

## Productividad agronómica del agua

### *Water agronomical productivity*

Felicita González Robaina<sup>1</sup>, Julián Herrera Puebla<sup>2</sup>, Teresa López Seijas<sup>2</sup> y Greco Cid Lazo<sup>2</sup>

**RESUMEN.** La productividad es un elemento clave en el planeamiento estratégico de los recursos hídricos a largo plazo. La productividad del agua referida a la evapotranspiración ( $WP_{ET}$ ) y al agua aplicada (WPI) muestran considerables variaciones entre cultivos. El objetivo de este trabajo fue presentar una primera versión de indicadores de productividad agronómica del agua a partir de la información disponible sobre estudios de necesidades hídricas para los cultivos agrícolas de mayor interés en Cuba, que permita su incorporación como indicadores de eficiencia en el plan del uso del agua, instrumento de gestión del recurso hídrico a nivel de unidad productiva que controla el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. En este trabajo se definen en primer lugar los rangos de productividad del agua demandada como evapotranspiración, ET, para los cultivos de mayor interés agrícola. Con excepción de la papa, los granos, pimiento y tomate, los valores de productividad en el resto de los cultivos están por debajo de los estándares internacionales reportados por FAO. Tomando los valores máximos de productividad del agua ( $WP_{Et}$  y WPI) y sus respectivos valores de rendimiento, se presenta una primera versión de los índices de productividad para 22 cultivos de interés agrícola, valores que permitirán cuantificar si el agua demandada se usó de forma eficiente

**Palabras clave:** indicadores eficiencia uso agua, planeamiento recurso hídrico.

**ABSTRACT.** The water productivity is a key element in strategically planning of water resources management for a long period. The water productivity related to evapotranspiration ( $WP_{ET}$ ) and applied water (WPI) shows high variations between crops. The main objective of this work is to present a first version of water agronomical productivity indices from available information about studies of crop water needs due in Cuba for the most agriculture interesting crops, that allows their incorporation as indicators of water use efficiency in the water use plan, that is an instrument of water resource management at production unity level that control the National Institute for Hydraulic Resources. It is defined in first place that water productivity range demanded as evapotranspiration, ET, for most important agricultural crops. Excepting potatoes, grains, pepper and tomatoes crops, all the other values for water productivity are bellow international standards reported by FAO. Taking the high values of water productivity ( $WP_{Et}$  y WPI) and their yield values, it is presented a first version of productivity indices for 22 agricultural interesting crops that allows quantification of efficiency use in demanded irrigation water.

**Keywords:** water use efficiency indicators, planning water resource.

---

<sup>1</sup> M. Sc., Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar, km 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, Teléf.: (53) (7) 691-1038, 691-2665, 691 2533, e-mail: [felicita@iagric.cu](mailto:felicita@iagric.cu)

<sup>2</sup>Dr. C., Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), La Habana, Cuba.  
Recibido 11/12/10, aprobado 25/11/11, trabajo 00/11, investigación.

## INTRODUCCIÓN

La productividad es un elemento clave en el planeamiento estratégico de los recursos hídricos a largo plazo (Zwart y Bastiaassen, 2004). El manejo del agua basado en parámetros de productividad puede mejorar su uso y contribuir a su ahorro en aquellos sistemas donde se consume cantidades excesivas de agua.

No existe una definición única de productividad y el valor considerado en el numerador podría depender del enfoque así como de la disponibilidad de datos. Sin embargo, la productividad del agua definida en kilos por gota es un concepto útil cuando se compara la productividad del agua en diferentes partes del mismo sistema o cuenca y también cuando se compara la productividad del agua en la agricultura con otros usos posibles del agua (FAO, 2003).

