

## RIEGO Y DRENAJE

### ARTÍCULO ORIGINAL

# Lluvia sólida, para un uso eficiente del agua. Resultados preliminares

## *Solid rain for efficient water use. Preliminary results*

Dr.C. Enrique Cisneros-Zayas<sup>1</sup>, M.Sc. Reinaldo Cun-González, Ing. Leynis Rosales-Naranjo,  
Téc. Dariel González-Morales

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana. Cuba.

**RESUMEN.** El empleo de los polímeros súper absorbentes conocidos también como “lluvia sólida” podría ser una alternativa para enfrentar la escasez de agua por los agricultores, según diferentes reportes de su aplicación en disímiles condiciones de producción. El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el comportamiento de la “lluvia sólida” en condiciones de organopónico para su posible introducción en la agricultura cubana. El ensayo se llevó a cabo en el organopónico del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola donde fueron plantados cuatro canteros con tomate variedad Vyta, a dos de ellos se le aplicó lluvia sólida. En todos los canteros se dio seguimiento al comportamiento de la dinámica de humedad en el sustrato, al número de riegos, las dosis totales, el estado hídrico de las plantas, rendimientos y calidad de las producciones. Como resultado se tiene que en los canteros donde se aplicó lluvia sólida (LLS) el promedio de riego fue inferior en un 22% en comparación con los canteros testigos, las dosis totales de riego variaron en el rango de 142,21 y 203,15 mm siendo inferiores en los canteros con LLS, en los ensayos testigos el intervalo de riego promedio fue de 3 días y donde se aplicó LLS el intervalo fue de 5 días. Por último se logró mayor calidad del producto y productividad agronómica del agua en los canteros donde se aplicó LLS, por lo que el empleo de dicho polímero en condiciones de organopónico permite mantener niveles de humedad en el suelo que favorecieron el buen desarrollo fenológico del cultivo.

**Palabras clave:** *polímeros, manejo del riego, ahorro de agua, productividad del agua.*

**ABSTRACT.** The employment of the super absorbents polymers known as “solid rain” it could be an alternative to shortage of water for the farmers, according to different reports their application in dissimilar production conditions. The present work has as objective to study the behavior of the “solid rain” under organoponic conditions for its possible introduction in Cuban agriculture. The study was carried out in the organoponic of the Research Institute of Agricultural Engineering where four beds was planted with tomato Vyta variety, at two of them was applied solid rain, in all beds pursuit was given to the behavior of the dynamics of humidity in the substrate, to the number of irrigation, the total doses, the water state of the plants, yields and quality of the productions. As a result one has that in the beds where the solid rain (SR) was applied the irrigation average was inferior in 22% in comparison with the beds witness, the total doses of irrigation varied in the range of 142,21 and 203,15 mm being inferior in the beds with SR, in the rehearsals witness the interval of watering average was of 3 days and where SR the interval was applied it was of 5 days. Lastly it was achieved bigger quality of the product and agronomic water of productivity in the beds where SR was applied, for what the employment of this polymer under organoponic conditions allows to maintain humidity levels in the soil that favored the good phonologic development crop.

**Keywords:** *polymers, irrigation schedule, water savings, water productivity.*

## INTRODUCCIÓN

En la síntesis informativa sobre impactos del Cambio Climático y medidas de adaptación en Cuba (Planos, 2012) se refiere a que los escenarios climáticos considerados más probables para Cuba, expresan que la temperatura promedio del aire puede aumentar entre 2,6 y 4,5 °C y la precipitación anual disminuir entre un 15 y 60%, respecto a los valores actuales. En

uno de los escenarios climáticos más favorables con relación al agua, su disponibilidad potencial en el 2 100 podría reducirse a 24 km<sup>3</sup>, un 37% menos respecto a la línea base 1961-1990. En cualquiera de los escenarios climáticos más probables, el balance hídrico demuestra una significativa reducción del agua potencial, coincidiendo con lo proyectado por el Panel

Internacional de Cambio Climático para un efecto invernadero intensificado en la atmósfera terrestre (Planos, 2013).

Teniendo en cuenta estas predicciones y las características de la distribución estacional de las precipitaciones en Cuba, la agricultura irrigada y el drenaje agrícola resultan imprescindibles para mantener la seguridad alimentaria de la población, por ello es imposible renunciar a su ejecución. Su impacto ambiental es negativo si se aplica de forma inadecuada e indiscriminada y positivo si se realiza de manera sabia y equilibrada (Zamora *et al.*, 2003).

Los agricultores que están viviendo en carne propia un evento de sequía extrema, califican la experiencia de traumática, básicamente porque si no hay agua las posibilidades del desarrollo agrícola son mínimas, en los últimos años se reporta como una solución mitigadora de estos efectos el uso de una innovadora tecnología: los polímeros súper absorbentes, los que podrían “dar un respiro” en tiempos de escasez a miles de agricultores en todo el planeta (FAO, 2013).

