



<https://eqrcode.co/a/tl7STr>

ARTÍCULO ORIGINAL

Los polímeros súper absorbentes y su influencia sobre la productividad del agua en el frijol

Super Absorbent Polymers and their Influence on Water Productivity in Beans (Phaseolus Vulgaris L)

Dr.C. Enrique Cisneros-Zayas¹, Dra.C. Felicita González-Robaina, MSc. Reinaldo Cun-González,
Dr.C. Julián Herrera-Puebla, MSc. Homero Matos-Cremé, Tec. Orlando Sarmiento-García.
Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric). Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. Con el objetivo de conocer la influencia de la aplicación al suelo de polímeros súper absorbentes en la productividad agronómica del agua en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L), sembrado en un suelo Ferralítico Rojo compactado, se desarrolló en la Estación Experimental del Instituto de Ingeniería Agrícola, en Alquízar, provincia Artemisa un experimento donde se comparó el efecto de la aplicación o no al suelo, antes de la siembra, del polímero o Hidrogel. El diseño experimental empleado fue la línea central de aspersores y los tratamientos consistieron en cultivar el frijol con presencia de hidrogel en el suelo con una dosis de 8g por metro lineal, equivalente a 48 kg para el área de investigación (0,23 ha) y un testigo sin hidrogel. Los resultados mostraron que la aplicación de polímeros súper absorbentes es efectiva al reducir en tres el número riegos, incrementar el intervalo de riego en 7 días y lograr un ahorro de agua durante todo el ciclo del cultivo de 35,7% con respecto al tratamiento sin polímeros. No encontraron diferencias significativas en cuanto al rendimiento alcanzado entre ambos tratamientos, pero el manejo del riego en el tratamiento con polímeros propició una productividad agronómica del agua en el frijol 24% superior al tratamiento sin polímeros. Al valorar económicamente el resultado obtenido, se encontró una mejor relación *beneficio-costo* cuando se aplicó polímeros con un valor de 1,96; lo cual indica una mayor efectividad económica con la aplicación de este producto.

Palabras clave: poliacrilato de potasio, intervalo de riego, norma neta total, rendimientos.

ABSTRACT. In order to know the effect of the soil's application of super absorbent polymers in the water agronomic productivity's of black beans sowing in a compacted Red Ferralitic soil, it was carried out an experiment in experimental station, in Alquízar, Artemisia province where it was compared the effect of the application or not application into the soil of the Hidrogel's polymer before the crop sowing. The experimental design used was line source sprinkler laterals and the treatments consisted of growing the bean with the presence of wetting agent in the soil with a dose of 8g for lineal meter, equivalent to 48 kg for test area (0,23 ha) and a control without wetting agent. The results showed that, the application of super absorbents polymers, reduced the number of irrigation in three, as well as increase the irrigation interval in 7days compared with the non polymer treatment; this results permit to save 35,7% of water used during the crop cycle. Of with regard to the treatment bean without polymers. Although not significant differences in yield were showed between treatments, the 35.7 % of less water used by the polymer application's it increased the agronomic water productivity 24% as compared with the non-polymer treatment. From the economic point of view, a better relationship benefit-cost was achieved when it was applied polymers with a value of 1,96; showing the effectiveness of its application.

Keywords: Potassium Acrylate Polymer, Irrigation Interval, Net Total Duty, Yields.

INTRODUCCIÓN

La seguridad hídrica es fundamental para el desarrollo económico y social, y desde luego para alcanzar el desarrollo sustentable (Banco Mundial, 2016).

La importancia del agua en la producción de alimentos obliga a utilizarla con mayor eficiencia teniendo en cuenta que las proyecciones futuras muestran que, para alimentar una

¹ Autor para correspondencia: Enrique Cisneros-Zayas, e-mail: enrique.cisneros@boyeros.iagric.cu

Recibido: 20/03/2020.

Aprobado: 22/02/2021.

población mundial de 9 100 millones de personas en 2050, será necesario aumentar la producción de alimentos en un 70% entre 2005/07 y 2050. Ello implica un aumento importante en la producción de varios productos básicos fundamentales (FAO 2009, citado por Castillo *et al.* (2020), como es el caso de los granos.

En tal sentido, la agricultura es el sector que más agua emplea (aproximadamente el 70% de la aprovechable mundialmente), la mayor parte está destinada al riego. En Cuba el riego es un factor potenciador de los rendimientos ya que la distribución no homogénea de las precipitaciones impone un período seco en el año (de noviembre a abril). Este período coincide con el óptimo para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos agrícolas, fundamentalmente los de ciclo corto, además, la agricultura bajo riego en nuestro país puede llegar a incrementar entre 15% y 50% la producción de los cultivos agrícolas en comparación con las áreas de secano, cuestión importante para la contribución a la seguridad alimentaria (Duarte y Valdés, 2018).

En la consecución de un uso eficiente del agua para la producción de alimentos se han desarrollado los polímeros que permiten el acondicionamiento de suelos y en diversos estudios realizados (Souza *et al.*, 2016; Rivera y Mesías, 2018), han mostrado que su utilización en el suelo mejoran las propiedades de retención de agua, mejora de la estructura del suelo, y la capacidad de aireación con lo que se incrementa la disponibilidad de agua para las plantas y con ello pueden ayudar a un mayor rendimiento de cosechas y disminución de consumo de fertilizantes.

