



ARTÍCULO ORIGINAL

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

Efecto de los polímeros en la economía del agua

Effect of super absorbent polymers in the water economy

Dr.C. Enrique Cisneros Zayas^{1*}, Ms.C. Reinaldo Cun González¹, Dr.C. Julián Herrera Puebla¹, Dra.C. Felicita González Robaina¹, Ing. Stefani Cun Rodríguez¹¹, Tec. Orlando Sarmiento García¹.

¹ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

¹¹ Universidad Tecnológica de La Habana-CUJAE, Facultad de Ingeniería Civil, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Marianao, La Habana, Cuba.

RESUMEN. El trabajo se desarrolló en la estación experimental, en Alquizar, provincia Artemisa con el objetivo de evaluar la influencia de los polímeros súper absorbentes en el desarrollo morfológico, el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua para riego en el cultivo del maíz (*Zea Mays* L), sembrado en un suelo Ferralítico Rojo compactado. El diseño experimental empleado fue línea central de aspersores y los tratamientos consistieron en cultivar el maíz con presencia de hidrogel en el suelo con una dosis de 10 g por metro lineal, equivalente a 30 kg para el área de prueba (0,23 ha) y un testigo sin hidrogel. Los resultados obtenidos revelaron que la utilización del polímero incremento significativamente la altura de la planta, el número de hoja y los componentes del rendimiento evaluados (peso de la mazorca, número de granos por mazorcas, peso fresco de los granos y peso de 100 granos) todo lo cual condujo a un incremento significativo del rendimiento del tratamiento con polímeros que supero al testigo en un 14%. En el tratamiento 1 sin polímeros, para mantener el nivel de humedad en el suelo hubo que aplicar cuatro riegos más y el volumen de agua consumido fue superior en 984,0 m³ ha⁻¹. La productividad agronómica del agua con polímeros fue de 2,98 kg m⁻³ y sin polímeros de 1,77 kg m⁻³. Desde el punto de vista económico se logra una mejor relación *beneficio-costo* cuando se aplicó polímeros con un valor de 3,89; evidenciando su posible aplicación en condiciones de producción.

Palabras clave: Hidrogel, manejo del agua, rendimiento del cultivo, componentes del rendimiento.

ABSTRACT. The work was carried out in experimental station, in Alquizar, Artemisa province with the objective of evaluating the influence of super absorbent polymers in morphology development, yield and efficiency water use for irrigation in the corn cultivation (*Zea Mays* L), sown in Ferralitic Red compact soils. The experimental design used was line source sprinkler laterals and the treatments consisted of growing the corn with the presence of wetting agent in the soil with a dose of 10 g for lineal meter, equivalent to 30 kg for the test area (0,23 ha) and a witness without wetting agent. The results obtained revealed that, the polymer use increment significantly the height of the plant, the leaf number and the yields components evaluated (cob weigh, number of grains by ears, fresh grains weight and 100 grains weight) yield all that which led to a significant increment of the yield of the treatment with polymers that I overcome the witness in 14%. In treatment 1 without polymers, to maintain the soil moisture level had to apply four irrigation more and the volume of water consumed was superior in 984,0 m³ ha⁻¹. The water agronomic productivity with wetting agent was 2,98 kg m⁻³ and without polymers 1,77 kg m⁻³. From the economic point of view a better relationship benefit-cost is achieved was to apply polymers with a value of 3,89; evidencing its possible application under production conditions.

Keyword: Wetting agent, water management, crop yield, yields components.

INTRODUCCIÓN

La agricultura consume anualmente el 70% del agua disponible en el planeta; esto es debido a dos factores fundamentales; primero, la gran demanda de agua por unidad de producción que requieren los productos agrícolas, y segundo, las eficiencias

globales en la aplicación de riego (Herrera *et al.*, 2011). En Cuba los recursos hídricos no son abundantes, por lo que requieren de un uso cada vez más racional. Un análisis comparativo efectuado por Herrera *et al.*, (2011) sobre la demanda de agua

*Autor para correspondencia: Enrique Cisneros Zayas, e-mail: dptoriego1@iagric.cu

Recibido: 10/05/2019.

Aprobado: 06/12/2019.

asignada para las actividades agrícolas de Cuba en el período comprendido entre el 2007 y el 2010 refleja que en el 2007 el agua total asignada para dichas actividades constituía el 36% (2157,120 hm³) del total del país mientras que ya, en el 2010 y 2011 este porcentaje ascendió a 44% y 47% respectivamente.

En la agricultura de regadío, la práctica de riego es uno de los procesos más complejos que debe realizar el agricultor debido a la multitud de factores implicados en el manejo del agua, requiriéndose de información técnica para el conocimiento preciso entre el agua usada y el rendimiento de los cultivos (García *et al.*, 2009; Domínguez *et al.*, 2012).