Los polímeros súper absorbentes, creados hace más de 50 años por la agencia espacial (NASA), se presentan como una alternativa de solución al problema de la escasez de agua en diferentes países. Por esos mismos años el Ministerio de Agricultura de EE UU comenzó la búsqueda de materiales que sirviesen para mejorar la economía hídrica del suelo, desarrollando una resina basada en un polímero de acrilonitrilo que tenía una capacidad de absorción de 400 veces su peso.

Esta técnica tiene el objetivo de optimizar el uso de agua para el riego agrícola en cultivos hortícolas, frutales, extensivos, ornamentales, forestales, viñedos, viveros y pastizales. Actualmente, además de México, la tecnología la están empleando productores de Chile, España, Costa de Marfil y California [www.silosdeagualluviasolida.com](http://www.silosdeagualluviasolida.com) (2017).

Algunos autores consideran que la lluvia sólida/Silos de agua o Agua sólida, es un sistema de riego que, a diferencia de otros como el goteo y cintillo, es el único que emplea agua en estado sólido, los resultados son extraordinarios porque la raíz se mantiene húmeda por varios meses, y se re hidrata en repetidas ocasiones con las precipitaciones (Rico, 2014).

Entre los beneficios informados de este producto se encuentran que: actúa como un reservorio de agua, de la cual el 90% está disponible para la raíz del cultivo; mantiene por más tiempo la humedad del suelo cercana a su límite máximo o “capacidad de campo”, lo que reduce ciclos de riego y uso de agua, incrementando la productividad general; mejora el manejo tradicional de cultivos en regiones con escasa precipitación pluvial, independizándolo de las lluvias de temporal; mejora la textura y ventilación en suelos, sobre todo los compactos y protege el suelo de la erosión, desertificación y contaminación del agua, manteniendo el microambiente esencial para el desarrollo de la biota benéfica del mismo (Rojas *et al.*, 2016).

De acuerdo con lo anterior el presente trabajo se propone como objetivo *evaluar en un primer ensayo el comportamiento de la “lluvia o agua sólida” sobre la eficiencia del uso del agua de riego en el cultivo del tomate en condiciones de organopónico experimental.*

## MÉTODOS

Durante el período comprendido de diciembre del 2016 a marzo del 2017 se llevó a cabo el estudio en áreas del organopónico experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), en La Habana, Cuba.

Para el ensayo fueron sembrados cuatro canteros con tomate variedad Vyta (*Solanum Lycopersicum* L.), a dos canteros se le aplicó lluvia sólida y dos fueron control. Los mismos están bajo riego localizado con microaspersores, los cuales tienen un caudal de 40,65 L·h<sup>-1</sup>, separados a 1,00 m en el lateral.

Se aplicaron 3,0 gramos de lluvia o agua sólida por planta en forma de semicírculo para lograr un buen anclaje de las mismas.

Las plantas, trasplantada de cepellón, se desarrollaron en canaletas de asbesto cemento de 10,8 m de largo, 0,70 m de ancho y 0,30 m de profundidad. Las propiedades hidrofísicas de los sustratos se muestran en la Tabla 1 y fueron tomados de un estudio anterior (López *et al.*, 2007)<sup>1</sup>. El marco de plantación fue de dos hileras por canteros espaciadas a 0,40 m y la separación entre plantas de 0,30 m.

**TABLA 1. Propiedades hidrofísicas de los sustratos evaluados (tomado de López *et al.*, 2007).**

LSAD (% Vol.)	85% LSAD (% Vol.)	LIAD (% Vol.)	Da (g cm <sup>-3</sup> )
<b>Biotierra (negro)</b>			
47,8	40,6	12,0	1,02
<b>Sustrato Ferralítico Rojo + MO (rojo)</b>			
42,3	36,0	12,0	1,10

LSAD: límite superior de agua disponible; LIAD: límite inferior de agua disponible; Da: Densidad aparente.

En la Tabla 2, aparecen algunos indicadores de la calidad del agua, donde según Duarte *et al.* (2007), es adecuada para el riego de cultivos agrícolas en condiciones de Organopónicos.

**TABLA 2. Algunos parámetros de calidad del agua de riego**

Indicadores	Valor
Conductividad eléctrica (μS)	0,52
Sales solubles totales (mg·L <sup>-1</sup> )	332,8
pH	7,6

Como parte del trabajo se efectuaron evaluaciones de campo para conocer la dinámica de desarrollo morfológico del cultivo donde se utilizó la lluvia sólida con respecto al control. La frecuencia de las evaluaciones se realizaron en función del desarrollo fenológico del cultivo (en cada fase) y a partir de la observación del estado fisiológico del mismo.

A partir de la información generada en los trabajos de campo se llevó a cabo un análisis comparativo de las normas y frecuencia de riego en los canteros donde se aplicó la lluvia sólida contra el área control en cuanto a: Número de riegos; Intervalo de riego (día); Normas aplicadas (parciales y totales). (L·m<sup>-2</sup>); Control de la dinámica de humedad en el suelo hasta la profundidad de 0,15m; Potencial hídrico foliar (Ψh).

<sup>1</sup> LOPEZ, T., 2007.F. GONZÁLEZ, y G. CID: Actualización de propiedades físicas e hidrodinámicas para un sustrato en condiciones de organopónico, 10pp., Informe de Investigación perteneciente a Etapa 02 del Proyecto 22-41 del Programa Ramal Riego y Drenaje del MINAG, La Habana, Cuba, 2007.