Al mezclarse el polímero con el suelo se consigue, por un lado, aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por filtración, y por otro lado, también se consigue disminuir la evaporación de la misma. Estos dos factores son suficientes para mejorar la actividad biológica y aumentar la productividad física del suelo (Ochoa, 2014).

Un indicador muy utilizado para cuantificar la eficiencia en el uso del agua en la producción de alimentos es la “Productividad del Agua”, que según Molden *et al.* (2003) y González *et al.* (2015), en un amplio sentido, el concepto 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.

En los sistemas agrícolas la productividad agronómica del agua (WP) es definida como la relación entre la producción real del cultivo y el agua utilizada, expresada en kg m^{-3} en una hectárea (Molden *et al.*, 2003; González *et al.*, 2015). Según Doorenbos y Kassam (1986), la productividad del agua consumida como ETc para el frijol está en el rango de $0,3\text{--}0,6 \text{ kg m}^{-3}$.

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) forma parte del grupo de las leguminosas comestibles. Este grano se considera estratégico, no solo por sus propiedades nutricionales y culinarias, sino además por su presencia en los cinco continentes del mundo y su importancia para el desarrollo rural y social de muchas economías (Thornton y Lipper, 2014).

En el año 2012 el Ministerio de la Agricultura (MINAG) puso en marcha el Programa de Desarrollo de Granos con el objetivo de lograr un mejor aprovechamiento de todo el potencial productivo del frijol común y, con ello, reducir las importaciones de legumbres secas del país. Según Espinosa (2020), Cuba demanda 70 000 t de frijoles por año y en las últimas tres campañas las cifras obtenidas fueron superiores a las 50 000 t, con un rendimiento promedio de $1,2 \text{ t ha}^{-1}$.

Teniendo en cuenta todo lo anterior el presente trabajo tuvo como objetivo conocer la influencia de la aplicación al suelo de polímeros súper absorbentes en la productividad agronómica del agua en el cultivo del frijol (*phaseolus vulgaris* L), sembrado en un suelo Ferralítico Rojo compactado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) en “Pulido”, situada en el municipio Alquizar, provincia Artemisa, Cuba, con coordenadas geográficas: Latitud $22^{\circ} 46' \text{ N}$ y Longitud $82^{\circ} 37' \text{ W}$, a 6 m sobre el nivel medio del mar. Figura 1.

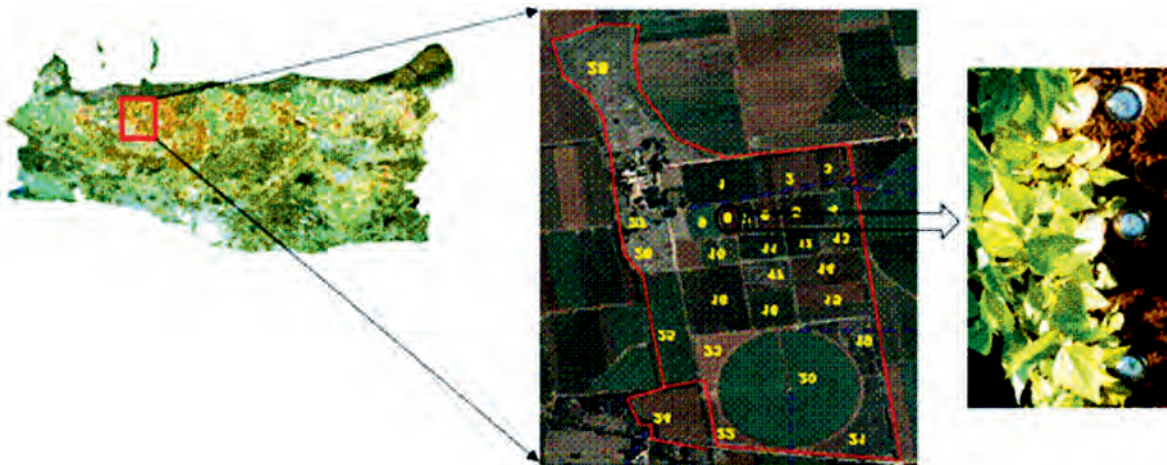


FIGURA 1. Ubicación de la estación experimental “Pulido”, Alquizar. Provincia Artemisa.

El suelo está clasificado como Ferralítico Rojo compactado Instituto de Suelos (1980), el que ha sido estudiado y caracterizado en cuanto a sus propiedades físicas e hidrofísicas por Cid *et al.* (2011). Destacándose hasta la profundidad de 0,60 m que el Límite Superior de Agua Disponible (LSAD) en el suelo es 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 1048 (2014), con valor promedio durante el estudio 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 frijol (*Phaseolus vulgaris*, L), variedad BAT 304 (negro) al cual se le realizó prueba de germinación a las semillas alcanzando el valor de 93%. La siembra se realizó el 2 de octubre del 2019, utilizando para ello una máquina sembradora mecánica (Jumil), con una norma de aplicación de 14 semillas por metro lineal, el marco de plantación utilizado fue de 0,90 m entre hileras, 25 m entre plantas (44 444 plantas ha⁻¹)

Las atenciones culturales se realizaron según la guía técnica para el cultivo del frijol en Cuba (Faure *et al.*, 2013).