El cultivo del maíz está considerado como uno de los prioritarios en el programa de producción de granos para la sustitución de importaciones que lleva a cabo el estado cubano. En nuestro país se cultivan unas 130 mil ha de maíz con un rendimiento de grano de 1,2 t ha⁻¹ para el consumo, a pesar de contar con variedades e híbridos con adaptación climática y alto potencial de rendimiento según Rodríguez *et al.* (2013), aunque en condiciones experimentales se han logrado rendimientos entre 3,9 y 8,3 t ha⁻¹ según Rodríguez *et al.* (2013). Esta especie puede sembrarse en cualquier época del año, aunque su mejor rendimiento se obtiene durante la estación seca.

Socorro y Martín (1989) y Rodríguez *et al.* (2013), consideran que el consumo de agua del maíz varía según el sub período de desarrollo y resultan críticos los de germinación, brotación, floración y formación del grano, siendo este último donde más se acentúa el consumo diario de agua. Para lograr el máximo rendimiento de la planta se debe contar con el agua necesaria, no se deben producir ni exceso ni déficit en cuanto al riego.

Los hidrogeles o polímeros súper absorbentes han sido propuestos ampliamente en los últimos años para uso agrícola con el objetivo de mejorar la disponibilidad de agua para las plantas incrementando las propiedades de retención de agua siendo utilizada en diversos sectores, como la agricultura y la arquitectura paisajística, logrando reducir el consumo de agua hasta un 50 %, Rivera y Gallo (2018). Las dosis recomendadas varían de 5 a 25 kg ha⁻¹, en función del tipo de suelo, cultivo y clima, según el fabricante (SNF Inc., 2011). Adicional al efecto de retención del agua en el suelo, estos productos mantienen temperaturas que fomentan un mejor desarrollo de las plantas, con el consecuente efecto en rendimiento, como se ha mostrado experimentalmente en cultivos como acelga por Gutiérrez *et al.* (2008), plántulas forestales Castañeda *et al.* (2008), plántulas forestales Maldonado *et al.* (2011), soya Gales *et al.* (2012), plantas forestales Ríos *et al.* (2012), apio Kosterna *et al.* (2012) y recientemente en tomate para condiciones de organopónico en Cuba por Cisneros *et al.* (2018).

Teniendo en cuenta todo lo anterior el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la influencia de los polímeros súper absorbentes en el desarrollo fenológico, el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua para riego en el cultivo del maíz (*Zea mays* L), plantado en un suelo Ferralítico Rojo compactado.

MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la estación experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) en "Pulido", situada en el municipio Alquizar, con coordenadas:

Latitud 22° 46' N y Longitud 82° 37' W, a 6 m sobre el nivel medio del mar a 9,81 km de la costa Sur. La zona presenta una precipitación como promedio anual los 1 531 mm, de los cuales el 68% (1 044,4 mm) se distribuyen entre los meses de mayo y octubre, correspondientes al período lluvioso y el restante 32% (486,4 mm) corresponden al período seco, que se extiende desde el mes de noviembre hasta el mes de abril. Durante el período seco el balance de lluvia y evapotranspiración potencial de la zona es negativo por lo que el riego es imprescindible para la obtención de buenos rendimientos agrícolas

El suelo está clasificado como Ferralítico Rojo compactado según el Instituto de Suelos (1980) y el mismo ha sido ampliamente estudiado y caracterizado en cuanto a sus propiedades físicas y químicas por Cid *et al.* (2011). Destacándose hasta la profundidad de 0,60 m el Límite Superior de Agua Disponible (LSAD) en el suelo de 0,412 cm³ cm⁻³; la densidad real a capacidad de campo de 1,22 g cm⁻³ y la velocidad de infiltración básica de 4,9 m día⁻¹.

El agua utilizada para el riego es de origen subterráneo cársica, característica de la zona Sur de Artemisa. Según la Norma Cubana NC 10-48 (2014), con valor de CE 0,83 dS m⁻¹, a una temperatura de 25°C, se clasifica como categoría I, para un suelo Ferralítico Rojo compactado no presentan restricciones ni limitaciones de uso.

El cultivo utilizado fue el maíz (*Zea mays* L), variedad Tuzón. La siembra se realizó en enero del 2019 y el marco de plantación utilizado fue de 0,90 m entre hileras y 0,25 m entre plantas. El área de la parcela experimental o zona de muestreo es de 5,40 m².

Se aplicó una dosis de fertilizante de 150 kg de N, 90 kg de P₂O₅ y 100 kg de K₂O adecuada a estas condiciones. A los 30 días se aplicó 1/3 de fertilizante nitrogenado, según Rodríguez *et al.* (2013).

Las atenciones culturales se realizaron según lo planteado por Rodríguez *et al.* (2013), en el Instructivo técnico para la producción de semillas de maíz.

