University International research Conference (JUICE 2018)*, 2018, Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/328093083>, [Consulta: 12 de diciembre de 2018].
- NGO, T.T.; PHAN, A.P.H.; YAM, C.F.; LENHOFF, H.M.: "Interference in determination of ammonia with the hypochlorite-alkaline phenol method of Berthelot", *Analytical Chemistry*, 54(1): 46-49, 1982, ISSN: 0003-2700.
- ONEI: *Anuario Estadístico de Cuba 2016*, Inst. Oficina Nacional de Estadísticas e Información, La Habana, Cuba, 2017.
- PÉREZ, P.I.R.: "Régimen de riego para proyecto en el cultivo del arroz", *Revista Voluntad Hidráulica*, 50: 43-56, 1975, ISSN: 0505-9461.
- PÉREZ, R.: *Sistema Intensivo de Cultivo Arrocero (SICA #1)*, Inst. Ministerio de la Industria Azucarera, Carta Agropecuaria Azucarera, No.00-1, La Habana, Cuba, 2002.
- POLON, R.; PARDO, A.: "Momento óptimo de drenaje para la cosecha a partir del 50% de floración.", *Cultivos Tropicales*, 3(2), 1981, ISSN: 1819-4087.
- POLON, R.; PARDO, A.: "Estudio de evapotranspiración y filtración en el cultivo del arroz en un suelo arenoso.", *Cultivos Tropicales*, 4(3): 477-484, 1982, ISSN: 1819-4087.
- RENAULT, D.: *Rice is Life. International Year of Rice*, [en línea], Inst. FAO, Rome, Italy, 2004, Disponible en: www.rice.org, [Consulta: 12 de diciembre de 2018].
- REY, R.; DE LA HOZ, L.: *Manual de régimen de riego de los principales cultivos de Cuba*, Ed. Orbe, La Habana, Cuba, 120 p., 1979.
- ROEL, A.D.P.; HEILMAN, J.; MCCAULEY, G.N.: *Dos manejos del riego de arroz: pin-point y baño-inundación*, ser. Serie Técnica, no. ser. 81, Ed. INIA, Montevideo, Uruguay, 1996, ISBN: 9974-38-066-9.
- RUIZ, S.M.: *Requerimientos de agua en el cultivo del arroz en la UEB "Sierra Maestra"*, *Los Palacios, Pinar del Río*, Universidad Tecnológica de La Habana, Facultad de Ingeniería Civil, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) Instituto de Investigaciones Agrícolas (IAgric), Eng. Thesis, La Habana, Cuba, 2014.
- SEUNG, H.Y.; HING, Y.C.; MIN, W.J.: "Estimation of paddy rice crop coefficients for FAO Penman-Monteith and Modified Penman method", *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 48(1): 13-23, 2006, ISSN: 1738-3692.
- SONG, L.; OEURNG, C.; HORNBuckle, J.: "Assessment of Rice Water Requirement by Using CROPWAT Model", [en línea], En: *The 15th Science Council of Asia Board Meeting and International Symposium 2016*, 2016, Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/303686218>, [Consulta: 12 de diciembre de 2018].
- SURENDRAN, U.; SUSHANTH, C.M.; MAMMEN, G.; JOSEPH, E.J.: "Modelling the crop water requirement using FAO-CROPWAT and assessment of water resources for sustainable water resource management: A case study in Palakkad district of humid tropical Kerala, India", *Aquatic Procedia*, 4: 1211-1219, 2015, ISSN: 2214-241X.
- TYAGI, N.K.; SHARMA, D.K.; SINGH, S.K.: "Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter", *Agricultural Water Management*, 45(1): 41-54, 2000, ISSN: 0378-3774.
- XUE, C.Y.; YANG, X.G.; BOUMAN, B.A.M.; DENG, W.; ZHANG, Q.A.; YAN, W.; ZHANG, T.; ROUZI, A.D.P.; WANG, H.: "Optimizing yield, water requirements, and water productivity of aerobic rice for the North China Plain", *Irrigation Science*, 26(6): 459-474, 2008, ISSN: 0342-7188, DOI: 10.1007/s00271-008-0107-2.

Julián Herrera-Puebla, Investigador y Profesor Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, e-mail: direccioninvesti@iagric.cu

Guillermo Hervis-Granda, Investigador y Profesor, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, e-mail: dptoriegol2@iagric.cu

Felicita González-Robaina Investigadora y Profesora Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, e-mail: dptoambiente4@iagric.cu

Carmen Duarte-Díaz, Investigadora y Profesora Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana. Cuba, e-mail: jdptoriego@iagric.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.