En el área experimental se colocó una batería de tensiómetros a tres profundidades 15, 35 y 45 cm para dar seguimiento a la humedad en el suelo. Además, se realizaron muestreos gravimétricos en diferentes momentos (antes y después del riego) como comprobación de la curva tensión–humedad. El riego se aplicó cuando la humedad del suelo alcanzó el 85% del LSAD en valores de tensión 20 kPa, correspondiente a un suelo Ferralítico Rojo compactado Herrera *et al.* (1986), en el tensiómetro colocado a 35 cm.

El diseño utilizado fue el de la línea central de aspersores Hanks *et al.*, 1976, citado por Roque *et al.* (1989). En este 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:

- **Frijol con polímeros. (C/P)**
- **Frijol sin polímeros. (S/P)**

El área total donde se realizó el trabajo fue 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 Aqua Warehouse (2009) y se aplicó junto al fertilizante en la siembra del cultivo a razón de 8 g por metro lineal según indica el fabricante, lo que equivalió a 48 kg para el área de prueba (0,23 ha).

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

La cosecha se realizó entre los días 3 y 4 enero 2020, a los 100 días después de la siembra, se determinó el rendimiento estimado.

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 citada por González *et al.* (2015): mediante la expresión:

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

donde:

WP_I - productividad agronómica del agua utilizada por riego (**I**) (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 *et al.* (2007) citado por Cisneros *et al.* (2018), 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 1,0876 CUC, vigente 28/5/2020) equivalente a 570,9 CUP kg⁻¹.
- El precio del agua subterránea es 0,29 CUP por la capacidad instalada, según Resolución 421/2015 (MFP-Cuba, 2017). Nuevas tarifas de agua en el Sector Estatal del Ministerio de Finanzas y Precios.
- El precio unitario del frijol consumo es 900,0 peso qq⁻¹ equivalente a 19800 peso t⁻¹ según Resolución No. 27/2017 del Ministerio de Finanzas y Precios (MFP-Cuba, 2017).
- El valor energía equivalente (0,29 pesos/ kW h-1). Departamento de Energía Minag-Cuba (2018).
- Salario, se consideró las jornadas dedicadas por los obreros de campo y los participantes según sus salarios básicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de la humedad en el suelo durante la fase experimental

Disponer de un adecuado contenido de agua en el suelo es vital para el buen desarrollo de los cultivos, de manera tal que puedan expresar su mayor potencial productivo. En la figura 2 se puede apreciar el rango de tensiones del agua en el suelo correspondiente al manejo del riego en el *frijol sin polímeros* la que varió como promedio entre 0,4 al límite superior de agua disponible en el suelo o capacidad de campo y 20 kPa límite inferior de agua disponible en el suelo o límite productivo, valor fijado para definir el momento del riego por Herrera *et al.* (1986) para un suelo Ferralítico Rojo compactado en la zona de estudio.

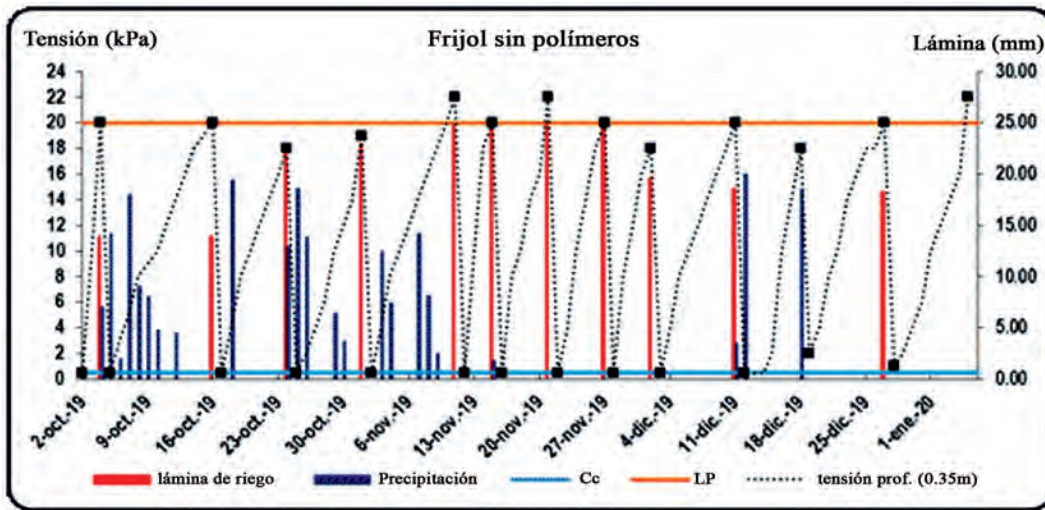


FIGURA 2. Comportamiento de la tensión del agua en el suelo y distribución de las precipitaciones y los riegos en el tratamiento de frijol sin polímeros.