El riego se aplicó cuando la humedad del suelo alcanzó el 85% de la capacidad de campo en valores de tensión 20 kPa, correspondiente a un suelo Ferralítico Rojo compactado (Herrera *et al.*, 1986).

El diseño utilizado fue el de la línea central de aspersores (Hanks *et al.*, 1976, citado por Roque *et al.* (1989). Roque (1995), En nuestro caso se utilizó un espaciamiento de 12 m que se corresponde con un solapamiento de 100 % entre aspersores en la misma línea y una intensidad de aplicación de 7,7 mm h⁻¹ cuando el aspersor trabaja a una presión de 250 kPa. Los tratamientos consistieron en:

- T1 Testigo.
- T2 con polímero.

El área total donde se realizó el trabajo es de 0,46 ha, dividida en 2 áreas de 0,23 ha por tratamientos. El polímero utilizado es acrilato de potasio con una capacidad de absorber hasta 500 veces su peso en agua y su composición: 90% Poli-acrilamidas, 10% Aditivos (acrilatos de potasio y silicatos de aluminio Humedad 5,87 % (Aqua Warehouse, 2009) y se aplicó junto al fertilizante en la siembra del cultivo a razón de 10 g por metro lineal según indica el fabricante equivalente a 30 kg para el área de prueba (0,23 ha).

Para la comparación entre las medias se tomaron cuatro surcos en cada zona de muestres y seis plantas por surcos. La selección de la zona dentro del lateral se realizó de forma aleatoria, a las cuales se les hicieron las mediciones fenológicas y se analizó el rendimiento con sus componentes.

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron mediciones de altura de las plantas, diámetros de tallo, número de hojas, cada 7 días. La cosecha se realizó en mayo 2019, a los 130 días después de germinada, se determinó el rendimiento y sus componentes (peso de las mazorcas, diámetro, longitud, número de granos, peso de 100 granos, peso de los granos).

Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias entre las medias de los tratamientos estudiados se determinaron según la prueba de comparación múltiple de Tukey HSD con un 95% de confiabilidad.

La productividad agronómica del agua de determinó según Molden *et al.* (2003); mediante la expresión 1:

$$WP_1 \left(\frac{\text{kg m}^{-3}}{\text{m}^3} \right) = \frac{R(\text{kg})}{I(\text{m}^3)} \quad (1)$$

donde:

WP₁- productividad agronómica del agua utilizada por riego (kg m⁻³); **I**- riego aplicado (m³); **R**- rendimiento (kg);

Para el análisis económico se utilizó la relación beneficio / costo (**B/C**) propuesta por Muñoz (2007), como indicador muy útil para recomendar la pertinencia de la utilización de los polímeros en condiciones de producción (expresión 2).

$$B/C = \frac{Bb}{CR} \quad (2)$$

donde:

Bb: Beneficio bruto marginal (peso ha⁻¹) = Rendimiento agrícola marginal (t ha⁻¹) x precio unitario del producto.

CR: Costo por riego (peso ha⁻¹) = Sumatoria de los gastos (agua, energía, salario y precio del polímero).

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 del polímero es 21 € Kg⁻¹ (tasa de cambio 1,0886 CUC, vigente 27/5 – 28/5/2019) equivalente a 571,5 CUP kg⁻¹.

El precio del agua subterránea es 0,29 CUP por la capacidad instalada, según Resolución 421/2015 (INRH, 2015). Nuevas tarifas de agua en el Sector Estatal del Ministerio de Finanzas y Precios (MFP, 2017).

El precio unitario del maíz consumo es 150,0 peso qq⁻¹ equivalente a 3300 peso t⁻¹ según Resolución No. 27/2017 del Ministerio de Finanzas y Precios (MFP, 2017).

El valor energía equivalente (0,29 pesos/ kW h⁻¹). Departamento de Energía (Minag, 2014).

Salario, se consideró las jornadas dedicadas por los participantes según sus salarios básicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de la dinámica de humedad en el suelo para ambos tratamientos

Con la finalidad de conocer la dinámica de humedad en el suelo durante el desarrollo de la investigación se realizaron lecturas con tensiómetros a diferentes profundidades de 0,15; 0,30 y 0,45 m; en la Figura 1, se puede apreciar que, para el tratamiento con polímeros, la misma se mantuvo entre el límite superior de agua disponible (LSAD) 0,412 cm³ cm⁻³ y el límite inferior de agua disponible (LIAD) 0,284 cm³ cm⁻³, teniendo en cuenta que el mismo se fijó al 85% del LSAD. En este tratamiento se ejecutaron 9 riegos con norma parcial neta de 246,0 m³ ha⁻¹ y norma total de 2214,0 m³ ha⁻¹, el intervalo de riego promedio fue de 6 días.