El potencial hídrico foliar se controló por medio de la Cámara de Presión y fue medido entre las 9:00 y 10:00 am según lo propuesto por García *et al.* (2010), el contenido de humedad en el suelo fue medido mediante tensiómetros y sonda electromagnética tipo TDR hasta la profundidad de 0,25 m.

Con la información obtenida de los trabajos de campo se hizo una comparación entre los canteros donde se aplicó lluvia sólida contra los canteros control en cuanto a: Calidad de la cosecha y Rendimientos.

La productividad agronómica del agua de determinó según Molden *et al.*, (2003): mediante la expresión:

$$WP_I \left( \text{kg m}^{-3} \right) = \frac{R(\text{kg})}{I(\text{m}^3)} \quad (1)$$

donde:

$WP_I$  - productividad agronómica del agua utilizada por riego ( $I$ ) ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ );

$I$  - riego aplicado ( $\text{m}^3$ ).  $R$  - rendimiento ( $\text{kg}$ );

Para el análisis económico se utilizó la relación beneficio / costo ( $B/C$ ) Muñoz (2007), como indicador muy útil para recomendar la pertinencia de la utilización de la lluvia sólida en condiciones de organopónico.

$$B/C = \frac{Bb}{CR}$$

donde:

$Bb$ : Beneficio bruto marginal ( $\text{pes}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) = Rendimiento agrícola marginal ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) x precio unitario del producto.

$CR$ : Costo por riego ( $\text{peso}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) = Sumatoria de los gastos (agua, energía, salario y precio del agua sólida).

Para la determinación de las partidas diferenciales y los importes obtenidos durante la fase experimental se utilizaron las siguientes fuentes y en todas se tomó como unidad la hectárea:

- Precio de la lluvia o agua sólida 21 €/kg<sup>1</sup>. (tasa de cambio 1,0886 CUC, vigente 27/4 – 28/4/2017) equivalente a 571,5 CUP/kg<sup>1</sup>.

- El precio del agua superficial es 0,018 m<sup>3</sup>·CUP, según Resolución 421/2012. Nuevas tarifas de agua en el Sector Estatal del Ministerio de Finanzas y Precios<sup>2</sup>.
- El precio unitario del tomate consumo es 150,0 peso·qq<sup>-1</sup> equivalente a 3300 peso·t<sup>-1</sup> según Resolución No. 157/2016 del Ministerio de Finanzas y Precios<sup>3</sup>.
- El valor energía equivalente (0,29 peso/ kW·h<sup>-1</sup>). Departamento de Energía Minag (2014)<sup>4</sup>.
- Salario, se consideró las jornadas dedicadas por los participantes según sus salarios básicos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la dinámica de humedad en el suelo para ambos sustratos

En la Figura 1 se puede apreciar que la misma se mantuvo entre el límite superior de agua disponible (LSAD) 0,423 cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup> y el límite inferior de agua disponible (LIAD) 0,360 cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>, teniendo en cuenta que el mismo se fijó al 85% del LSAD simulando condiciones de producción a cielo abierto. En la misma figura se observa como para el sustrato rojo la variación o disminución del agua disponible para el cultivo es mayor en el cantero (C1), donde no se aplicó lluvia o agua sólida (AS) con respecto al cantero donde se aplicó cantero (C2 AS), los intervalos de riego fueron de 2 y 4 días respectivamente.

En la Figura 1 se puede apreciar que la dinámica de la humedad en los canteros evaluados se mantuvo entre el límite superior del agua disponible (LSAD) 0,423 cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup> y el límite inferior del agua fácilmente disponible, que en este caso fue fijado como el 85% del LSAD (0,360 cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>), simulando condiciones de producción a cielo abierto. En la misma figura se observa como para el sustrato rojo la variación o disminución del agua disponible para el cultivo es mayor en el cantero donde no se aplicó lluvia o agua sólida (C1) con respecto al cantero donde sí se aplicó (C2 AS), los intervalos de riego observados fueron de 2 y 4 días respectivamente.

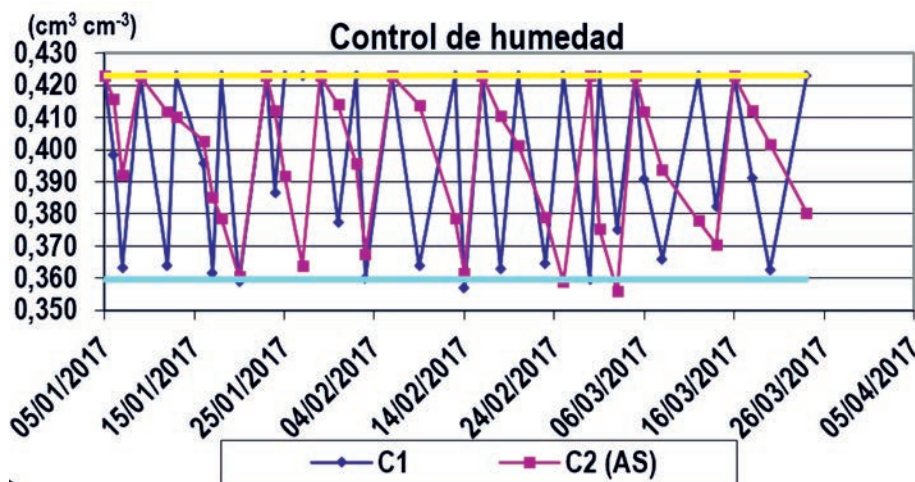


FIGURA 1. Comportamiento de la humedad en los canteros con sustrato rojo, sin agua sólida (C1) y con agua sólida (C2 AS).