En la misma Figura 2 aparece la distribución de los riego y las precipitaciones para el tratamiento de frijol sin polímeros, como se observa en los meses de octubre a la primera quincena de noviembre el régimen de precipitaciones es alto donde ocurrieron precipitaciones en el orden de los 18 y 20 mm, equivalentes a normas de riego entre 180 y 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, las que resultan suficientes para las primeras fases de desarrollo del frijol según el instructivo técnico del cultivo Faure *et al.* (2013); durante este período solo fue necesario aplicar cuatro riegos como complemento a las lluvias ocurridas. A partir de la segunda quincena de noviembre el riego jugó un rol importante ya que el cultivo se encuentra en la fase de mayor desarrollo, donde se produce el crecimiento y el llenado de los granos donde además el consumo de agua del cultivo se incrementa Giralt (1979), lo que obligó a un aumento en el número de riegos en el período, donde hubo que aplicar seis riegos con una norma parcial de 250 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, normas similares a las aplicadas por Giralt (1979), quien utilizando también riego por aspersión, en la misma zona de estudio, informó un número de riegos total para todo el ciclo del cultivo, entre 10 y 12 con normas netas en el rango de 222,22 y 384,35 mm.

En la Figura 3 se muestra similar análisis al de la Figura 2, para el tratamiento de *frijol con polímeros* donde se mantuvo el mismo criterio de riego, aplicarlo cuando la tensión de agua en el suelo alcanzaba los 20 kPa, límite productivo (LP). Para este tratamiento el rango de tensiones de la humedad del suelo varió como promedio entre 0,4 y 18 kPa. Para este tratamiento, en las primeras fases de desarrollo del cultivo solo hubo necesidad de aplicar dos riegos, a diferencia con el tratamiento sin polímeros en el que se aplicaron cuatro, esto puede explicarse por el efecto de los polímeros en el incremento de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, que unido al régimen de precipitaciones alto, propició que el momento de riego se alcanzara transcurrido un mayor número de días que en el tratamiento sin polímeros. A partir de la segunda quincena de noviembre igualmente el riego tiene gran influencia y en esta etapa, se aplicaron cinco riegos pero con intervalos superiores a los del tratamiento sin polímeros. Las normas netas promedios en este tratamiento también fueron de 250 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, norma necesaria para llevar la humedad del límite inferior de agua disponible en el suelo al límite superior o capacidad de campo (Cc).

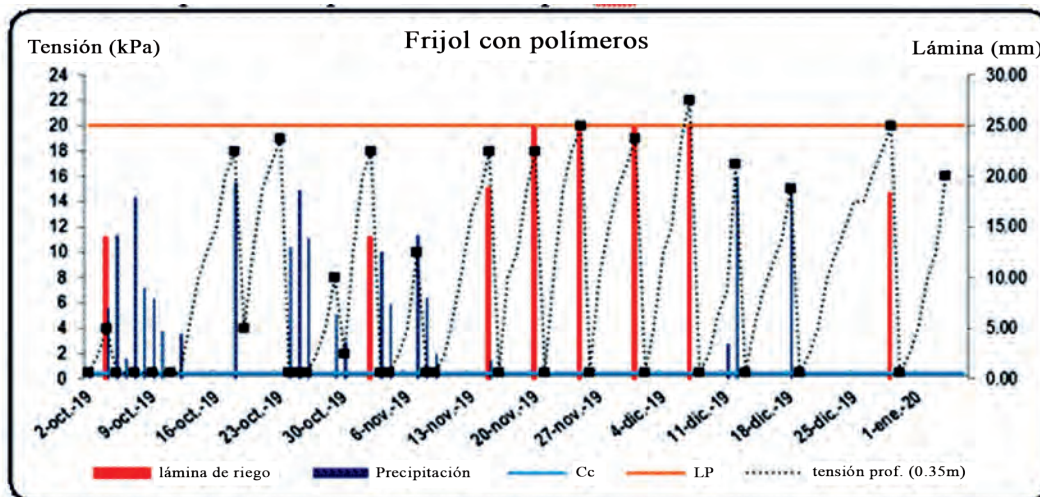


FIGURA 3. Comportamiento de la tensión del agua en el suelo y distribución de las precipitaciones y los riegos en el tratamiento de frijol con polímeros.

En trabajos realizados por Koupai *et al.* (2008), estimaron que de 2-8 g de hidrogel por 1 kg de suelo se incrementa el contenido de agua en el mismo entre 100% y 260%, respectivamente, en comparación con el control. Resultados similares informan Günes *et al.* (2016), quienes argumentaron que los polímeros contribuyen a elevar la eficiencia en el uso del agua debido a su capacidad de almacenamiento y por tanto mayor disponibilidad por la planta. Estos autores concluyeron además que con la aplicación del hidrogel se incrementan significativamente los intervalos de riego.