En trabajos realizados por Rad *et al.* (2010) y Memar y Mojaddam (2015), donde examinan el efecto que en el intervalo de riego tienen los polímeros, informan que estos aumentan en función de la cantidad aplicada y que el mayor intervalo se obtiene cuando aplican 150 kg por hectárea, resultando una función económica aceptable. Similar influencia obtuvieron Shekari *et al.* (2015), valorando el efecto de los polímeros súper absorbentes en el rendimiento y sus componentes en semillas de colza, donde plantean que el intervalo de riego aumenta con la cantidad aplicada de hidrogel.

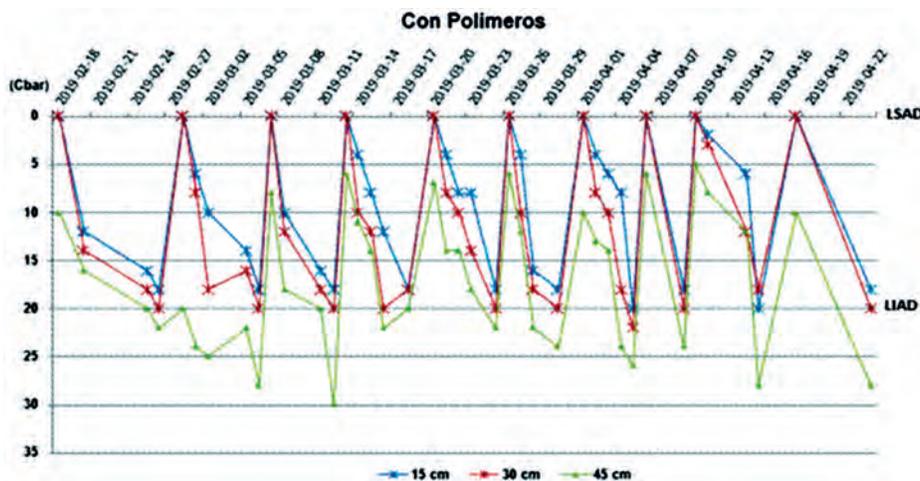


FIGURA 1. Comportamiento de la humedad en el tratamiento con polímeros (T2).

En valores de tensión el cultivo del maíz se mantuvo, en valores de tensión entre 0 y 20 kPa a la profundidad de 0,30 m, profundidad que indicaba el momento de riego por ser donde se concentra el mayor porcentaje de raíces activas del cultivo. En esta zona 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 Cannazza *et al.* (2014), demostraron que estos valores de tensión se corresponden con contenidos de agua en este tipo de suelo que favorecen el crecimiento y desarrollo del cultivo al existir una mayor disponibilidad de agua para las plantas.

El agua es esencial para el crecimiento, la actividad metabólica y la supervivencia de las plantas. Muchos organismos, entre ellos los vegetales, dependen para sobrevivir del agua disponible más que de cualquier otro factor ambiental, y su déficit incide negativamente en los bajos rendimientos de los cultivos (Taiz y Zeiger, 2006).

En la Figura 2, tratamiento sin polímeros ocurre algo similar, el contenido de agua en el suelo se mantuvo entre el LSAD y el LIAD. En valores de tensión también a la profundidad de 0,30 m la humedad en el suelo estuvo en tensiones entre 0 y 20 kPa. Para dicho tratamiento se ejecutaron 13 riegos con norma parcial neta de 246,0 m³ ha⁻¹ y norma total de 3198,0 m³ ha⁻¹, el intervalo de riego promedio fue de 4 días.

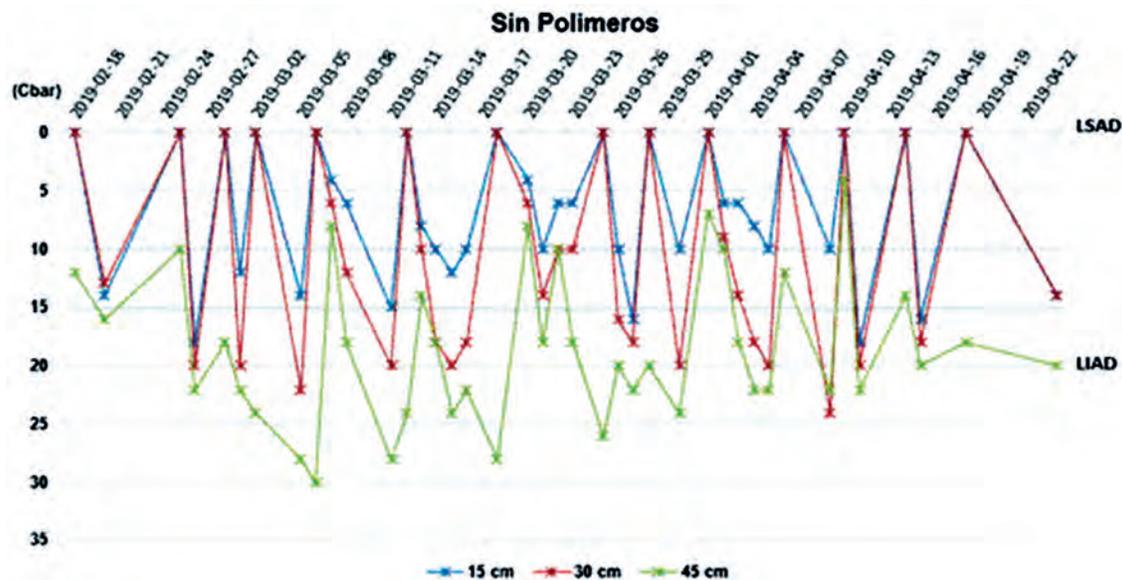


FIGURA 2. Comportamiento de la humedad en el tratamiento sin polímeros (T1).