La productividad del agua referida a la evapotranspiración ( $WP_{ET}$ ) y al agua aplicada (WPI) muestran considerables variaciones entre cultivos. Por ejemplo Kijne *et al.* (2008), reporta en el trigo una  $WP_{ET}$  entre 0,6-1,9  $kg/m^3$ , en el maíz 1,2-2,3  $kg/m^3$ , en el arroz 0,5-1,1  $kg/m^3$ , en el sorgo forrajero 7-8  $kg/m^3$  y en la papa 6,2-11,6  $kg/m^3$ . Este mismo autor señala que los valores de WPI son menores que  $WP_{ET}$  y varían dentro de un amplio rango. La WPI para el arroz varió entre 0,05 y 0,6  $kg/m^3$ , para el sorgo entre 0,05 y 0,3  $kg/m^3$  y para el maíz entre 0,2 y 0,8  $kg/m^3$ .

Talebul *et al.* (1990) obtuvieron en la papa (variedad Cardinal), bajo diferentes regímenes de riego en un suelo loam-arenoso, valores de productividad del agua con respecto al agua aplicada (WPI) que variaron entre 6,04 y 7,95  $kg/m^3$  en Bangladesh.

Otros autores reportan para USA, China, y algunos países de Europa rendimientos del maíz por encima de 6,0 t/ha con una  $WP_{ET}$  superior a los 1,5  $kg/m^3$ , mientras que en muchos países de África los rendimientos fueron inferiores a los 2,0 t/ha y una baja productividad de 1  $kg/m^3$  (Liu *et al.*, 2008). Mientras que Rosadi *et al.* (2007), en el sorgo obtuvieron una productividad del agua en un suelo Ultisol superior en 2,3 veces al Latosol.

Esta variabilidad ocurre porque los datos fueron recolectados en diferentes ambientes y bajo distintos tipos de manejo del cultivo, todo lo cual afectó no solo el rendimiento sino también la cantidad de agua provista (Kijne *et al.*, 2008). Por WEB del IAgric (González *et al.*, 2011).

La productividad del agua (WP) se define como la cosecha física o económica por unidad de agua consumida por el cultivo (en  $kg \cdot m^{-3}$  o peso  $\cdot m^{-3}$ ). El numerador puede ser expresado en términos de rendimiento de grano ( $kg \cdot ha^{-1}$ ) o en términos económicos (peso  $\cdot ha^{-1}$ ), mientras que en el denominador puede usarse la

lo general es difícil determinar el rendimiento real de los cultivos en áreas grandes como puede ser un sistema de riego. Los rendimientos expresados en términos monetarios son aún más dudosos ya que los precios en el mercado pueden tener grandes fluctuaciones (FAO, 2002).

Doorenbos y Kassam (1986), resumen la productividad del agua referida a la evapotranspiración para varios cultivos, obtenidos en la evaluación de numerosos experimentos en Europa, USA y el Medio Oriente.

Sin embargo para las condiciones de suelo y clima de Cuba no existe un reporte de indicadores de productividad que permita evaluar si los rendimientos obtenidos están en correspondencia con los potenciales para cada cultivo bajo riego, cuestión de vital importancia en el contexto actual dado los efectos del cambio climático sobre la disminución de la disponibilidad del agua.

El objetivo de este trabajo fue presentar una primera versión de indicadores de productividad agronómica del agua a partir de la información disponible sobre estudios de necesidades hídricas para los cultivos agrícolas de mayor interés en Cuba, que permita su incorporación como indicadores de eficiencia en el plan del uso del agua, instrumento de gestión del recurso hídrico a nivel de unidad productiva que controla el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

La aplicación de estos resultados como herramientas para el Plan del Uso del Agua, instrumento incorporado ya al Plan de la Economía, permitirá evaluar los rendimientos potenciales a obtener en función de los consumos de agua y prever las pérdidas por afectaciones en la disponibilidad del recurso, para tomar decisiones oportunas que permitan reducir afectaciones económicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la información sobre los consumos de agua, agua aplicada y los rendimientos de los cultivos de mayor interés agrícola, disponibles en la base de datos de los resultados experimentales en régimen hídrico de la página

transpiración, la evapotranspiración, el agua aplicada o agua aplicada y lluvia, entre otros, según lo definido por Molden (1997).