Manejo del riego durante la fase experimental

Durante la fase experimental la gestión del riego se comportó como se muestra en la Tabla 1, en el tratamiento con polímeros el intervalo de riego promedio (IR) fue de 7 días mientras que sin polímeros fue de 4 días, en cuanto al número de riegos promedio (NR) el mismo varío entre 11 y 8 para las variantes sin y con polímeros respectivamente. La norma neta parcial (NNP), como se comentó anteriormente, fue la misma para ambos tratamientos, mientras que la norma neta total (NNT) en el tratamiento sin polímero la diferencia (Dif.) fue superior en un 37,5% con respecto al tratamiento con polímeros.

TABLA 1. Comportamiento de los indicadores de manejo del riego durante la fase experimental

Tratamiento	IR (días)	NR	NNP (m ³ ha ⁻¹)	NNT (m ³ ha ⁻¹)	Dif. (m ³ ha ⁻¹)
Frijol sin polímeros	4	11	250,0	2750,0	+ 750,0
Frijol con polímeros	7	8	250,0	2000,0	

Amira *et al.* (2013), en un estudio sobre las mejoras de algunas propiedades físicas en un suelo arenoso con la aplicación de hidrogel obtuvieron que se prolonga en el tiempo las pérdidas de agua, lo que se tradujo en un aumento de la frecuencia de riego al incrementarse la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo. Lo anterior se confirma también en el presente trabajo, donde la frecuencia de riego, al aplicar polímeros al suelo, se amplió en tres días en relación al tratamiento sin polímeros.

La Resolución 287/2015 del INRH-Cuba (2015), quien rige los índices de consumo de agua totales para los cultivos agrícolas en Cuba, indica, para la provincia Artemisa, durante todo el ciclo del frijol 3000 m³ ha⁻¹, mientras que en este trabajo, la norma neta total, como puede apreciarse en la Tabla 1, fue de 2750 m³ ha⁻¹ para el tratamiento sin hidrogel, mientras que para el tratamiento con polímeros la misma se redujo en 1000 m³ ha⁻¹, elemento a tener en cuenta ante el pronosticado déficit de agua que se tendrá en el futuro, asociado a la variabilidad y el cambio climático.

En la Figura 4 se observa que las necesidades del cultivo (ETc) alcanzan un valor de 350 mm; en el tratamiento con polímeros estas necesidades se satisfacen en un 96,6% mientras que en las sin polímeros se suplen en un 95%, por lo que se puede afirmar que en ambos tratamientos el cultivo no sufrió déficit hídrico durante todo el ciclo de vida.

Dichos consumos están en el rango mencionado por Beebe *et al.* (2011), quienes plantearon que el ciclo vegetativo del frijol seco está entre 90 a 110 días en los cuales el cultivo requiere entre 350 a 500 mm de agua en dependencia de la profundidad del suelo, clima y el cultivar; mientras que Ríos *et al.* (2003), sitúan este límite entre 300 y 400 mm. Sin embargo, todos los autores coinciden al afirmar que la falta de agua durante las etapas de pre floración, formación y llenado de vainas afecta seriamente el rendimiento y que son en estas fases donde ocurren los mayores consumos (Giralt, 1979; Ríos *et al.*, 2003; Muñoz *et al.*, 2007).

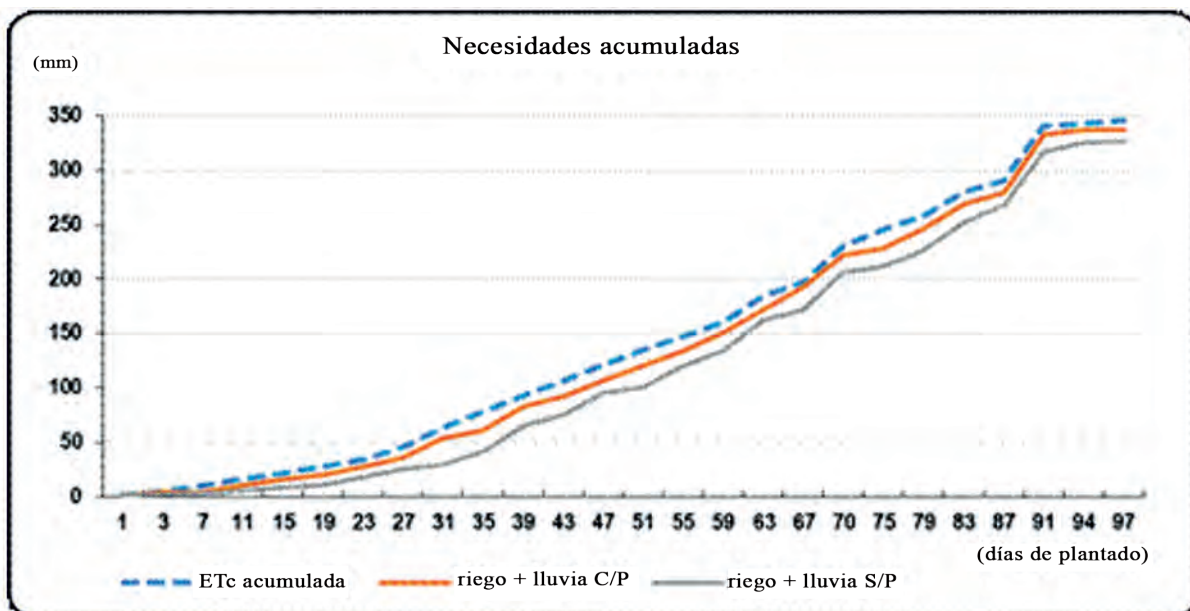


FIGURA 4. Evapotranspiración acumulada y agua acumulada (riego + precipitación) para los tratamientos de frijol con y sin polímeros.

