

Uso De Un Polímero Hidrófilo A Base De Poliacrilamida Para Mejorar La Eficiencia En El Uso Del Agua

Jesús López-Elías, PhD

Sergio Garza O., MSc

José Jiménez L., PhD

Marco Antonio Huez L., PhD

Oscar Damián Garrido L.

Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería,
Hermosillo, Sonora. México

doi: 10.19044/esj.2016.v12n15p160 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n15p160](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n15p160)

Abstract

As an alternative in search of new options to reduce overexploitation of groundwater that allow us to increase agricultural profitability in water scarce areas, the behavior of a commercial hydrophilic polymer based in polyacrylamide (PAM) Lluvia solida[®], was analyzed by evaluating the polymer hydration capacity. The tests that we used showed that this polymer is capable of absorbing its own weight in 268 times when using distilled water. When salts are dissolved in the water, the polymer reduces its water absorbing capacity, the hydration capacity being lower as the salt content increases, with a water absorption reduction up to 116 times its weight. The polymer hydration capacity also decreases significantly when a complete nutritive solution is used, reducing water absorption up to 55 times its weight; in the presence of divalent (Ca^{2+} and Mg^{2+}) and monovalent (K^+ and NH_4^+) cations the polymer hydration capacity reduces proportionally to the cation concentration as an exponential function. Urea did not have any effect in the polymer hydration, thus this fertilizer may be used along with the polymer. The use of this hydrophilic polymer is a tool that improves the water use efficiency but the effect depends on water quality, being reduced by the presence of salts in water.

Keywords: absorption, agriculture, hydrogel, PAM, salinity

Resumen

Como alternativa en la búsqueda de opciones para reducir la sobreexplotación de los mantos freáticos y que permita incrementar la rentabilidad en la agricultura en áreas con escasez de agua, se analizó el comportamiento de un polímero hidrófilo comercial a base de poliacrilamida (PAM), Lluvia sólida[®], evaluándose la capacidad de hidratación del polímero para su aplicación en la agricultura. Las pruebas realizadas mostraron que el polímero es capaz de absorber el equivalente a 268 veces su peso usando agua destilada. Cuando el agua cuenta con presencia de sales, el polímero reduce la capacidad de absorción de agua, siendo menor la capacidad de hidratación a medida que incrementa el contenido de sales con una reducción en la absorción de agua en hasta 116 veces su peso. La hidratación del polímero en presencia de cationes divalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+}) y monovalentes (K^+ y NH_4^+) se reduce de manera proporcional a su contenido, de acuerdo a una función exponencial. La urea no mostró efecto sobre la hidratación del polímero, por lo que este fertilizante puede ser usado en presencia del polímero. El uso del polímero hidrófilo resultó una herramienta que ayuda a mejorar la eficiencia en el uso del agua dada la capacidad de absorción de agua, cuyo efecto depende de la calidad de la misma, viéndose afectada por el contenido de sales.

Palabras clave: Absorción, agricultura, hidrogel, PAM, salinidad

Introducción

El estado de Sonora es una de las principales zonas productoras de frutas y hortalizas de México. Cuenta con una superficie de riego tecnificada de las más importantes en el país; sin embargo, presenta una limitada dotación de volumen de agua con altos costos por concepto de uso de energía eléctrica requerida para su extracción, dotación que se ha visto reducida con el paso de los años debido a la escasez de dicho recurso. El sector agrícola ha realizado grandes esfuerzos para mejorar el aprovechamiento del agua; sin embargo, estudios de recarga del acuífero estiman muy por debajo la recarga. En este orden de ideas, diferentes agrupaciones y dependencias de gobierno coinciden que la reconversión de cultivos y la tecnificación del riego son dos aspectos claves para hacer un uso eficiente del agua. Otra forma de lograr un manejo más eficiente del agua es con el uso de hidrogeles, polímeros a base de acrilamida, altamente absorbentes e insolubles en agua, que constituyen una alternativa limpia y eficiente para reducir las pérdidas de agua en la agricultura propiciadas por la evaporación y percolación, reduciendo los costos tanto en insumos (fertilizantes) al disminuir las pérdidas por infiltración, como en energía eléctrica al aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo y permitir reducir la frecuencia de los riegos. Dada su

alta capacidad de absorción de agua, su uso vendría a ser una alternativa en la búsqueda de opciones para reducir la sobreexplotación de los mantos freáticos, permitiendo también incrementar la rentabilidad en la agricultura en áreas con escasez del recurso agua, como lo es el estado de Sonora. En resumen, la baja disponibilidad de agua, los incrementos en los costos de bombeo, así como el incremento en la demanda de agua por diversos sectores de la sociedad, propician la demanda de tecnología para hacer más eficiente el uso del recurso agua para asegurar la rentabilidad de la agricultura, sin perder de vista la sustentabilidad y la preservación del acuífero, sin deterioro del medio ambiente.

Los hidrogeles, hidrotenedores o súper absorbentes, son polímeros hidrófilos o absorbentes de agua con estructura tridimensional, constituidos generalmente por moléculas orgánicas de cadena larga y elevado peso molecular unidas mediante enlaces transversales entre las cadenas (Kazanskii y Dubroskii, 1991).