En este trabajo usaremos las siguientes definiciones de WP:

$$WP_{ET} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{R(kg)}{ET(m^3)}$$

$$WPI \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{R(kg)}{I(m^3)} \tag{1}$$

**donde:**

WP<sub>ET</sub> -productividad del agua consumida o demandada como ET;

WPI productividad del agua aplicada por riego (I). Se calcularon los valores de productividad para los rendimientos máximos por cada cultivo y se proponen como índices de productividad del agua.

**RESULTADOS**

A partir de los resultados de investigación de más de 30 años (desde 1971 hasta el 2007) en necesidades hídricas de los cultivos agrícolas del antes Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), hoy Instituto de investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), en este trabajo se definen en primer lugar los rangos de productividad del agua demandada como ET para cultivos de mayor interés agrícola.

En la Tabla 1 se comparan los valores de productividad del agua consumida con los reportados en el Boletín 33 de FAO (Doorenbos y Kassam, 1986). Como puede observarse, salvo en la papa, los granos, pimiento y tomate, los valores de productividad en el resto de los cultivos están

por debajo de los estándares internacionales reportados por FAO.

En el caso del cultivo de la papa el rango de 5,9-10,9 superior al reportado por FAO denota la atención esmerada que se presta a este cultivo en Cuba y coincide con lo reportado por Kijne *et al.* (2008).

Tomando los valores máximos de productividad del agua (WP<sub>ET</sub> y WPI) y sus respectivos valores de rendimiento, en la Tabla 2 se presenta una primera versión de los índices de productividad para 22 cultivos de interés agrícola, valores que permitirán cuantificar si el agua demandada se usó de forma eficiente. Estos valores potenciales se obtuvieron en experimentos de campo donde el riego de los cultivos fue manejado para suplir las necesidades hídricas del cultivo, o sea los riegos **fueron aplicados en el momento y cuantías adecuadas**. Por otra parte *la agrotecnia de los cultivos fue realizada de forma tal que el rendimiento no estuviera limitado por el agua, los nutrientes, las plagas o enfermedades*.



**TABLA 1. Productividad del agua consumida (WP<sub>ET</sub>) calculados para cada cultivo y valores reportados en el boletín 33 de FAO**

Cultivo		Época	WP <sub>ET</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	
			Experimentos	FAO 33
<b>Granos</b>	Maíz	Invierno	0,92- 2,53 <b>Media=1,69</b>	0,8-1,6
		Primavera	1,13- 1,71 <b>Media=1,41</b>	10-13% humedad
	Soya	Invierno	0,44 – 1,16 <b>Media= 0,67</b>	0,4-0,7
		Primavera	0,53 – 1,54 <b>Media= 1,08</b>	6-10 % humedad
		Verano	0,44 – 1,17 <b>Media= 0,92</b>	
	Sorgo	Invierno	1,02 – 1,48 <b>Media= 1,23</b>	0,6-1,0
		Verano	0,96 – 1,19 <b>Media= 1,07</b>	12-15 % humedad
	Frijol	Invierno	0,53 – 0,97 <b>Media 0,7</b>	0,3-0,6 10 % humedad
	Garbanzo	Invierno	0,25 – 0,71 <b>Media 0,34</b>	-
	<b>Hortalizas</b>	Pimiento	Invierno	3,1 – 8,2 <b>Media 5,95</b>
Primavera			3,4 – 5,93 <b>Media 4,78</b>	
Tomate		Invierno	8-20 <b>Media 15,5</b>	10-12 80-90% humedad
Cebolla		Nov.-Abr.	4,4 – 5,85 <b>Media 4,79</b>	8-10 85-90% humedad
Ajo		Oct.-Nov.	1,8 – 3,3 <b>Media 3,1</b>	-
<b>Tubérculos</b>		Papa	Nov.-Mar.	5,9 – 10,9 <b>Media 8,45</b>
	Boniato	Invierno	3,6 – 16,5 <b>Media= 8,09</b>	-
		Verano	3,61 – 16,5 <b>Media= 9,5</b>	
	Malanga	Feb.-Nov.	2,4 – 5,3 <b>Media 3,6</b>	-
	Yuca	Dic.-Sep.	4,52 – 5,37 <b>Media= 5,03</b>	-
<b>Frutales</b>	Plátano fruta	Fomento	1,15-3,3 <b>Media= 2,52</b>	2,5 - 4 70% humedad
		Producción	1,46-4,72 <b>Media= 3,92</b>	3,5 - 6 70% humedad
	Plátano Vianda	Fomento	1,25-2,13 <b>Media= 1,66</b>	2,5 - 4 70% humedad
		Producción	2,5-3,86 <b>Media=3,01</b>	3,5 - 6 70% humedad
	Papayo		1,98 – 4,72 <b>Media= 3,08</b>	-
	Piña	Fomento	2,32-2,43 <b>Media=2,39</b>	5 - 10
		Producción	3,67-4,85 <b>Media=4,28</b>	8 -12
	Naranja	Fomento	0,94-2,12 <b>Media= 1,37</b>	2 - 5 85% humedad
	Toronja	Producción	1,58-2,21 <b>Media=1,87</b>	