Efecto de los polímeros en el rendimiento y la productividad agronómica del agua

En la Tabla 2 se puede apreciar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a los rendimientos, pero se encuentran por encima de lo informado por Calzada *et al.* (2015), quienes trabajando con la misma variedad BAT 304 obtienen un rendimiento de 1,18 t ha⁻¹ para el tratamiento control, sin la aplicación de un promotor del crecimiento activado molecularmente.

El Ministerio de la Agricultura de Cuba, estima que aprovechando de toda la superficie con potencialidades para explotar el cultivo del frijol existe la posibilidad de aumentar los rendimientos en muchos de los polos productivos hasta lograr una media cercana a las 1,3 t ha⁻¹ (Espinosa, 2020). Los

obtenidos en este trabajo son superiores a la media propuesta por tanto se puede considerar en zonas con déficit hídrico, valorar la aplicación de los polímeros.

En trabajo realizado por Barillas *et al.* (2016), sobre el efecto de tres dosis y dos formas de aplicación del acrilato de potasio o hidrogel, sobre el crecimiento y rendimiento del frijol, establecido a campo abierto en tres localidades del corredor seco de Guatemala obtuvieron rendimientos entre 1,16 y 1,42 t ha⁻¹ dependiendo de la localidad.

Al incrementar la eficiencia en el uso del agua, indudablemente los polímeros también influyen en la productividad del agua. Teniendo similares producciones por hectárea, pero con menor cantidad de agua aplicada, se logra, un incremento en la productividad agronómica del agua de un 24% en el tratamiento con polímeros con respecto al sin polímeros.

TABLA 2. Rendimiento estimado del cultivo por tratamientos en t ha⁻¹

Tratamiento	Rendimiento estimado (t ha ⁻¹)	Productividad agronómica del agua (kg m ⁻³)
Frijol con polímeros	1,80 a	0,90
Frijol sin polímeros	1,87 a	0,68
Sig *	NS	
ES±	0,1558	

Dicha productividad del agua en el tratamiento con polímeros (Tabla 2) fue de 0,90 kg m⁻³, mientras que para el tratamiento sin polímeros alcanzó un valor de 0,68 kg m⁻³, valores similares a los obtenidos por González *et al.* (2014), quienes informaron como valor potencial 0,92 kg m⁻³ para el frijol negro (variedad Cueto 259) en experimentos de campo llevados a cabo en Cuba en el periodo 1971-2007.

Resultados muy similares a los encontrados en este trabajo también fueron publicados por Ruiz *et al.* (2018). Estos autores, al analizar el desempeño agronómico del frijol con un ciclo de 128 días en diferentes escenarios climáticos en Colombia obtuvieron valores de productividad del agua en base a la lámina bruta de riego aplicado entre 0,87 - 0,98 kg m⁻³.

Análisis económico de la efectividad del polímero a través de la relación beneficio - costo (B/C)

Pocos estudios sobre el uso de polímeros hacen referencia a la relación beneficio-costo que justifiquen su aplicación generalizada y solo se tiene información de sus bondades a pequeña escala. Al analizar la pertinencia de la utilización desde el punto de vista económico en la tabla 3, se muestra que con la aplicación del hidrogel se logra una mejor relación beneficio-costo con respecto al tratamiento sin hidrogel teniendo en cuenta solo los gastos asociados al riego, lo que indica desde el punto de vista económico la viabilidad de su utilización.

TABLA 3. Relación beneficio-costo por tratamientos

	Frijol con polímeros	Frijol sin polímeros
Ingresos (peso ha ⁻¹)	35640,00	37026,00
Gastos (peso ha ⁻¹)	18184,14	20476,90
B/C	1,96	1,81

Resultados similares fueron informados por Ugalde *et al.* (2011), en la etapa de validación con riego por goteo y fertilización soluble fraccionada 60N- 60-P-60K en el frijol se obtuvo 110% más rendimiento que el testigo y mejor relación beneficio/costo (1:1,80).

Por su parte Barillas *et al.* (2016), estudiando estrategias de dosis de hidrogel y formas de aplicarlos en el frijol, informan relaciones beneficios/costo entre de 1,47 y 1,91 para los diferentes tratamientos analizados.

En otro trabajo de investigación realizado por Carrillo *et al.* (2019), sobre rentabilidad de la producción de frijol, en el municipio de Morelos, Zacatecas, México obtuvieron que el análisis de rentabilidad reveló una relación B/C de 1,73.

Para las condiciones de Cuba (Cisneros *et al.*, 2018, 2020), en un estudio realizado con polímeros en condiciones de organopónicos y agricultura a cielo abierto obtuvieron relaciones beneficio/costo entre 3,54 y 3,89, para los tratamientos donde se aplicó el producto.

