



ARTÍCULO ORIGINAL

Los hidrocontenedores y su influencia en las propiedades microfísicas del suelo

Hydrocontainers and their Influence in the Soil Hydrophysical Properties

Dr.C. Enrique Cisneros Zayas¹, Ing. Gelsy Ardiles Martínez, Dr.C Julián Herrera Puebla, Dr.C Felicita González Robaina, MSc. Reinaldo Cun González, Téc. Magdalena Pedroso Pérez

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

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

RESUMEN. El estudio se realizó en el laboratorio de física de suelo del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) con el propósito de conocer como varían las propiedades hidrofísicas de un suelo Ferralítico Rojo compactado ante la presencia de diferentes dosis de polímeros súper absorbentes. Se utilizó para ello suelo de la Estación Experimental del IAgric y agua del pozo ubicado en dicha estación. Fueron probadas dosis de 20, 30 y 40 g de polímero por kilogramo de suelo para realizar los ensayos, la cual se comparó con un testigo sin polímeros. Los ensayos realizados fueron: obtención de la curva tensión-humedad por el método de la caja de arena, determinación de la humedad por el método gravimétrico y textura por el método de Boyucos. En todas las muestras se evaluó la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, el comportamiento de la curva de tensión-humedad y la textura del suelo una vez aplicado el polímero. Los resultados obtenidos demuestran que aumentó la capacidad de retención de agua del suelo con el aumento de las dosis de hidrogel aplicadas con respecto al suelo sin polímero; aumentando la capacidad de retención hasta un 96,6% con la dosis más alta de polímero. El ensayo de humedad del suelo fue efectivo ya que por cada gramo de hidrogel agregado se obtuvo 0,013g de agua en el suelo. Los resultados obtenidos permiten concluir que la aplicación del hidrogel es efectiva al influir en el incremento de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

Palabras clave: *contenido de agua, densidad aparente, textura, porosidad.*

ABSTRACT. The study was carried out in the soil physics laboratory of the Agricultural Engineering Research Institute (IAgric) with the purpose of knowing how the hydro physical properties of a compacted Red Ferralitic soil vary in the presence of different doses of super absorbent polymers. Soil from the IAgric Experimental Station and water from the well located in that station were used. Doses of 20, 30 and 40 g of polymer per kilogram of soil were tested for the tests which were compared with a control without polymers. The tests performed were: obtaining the tension-humidity curve by the sandbox method, determination of humidity by the gravimetric method and texture by the Boyucos method. In all samples, the water storage capacity of the soil was evaluated, the behavior of the tension-humidity curve and the texture of the soil once the polymer was applied were evaluated. The results obtained show that the water retention capacity of the soil increased with the increase in the doses of hydrogel applied with respect to the soil without this polymer; increasing retention capacity up to 96,6% with the highest polymer dose. The soil moisture test was effective since for each gram of polymer added, 0,013g of water was obtained in the soil. The results obtained allow us to conclude that the application of the polymer is effective in influencing the increase in the water storage capacity in the soil.

Keywords: *water content, bulk density, texture, porosity.*

¹ Autor para correspondencia, Enrique Cisneros Zayas, mail: enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu, cisneroszayasenrique@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1021-0680>

Recibido: 19/12/2022.

Aprobado: 14/06/2023.

INTRODUCCIÓN

Las propiedades físicas de los suelos determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos que el ser humano les otorga. La condición física de un suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes (Rucks *et al.*, 2004 citado por Urriola (2020)).

El conocimiento de las propiedades de retención de humedad de los suelos permite la definición de parámetros necesarios para la determinación de las dosis de riego de los mismos. La retención de agua es la propiedad hidrofísica del suelo que puede ser descrita por la dependencia entre el contenido de agua del suelo y el potencial del agua del suelo (Pérez-de los Reyes *et al.*, 2018).

Desde hace más de tres décadas el antiguo Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, actual Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola ha trabajado de manera sistemática en la caracterización física de los suelos bajo riego, lo que sirvió de base para el diseño, proyección, manejo y explotación de los sistemas de riego y drenaje, sin embargo este esfuerzo no se tradujo en la creación de una base de datos que estuviera disponible para los investigadores y especialistas, sino que se limitó a que se publicaran algunos de estos resultados aislados según fuera el interés de investigadores y especialistas (G. Cid *et al.*, 2012).