Al comparar ambos tratamientos se tiene que para el tratamiento 1 (testigo) fue necesario aplicar cuatro riegos más que en el tratamiento 2 (con polímeros), la frecuencia de riego es mayor (cada 2 días) y el volumen de agua consumido también es superior en 984,0 m³ ha⁻¹, lo que confirma las bondades del hidrogel para un uso eficiente del agua. Resultados similares fueron obtenidos en sorgo, maíz y frijol por Dehkordi (2015); Najafinezhad *et al.* (2015) y Satriani *et al.* (2018), respectivamente.

Según Palacios (2009), la capacidad de usar la humedad presente en el suelo, que de otra manera no sería disponible para las plantas, es una de las mayores ventajas del uso de los polímeros. Los suelos arcillosos, por ejemplo, retienen una gran parte del agua, pero menos de la mitad de ésta es disponible para las raíces, con estos productos más del 95% del agua retenida por el Hidrogel está disponible para las raíces. El Hidrogel absorbente funciona en cualquier tipo de suelo. De hecho, varios estudios han demostrado que se puede cultivar directamente en el Hidrogel sin usar tierra o sustrato.

Efecto del hidrogel en el desarrollo morfológico del cultivo por tratamientos

Como podemos observar en la tabla 1 del análisis por zonas sin hidrogel existen diferencias entre las diferentes zonas en cuanto

a la altura de la planta, número de hojas, ya que a medida que nos alejamos del lateral de riego sin hidrogel existe un déficit hídrico que es uno de los factores más significativos que limita la producción del cultivo del maíz. Lobell y Field (2007) y Rad *et al.* (2010), La sequía afectar al conjunto de funciones fisiológicas de las plantas: fotosíntesis, nutrición mineral, morfogénesis, entre otras. Las respuestas de las plantas al estrés por sequía son mecanismos complejos que incluyen cambios moleculares y se extienden a todo el metabolismo de las plantas influyendo en la morfología y fenología de estas.

TABLA 1. Comportamiento de las variables fenológicas por tratamientos

Tratamiento	altura planta (cm)	diámetro del tallo (cm)	número de hojas (u)
T1	221,75 b	2,850	12,925 b
T2	243,75 a	2,700	15,650 a
sig	*	NS	*
ES±	10,455	0,150	0,734

En trabajo realizado por Anderson (2009), comenta que un contenido de humedad en el suelo adecuado influye en el crecimiento de las plantas, porque el agua y los nutrientes se encuentran disponibles en la zona de las raíces para una óptima absorción.

Comparación entre los rendimientos y sus componentes del maíz en los diferentes tratamientos

Como se puede observar en la tabla 2, no existen diferencias desde el punto de vista estadístico entre los tratamientos en cuanto a la cantidad de mazorcas por plantas, longitud de las mazorcas, diámetro de la mazorca, peso de 100 granos. El peso de la mazorca alcanzó un valor de 208,1 g con la presencia de hidrogel en el suelo, el número de granos y el peso fresco de los granos y el peso de 100 granos, fue superior también.

TABLA 2. Resumen de los componentes del rendimiento entre los tratamientos

tratamiento	CM (u)	PM (g)	DM (cm)	LM (cm)	NGM (u)	PFG (g)	peso de 100 granos (g)
T1	1,08	164,84 b	4,51	15,90	397,38 b	127,40 b	31,638 b
T2	1,33	208,10 a	4,915	16,79	452,46 a	452,46 a	36,858 a
sig	NS	*	NS	NS	*	*	*
ES±	0,5894	17,139	0,1664	0,8652	36,92	15,397	2,305

Leyenda: CM: cantidad de mazorcas por plantas; PM: peso de la mazorca; DM: diámetro de la mazorca; LM: longitud de la mazorca; NGM: número de granos por mazorcas; PFG: peso fresco de los granos de una mazorca.

Resultados obtenidos por Khodadadi (2015), utilizando la variedad de maíz SCKaroun701, muestran que el cultivo responde de manera negativa en el rendimiento cuando es sometido a estrés hídrico debido al efecto del cierre de las estomas para reducir el proceso bioquímico de absorción de CO₂, lo que redujo también la fotosíntesis y por lo tanto el número de granos en la

mazorca, el peso de mil semillas y el rendimiento total.