El surgimiento de los polímeros hidrófilos a base de poliacrilamida se dio en los Estados Unidos de Norteamérica en la década de los 1950 y con el paso de los años se ha mejorado su capacidad de hidratación de 20 a 400 veces su peso (Freitas *et al.*, 2002). En contacto con agua, esta se desplaza hacia el interior de las partículas de polímero y a medida que el agua se difunde la partícula incrementa su tamaño y las cadenas poliméricas de mueven para acomodar las moléculas de agua; simultáneamente, la presencia de puntos de entrecruzamiento evita que las cadenas en movimiento se separen y por tanto se disuelvan en el agua (Barón *et al.*, 2007).

Desde hace más de 40 años se han realizado estudios que muestran la viabilidad del uso de polímeros hidrófilos para mejorar la capacidad de retención de agua en el suelo, aprovechar el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por percolación, disminuir la evaporación de la misma, reducir de la lixiviación de nutrientes y mejorar la aireación y drenaje del suelo; factores que permiten espaciar la frecuencia de los riegos, favorecen el desarrollo del sistema radicular, el crecimiento de la planta, mejorar la actividad biológica e incrementar la producción (Henderson y Hensley, 1985; Baasiri *et al.*, 1986; Henderson y Hensley, 1986; Lamont y O'Connell, 1987; Cotthem *et al.*, 1991; Bres y Weston, 1993; Mikkelsen *et al.*, 1993; Orzolek, 1993; Nissen, 1994; Mikkelsen *et al.*, 1995; Ross *et al.*, 2003; Rojas *et al.*, 2004; Bernardi *et al.*, 2005; Sojka *et al.*, 2005; Barón *et al.*, 2007; Orts *et al.*, 2007; Rivera *et al.*, 2007; Sojka *et al.*, 2007).

El efecto de los polímeros hidrófilos es más evidente en suelos con drenaje alto (Barón *et al.*, 2007; Idrobo *et al.*, 2010), de textura arenosa (Baasiri *et al.*, 1986; Orzolek, 1993; Ross *et al.*, 2003), al igual que en climas áridos (Baasiri *et al.*, 1986; Katime, 2003; Rojas *et al.*, 2004; Barón *et al.*, 2007; Alburquerque *et al.*, 2009). La presencia de un polímero hidrófilo

favoreció la germinación de plantas de tomate, observándose un efecto positivo sobre la germinación y el crecimiento de las mismas (Rojas *et al.*, 2004). También en tomate, el uso de un retenedor de humedad benefició el incremento del peso seco de raíz y el peso seco de frutos, lo cual se vio reflejado en un aumento de la producción (Rivera *et al.*, 2007). En cilantro, el uso creciente de un polímero hidrófilo incrementó la eficiencia del uso de agua, el rendimiento de materia verde y seca, al igual que el número de plantas, dependiente del volumen de agua aplicada y la temporada de cultivo (Albuquerque *et al.*, 2009). El uso de un polímero hidrófilo en la producción de rábano ha mostrado buenos resultados, observándose un incremento en la retención de humedad, mostrando asimismo una mejor dosificación de los fertilizantes (Idrobo *et al.*, 2010). En frijol, el uso de un polímero hidrófilo bajo condiciones de salinidad en clima árido y semi-árido, tiene gran potencial de uso para reducir el estrés salino en la planta (Kant y Turan, 2011). Evaluando el uso de poliacrilamida sobre la actividad microbiana en el suelo, se observa que esta puede reducir la biomasa activa de bacterias y hongos, aunque no parece afectar de forma apreciable el potencial metabólico microbiano del suelo (Sojka y Entry, 2000; Sojka *et al.*, 2006).

Existen diversos equipos para incorporar el polímero hidrófilo al suelo, tanto en su forma seca como hidratada. Están los que operan con aire a presión que fracturan el suelo y aplican el polímero en forma simultánea, existiendo también aquellos que inyectan el polímero en forma seca con agua a presión alta (3 000 psi) y un venturi que crea un vacío permitiendo introducir el polímero en el flujo de agua (Orzolek, 1993).

La respuesta del polímero depende del tipo de polimerización, su composición y el tipo de entrecruzamiento (Orzolek, 1993; Omidian *et al.*, 1998; Kabir *et al.*, 2015). Las poliamidas pueden ser degradadas biológicamente, por lo que una vez aplicadas en el suelo sufren una paulatina degradación o disociación, influyendo los rayos ultravioletas provenientes del sol en su degradación y el uso de implementos agrícolas en su fraccionamiento (Azzam, 1983; Sojka *et al.*, 2006). Una vez incorporado al suelo, el proceso continuo de humedecimiento y secado por el que atraviesa el polímero trae consigo cambios significativos en la capacidad de absorción y retención de agua, reduciendo su efectividad (Wang y Gregg, 1990; Choudhary *et al.*, 1998). La estabilidad del polímero también se ve afectada por la temperatura, de forma que un incremento en la temperatura reduce la capacidad de retención de agua por el polímero, siendo mayor el efecto a temperaturas superiores a los 60° C (Baasiri *et al.*, 1986; Katime, 2003); situación la cual también se presenta bajo condiciones de temperatura baja, siendo más notorio alrededor de los 15° C (Fitzpatrick *et al.*, 2004; Sojka *et al.*, 2007). El pH también influye en la respuesta del polímero, observándose con poliacrilamida un incremento en la capacidad de hidratación a medida

que el pH aumenta (Katime, 2003). La presencia de sales en la solución favorece el deterioro del polímero (Johnson, 1984; James y Richards, 1986; Bowman *et al.*, 1990; Wang y Gregg, 1990; Orzolek, 1993; Katime, 2003; Ajwa y Trout, 2006; Sojka *et al.*, 2007), siendo en particular los cationes bivalentes los que reducen la capacidad de hidratación de la acrilamida (Myers *et al.*, 1993; Barón *et al.*, 2007). Su efecto en riego presurizado no es tan marcado como en riego por gravedad (Sojka y Surapaneni, 2000; Sojka *et al.*, 2007).