WP<sub>ET</sub>: productividad del agua referida a la evapotranspiración.

**TABLA 2. Índices de productividad del agua en algunos cultivos en Cuba (según investigaciones del IIRD, 1971/2007)**

Cultivo	Variedad	Rendimiento (t/ha)	Productividad (kg/m <sup>3</sup> ) (agua neta)	Productividad (kg/m <sup>3</sup> ) (agua aplicada)
Ajo	Sancti Spiritus No3	10,6	2,94	3,62
Arroz	J-104	4,61	-	0,8
Bermuda	Cruzada No,1	173,4	10,59	29,8
Boniato	Censa 78-425	73,7	15,80	88,54
Cebolla	Red Creole	18,7	4,41	5,11
Col		9,9	4,52	5,00
Frijol	Negro/ cueto 259	2,67	0,72	0,92
Garbanzo	N-6	1,27	0,71	1,27
Maíz	Variedad T66	8,3	2,12	2,68
Malanga	Isleña japan	33,4	4,40	5,90
Naranja	Olenda Valencia	14,2	0,95	2,49
Papa	Spunta	28,7	7,61	7,59
	Baraka	26,3	7,87	6,96
	Kondor	26,3	9,07	6,96
	Desiree	29,1	7,74	12,93
Papayo	Maradol Roja	51,7	4,72	10,64
Pimiento	Medalla de Oro	28,9	5,76	9,6
Piña	Española Roja	35,4	4,01	6,57
Plátano Fruta	Cavend Gig	47,9	3,48	11,28
	Tetraploide	41,2	4,43	8,89
	Musa- AAA	43,7	4,00	13,43
Plátano Vianda	Censa 3/4	32,9	2,13	4,13
Sorgo verano	Enana	4,95	1,08	2,65
Sorgo invierno		4,64	1,32	2,2
Soya	G-7 R-315	3,86	0,88	2,91
Tomate	Campbell 28	63,8	18,74	22,2
Toronja	Marsh	34,4	2,21	-
Yuca	Clon señorita	40,95	5,28	11,08

### CONSIDERACIONES FINALES

Los indicadores de productividad del agua que se presentan en este trabajo son una primera versión a partir de la información disponible sobre estudios de necesidades hídricas para los cultivos agrícolas de mayor interés en Cuba, que permite su incorporación como indicadores de eficiencia en el planeamiento del uso del agua en la agricultura y contribuirán a una mayor precisión en la gestión del recurso hídrico para una administración del riego óptima.