Los polímeros súper absorbentes o hidrocontenedores son derivados del petróleo convertido en cristales amorfos de Acrilato de Potasio, no tóxico, inocuo, capaz de absorber hasta 500 veces su peso en agua sin modificar la estructura química de la misma, formando un gel que ha sido usado con éxito por muchos productores para hacer frente a la escasez del agua en los sectores agrícola, forestal, floricultura, horticultura, hidroponía y otros (Rico, 2014). Además de ser 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 del suelo logrando reducir el consumo de agua hasta un 50% (Rivera-Fernández & Mesías-Gallo, 2018).

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 capacidad de campo por más tiempo, lo que reduce ciclos de riego y uso de agua, incrementando la productividad general; mejora el manejo tradicional de los cultivos en regiones con escasa precipitación pluvial, independizándolo de las lluvias de temporal; mejora la textura y ventilación en suelos, sobre todo los compactados 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 (Andrada & Di Barbaro, 2018; Cisneros-Zayas *et al.*, 2021; Macías-Duarte *et al.*, 2019; Zinivand *et al.*, 2020).

Los suelos Ferralíticos por su extensión ocupan el segundo lugar con 2 054,2 hectáreas, lo que representa el 23,5% de la cobertura de suelos cubana según Olivera (2012) y en ellos se cultivan gran parte de la producción de granos, viandas y hortalizas del país. Teniendo en cuenta todo lo anterior y

que aún es insuficiente la información sobre el efecto que tiene los hidrocontenedores en las propiedades del suelo, el presente estudio tiene como finalidad conocer como varían las propiedades hidrofísicas de un suelo Ferralítico Rojo compactado ante la presencia de diferentes dosis de polímeros súper absorbentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el laboratorio de Física de Suelos del Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Agrícola (IAgric) ubicado en la Carretera de Fontanar km 2½, municipio de Boyeros. La Habana. Cuba.

El suelo utilizado en el estudio es del tipo Ferralítico Rojo compactado y el mismo fue tomado de la Estación Experimental “Pulido” del propio Instituto situado en Alquizar, provincia Artemisa.

Las muestras se tomaron directamente del campo de forma aleatoria para lo cual se dividió el mismo en 4 partes al inicio, un tercio, dos tercios y al final del surco, posteriormente se embolsaron y se trasladaron hasta el IAgric. A continuación se colocaron en bandejas para su secado durante varios días en condiciones ambientales naturales. Luego se tamizaron, para los análisis físicos se pasó una porción de las mismas por tamiz de 2 mm y para análisis químico se pasó una porción de las mismas por tamiz de 1 mm.

Una vez preparado el suelo se tomaron seis porciones de 1kg, cada una pasada por un tamiz de 2 mm de diámetro. Se colocaron en embudos bajo papel de filtro para evitar la pérdida de suelo y se mezclaron con dosis de polímeros de 20, 30 y 40 g lo más homogéneo posible dejando una muestra en su estado natural.

Los tratamientos estudiados consistieron en:

T₁: 20 g polímeros / kg de suelo

T₂: 30 g polímeros / kg de suelo

T₃: 40 g polímeros / kg de suelo

Testigo: sin polímeros

A todos los tratamientos se les aplicó 2000 mL de agua y se midió el agua drenada. El agua se suministró lentamente a intervalos de 30 minutos para lograr que los polímeros se hidrataran, se dejó de abastecer agua cuando comenzó el drenaje después de transcurrido los 30 minutos finales.

Para la determinación de la curva característica de la humedad en el rango de 0,1 a 100 cm (pF 0 a 2) se utilizó el método de la caja de arena. Para este ensayo se tomaron cuatro muestras en los anillos de cada tratamiento y luego se procedió a realizar el ensayo por el instructivo Sandbox M1 08.01.

Textura por método de Boyuco. Consiste en la determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en la fracción mineral del suelo. Estos porcentajes se obtienen mediante la separación de las partículas en grados clasificados de acuerdo a su diámetro.