Por lo anterior, es necesario realizar pruebas con los polímeros hidrófilos en diferentes cultivos y condiciones edafoclimáticas, para definir la cantidad y forma de aplicación más conveniente en cada situación (Bernardi *et al.*, 2005).

El objetivo del presente estudio consistió en evaluar el efecto de la calidad del agua en la capacidad de hidratación de un polímero hidrófilo a base de poliacrilamida (PAM).

Materiales y Métodos

El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de Irrigación del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, localizado en el km. 21 de la carretera Hermosillo a Bahía de Kino, en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México (29° 00' 50" N, 111° 08' 04" O).

Se utilizó el polímero hidrófilo comercial Lluvia Sólida[®], que es un poliacrilato de potasio a base de 94.13% de poliacrilamida (PAM) y 5.87% de humedad, con presentación en forma de granulado sólido.

Durante el verano de 2015 se realizaron tres pruebas de laboratorio, mismas que se detallan a continuación.

Prueba 1

Prueba de laboratorio usando agua destilada, agua de lluvia colectada en el pluviómetro de la estación meteorológica del Campo Experimental de la Universidad de Sonora, México (29° 00' 50" N, 111° 08' 05" O), así como agua proveniente de cuatro pozos agrícolas de la Costa de Hermosillo, en Sonora, México y cuyo análisis se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de las muestras de agua usadas en el estudio

Variable	Origen					
	Agua destilada	Agua de lluvia	La Choya	Campo Nuevo	DAG	La Brea
C.E. X 10 a 25° C	8.1	99.2	492.0	518.0	572.6	474.0
pH	6.77	7.16	6.81	6.94	7.29	7.39
SD (ppm)	0.0	0.0	314.8	331.5	366.4	303.3
RAS			1.57	1.71	1.14	1.56
	meq L ⁻¹					
Ca ²⁺	0.00	0.00	2.40	2.47	3.24	2.32
Mg ²⁺	0.00	0.00	0.55	0.55	0.80	0.50
Na ⁺	0.00	0.00	1.90	2.09	1.62	1.85
K ⁺	0.00	0.00	0.07	0.07	0.06	0.09
CO ₃ ²⁻	0	0	0	0	0	0
HCO ₃ ⁻	0.0	0.0	3.2	3.8	3.6	3.6
Cl ⁻	0	0	1	1	2	1
SO ₄ ²⁻	0.00	0.00	0.72	0.38	0.12	0.14

La Choya, 28° 50' 06'' latitud Norte y 111° 34' 43'' longitud Oeste.

Campo Nuevo, 28° 50' 16'' latitud Norte y 111° 27' 32'' longitud Oeste.

DAG, 29° 00' 49'' latitud Norte y 111° 07' 57'' longitud Oeste.

La Brea, 28° 47' 47'' latitud Norte y 111° 20' 34'' longitud Oeste.

La capacidad de hidratación del polímero hidrófilo se determinó añadiendo 2.5 g del polímero en 500-800 mL de agua, usando el mayor volumen para el agua destilada y el agua de lluvia, dejando reposar seis horas y a continuación drenar usando una malla de 1 mm y cuantificar el volumen drenado. Por diferencia entre el volumen añadido y el volumen drenado se obtuvo el volumen de agua absorbido, el cual dividido entre la cantidad de polímero usado dio como resultado la capacidad de hidratación del polímero expresado en mL g⁻¹ de polímero.

Prueba 2

Para esta prueba se usó agua proveniente de cuatro pozos agrícolas de la Costa de Hermosillo, en Sonora, México, cuyo análisis se presenta en la Tabla 1, adicionando una solución nutritiva completa consistente en 12.25 meq L⁻¹ de NO₃⁻, 1.25 meq L⁻¹ de H₂PO₄⁻, 5.00 meq L⁻¹ de K⁺, 8.50 meq L⁻¹ de Ca²⁺ y 3.50 meq L⁻¹ de Mg²⁺, para lo cual se usó nitrato de calcio (Ca(NO₃)₂), nitrato de potasio (KNO₃), fosfato monopotásico (KH₂PO₄) y sulfato de magnesio (MgSO₄), fertilizantes comúnmente usados por el agricultor.

La capacidad de hidratación se determinó añadiendo 2.5 g del polímero en 300 mL de agua, dejando reposar seis horas y a continuación

drenar usando una malla de 1 mm y cuantificar el volumen drenado. Por diferencia entre el volumen añadido y el volumen drenado se obtuvo el volumen de agua absorbido, el cual dividido entre la cantidad de polímero usado dio como resultado la capacidad de hidratación del polímero expresado en mL g⁻¹ de polímero.

Prueba 3

Para los análisis realizados en esta prueba, las sales usadas fueron nitrato de calcio (Ca(NO₃)₂) en dosis de 0, 2, 4, 6, 8 y 10 meq L⁻¹ de Ca²⁺, sulfato de magnesio (MgSO₄) en dosis de 0, 1, 2, 3 y 4 meq L⁻¹ de Mg²⁺, sulfato de potasio (K₂SO₄) en dosis de 0, 2, 4, 6 y 8 meq L⁻¹ de K⁺, sulfonit (NH₄NO₃+3%S) en dosis de 0, 6, 9 y 12 meq L⁻¹ de nitrógeno y urea (CO(NH₂)₂) en dosis de 0, 10, 12, 14 y 16 meq L⁻¹ de nitrógeno ureico.