<sup>2</sup> INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS (INRH): Resolución 421-2015. Nuevas tarifas de agua en el Sector Estatal La Habana, Cuba, 2015.

<sup>3</sup> MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS (MFP). Resolución No 157/2016. Precios máximos de acopio de Productos Agropecuarios, La Habana, Cuba, 2016.

<sup>4</sup> MINAG: Departamento de Energía, MINAG, La Habana, Cuba, 2014.

En sentido general la Figura 1 muestra que la aplicación del agua sólida permite mantener durante un mayor tiempo el agua fácilmente disponible en el suelo para su utilización por las plantas, esto implica que el intervalo de riego sea mayor en el cantero con agua sólida y por consiguiente un ahorro de agua al disminuir el número de riego.

En la Figura 2, ocurre algo similar pero los valores de

humedad volumétrica son superiores manteniéndose la misma entre  $0,478 \text{ cm}^3\text{-cm}^{-3}$  (LSAD) y  $0,406 \text{ cm}^3\text{-cm}^{-3}$  (85% LSAD), la diferencia radica en que para el sustrato negro la capacidad de retención del agua es mayor por tener un mayor contenido de materia orgánica y por tanto el intervalo de riego aumenta, llegando a ser de hasta 4 días en el cantero sin agua sólida (C3) y de 5 días para el tratamiento con agua sólida C4 (AS).

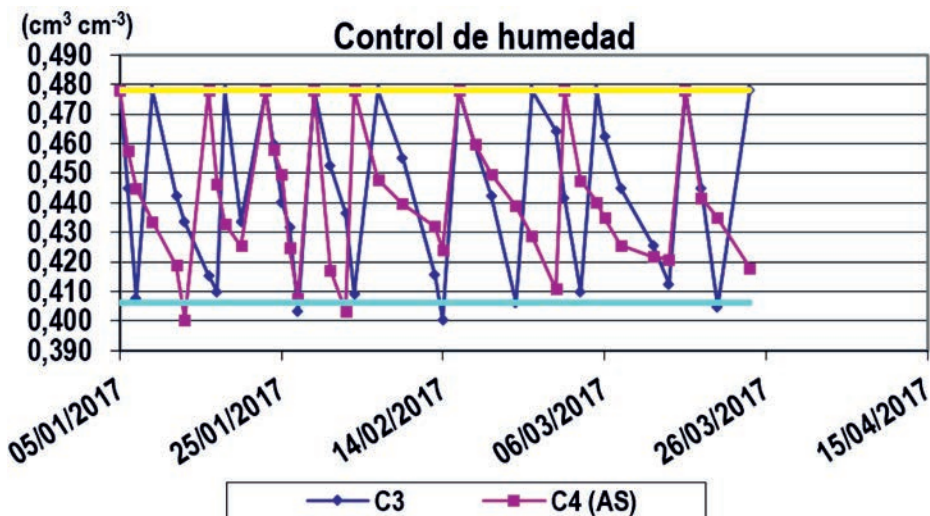


FIGURA 2. Comportamiento de la humedad en los canteros con sustrato negro, sin agua sólida (C3) y con agua sólida (C4 (AS)).

### Comportamiento de la tensión del agua en el suelo y el potencial hídrico foliar

En valores de tensión del agua en el suelo, el cultivo del tomate se desarrolló en un rango de tensiones entre los 20 y 30 kPa, para los canteros C2 y C4 con agua sólida, en el caso de los canteros C1 y C3 estos valores variaron entre 25 y 40 kPa. Desde el punto de vista de retención del agua, en los canteros con lluvia sólida, el agua se encuentra a una menor tensión lo que implica un menor esfuerzo por la planta para extraer la necesaria y poder desarrollar todas sus funciones vitales. En estudios similares realizados por Duarte (2011) bajo las mismas condiciones, se demostró que estos valores de tensión se corresponden con contenidos de agua en este tipo de sustrato que favorecen el crecimiento y desarrollo del cultivo al existir una mayor disponibilidad del agua para las plantas.