Los resultados se expresan en (% p/p) de arena, arcilla y limo. Con estos porcentajes se auxilia del triángulo textural del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para determinar la textura.

La humedad del suelo se determinó gravimétricamente, en base a la masa. Para ello se auxilió de la siguiente expresión (1):

$$\theta g = \frac{\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco}}{\text{Peso de suelo seco} - \text{peso del contenedor}} = (g \ g^{-1}) \quad (1)$$

La muestra de suelo húmeda es tomada y puesta en un contenedor (pesa filtro), pesada, secada a 105 °C (24 ó 48 horas) y pesada nuevamente.

Densidad aparente

La densidad de la fase sólida del suelo está definida como la masa total de los sólidos dividida por el volumen total de ellos Cid et al. (2012) y se determinó por el: Método del anillo según la norma ISO 11272 (2017), con la utilización de la expresión (2)

$$DA = M/Vt \ (g \ cm^{-3}) \quad (2)$$

donde:

Da – densidad aparente ($g \ cm^{-3}$); **Ms** - Masa de sólidos (g); **Vt** - Volumen total (cm^3).

La densidad aparente fue determinada al límite superior de agua disponible en el suelo.

Porosidad

Es el término para describir la cantidad de espacio poroso. Esta definición es equivalente a la siguiente expresión:

$$Pt = Vt - Vs / Vt, \text{ entonces: } Pt = 1 - Vs / Vt$$

se obtiene entonces:

$$Pt = 1 - Da / DS \quad (3)$$

donde:

Da (densidad aparente $g \ cm^{-3}$); **Ds** (densidad real $g \ cm^{-3}$)

El porcentaje de hinchamiento se determinó pesando una pequeña muestra del hidrogel seco, tomando este peso como masa a tiempo cero. Luego se sumerge en agua destilada y se va pesando el hidrogel con el agua absorbida en función del tiempo. Para ello se utiliza la expresión (4) según Carhuapoma & Contreras (2006).

$$\%H = 100(m_i - m_0) / m_0 \quad (4)$$

donde:

%H es el porcentaje de hinchamiento, **m₀** es la masa inicial, seca (g), y **m_i** es la masa del hidrogel con agua en función del tiempo (g).

Para el estudio se tomó muestra de agua del pozo ubicado en la estación experimental ‘Pulido’ y las características de la misma son: Conductividad eléctrica (Ce) 0,625 $mS \ cm^{-1}$ y pH de 7,2 a una temperatura de 25 °C.

El polímero utilizado fue acrilato de potasio con una composición: 90% Poliácridamidas, 10% Aditivos (acrilatos de potasio y silicatos de aluminio) y humedad 5,87% (Warehouse, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la consecución de un uso eficiente del agua para la producción de alimentos se recomienda actualmente el uso

de los polímeros súper absorbentes, que según varios autores Cisneros-Zayas et al. (2018; Rivera-Fernández & Mesías-Gallo (2018), mediante su aplicación se logra mejorar las propiedades hidrofísicas del suelo al incrementar la capacidad de retención de agua.

En la Figura 1 se muestra como a medida que aumentan las dosis de polímeros por kilogramo de suelo existe una correspondencia con la capacidad de almacenamiento de agua, donde se tiene los menores valores en el testigo y la mayor capacidad de almacenamiento cuando se aplicó 40 gramos con un 96,6%. Lo anterior confirma lo informado por Rojas-de Gascue et al. (2006) quienes plantean que el mecanismo por el cual los polímeros son capaces de absorber tanto volumen de soluciones acuosas no es solamente físico, sino que depende de la naturaleza química del polímero. Las fuerzas que contribuyen al hinchamiento de los hidrogeles son la energía libre de mezcla y la respuesta elástica del entrecruzamiento.