La capacidad de hidratación se determinó añadiendo 2.5 g del polímero en agua destilada, cuyo volumen fluctuó de 300-800 mL, usando el mayor volumen para el agua destilada sin nitrato de calcio (Ca(NO₃)₂), dejando reposar seis horas y a continuación drenar usando una malla de 1 mm y cuantificar el volumen drenado. Por diferencia entre el volumen añadido y el volumen drenado se obtuvo el volumen de agua absorbido, el cual dividido entre la cantidad de polímero usado dio como resultado la capacidad de hidratación del polímero expresado en mL g⁻¹ de polímero.

El diseño experimental de las pruebas realizadas fue completamente al azar, con cinco repeticiones. Una vez comprobada la normalidad de los datos, utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnoff, se realizó su análisis usando el paquete estadístico SAS 6.12 (SAS Institute Inc., 1996), efectuando el análisis de varianza de los datos y obteniendo la prueba de rango múltiple de Duncan con nivel de probabilidad del 5%.

Resultados y Discusión

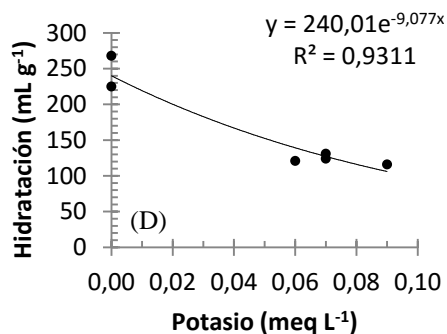
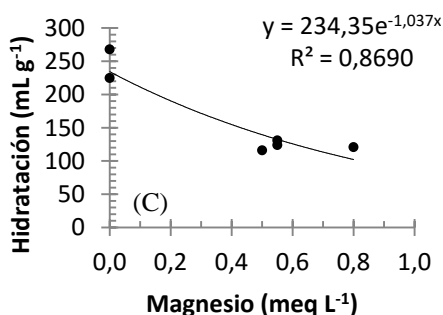
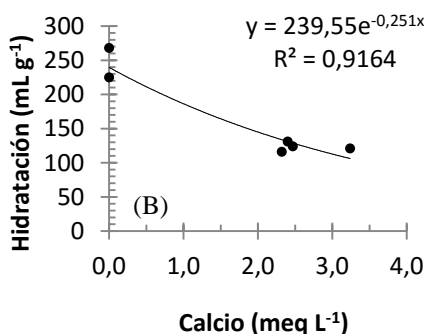
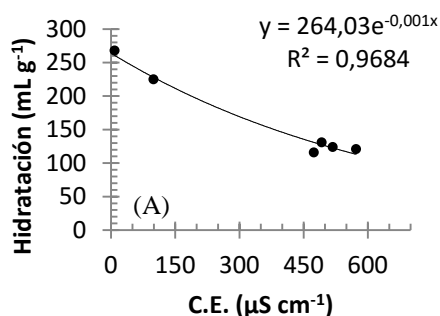
Prueba 1

En la Tabla 2 se presenta la capacidad de hidratación con los diferentes tipos de agua evaluados, donde se observa que tanto con el agua destilada como con el agua de lluvia se tiene la mayor capacidad de hidratación, siendo esta 268 veces su peso en agua al usar agua destilada, observándose una reducción en la capacidad de hidratación al usar agua de pozo, coincidiendo con los resultados obtenidos por Akhter *et al.* (2004), al igual que Frantz *et al.* (2005), reducción que en el presente estudio representó el 54% en promedio.

Tabla 2. Capacidad de hidratación del polímero hidrófilo con diferentes tipos de agua

Origen	Hidratación (veces su peso)	Diferencia (%)
Agua destilada	268	-
Agua de lluvia	225	-16.0
La Choya	131	-51.1
Campo Nuevo	124	-53.7
DAG	121	-54.9
La Brea	116	-56.7

En la Figura 1 se observa como la función exponencial se ajusta a los datos, mostrando que a medida que incrementa en el agua la C.E., CO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} se reduce significativamente la capacidad de hidratación del polímero hidrófilo, con $R^2 > 0.8500$, lo cual muestra que no es solo una sal la que reduce la capacidad de hidratación del polímero. No encontrándose efecto por Cl^- , SO_4^{2-} y pH (datos no presentados).