Para conocer el estado hídrico de las plantas se realizaron muestreos aleatorios con la cámara de presión en diferentes momentos del desarrollo del cultivo. Del estudio se pudo comprobar que en las plantas de los canteros C1 y C3 el potencial hídrico foliar varió entre -0,31 y -0,29 MPa, lo que indica una menor disponibilidad del agua en el tejido con respecto a las plantas de los canteros C2 y C4, donde este valor varió entre -0,23 y -0,20 MPa, García *et al.* (2016) informaron valores de potencial hídrico foliar en el tomate entre -0,26 y -0,20 MPa, bajo un régimen de riego similar al estudiado, lo que indica que los obtenidos en este trabajo se encuentran muy próximos a los notificados. Esto permite afirmar que en los canteros donde se aplicó agua sólida el estado de turgencia de las plantas es mayor lo que contribuye a un mejor desarrollo fenológico del cultivo.

### Efecto de la lluvia sólida en el desarrollo fenológico del tomate

Para el buen desarrollo de los cultivos es necesario disponer de contenidos de humedad en el suelo adecuados de manera tal que no existan restricciones para llevar a cabo sus funciones vitales. En las Figuras 3 y 4 se puede observar la evolución de dos variables fenológicas importantes del desarrollo que son la altura y el diámetro del tallo.

En la Figura 3 se puede comprobar que en los canteros con agua sólida la altura de la planta fue mayor con respecto a los canteros C1 y C3 donde las mismas alcanzaron como promedio una altura de 56,2 cm y 59,7 cm respectivamente. En los canteros con agua sólida se alcanzó el mayor valor en C4 con 64,3 cm. Respuesta similar obtuvo Rojas (2006) en su trabajo con plántulas de tomate donde informa que existe un mayor crecimiento en las condiciones donde el hidrogel estuvo presente.

Al valorar el comportamiento del diámetro del tallo (Figura 4), se aprecia un mejor desenvolvimiento en los canteros C2 y C4 con agua sólida, donde se alcanzan valores promedios de 11,4 mm y 10,8 mm respectivamente. Todo ello confirma la necesidad de mantener niveles altos de humedad en el suelo para lograr plantas vigorosas responsables de los futuros rendimientos.

Al finalizar el ciclo de vida del cultivo se tomaron muestras de raíces para conocer su desarrollo en los diferentes sustratos y canteros. En la Foto 1, se puede observar como en los canteros con agua sólida hubo un desarrollo radicular profuso en la profundidad de 0 a 20 cm, esto se debe a una mejor disponibilidad de agua a esa profundidad, a la cual se colocó el agua sólida. Esto propició que las raíces no tuvieran que explorar mayores profundidades en busca de agua.

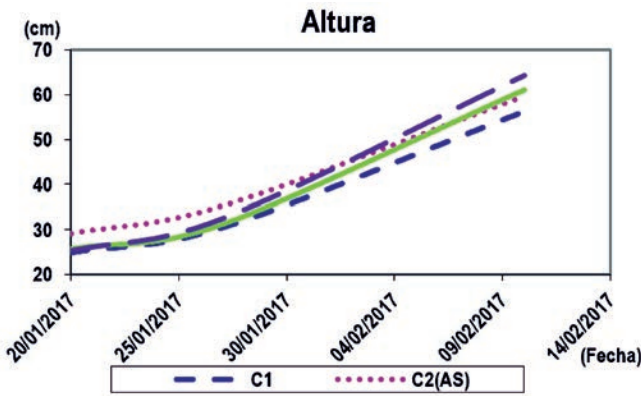


FIGURA 3. Evolución de la variable morfológica altura durante el ensayo.

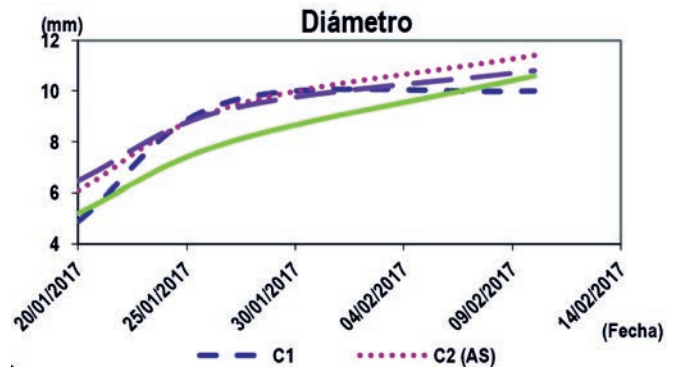


FIGURA 4. Evolución de la variable morfológica diámetro del tallo durante el ensayo.



FOTO 1. Raíces canterero con lluvia sólida. FOTO 2. Raíces canterero sin lluvia sólida.

En la Foto 2, ocurre lo contrario, al existir una menor disponibilidad de agua, las raíces tienen que explorar una mayor área lo que estimula un profundo desarrollo de las mismas, cosa que ocurre en los cantereros donde no se aplicó el agua sólida (C1 y C3).

### Manejo de riego por fases de desarrollo en el cultivo del tomate

Una de las ventajas que promueve el uso del agua sólida es que permite a los cultivos disponer de un almacén donde puede extraer la misma según sus necesidades. En la Tabla 3 se da a conocer como variaron los intervalos de riego y las dosis a aplicar en cada fase de desarrollo. Al finalizar la prueba para el sustrato rojo en el canterero 1 se aplicaron 25 riegos mientras que en el canterero 2 (AS) fueron necesarios 19.