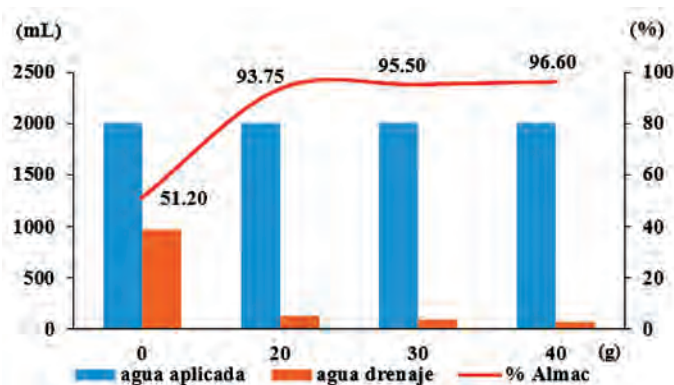


FIGURA 1. Capacidad de almacenamiento en función de la dosis de polímeros.

Del estudio se pudo conocer que el porciento de hinchamiento del polímero utilizado, con agua destilada, es de aproximadamente 496 veces el peso de la muestra, muy próximo al indicado por el fabricante que refiere ser de hasta 500 veces su peso (Warehouse, 2009).

Según Úbeda-Rivera & Delgado-Dallatorre (2018) los polímeros absorbentes de agua (SAP), los cuales se clasifican como hidrogeles cuando reticulan, absorben soluciones acuosas a través de enlaces de puente de hidrógeno con las moléculas de agua. La capacidad de un SAP para absorber el agua es un factor de la concentración iónica de la solución acuosa. En agua des ionizada y destilada, un SAP pueden absorber 500 veces su peso (30 a 60 veces su propio volumen) y puede llegar a ser hasta 99,9% de líquido. El mencionado resultado es muy similar al obtenido en la máxima dosis (96,6%), teniendo en cuenta que el agua para la prueba fue la tomada del pozo ubicado en el área y no agua destilada.

La Figura 2 muestra la relación que existe entre la capacidad de absorción de agua y la cantidad de polímero agregado. De este modo al utilizar el valor de 0 polímero agregado como nivel de referencia y donde se obtuvo un valor de 0,013 g de agua/g de

suelo (típico para estos suelos Ferralíticos), que equivale a 0,013 g de agua en el suelo por cada gramo de polímero agregado, lo cual demuestra el valor del mismo como condicionador de la humedad del suelos.

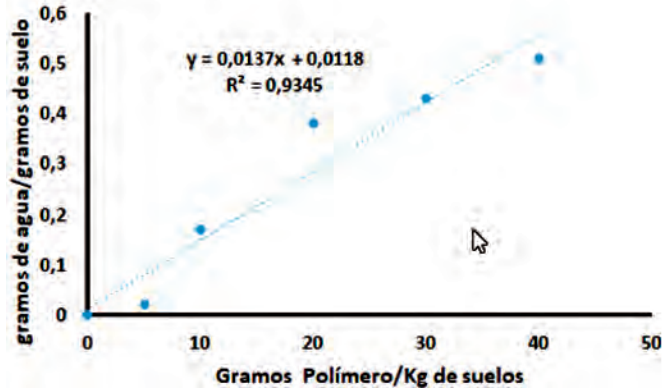


FIGURA 2. Relación entre la cantidad de polímero aplicado y la humedad retenida en el suelo.

El límite superior de agua disponible en el suelo es equivalente al valor de la capacidad de campo, que en este caso se considero equivalente al agua retenida a la tensión de 100 cm (pF 2); la relación de este parámetro con la cantidad de polímero aplicado se muestra en la Figura 3.

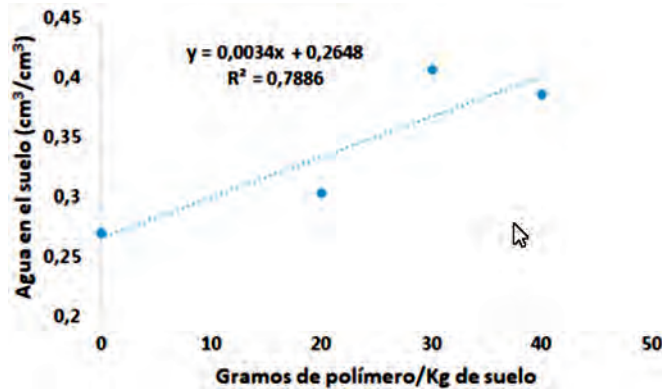


FIGURA 3. Relación entre el volumen de agua retenida en el suelo y la cantidad de polímero aplicado al suelo.