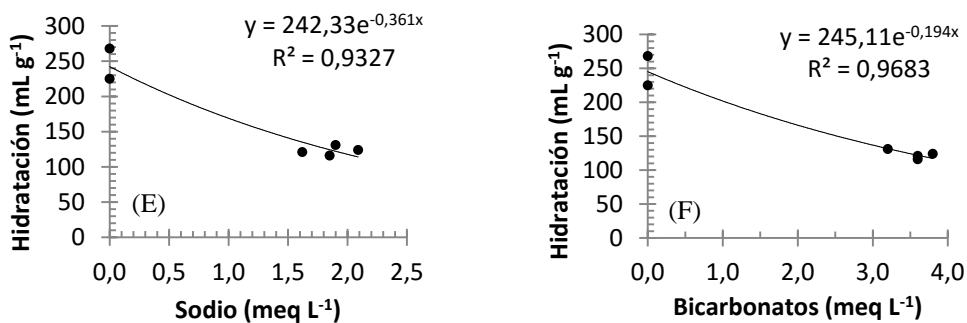


Figura 1. Capacidad de hidratación del polímero hidrófilo en respuesta a: (A) Conductividad eléctrica, (B) calcio, (C) Magnesio, (D) Potasio, (E) Sodio y (F) Bicarbonatos

Los resultados obtenidos coinciden con Katime (2003), quien menciona que la solución con la cual el polímero se hidrata suele tener sales disueltas, cuya naturaleza y cantidad depende de la composición del sustrato, el grado de salinidad, el tipo de agua o incluso de los fertilizantes que se utilizan, siendo componentes mayoritarios cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} y aniones como Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , que afectan el grado de hidratación del polímero, haciendo necesario usar una cantidad mayor.

Por lo anterior, la presencia de sales en el agua proveniente de pozos agrícolas hace necesario incrementar en promedio 2.2 veces la cantidad de polímero a usar, para lograr el resultado obtenido con agua destilada; es decir, sin presencia de sales.

Prueba 2

En la Tabla 3 se presenta la capacidad de hidratación del polímero al añadir al agua de pozo los fertilizantes comúnmente usados por el agricultor, donde se observa que la incorporación de fertilizantes en el agua reduce la capacidad de hidratación en un 50.3% en promedio, por lo que es necesario incrementar en promedio 4.4 veces la cantidad de polímero hidrófilo a usar para lograr el mismo resultado que el obtenido con agua destilada.

Tabla 3. Capacidad de hidratación del polímero hidrófilo para diferentes tipos de agua de pozo, añadiendo fertilizantes

Origen	Hidratación (veces su peso)	Diferencia ^z (%)
La Choya	64	-51.1
Campo Nuevo	55	-55.6
DAG	63	-47.9
La Brea	62	-46.6

^z diferencia con respecto al agua de pozo sin fertilizantes.

Los resultados coinciden con Bowman *et al.* (1990), Wang y Gregg (1990), Freitas *et al.* (2002), al igual que Akhter *et al.* (2004), quienes mencionan que al usar una solución a base de fertilizantes se da el deterioro del polímero, propiciado por la presencia de sales en el agua de riego, y cuya capacidad de hidratación disminuirá aún más durante los riegos subsecuentes debido al incremento en la concentración de sales (Akhter *et al.*, 2004).

Prueba 3

En la Figura 2 (A y B) se observa una función exponencial, mostrando que en una solución a base de nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) a medida que incrementa la C.E. y la concentración de calcio (Ca^{2+}), se reduce significativamente la capacidad de hidratación del polímero, siendo mayor el efecto por la C.E., con una R^2 de 0.9357, lo cual muestra que el calcio presente en el fertilizante tiene efecto negativo en la capacidad de hidratación del polímero.

En la Figura 2 (C y D) se observa una función exponencial, mostrando que en una solución a base de sulfato de magnesio (MgSO_4) a medida que incrementa la C.E. y la concentración de magnesio (Mg^{2+}), se reduce significativamente la capacidad de hidratación del polímero, siendo mayor el efecto por la C.E., con una R^2 de 0.9839, lo cual muestra que el magnesio presente en el fertilizante tiene efecto negativo en la capacidad de hidratación del polímero.

En la Figura 2 (E y F) se observa una función exponencial, mostrando que en una solución a base de sulfato de potasio (K_2SO_4) a medida que incrementa la C.E. y la concentración de potasio (K^+), se reduce significativamente la capacidad de hidratación del polímero, siendo mayor el efecto por la C.E., con una R^2 de 0.9588, lo cual muestra que el potasio presente en el fertilizante tiene efecto negativo en la capacidad de hidratación del polímero.

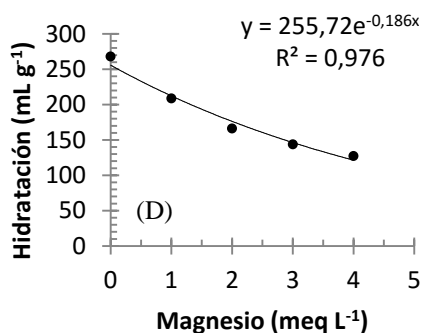
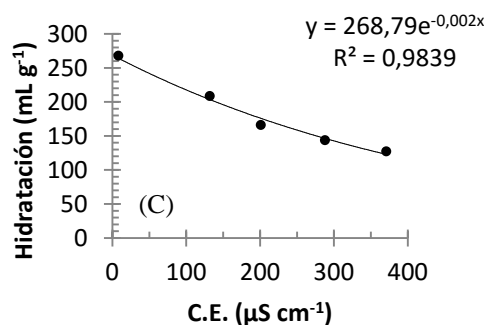
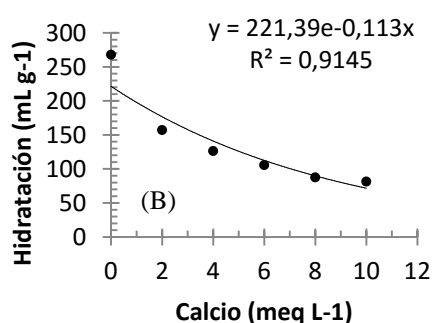
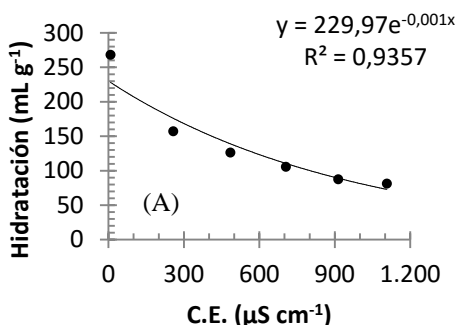
En la Figura 2 (G y H) se observa una función exponencial, mostrando que en una solución a base de sulfonit ($\text{NH}_4\text{NO}_3+3\%S$) a medida que incrementa la C.E. y la concentración de nitrógeno enriquecido con azufre, se reduce significativamente la capacidad de hidratación del polímero, con una R^2 de 0.8539 y 0.8970 respectivamente, lo cual muestra que el nitrógeno presente en el fertilizante tiene efecto negativo en la capacidad de hidratación del polímero.