En los cantereros con sustrato negro C3 se aplicaron 21 riegos y en el canterero C4 con agua sólida fueron necesarios solo 17 riegos, lo que equivale a una reducción del 19% con respecto a C3, conllevando a un considerable ahorro de agua.

TABLA 3. Régimen hídricos por fases del cultivo tomate variedad Vyta (diciembre –marzo)

Fase del cultivo	C1		C2 (AS)		C3		C4 (AS)	
	No. de riego	Dosis total de riegos (L m <sup>-2</sup> )	No. de riego	Dosis total de riegos (L m <sup>-2</sup> )	No. de riego	Dosis total de riegos (L m <sup>-2</sup> )	No. de riego	Dosis total de riegos (L m <sup>-2</sup> )
Vegetativa (25 días)	9	60,93	6	40,62	7	47,39	5	33,85
Floración-fructificación (43 días)	10	101,6	9	91,44	9	91,44	8	81,28
Maduración-cosecha (23 días)	6	40,62	4	27,08	5	33,85	4	27,08
Todo el ciclo (91 días)	25	203,15	19	159,14	21	172,68	17	142,21

Todo lo anterior permite confirmar que desde el punto de vista de un uso eficiente del agua y la energía, el agua sólida constituye un elemento de gran interés si tenemos en cuenta que se reduce el número de riego como promedio para los cuatro ensayos en 22% con respecto a los canteros donde no se aplicó el agua sólida, a partir de un aumento del intervalo de riego al existir una mayor disponibilidad de agua para el cultivo, donde además, se logra un mejor estado fisiológico y una menor tensión para extraer agua del sustrato. Las dosis totales de riego como promedio de los cuatro ensayos se contraen en 20% comparadas con las dosis totales en los canteros C1 y C3. Por otra parte se reducen el consumo energético considerablemente mejorando el índice de consumo para el riego en  $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$  bombeado.

### Influencia de la lluvia sólida en la calidad y rendimiento del cultivo

Obtener elevadas producciones y de calidad es la finalidad de todos los productores, de ahí la necesidad de conocer cuál fue la influencia del agua sólida en la consecución de dicho objetivo.

La Tabla 4 muestra el rendimiento en cada ensayo, donde se observa como en el cantero donde se aplicó el agua sólida (C2) se obtienen la mejor producción,  $4,94 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , con diferencia significativa con respecto a los canteros donde no se aplicó, seguida del C4. El número promedio de frutos por plantas vario entre 10 y 12,6; mostrándose los mayores valores en los canteros con agua sólida (C2 y C4), la producción promedio por plantas también fue significativamente superior en el cantero C2 con  $757,3 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ .

Al analizar la calidad de las cosechas a partir de los calibres obtenidos por ensayos se observa que el mayor promedio esta entre 4–6 cm, donde además el mejor comportamiento promedio se logra nuevamente en el cantero C2 (AS).

**TABLA 4. Rendimiento por canteros y calidad del fruto**

Ensayo o Cantero	Rendimiento ( $\text{g m}^{-2}$ )	Número promedio de frutos por plantas	Producción promedio por plantas. ( $\text{g planta}^{-1}$ )	Calibres		
				> 6 cm	4 – 6 cm	< 4 cm
C1	3543,8 b	11,8	600 ab	0,16 b	5,8 b	4
C2 (AS)	4941,7 a	12,5	757,3 a	1,0 a	10,5 a	2,16
C3	3556,8 b	10	474,1 b	0,16 b	8 b	1,8
C4 (AS)	3764,7 ab	12,6	473,8 b	0 b	8,16 b	4,3
Signf.	*	NS	*	*	*	NS
ES $\pm$	215,4	1,69	76,7	0,18	1,07	1,07
CV (%)	5,4	14,3	13,3	51,5	13,2	26

### Comportamiento de productividad agronómica del agua bajo los efectos de la lluvia sólida

Según Molden (1997) y Molden *et al.* (2003), en un amplio sentido, el concepto “Productividad del Agua” se refiere al beneficio que puede obtenerse del uso del agua, este se expresa como una razón en la que el numerador tiene un valor físico o económico derivado del uso del agua y el denominador es un término relacionado con el agua. Esta expresión comúnmente se da en términos de masa de producto o valor monetario por unidad de agua usada en su producción (Alata, 2006)<sup>5</sup>.

Cuando analizamos los resultados obtenidos en función de los rendimientos y el agua total (riego + precipitación) se tiene que para los ensayos en sustrato rojo este valor estuvo entre 17,4 y  $31,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  para los canteros C1 y C2 (AS) respectivamente, lo que representa un 78% de incremento respecto al testigo (C1). Para los ensayos en biotierra la productividad alcanzada varió entre 20,0 y  $26,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  para los canteros C3 y C4 (AS), en este caso el incremento con respecto al ensayo sin agua sólida es de 28% (Figura 5).

Al contrastar estos resultados con los obtenidos por González (2013) en trabajos de investigación, donde informa que para el cultivo del tomate variedad Campbell 28 tiene un valor de productividad agronómica con respecto al agua total de 22,2

$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , se puede considerar que los obtenidos en este ensayo son aceptables si tenemos en cuenta que se desarrollaron bajo diferentes condiciones edafoclimáticas.