Como muestra la figura, el volumen de agua disponible en el suelo se incrementó linealmente con el aumento de la cantidad de polímero aplicado coincidiendo con la Figura 2, en correspondencia de una mayor acumulación (Figura 2) y una mayor retención (Figura 3) al aumentar la cantidad de polímero aplicado.

La porosidad del suelo es un factor determinante en la capacidad del suelo para almacenar y retener el agua según Urriola (2020), por ello a partir de los datos de la curva característica del suelo se obtuvo los valores de la porosidad total, la cual se hizo corresponder con el valor de humedad a saturación. La Figura 4, muestra la relación entre la porosidad total (humedad a saturación) y la cantidad de polímero aplicado, en la cual se puede apreciar también un incremento en la porosidad total del suelo con el incremento en la cantidad de polímero.

La Figura 5 muestra las curvas características de los diferentes tratamientos según la cantidad de polímero agregado.

Como puede observarse, para cualquier tensión de humedad aplicada, la cantidad de agua retenida aumenta al incrementar la cantidad de polímero aplicado, enfatizando lo visto hasta aquí sobre el importante papel que juegan los polímeros en la retención de la humedad por el suelo.

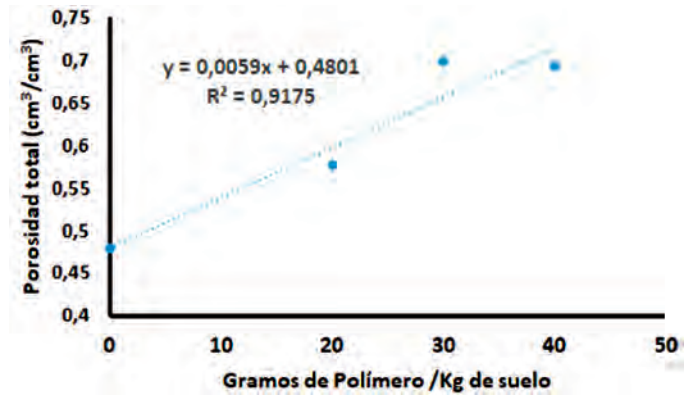


FIGURA 4. Relación entre la cantidad de polímeros y la porosidad total del suelo.

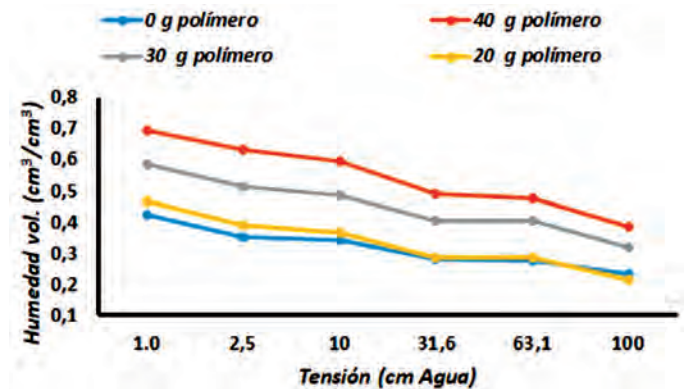


FIGURA 5. Curvas características de humedad de acuerdo con la cantidad de polímero aplicado.

En estudios realizado por Romero-Campos *et al.* (2020) sobre las curvas tensión humedad informan similar comportamiento para un suelo con elevado contenido de arena y argumentan una rápida caída de la humedad en los primeros 100 cm de tensión rango que se denomina “*agua fácilmente aprovechable*” para los cultivos en la mayoría de los suelos. Al comparar los obtenidos con el informado se puede observar que la disminución es menor por la presencia de los hidrocontenedores con idéntica clasificación textural.

La Tabla 1 resume el efecto de la cantidad de polímero aplicado al suelo sobre el comportamiento de algunos parámetros físicos del mismo relacionados con la retención y disponibilidad de agua.