CONCLUSIONES

- La aplicación de polímeros súper absorbentes con una dosis de 8g por metro lineal en el cultivo del frijol es efectiva al reducir en tres el número riegos, incrementar el intervalo de riego en 7 días y lograr un ahorro de agua durante todo el ciclo del cultivo de 35,7% con respecto al tratamiento frijol sin polímeros.
- No se encontró diferencias significativas en cuanto al rendimiento alcanzado entre ambos tratamientos, pero el manejo del riego en el tratamiento *frijol con polímeros* propició una productividad agronómica del agua 24% superior al tratamiento *frijol sin polímeros*.

- La relación *beneficio-costo* a favor del tratamiento *frijol con polímeros* de 1,96 con respecto al tratamiento *frijol sin polímeros* de 1,81; indica una mayor efectividad económica con la aplicación de este producto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMIRA, F.Y.; EL-KADY, A.; BORHAM, I.: "Improving some physical properties of sandy soil and *Conocarpus erectus* L. Plant growth by the application of hydrogel", *Egypt. J. Soil Sci*, 53(4): 595-611, 2013.
- AQUA WAREHOUSE: *Características principales del poliacrilato de potasio*, [en línea], Aqua Warehouse, 2009, Disponible en: www.Aquawarehouse.com, [Consulta: 24 de febrero de 2019].
- BANCO MUNDIAL: *Agua, Panorama General*, [en línea], Banco Mundial, 2016, Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#1>, [Consulta: 24 de febrero de 2019].
- BARILLAS, K.E.; VILLEDA, R.V.; TRUJILLO, C.O.J.: *Efecto de tres dosis y dos formas de aplicación del acrilato de potasio o hidrogel, sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de frijol phaseolus vulgaris L., establecido a campo abierto en tres localidades del corredor seco de Guatemala*, 2016.
- BEEBE, S.; RAMIREZ, J.; JARVIS, A.; RAO, I.M.; MOSQUERA, G.; BUENO, J.M.; BLAIR, M.W.: *Genetic improvement of common beans and the challenges of climate change*, Ed. Wiley-Blackw, S. Singh Yadav, R. Redden, J. L. Hatfield, H. Lotze-Campen, and A. Hall (eds) ed., Ames, IA, 356-369 p., 2011.
- CALZADA, K.P.; FERNÁNDEZ, R.J.C.; SOTOLONGO, S.M.: "Comportamiento productivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) ante la aplicación de un promotor del crecimiento activado molecularmente", *Avances*, 17(4): 327-337, 2015, ISSN: 1562-3297.
- CARRILLO, M.C.J.; ÁLVAREZ, F.G.; AGUILAR, B.G.; GARCÍA, L.J.C.; CONTRERAS, S.C.: "Rentabilidad de la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.) y chile (*Capsicum annuum*.) en el municipio de Morelos, Zacatecas", *Acta Universitaria*, 29, diciembre de 2019, ISSN: 0188-6266, e-ISSN: 2007-9621.
- CASTILLO, I.Y.; GONZALÉZ, R.F.; HERVIS, G.G.; HIRÁN, R.H.; CISNEROS, Z.E.: "Impacto del cambio climático en el rendimiento del maíz sembrado en suelo Ferralítico Rojo compactado", *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(1): 49-60, 2020, ISSN: 2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- CID, L.G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, P.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.; HERRERA, P.J.; GONZALÉZ, R.F.; CUN, R.S.; SARMIENTO, G.O.: "Efecto de los polímeros súper absorbentes en la economía del agua para uso agrícola", *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 21(1): 1-13, 2020, ISSN: 1988-4206.
- CISNEROS, Z.E.; CUN, G.R.; ROSALES, L.; GONZÁLEZ, D.: "Lluvia sólida, para un uso eficiente del agua. Resultados preliminares", *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(3): 13-20, 2018a, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- 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, 2018b, ISSN: 2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H.: "Yield response to water. Irrigation and Drainage", En: *Irrigation and Drainage, Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Ed. FAO, vol. Paper 33, Rome, Italy, p. 193, 1986.
- DUARTE, D.C.E.; VALDÉS, J.P.: "Predicción de normas netas de riego del frijol común en la zona occidental de Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(2): 41-47, 2018, ISSN: 2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- ESPINOSA, H.E.: "Producción de frijoles. La recuperación después de la plaga.", *Periódico Granma*, tercera ed., p. pág. 8, La Habana, Cuba, 6 de agosto de 2020, ISSN: 0864-0424.
- FAURE, B.; BENÍTEZ, R.; LEÓN, N.; CHAVECO, O.; RODRÍGUEZ, O.: "Guía técnica para el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)", *La Habana, Cuba: Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales*, 2013.
- GIRALT, P.: "Régimen de riego del cultivo del frijol negro (*P. vulgaris*)", *Revista Ciencia y Técnica en la Agricultura, Riego y Drenaje*: 5-28, 1979, ISSN: 0138-8487.
- 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.; LÓPEZ, S.T.; HERRERA, P.J.: "Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4): 57-63, 2015, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- GÜNES, A.; KITIR, N.; TURAN, M.; 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.
- HERRERA, J.; CID, G.; LLANOS, M.: *Relaciones tensión-humedad para algunos suelos cubanos*, Ed. Editorial ORSTOM, París, Suelo y Agua. Actas del Seminario de La Habana ed., La Habana, Cuba, 1986.
- INRH-CUBA: *Resolución 421-2015. Nuevas tarifas de agua en el Sector Estatal*, Inst. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), La Habana, Cuba, 2015.
- INSTITUTO DE SUELOS: *Clasificación genética de los suelos de Cuba*, no. Editorial Academia, Inst. Academia de Ciencias de Cuba, La