En la Figura 2 (I y J) se observa una función exponencial, mostrando que en una solución a base de urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) a medida que incrementa la C.E. y la concentración de nitrógeno amídico (ureico), no se reduce la capacidad de hidratación del polímero en forma significativa, lo cual muestra

que el nitrógeno presente en la urea no tiene efecto en la capacidad de hidratación del polímero.

Los resultados obtenidos coinciden con Myers *et al.* (1993) y Frantz *et al.* (2005), quienes evaluando el uso de un polímero a base de acrilamida observaron que la adición de calcio (Ca^{2+}) disminuyó la capacidad de hidratación del polímero al incrementar la dosis de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en la solución, condición que es señalada también por Ajwa y Trout (2006) al igual que Barón *et al.* (2007); coincidiendo también con Johnson (1984), James y Richards (1986), al igual que Evans y Bowman (1989), quienes observaron un incremento en el deterioro del polímero al usar soluciones que contenían sales como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} y Na^+ .

Los resultados coinciden también con Bowman *et al.* (1990), quienes encontraron que la hidratación del polímero no se ve afectada con la adición de Urea; aunque no así con la presencia de cationes divalente (Ca^{2+} y Mg^{2+}), al igual que con cationes monovalentes (K^+ y NH_4^+), que reducen la hidratación del polímero.



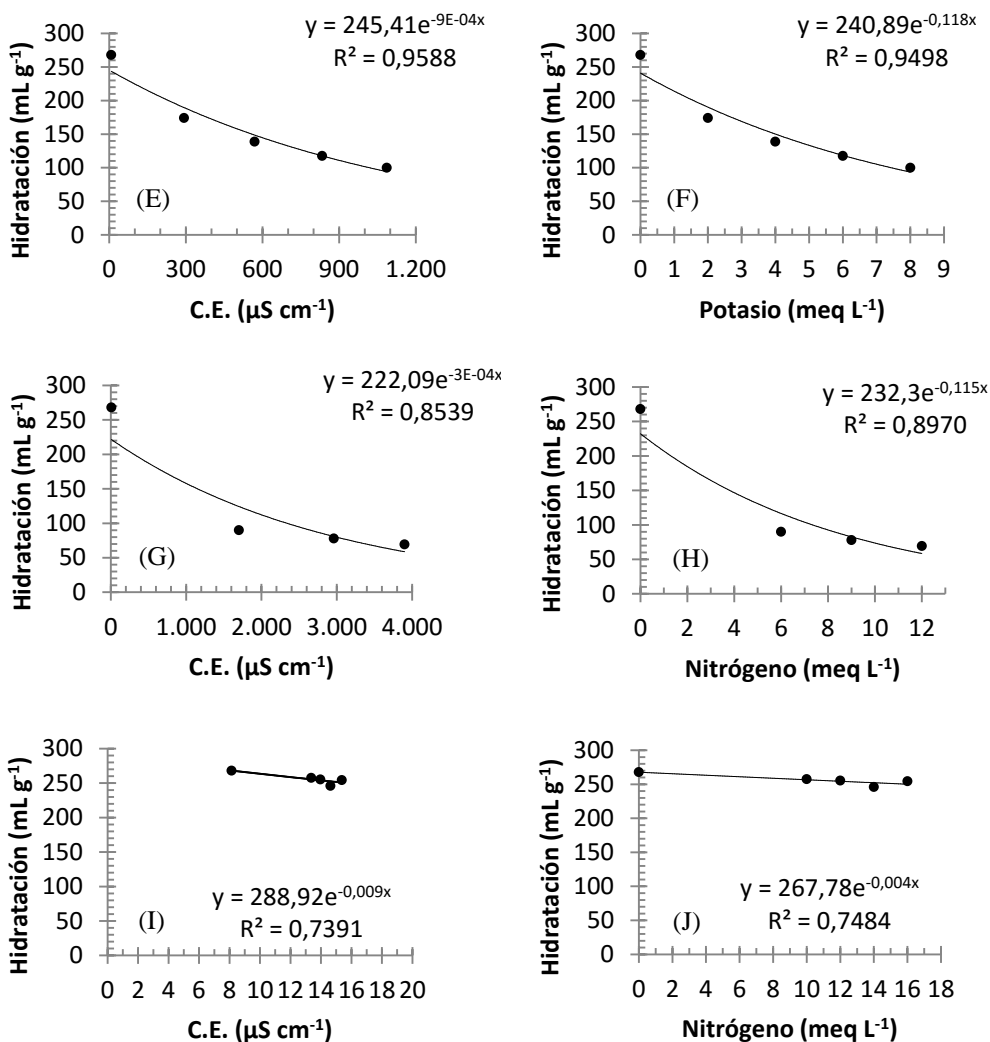


Figura 2. Capacidad de hidratación del polímero hidrófilo en respuesta a la conductividad eléctrica y concentración de: (A y B) Nitrato de calcio (Ca(NO₃)₂), (C y D) sulfato de magnesio (MgSO₄), (E y F) sulfato de potasio (K₂SO₄), (G y H) sulfonit (NH₄NO₃+3%S) y (I y J) urea (CO(NH₂)₂)