A partir de los datos mostrados en la Tabla 1 puede calcularse, a modo de ejemplo, que, si no se aplica polímeros, y se estima el agua fácilmente utilizable entre el valor de humedad a pF 2 y el 85% de este valor, se obtiene para una profundidad de 0,3 m del perfil del suelo, una disponibilidad de agua de 12 mm, lo cual para un consumo de 4 mm dia⁻¹, permitiría un intervalo de riego de 3 días. El mismo razonamiento, utilizado para el tratamiento donde se aplicó 30 g de polímero produciría una disponibilidad de agua de 18 mm, la cual para

similar consumo diario permitiría un intervalo entre riegos de 5 días. Para un cultivo de 90 días de duración esta diferencia de intervalos entre riegos significa una disminución del 40% en el número de riegos.

Este efecto del polímero en el ahorro de agua producto del aumento de la capacidad de retención del suelo, fue también demostrada en condiciones de campo por Cisneros-Zayas et al.

(2021), donde al estudiar el efecto de la aplicación de polímeros en campos de frijol en Cuba, encontraron que la aplicación de una dosis de polímeros súper absorbentes de 8 g por metro lineal en el cultivo del frijol era efectiva al reducir en tres el número de riegos, incrementar el intervalo de riego en 7 días y lograr un ahorro de agua durante el ciclo del cultivo de 35,7% con respecto al tratamiento frijol sin polímeros.

TABLA 1. Efecto de la cantidad de polímero utilizado en el comportamiento de algunos parámetros físicos del suelo Ferralítico Rojo compactado

Gramos de polímero / kg de suelo	Porosidad total (%)	Porosidad drenable (%)	Humedad gravimétrica (g g ⁻¹)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Humedad a pF 2 100 cm tensión (cm ³ cm ⁻³)
0	47,9	20,9	0,75	0,64	0,30
20	57,7	27,5	1,13	0,52	0,28
30	69,9	29,3	1,57	0,34	0,35
40	69,3	30,7	1,84	0,38	0,44

Irurtia et al. (2012) al estudiar el efecto de polímeros de poliacrilamida en las propiedades físicas de un suelo arenoso, concluyeron que dicho compuesto produce cambios importantes en las propiedades hidrofísicas del suelo, debido a que aumentan notablemente la capacidad de retención del agua y disminuye su conductividad hidráulica. Por otra parte, la capacidad de hinchamiento del polímero de poliacrilamida tiende a descompactar el suelo cuando está húmedo. El mismo autor refiere que en los suelos arenosos caracterizados por su alta tasa de infiltración y baja retención de agua pueden mejorar la eficiencia del uso del agua de riego.

Cuando analizamos la relación densidad aparente-contenido de agua, para las diferentes dosis de hidrocontenedor aplicado podemos observar en la Figura 6 que el mayor contenido de agua se tiene para la dosis de 40 g kg⁻¹ de suelo con 1,84 g g⁻¹, donde además se logra la menor densidad aparente debido a una mayor porosidad total. Resultados similares fueron informados por Cid et al. (2021) estudiando las modificaciones de la densidad aparente de acuerdo a los contenidos de agua en la matriz del suelo observándose idéntica tendencia para los suelos Ferralíticos.

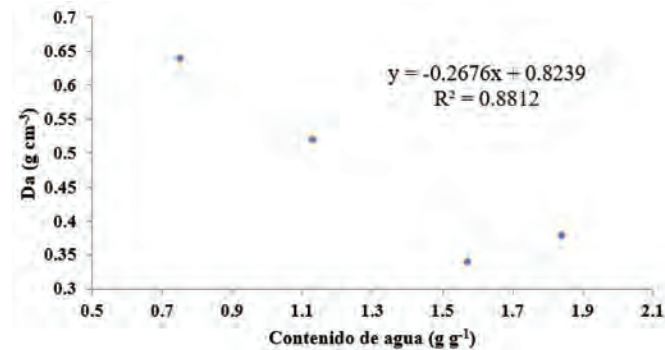


FIGURA 6. Resultados de la densidad aparente obtenida en suelo Ferralítico Rojo compactado para diferentes contenidos de agua.

La Figura 7 muestra como varía la composición granulométrica del suelo al añadirle el hidrogel con respecto a la

muestra que no tiene polímero. El porcentaje de arena presento las mayores variaciones con respecto a las demás texturas, tuvo un aumento de casi el 40% con respecto a la muestra sin polímero. Los porcentos de arcilla una vez añadido el polímero se mantienen casi invariables, mientras que el porciento de limo se mantuvo casi constante presentando variaciones leves en las muestras con las dosis más bajas de polímero.