Con los valores mostrados en la tabla 3 se puede apreciar que con la aplicación de polímeros súper absorbentes se logra un rendimiento estimado de 6,59 t ha⁻¹, superior en 0,93 t ha⁻¹ al testigo, mostrando su posible aplicabilidad en las condiciones de la agricultura cubana.

TABLA 3. Rendimiento estimado del cultivo por tratamientos en t ha⁻¹

Tratamiento	Rendimiento estimado (t ha ⁻¹)	Productividad agronómica del agua (kg m ⁻³)
T1 testigo	5,66 b	1,77
T2 con polímeros	6,59 a	2,98
Sig	*	
ES±	0,1558	

Desde el punto de vista de productividad agronómica del agua se tiene que en el caso del tratamiento T1 (testigo) la misma es de 1,77 kg m⁻³, mientras que para el tratamiento T2, donde se aplicó el polímero la misma alcanza un valor de 2,98 kg m⁻³, valores similares fueron obtenidos por González *et al.* (2015) donde informa como valor potencial 2,68 kg m⁻³ para el maíz en experimentos de campo llevados a cabo en Cuba en el periodo 1971-2007.

Análisis económico para definir la pertinencia de la aplicación del polímero a través de la relación beneficio - costo (B/C)

Al analizar la pertinencia de la utilización del polímero para las condiciones de estudio se muestra en la tabla 4, que con la aplicación del hidrogel se logra una mejor relación beneficio-costos con respecto al tratamiento sin hidrogel lo que confirma desde el punto de vista económico la viabilidad de su utilización.

TABLA 4. Relación beneficio-costos por tratamientos

	Tratamiento 1 (testigo)	Tratamiento 2 (con polímeros)
Ingresos (peso ha ⁻¹)	116820,00	163020,00
Gastos (peso ha ⁻¹)	55103,77	41907,45
B/C	2,12	3,89

Resultados similares fueron informado por Cisneros *et al.* (2018), en un estudio realizado con polímeros en condiciones de organopónicos donde obtuvo relaciones beneficio-costos entre 3,89 y 3,54, para los tratamientos donde se aplicó el producto. Por su parte, González *et al.* (2015) estudiando estrategias de eficiencia del riego en el maíz, informan que con la estrategia de máxima eficiencia del riego se logra una relación beneficios/costo estimada de 3,38, superior en 2,5% a la estrategia de maximizar la producción por unidad de superficie.

CONCLUSIONES

- Los polímeros ejercen un marcado efecto en el desarrollo morfológico del maíz al lograrse una mayor altura de la planta y número de hojas, en el *tratamiento 2*, con respecto al testigo.
- En cuanto a los componentes del rendimiento se encontraron diferencias significativas en el peso de la mazorca, número de granos por mazorcas, peso fresco de los granos y peso de 100 granos a favor del *tratamiento 2*, lo que condujo a un incremento del rendimiento en 14%.
- El incremento de rendimiento alcanzado en el *tratamiento 2* se obtuvo con la aplicación de 4 riegos menos en relación al

tratamiento testigo, un intervalo de riego de 6 días, ahorro de agua del 28%, propiciando una productividad agronómica del agua 40% superior.

- La relación *beneficio-costo* a favor del tratamiento con polímeros súper absorbentes de 3,89 en comparación al tratamiento sin polímeros de 2,12; muestra la viabilidad de su aplicación en condiciones de agricultura convencional.

AGRADECIMIENTOS

A todos los técnicos y obreros de la estación experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) por el apoyo prestado en las diferentes actividades desarrolladas durante el trabajo de investigación.

A Luciano Vidal de AZCUBA por facilitar el polímero utilizado en la investigación desarrollada.

REREFENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, S.: *Silvotécnica, [en línea]*, Inst. Silvotecniciac, Costa Rica, 2009, Disponible en: <http://www.Silvotecniciac.com/products.html>, [Consulta: 6 de abril de 2019].
- CANNAZZA, G.; CATALDO, A.; DE BENEDETTO, E.; DEMITRI, C.; MADAGHIELE, M.; SANNINO, A.: "Experimental assessment of the use of a novel superabsorbent polymer (SAP) for the optimization of water consumption in agricultural irrigation process", *Water*, 6(7): 2056-2069, 2014, ISSN: 2073-4441, DOI: 10.3390/w6072056.
- CASTAÑEDA, G.I. de J.; COHEN, S.I.; WONG, C.J.; CACIANO, T.R.; CALZADA, T.R.; HERNÁNDEZ, F.A.: "efecto del polímero AQUAS-TOCK® en la capacidad de retención de humedad del suelo y su efecto en el rendimiento de la acelga (*Beta vulgaris var cycla*)", *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7(1): 65-72, 2008, ISSN: 2007-526X.
- 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.
- CISNEROS, Z.E.; CUN, G.R.; ROSALES, N.L.; GONZÁLEZ, M.D.: "Lluvia sólida, para un uso eficiente del agua. Resultados preliminares", *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(1): 13-20, 2018, ISSN: 2306-1545, E-ISSN-2227-8761.
- DEHKORDI, K.: "Evaluation of Superabsorbent Application on Corn Yield under Deficit Irrigation World Academy of Science", *Engineering and Technology International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 9(7): 811-815, 2015.
- DOMÍNGUEZ, A.; MARTÍNEZ, R.; DE JUAN, J.; MARTÍNEZ, R.A.; TARJUELO, J.: "Simulation of maize crop behavior under deficit irrigation using MOPECO model in a semi-arid environment", *Agricultural Water Management*, 107: 42-53, 2012, ISSN: 0378-3774.
- GALES, C.D.; RĂUS, L.; AILINCĂI, C.; JITĂREANU, G.: "The influence of Aquasorb on morpho-physiological properties on corn and soybeans yield, in the conditions of Iasi county.", *Agronomy Series of Scientific Research/Lucrari Stiintifice Seria Agronomie*, 55(2): 173-178, 2012, ISSN: 1454-7414.
- GARCÍA, V.M.; FERERES, E.; MATEOS, L.; ORGAZ, F.; STEDUTO, P.: "Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop", *Agronomy journal*, 101(3): 477-487, 2009, ISSN: 1435-0645.
- GONZÁLEZ, R.F.; HERRERA, P.J.; LÓPEZ, S.T.; CID, L.G.: "Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4): 21-27, 2014, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- GONZÁLEZ, R.F.; HERRERA, P.J.; LÓPEZ, S.T.; CID, L.G.; DIOS, P.R.; RUEDA, H.M.; ANTÓN, S.W.; SOZA, R.A.: "Uso de las Funciones Agua-Rendimiento y la productividad agronómica del agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba", *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1): 96-114, 2015, ISSN: 2410-7980, DOI: <http://dx.doi.org/10.5377/ribcc.v1i1.2144>.
- GÜNEŞ, A.; KITIR, N.; ELKOCA, E.; YILDIRIM, E.; AVCI, N.: "Evaluation of effects of water-saving superabsorbent polymer on corn (*Zea mays L.*) yield and phosphorus fertilizer efficiency", *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40(3): 365-378, 2016, ISSN: 1300-011X, DOI: 10.3906/tar-1511-126.
- HERRERA, J.; CID, G.; LLANOS, M.: "Relaciones tensión-humedad para algunos suelos cubanos", En: *Suelo y Agua. Actas del Seminario de La Habana*, Ed. Editorial ORSTOM, París, La Habana, Cuba, 1986.
- HERRERA, P.J.; LÓPEZ, S.T.; GONZÁLEZ, R.F.: "El uso del agua en la agricultura en Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, 1(2): 1-7, 2011, ISSN: 2306-1545, E-ISSN-2227-8761.
- INRH: *Nuevas tarifas de agua en el Sector Estatal*, Inst. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), Resolución 421-2015, La Habana, Cuba, 2015.
- INSTITUTO DE SUELOS: *Clasificación genética de los suelos de Cuba*, no. Editorial Academia, Inst. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba, 28 p., 1980.
- KHODADADI, D.: "Evaluation of Superabsorbent Application on Corn Yield under Deficit Irrigation", *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 9(7), 2015.
- KOSTERNA, E.; ZANIEWICZ, B.A.; ROSA, R.; FRANZUK, J.: "The effect of Agrohydrogel and irrigation on celeriac yield and quality", *Folia Horticulturae*, 24(2): 123-129, 2012, ISSN: 2083-5965.
- LOBELL, D.B.; FIELD, C.B.: "Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming", *Environmental research letters*, 2(1): 014002, 2007, ISSN: 1748-9326.
- MALDONADO, B.K.R.; ALDRETE, A.; LÓPEZ, U.J.; VAQUERA, H.H.; CETINA, A.V.M.: "Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero", *Agrociencia*, 45(3): 389-398, 2011, ISSN: 1405-3195.
- MEMAR, M.; MOJADDAM, M.: "The effect of irrigation intervals and different amounts of super absorption yield and yield components of sesame in hamidiyeh weather conditions", *Indian Journal of Fund and Applied Life Sciences*, 5(1): 179-86, 2015, ISSN: 2231- 6345.
- MFP: *Precios máximos de acopio de Productos Agropecuarios*, Inst. Ministerio de Finanzas y Precios (MFP), Resolución No 27/2017, La

Habana, Cuba, 2017.

MINAG: *El valor energía equivalente (0,29 pesos/ kWh-1)*, Inst. Ministerio de la Agricultura de Cuba. Departamento de Energía Minag, La Habana, Cuba, 2014.