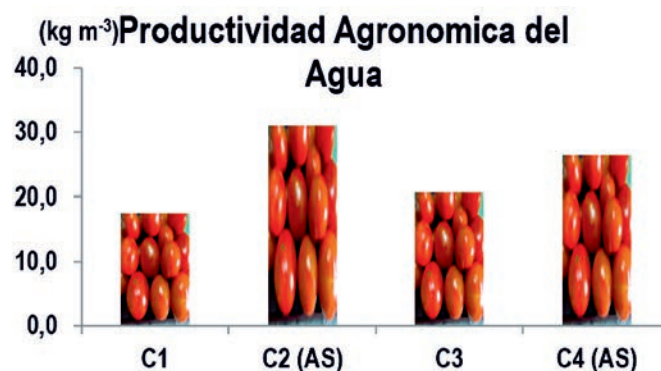


FIGURA 5. Valores de productividad agronómica del agua para cada ensayo estudiado.

### Valoración económica de la pertinencia del uso de la lluvia sólida en la agricultura cubana

Desde el punto de vista del productor, el objetivo principal del riego es mantener niveles de humedad en el suelo que opti-

<sup>5</sup> ALATA, O. N. S.: Efecto de la adopción del riego por goteo en maíz forrajero sobre la gerencia de empresas agropecuarias en la irrigación Majes, 66pp., Tesis (en opción al título de Master en Gerencia Agropecuaria), Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú, 2006.

micen el retorno económico. La relación beneficio/costo es un indicador fácil de medir y que expresa lo que se gana de forma adicional por cada peso gastado en la actividad productiva mediante el regadío (\$/\$).

En la Tabla 3 se muestra cual fue el comportamiento de dicha relación, como se observa en todas las variantes el resultado fue positiva lo que nos indica que con los precios que se comercializa el tomate, en todos los casos es rentable el empleo de la lluvia sólida.

**TABLA 3. Resultados económicos obtenidos con los diferentes ensayos**

	C1	C2 (AS)	C3	C4 (AS)
Ingresos (peso·ha <sup>-1</sup> )	116820,00	163020,00	117150,00	124080,00
Gastos (peso·ha <sup>-1</sup> )	55103,77	41907,45	53250,00	35050,84
B/C	2,12	3,89	2,20	3,54

Posibles interrogantes a investigar o evaluar antes de su generalización:

- Comportamiento de la lluvia sólida en diferentes tipos de suelos según sus características texturales y de funcionamiento hídrico.
- Efecto de la labranza convencional sobre la durabilidad y profundidad de almacenamiento de los polímeros.
- Influencia de la calidad del agua y en particular la salinidad sobre la efectividad del producto y sobre los cultivos.
- Efectividad de la lluvia sólida en condiciones de cero labranza o agricultura de conservación y en seco.
- Efectividad de la lluvia sólida en la supervivencia de plantaciones forestales.
- Ensayos en cultivos como frutales, caña de azúcar bajo riego o seco y café.
- Ensayos a escalas pequeñas en cultivos de interés económico de ciclo corto como el arroz, la papa, los granos y otros.

Aunque los valores de relación beneficio/costo son elevados es importante tener presente que solo se tiene en cuenta los gastos asociados al riego, considerando que el número de riego en los canteros con lluvia sólida se reduce, además los costos de bombeo son menores al igual que los volúmenes de agua y por otra parte los márgenes de ganancia son mayores. Indudablemente las mejores relaciones B/C se tienen donde se aplicó lluvia sólida con valores de 3,89 y 3,54 en los canteros C2 y C4 respectivamente.

- Los ensayos que se efectúen deben tener una duración de cómo mínimo tres años para valorar los efectos de durabilidad, biodegradación, residualidad y costos.