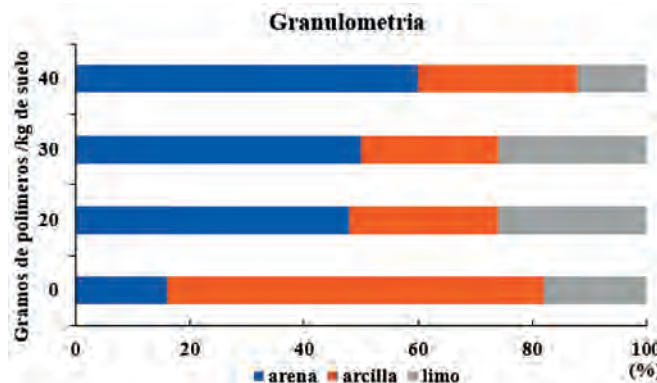


FIGURA 7. Cambios en la composición granulométrica del suelo en relación a la cantidad de polímero aplicado.

Estas variaciones en la granulometría hicieron que cambiara la textura del suelo, la cual antes de ser mezclado con el polímero era arcillosa pasando a una textura arcilloso-francoarenoso (Tabla 2).

TABLA 2. Clasificación de la textura del suelo

dosis de polímero (g)	Arena (%)	arcilla (%)	limo (%)	clasificación
0	16	60	24	Arcilloso
20	52	36	12	Arcilloso-francoarenoso
30	56	30	14	Arcilloso-francoarenoso
40	60	28	12	Arcilloso-francoarenoso

CONCLUSIONES

- El estudio demostró para un suelo Ferralítico Rojo compactado que el incremento de la capacidad de almacenamiento de agua es proporcional al aumento de la dosis de polímeros, donde se tiene que por cada gramo de hidrocontenedor agregado se almacena 0,013 g de agua en el suelo.
- En todos los ensayos la aplicación de diferentes dosis de hidrocontenedores tuvo un marcado efecto en las propiedades hidrofísicas del suelo al disminuir la densidad aparente y aumentar la porosidad total con el aumento de los g/kg de suelo.
- Del estudio se puede inferir que puede existir un efecto

económico favorable en la gestión de riego con el empleo de los hidrocontenedores, pues al aumentar la capacidad de almacenamiento del suelo disminuye la cantidad de riegos por el efecto de aumento en el intervalo, lo que conlleva a un considerable ahorro de agua.