Su introducción debe ser paulatina y debe tenerse en cuenta que los valores de rendimientos potenciales para su cálculo se obtuvieron en experimentos de campo donde el riego de los cultivos fue manejado para suplir las necesidades hídricas del cultivo, o sea los riegos fueron aplicados en el momento y cuantías adecuadas y todas las demás labores aerotécnicas fueron realizadas de forma tal que el rendimiento no estuviera limitado por el agua, los nutrientes, las plagas o enfermedades.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H.: *Yield response to water*, 193pp., Irrigation and Drainage, Paper N° 33. FAO: Rome; 1986.
2. FAO: Water source of food security, In: **Conference organized by Land and Water Development Division**, Rome, 13 September-1 November, 2002.

3. FAO: *Descubrir el potencial del agua para la agricultura*. En: Capítulo 3. Por qué la productividad del agua es importante para el desafío global del agua, Departamento de Desarrollo Sostenible, Roma, Italia, 2003.
4. GONZÁLEZ, R. F.; J. HERRERA; O. HERNÁNDEZ; T. LÓPEZ y G. CID: “Base de datos sobre necesidades hídricas”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 21(2), 2012.
5. KIJNE, J.W.; R. BARKER, & D. MOLDEN: *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing, Wallingford, UK. 2003.
6. LIU J.; ZEHNDER A.J.B.; YANG H.: “Drops for crops: modeling crop water productivity on a global scale”. *Global NEST Journal*, 10(3): 295-300, 2008.
7. MOLDEN, D.: *Accounting for water use and productivity*, 16pp., SWIM Paper 1. International Irrigation Management Institute: Colombo, Sri Lanka; 1997.
8. ROSADI, R. A. B.; AFANDI; SENGE, M.; ITO, K. y J. T. ADOMAKO: “The Effect of Water Deficit in Typical Soil Types on the Yield and Water requirement of Soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) in Indonesia”, *JARQ*, 41(1): 47–52, 2007.
9. TALEBUL, I.; SARKER, H.; ALAM, J. & H. RASHID: “Water use and yield relationships of irrigated potato”, *Agricultural Water Management*, 18(2): 173-179, 1990.
10. ZWART, S. J. & M. BSTIAANSSEN: “Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize”, *Agricultural Water Management*, 69(2): 115-133, 2004.



## CONVENCIÓN INTERNACIONAL INGENIERIA AGRICOLA 2012



### CONVOCATORIA

*Estimados Colegas:*

*El Instituto de Investigaciones en Ingeniería Agrícola (IAgric), tiene el gusto de invitarles a participar de la **Convención Internacional Ingeniería Agrícola 2012** en el marco de la cuál tendrán lugar el **V CONGRESO INTERNACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE**, **CUBA-RIEGO 2012** y el **V CONGRESO INTERNACIONAL DE MECANIZACION AGROPECUARIA**.*

*El evento se desarrollará del 16 al 19 de octubre en el Hotel Meliá Habana de la ciudad de La Habana, los principales temas a debatir serán:*

- Tecnologías de riego y drenaje en los sistemas de producción agrícolas.
- Recursos energéticos convencionales y renovables en la actividad de riego.
- Impacto ambiental del riego y el drenaje.
- Género en la gestión integrada de los recursos hídricos en la agricultura.
- Mecanización agropecuaria.
- Tracción animal.
- Gestión de la explotación de la maquinaria agrícola.
- Impacto de la mecanización y el riego en el medio ambiente.
- Mini-industria.
- Aplicaciones de la percepción remota satelital y el SIG a estudios agrícolas y de manejo de recursos hídricos.
- Agricultura de precisión

INGENIERÍA AGRÍCOLA '2012

**Solicite información detallada a:** Lic. Oravides Almagro Peñalver  
OPC  
[convencion2012@iagric.cu](mailto:convencion2012@iagric.cu)