MOLDEN, D.; MURRAY, R.H.; SAKTHIVADIVEL, R.; MAKIN, I.: *A water-productivity framework for understanding and action*, Ed. CABI Publishing, J.W. Kijne, R. Barker, and D. Molden ed., vol. Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement, Wallingford, UK, 1-18 p., 2003.

MUÑOZ, R.C.: “Comparación económica de dos sistemas de producción en plátano en la Zona Norte de Costa Rica”, *Revista tecnología en Marcha*, 20(3): 35–45, 2007, ISSN: 2215-3241.

NAJAFINEZHAD, H.; TAHMASEBI, S.Z.; MODARRES, S.S.A.M.; NAGHAVI, H.: “Evaluation of yield and some physiological changes in corn and sorghum under irrigation regimes and application of barley residue, zeolite and superabsorbent polymer”, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(7): 891-906, 2015, ISSN: 0365-0340.

NC 10-48: *Calidad del agua para preservar el suelo. Especificaciones*, no. CS:65.080.01; 13.080.01, Inst. Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba, Vig de 2014.

PALACIOS, C.: *Silos de agua, lluvia sólida.* [en línea], 2009, Disponible en: <http://www.palacioscastillo.com>, [Consulta: 4 de abril de 2019].

RAD, M.; GHASEMI, A.; ARJMANDINEJAD, A.: “Study of limit irrigation on yield of lentil (*Lens culinaris*) genotypes of national plant gene bank of Iran by drought resistance indices.”, *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 7(2): 238-241, 2010, ISSN: 1818-6769.

RÍOS, S.J.C.; RIVERA, G.M.I.; VALENZUELA, N.L.M.; TRUCIOS, C.R.; ROSALES, S.R.: “DIAGNÓSTICO DE LAS REFORESTACIONES DE MEZQUITE Y MÉTODOS PARA INCREMENTAR SU SOBREVIVENCIA EN DURANGO, MÉXICO.”, *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 11(2): 63-67, 2012, ISSN: 2007-526X.

RIVERA, F.R.D.; GALLO, M.F.: “Absorción de agua de hidrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo”, *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 50(2): 15-21, 2018, ISSN: 1853-8665.

RODRÍGUEZ, A.; RODRÍGUEZ, P.; GRANDE, O.: *Guía Técnica para la producción de maíz (Zea mays L.)*, 29pp., Instituto de Investigaciones de Granos, La Habana, Cuba, 29 p., 2013, ISBN: 978-959-7210-68-9.

ROQUE, R.; HERRERA, J.; ALVAREZ, P.: *Respuesta de la papa a diferentes niveles de humedad mediante el diseño de la línea central de aspersores. Resultados preliminares.*, no. 0138-8738, Inst. Centro de Información y Documentación Agropecuario, La Habana, Cuba, 1989.

ROQUE, R.R.: *Respuesta de la papa (Solanum tuberosum L.) al riego en suelos Ferralíticos Rojos del occidente de Cuba*, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, PhD. Thesis, La Habana, Cuba, 100 p., 1995.

SATRIANI, A.; CATALANO, M.; SCALCIONE, E.: “The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions: A case-study in Southern Italy”, *Agricultural Water Management*, 195: 114-119, 2018, ISSN: 0378-3774.

SHEKARI, F.; JAVANMARD, A.A.A.; ABBASI, A.: “Effects of super-absorbent polymer application on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus L.*)”, *Notulae Scientia Biologicae*, 7(3): 361-366, 2015, ISSN: 2067-3264, DOI: 10.15835/nsb.7.3.9554.

SNF INC.: “Water retainers for soils and substrates”, [en línea], En: 2011, Disponible en: http://snf.com.au/downloads/Aquasorb_E.pdf, [Consulta: 10 de abril de 2014].

SOCORRO, M.D.; MARTÍN, D.: *Maíz. Granos*, Ed. Editorial Pueblo y Educación, Editorial Pueblo y Educación ed., La Habana, Cuba, 318 p., 1989, ISBN: SNLC.CU01.52320.1.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.: *Plant Physiology. Secondary metabolites and plant defense*, Ed. Sinauer Associates. Inc. Publishers, Fourth ed., vol. 4, Massachusetts, USA, 2006.

Enrique Cisneros Zayas, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba. e-mail: dptoriegol@iagric.cu

Reinaldo Cun González, Inv. Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba. e-mail: dptoriego3@iagric.cu

Julián Herrera Puebla, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba. e-mail: direccioninvest1@iagric.cu

Felicita González Robaina, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba. e-mail: dptoambiente4@iagric.cu

Stefani Cun Rodríguez, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, e-mail: dptoriego3@iagric.cu

Orlando Sarmiento García, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Estación experimental “Pulido”. Alquizar. La Habana. Cuba, e-mail: dptoriegol@iagric.cu

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

Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 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.