El incremento en la conductividad eléctrica (CE) de la solución aplicada al polímero coincide con los estudios realizados por Wang y Boogher (1987), Bowman *et al.* (1990), al igual que Bhat *et al.* (2009); lo cual muestra que nutrientes y otras sales son incorporadas al medio con el uso del polímero, el cual a su vez las retiene y por lo tanto deberá tenerse en cuenta en el programa de fertilización.

Conclusión

El uso del polímero hidrófilo es una herramienta que ayuda a mejorar la capacidad de absorción de agua, permitiendo mejorar la eficiencia en el uso del agua; cuyo efecto depende de la calidad del agua, viéndose reducida significativamente la capacidad de hidratación del polímero con la presencia de sales en el agua de riego. Aunque no en el caso de la Urea, el uso de fertilizantes comúnmente usados en la agricultura reduce la capacidad de hidratación del polímero, siendo menor la capacidad de absorción de agua a medida que incrementa el contenido de sales en el agua. La hidratación del polímero en la presencia de cationes divalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+}) y cationes monovalentes (K^+ y NH_4^+) se reduce de manera proporcional a su contenido, de acuerdo a una función exponencial.

References:

- Ajwa, H.A.; Trout, T.J. "Polyacrylamide and water quality effects on infiltration in sandy loam soils". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006, 70(2): 643-650.
- Akhter, J.; Mahmood, K.; Malik, K.A.; Mardan, A.; Ahmad, M.; Iqbal, M.M. "Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea". *Plant Soil Environ.* 2004, 50(10): 463-469.
- Albuquerque, J.A.C.; De Lima, V.L.A.; Menezes, D.; Azevedo, C.A.V.; Dantas, J.; Da Silva, J.G. "Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2009, 13(6): 671-679.
- Azzam, R.A.I. "Polymeric conditioner gels for desert soils". *Communication Soil Science Plant* 1983, 14: 739-760.
- Baasiri, M.; Ryan, J.; Muckeih, M.; Harih, S.N. "Soil application of a hydrophilic conditioner in relation to moisture, irrigation frequency and crop growth". *Soil Science* 1986, 17: 573-589.
- Barón, A.; Barrera, I.X.; Boada, L.F.; Rodríguez, G. "Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales". *Revista Ingeniería e Investigación* 2007, 27(3): 35-44.
- Bernardi, A.C.; Tavares, S.R.; Angelune, A. "Produção de meloeiro utilizando um polímero hidrofílico em diferentes frequências de irrigação em casa-de-vegetação". *Irriga, Botucatu* 2005, 10(1): 82-87.
- Bhat, N.R.; Suleiman, M.K.; Al-Menaie, H.; Al-Ali, E.H.; Al-Mulla, L.; Christopher, A.; Lekha, V.S.; Ali, S.I.; George, P. "Polyacrylamide polymer and salinity effects on water requirement of *Conocarpus lancifolius* and selected properties of sandy loam soil". *European Journal of Scientific Research* 2009, 25(4): 549-558

- Bowman, D.C.; Evans, R.Y.; Paul J.L. “Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amended container media”. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1990, 115(3): 382-386.
- Bres, W.; Weston, L.A. “Influence of gel additives on nitrate, ammonium, and water retention and tomato growth in a soilless medium”. *Horticulture Science* 1993, 28(10): 1005-1007.
- Choudhary; M.I.; Al-Omran, A.M.; Shalaby, A.A. “Physical properties of sandy soil affected by soil conditioner under wetting and drying cycles”. *Agricultural Science* 1998, 3(2): 69-74.
- Cotthem, V.; Lehtonen, H.S.; Rotter, R.P.; Kahiluoto, M.H. *Hydrogel devices in agriculture*. Soil Technology 1991, pp. 183-189.
- Fitzpatrick, C.S.B.; Fradin, E.; Gregory, J. “Temperature effects on flocculation, using different coagulants”. *Water Sci. Technol.* 2004, 50(12): 171-175.
- Frantz, J.M.; Locke, J.C.; Pitchay, D.S.; Krause, C.R. “Actual performance versus theoretical advantages of polyacrylamide hydrogel throughout bedding plant production”. *HortScience* 2005, 40(7): 2040-2046.
- Freitas, T.L.; Bertonha, A.; Andrade, A.C. “Uso de hidrogel na agricultura”. *Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta* 2002, 1(1): 23-31.
- Henderson, J.C.; Hensley, D.L. “Ammonium and nitrate retention by a hydrophilic gel”. *Horticulture Science* 1985, 20(4): 667-667.
- Henderson, J.C.; Hensley, D.L. “Efficacy of a hydrophilic gel as a transplant aid”. *Horticulture Science* 1986, 21(4): 991-992.
- Idrobo, H.; Rodríguez, A.M.; Díaz, J.E. “Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos”. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 2010, 9: 33-37.
- James, E.A.; Richards, D. “The influence of iron source on the water-holding properties of potting media amended with water-absorbing polymers”. *Scientia Horticulturae* 1986, 28: 201-208.
- Johnson, M.S. “Effect of soluble salts on water absorption by gel-forming soil conditioners”. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 1984, 35(10): 1063-1066.
- Kabir, M.H.; Amano, Y.; Harada, S.; Gong, J.; Furukawa, H. “Chemically cross-linked hydrogel having high mechanical strength”. *European Scientific Journal* 2015, 11(6): 1-10.
- Kant, A.C.; Turan, M. “Hydrogel substrate alleviates salt stress with increase antioxidant enzymes activity of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress”. *African Journal of Agricultural Research* 2011, 6(3): 715-724.
- Katime, I.A. *Hidrogel inteligentes*. Revista Iberoamericana de Polímeros. Bilbao, España 2003, 42 pp.