- Cisneros-Zayas *et al.*: Los polímeros súper absorbentes y su influencia sobre la productividad del agua en el frijol
Habana, Cuba, 28 p., 1980.
- KOUPAI, A.J.; SOHRAB, F.; SWARBRICK, G.: "Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics", *Journal of plant nutrition*, 31(2): 317-331, 2008, ISSN: 0190-4167.
- MFP-CUBA: *Resolución No 27/2017. Precios máximos de acopio de Productos Agropecuarios.*, Ministerio de Finanzas y Precios (MFP), La Habana, Cuba, 2017.
- MINAG-CUBA: *El valor de energía equivalente*, Inst. Ministerio de la Agricultura de Cuba, Departamento de Energía, La Habana, Cuba, 2018.
- MOLDEN, D.; MURRAY, R.H.; SAKTHIVADIVEL, R.; MAKIN, I.: "A water-productivity framework for understanding and action", *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement*, (1), 2003.
- MUÑOZ, P.C.G.; ALLEN, G.R.; WESTERMANN, D.T.; WRIGHT, J.L.; SINGH, S.P.: "Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments", *Euphytica*, 155(3): 393-402, 2007, ISSN: 0014-2336.
- NC 1048: *Calidad del agua para preservar el suelo. Especificaciones. CS: 65.080.01; 13.080.01*, ser. Norma Cubana. NC 1048, Inst. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2014.
- OCHOA, S.: *Efecto con diferentes dosis de polímero (acrilato de potasio) en trigo para retención de agua en suelos arcillosos del Valle de Yaqui*, [en línea], 2014, Disponible en: <http://biblioteca.itson.mx/dac>, [Consulta: 22 de noviembre de 2016].
- RÍOS, B.M.J.; QUIRÓS, D.J.E.; ARIAS, R.J.H.: *Frijol: recomendaciones generales para su siembra y manejo.*, Inst. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Cartilla ilustrada 2, Colombia, 48 p., 2003.
- RIVERA, F.R.D.; MESÍAS, G.F.: "Absorción de agua de hidrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo", *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 50(2), 2018, ISSN: 0370-4661.
- ROQUE, R.; HERRERA, P.J.; ÁLVAREZ, P.: *Respuesta de la papa a diferentes niveles de humedad mediante el diseño de la línea central de aspersores*, Resultados preliminares, La Habana, Cuba, 1989.
- RUIZ, P.; SIFUENTES, I.; OJEDA, B.; MACIAS, C.: "Adecuación de fechas de siembra por variabilidad climática en frijol (*Phaseolus vulgaris*) mediante AQUACROP-FAO, en Sinaloa", En: *IV Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII Aguascalientes*, Aguascalientes, México, 2018.
- SOUZA, A.J.J.; GUIMARÃES, R.J.; DOMINGHETTI, A.W.; SCALCO, M.S.; REZENDE, T.T.: "Water-retaining polymer and seedling type when planting irrigated coffee", *Revista Ciência Agronômica*, 47(2): 334-343, 2016, ISSN: 1806-6690.
- THORNTON, P.K.; LIPPER, L.: *How does climate change alter agricultural strategies to support food security?*, [en línea], Ed. International Food Policy Research Institute (IFPRI), vol. 1340, 2014, Disponible en: <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpriidp01340.pdf>, [Consulta: 20 de mayo de 2019].
- UGALDE, A.F.J.; TOSQUY, V.O.H.; LÓPEZ, S.E.; FRANCISCO, N.N.: "Productividad y rentabilidad del cultivo de frijol con fertirriego en Veracruz, México", *agronomía mesoamericana*, 22(1): 29-36, 2011, ISSN: 1659-1321.

Enrique Cisneros-Zayas, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba. e-mail: enrique.cisneros@boyeros.iagric.cu
Felicit González-Robaina, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba. e-mail: felicita.gonzalez@boyeros.iagric.cu
Reinaldo Cun-González, Inv. Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba. e-mail: reinaldo.cun@boyeros.iagric.cu
Julián Herrera-Puebla, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba. e-mail: julian.herrera@boyeros.iagric.cu
Homero Matos-Cremé, Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba. e-mail: enrique.cisneros@boyeros.iagric.cu
Orlando Sarmiento-García, Técnico, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Estación experimental "Pulido". Alquízar. La Habana. Cuba, e-mail: enrique.cisneros@boyeros.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.