AGRADECIMIENTOS

Al personal técnico del laboratorio de Física de Suelos del IAgric por su valioso apoyo en la obtención de los resultados aquí mostrados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrada, H., & Di Barbaro, G. (2018). Efecto de la aplicación de copolímeros sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 27-35, ISSN: 0120-0135, Publisher: Universidad de Nariño. <https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183502.89>
- Carhuapoma, B. W., & Contreras, J. S. (2006). Caracterización de hidrogeles de quitosano-alcohol polivinílico obtenidos por radiación gamma. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 6(4), ISSN: 1684-1662, Publisher: Lima (Perú).
- Cid, G., López, T., González, F., Herrera, J., & Ruiz, M. E. (2012). Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2), 25-31, ISSN: 2306-1545, Publisher: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.
- Cid, L. G., López, S. T., Herrera, P. J., & González, R. F. (2021). Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos. *Ingeniería Agrícola*, 11(2), 3-9, ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761, Publisher: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.
- Cisneros-Zayas, E., Cun-González, R., Rosales-Naranjo, L., & González-Morales, D. (2018). Lluvia sólida, para un uso eficiente del agua. Resultados preliminares. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(1), 13-20, ISSN: 2227-8761, Publisher: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.
- Cisneros-Zayas, E., González-Robaina, F., Cun-González, R., Herrera-Puebla, J., Matos-Cremé, H., & Sarmiento-García, O. (2021). Los polímeros súper absorbentes y su influencia sobre la productividad del agua en el frijol. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(2), ISSN: 2227-8761.
- Irurtia, C., Mon, R., Holzmann, R., & Pirolo, T. (2012). *Efecto de la poli(acrilamida) en las propiedades físicas de un suelo arenoso*. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/efecto-poliacrilamida-propiedadesfisicas-t31202.htm>
- ISO 11272: 2017. (2017). *Soil quality—Determination of dry bulk density* [ISO-NC]. International Standard Organization (ISO), Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, Publisher: Comité Técnico de Normalización.
- Macías-Duarte, R., Grijalva-Contreras, R. L., Robles-Contreras, F., LópezCarvajal, A., & Núñez-Ramírez, F. (2019). Déficit de riego y aplicación de hidrogel en la productividad de olivo en regiones desérticas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(2), 393-404, ISSN: 2007-0934, Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Olivera, V. D. (2012). *Un universo invisible bajo nuestros pies, los suelos y la vida*. <https://www.madrimasd.org>
- Pérez-de los Reyes, M. L., Chocano, D., Sánchez-Ormeño, M., Bravo, S., Amorós, J. A., & García-Navarro, F. G. (2018). *Estudio de las propiedades de retención de humedad de suelos vitícolas en Castilla-La Mancha (España)*. 50, 10-34, ISBN: 2267-1242.
- Rico, J. (2014). *Para mitigar problemas escasez hídrica: El agua sólida promete regar en épocas de sequía*. <https://www.facebook.com/Silos-de-Agua-LLuvia-Solida-161003817357156>
- Rivera-Fernández, R. D., & Mesías-Gallo, F. (2018). 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, ISSN: 1853-8665, Publisher: SciELO Argentina.
- Rojas-de Gascue, B., Ramírez, M., Aguilera, R., Prin, J. L., & Torres, C. (2006). 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*, 7(3), 199-210, ISSN: 0121-6651, Publisher: Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea.
- Romero-Campos, M., Cid-Lazo, G., González, F., & Araméndiz, T. H. (2020). Curvas tensión humedad y función conductividad hidráulica en suelos pardos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(2), ISSN: 2227-8761.
- Úbeda-Rivera, J. S., & Delgado-Dallatorre, Y. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, 4(7), 889-896, ISSN: 2410-7980.
- Urriola, L. A. (2020). ¿ Por qué estudiar las propiedades físicas del suelo? *Revista Semilla del Este*, 1(1), 23-26, ISSN: 2710-7469.
- Warehouse, A. (2009). Características principales del poli(acrilato) de potasio, [en línea]. *Aqua Warehouse*. www.Aquawarehouse.com
- Zinivand, N., Khodadadi-Dehkordi, D., Kashkuli, H. A., Asareh, A., & Egdernezhad, A. (2020). Evaluación del efecto del polímero súper absorbente en la eficiencia del uso del agua de la planta en condiciones de déficit de agua. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(1), 315-341, ISSN: 2007-2422, Publisher: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Gelsy Ardiles-Martínez, Ingeniera Hidráulica, Universidad Tecnológica de La Habana-CUJAE, Facultad de Ingeniería Civil, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Marianao, La Habana, Cuba, e-mail: enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0001-5284-389X>

Julián Herrera-Puebla, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: julian.herrera@boyeros.iagric.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1015-6661>

Felicita González-Robaina, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: felicita.gonzalez@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8245-4070>

Reinaldo Cun-González, Inv. Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: reinaldo.cun@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5100-7902>

Magdalena Pedroso-Pérez, Técnica de Laboratorio, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: magdalena.pedroso@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-0599-0105>

AUTHOR CONTRIBUTIONS:

Conceptualization: E. Cisneros, J. Herrera. **Data curation:** E. Cisneros, G. Ardiles, M. Pedroso. **Formal analysis:** E. Cisneros, J. Herrera, F. González. **Investigation:** E. Cisneros, G. Ardiles, J. Herrera, M. Pedroso. **Methodology:** E. Cisneros, J. Herrera, F. González, R. Cun. **Software:** E. Cisneros, J. Herrera, F. González. **Supervision:** E. Cisneros, J. Herrera. **Validation:** J. Herrera, R. Cun. **Writing-original draft:** E. Cisneros, G. Ardiles, J. Herrera. **Writing-review & editing:** E. Cisneros, J. Herrera, F. González.

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.