- Kazanskii, K.; Dubroskii, S. "Chemistry and physics of agricultural hidrogels". *Adv. Polym. Sci.* 1991, 104: 97-133.
- Lamont, G.P.; O'Connell, M.A. "Shelf-life of bedding plants as influenced by potting media and hydrogels". *Scientia Horticulturae* 1987, 31: 141-149.
- Mikkelsen, R.L.; Behel, A.D.; Williams, H.M. "Addition of gel-forming hydrophilic polymers to nitrogen fertilizer solutions". *Fertilizer Research* 1993, 36: 55-61.
- Mikkelsen, R.L.; Behel, A.D.; Williams, H.M. "Using hidrophilic polymers to improve uptake of manganese fertilizers by soybeans". *Fertilizer Research* 1995, 41: 87-92.
- Myers, P.N.; Cutler, J.W.; Mitchell, C.A. "SuperSorb-C as a growth matrix for Ca²⁺ nutrition studies of dark-grown seedlings". *HortScience* 1993, 28(5): 170.
- Nissen, J. "Uso de hidrogel en la producción de frambuesas (*Rubus idaeus*) del sur de Chile". *Agro Sur* 1994, 22(2): 160-164.
- Omidian, H.; Hashemi, S.A.; Sammes, P.G.; Meldrum, I. "A model for the swelling of superabsorbent polymers". *Polymer* 1998, 39(26): 6697-6704.
- Orts, W.J.; Roa-Espinosa, A.; Sojka, R.E.; Glenn, G.M.; Iman, S.H.; Erlacher, K.; Pedersen, J.S. "Use of synthetic polymers and biopolymers for soil stabilization in agricultural, construction, and military applications". *Journal of Materials in Civil Engineering* 2007, 19(1): 58-66.
- Orzolek, M.D. "Use of hydrophylic polymers in horticulture". *HortTechnology* 1993, 3(1): 41-44.
- Rivera, C.A.; Baeza, C.A.; Chavarriaga, W. "Efecto de un retenedor de agua y dosis crecientes de fertilizantes foliares sobre la producción de tomate chonto y larga vida bajo cubierta plástica agroclear". *Agron.* 2007, 15(1): 103-119.
- Rojas, B.; Aguilera, R.; Prin, J.L.; Cequea, H.; Cumana, J.; Rosales, E.; Ramírez, M. "Estudio de la germinación de semillas de tomate en suelos áridos extraídos de la península de Araya (Venezuela) al utilizar polímeros de tipo hidrogel". *Revista Iberoamericana de Polímeros* 2004, 5(1): 17-27.
- Ross, C.W.; Sojka, R.E.; Foerster, J.A. "Scanning electron micrographs of polyacrylamide-treated soil in irrigation furrows". *J. Soil Water Conservation* 2003, 58(5)327-331.
- SAS Institute Inc. *The SAS System for Windows Release 6.12*. Cary, N. C. USA. 1996.
- Sojka, R.E.; Entry, J.A. "Influence of polyacrylamide application to soil on movement of microorganisms in runoff water". *Environmental Pollution* 2000, 108(3): 405-412.
- Sojka, R.E.; Surapaneni, A. *Potential use of Polyacrylamide (PAM) in Australian agriculture to improve off- and on-site environmental impacts*

and infiltration management. USDA Agricultural Research Service. UNE39 2000, 37 pp.

Sojka, R.E.; Bjorneberg, D.L.; Entry, J.A.; Lentz, R.D.; Orts, W.J. "Polyacrylamide in agriculture and environmental land management". *Advances in Agronomy* 2007, 92: 75-162.

Sojka, R.E.; Entry, J.A.; Fuhrmann, J.J. "The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil". *Applied Soil Ecology* 2006, 32(2): 243-252.

Sojka, R.E.; Entry, J.A.; Orts, W.J.; Morishita, D.W.; Ross, C.W.; Horne, D.J. "Synthetic- and bio-polymer use for runoff water quality management in irrigation agriculture". *Water Science & Technology* 2005, 51(3-4): 107-115.

Wang, Y.-T.; Boogher, C.A. "Effect of a medium-incorporated hydrogel on plant growth and water use of two foliage species". *J. Environ. Hort.* 1987, 5(3): 125-127.

Wang, Y.-T.; Gregg, L.L. "Hydrophilic polymers- Their response to soil amendments and effect on properties of a soilless potting mix". *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1990, 115(6): 943-948.