## CONCLUSIONES

- El empleo de “*lluvia sólida*” en las condiciones del ensayo permitió mantener niveles de humedad en el suelo que favorecieron el buen desarrollo fenológico del cultivo.
- Con la utilización de la “*lluvia sólida*” en las condiciones evaluadas se logran ahorros de agua y energía al reducirse los números de riego y tiempos de bombeo asociados en un 22%.
- La aplicación de la “*lluvia sólida*” contribuyó al incremento de la productividad agronómica del agua en valores que van desde 28% y 78% en función del tipo de sustrato evaluado.
- A partir de estos primeros resultados puede esperarse una relación beneficio costo favorable para el empleo de la “*lluvia sólida*” en condiciones similares a las evaluadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DUARTE, C.; GONZÁLEZ, F.; CAMPOS, O.; PEDROSO, M.: “Criterios de curvas de acumulación de biomasa para la dosificación de la fertirrigación ecológica del tomate en Organopónico”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 1(1): 1-6, 2011, ISSN: 2306-1545.
- DUARTE, C.; R. CUN; L. MONTERO; M. PEDROSO; Y. CASTILLO: Manejo de riego y la dosificación de Fitomas E en el fertirriego del tomate en Organopónico, En: Memoria III Congreso Internacional de Riego y Drenaje, CUBA RIEGO 2007, Ciudad de La Habana, Cuba, 2007, ISBN- 978-959246194-9.
- FAO, Global Water Partnership. Central América: Tecnologías para el uso sostenible del agua. Una contribución a la seguridad alimentaria y adaptación al cambio climático. Tegucigalpa, Honduras, 68 p., 2013, ISBN 978-92-5-307930-8.
- GARCÍA, L. A.; CUN. G. R.; MONTERO, S. L.: Efecto de la hora del día en el potencial hídrico foliar del sorgo y su relación con la humedad en el suelo, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3): 7-11, 2010, ISSN-1010-2760, RNPS-0111.
- GARCÍA, L. A, CUN. G. R, DUARTE. D. C, GONZÁLEZ. R. F, MONTILLA E.: Respuesta del potencial hídrico foliar en cultivos hortícolas bajo diferentes manejos del riego, *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(4): 11-16, 2016, ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761.
- GONZÁLEZ, R. F.; HERRERA, P. J.; HERNÁNDEZ, B. O.; LÓPEZ, S. T.; CID, L. G.: “Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22 (3): 5-11, 2013, ISSN: 1010-2760, RNPS-0111.
- LLUVIA SÓLIDA: Para mitigar problemas escasez hídrica: El agua sólida promete regar en épocas de sequía. [en línea], Disponible en: <http://www.silosdeagualluviasolida.com> [Consultado 20 abril 2017].
- MOLDEN, D.: *Accounting for water use and productivity*. SWIM Paper 1. International Irrigation Management Institute: Colombo, Sri Lanka, 16pp., 1997.
- MOLDEN, D.; MURRAY-RUST, H.; SAKTHIVADIVEL, R.; MAKIN; I.: *A water productivity framework for understanding and action*. In: J.W. Kijne, R. Barker, and D. Molden (eds.) *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing, Wallingford, UK. pp. 1–18, 2003.
- MUÑOS, C.: “Comparación económica de dos sistemas de producción de plátano en la zona norte de Costa Rica”, *Tecnología en Marcha*, 20 (3): 35–45, 2007, ISSN: 0379-3982.

- PLANOS, E.: **Síntesis Informativa sobre Segunda Evaluación de Impactos del Cambio Climático en Cuba y Medidas de Adaptación, 2012.** PLANOS, E; A.V. GUEVARA Y R. RIVERO: Cambio climático en Cuba: vulnerabilidad, impacto y adaptación y medidas de adaptación. Multimedia Instituto de Meteorología. Editorial AMA, 2013, ISBN 978-959-300-035-2.
- ROJAS DE GASCUE B, RAMÍREZ M, AGUILERA R, LUIS PRIN J Y TORRES C.: Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos, *Revista Iberoamericana de Polímeros. Aplicaciones de los Hidrogeles*, 7 (3): 17-27, 2016. ISSN: 1988-4206.
- RICO, J.: *Para mitigar problemas escasez hídrica: El agua sólida promete regar en épocas de sequía [en línea] 2014, Disponible en: <https://www.facebook.com/Silos-de-Agua-LLuvia-Solida-161003817357156> [Consulta: 17 de noviembre de 2016].*
- SANTA OLALLA, M.: *Agronomía de Riego*, Ediciones Mundi-Prensa, 732pp., 1993, ISBN:
- ZAMORA, E.; CHATERLÁN, Y.: Estrategia Ambiental de riego y drenaje para la seguridad alimentaria en Cuba, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 12(3): 1-4, 2003, ISSN-1010-2760, RNPS-0111.

**Recibido:** 15/06/2017.

**Aprobado:** 18/12/2017.

*Enrique Cisneros-Zaya*, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, Correo electrónico: [dptoriego1@iagric.cu](mailto:dptoriego1@iagric.cu)

*Reinaldo Cun-González*, Correo electrónico: [dptoriego3@iagric.cu](mailto:dptoriego3@iagric.cu)

*Leynis Rosales-Naranjo*, Correo electrónico: [adiestradaiv1@iagric.cu](mailto:adiestradaiv1@iagric.cu)

*Dariel González-Morales*, Correo electrónico: [dptoriego1@iagric.cu](mailto:dptoriego1@iagric.cu)

**...sistemas integrales de ingeniería agrícola,  
nuestra contribución a la seguridad alimentaria...**



**desarrollamos  
y comercializamos**

- Elementos para Sistemas de Riego.
- Implementos y Equipos de Mecanización Agropecuaria.
- Asistencia Técnica especializada para la instalación, y explotación de tecnologías agrícolas.
- Servicios de ingeniería para el diseño de sistemas de riego y drenaje y equipos y máquinas agrícolas.
- Servicios de pruebas y validación de tecnologías agrícolas.
- Servicios de capacitación y entrenamiento especializados en los campos de la ingeniería agrícola.

**INFORMACIÓN:** Unidad de Producciones Tecnológicas y Comercial  
Avenida Camilo Cienfuegos y Calle 27 Arroyo Naranjo  
E-mail: [agricomercial@minag.cu](mailto:agricomercial@minag.cu) Teléfonos(537) 691 2533 / 691 2665