

LOS HIDROGELES POLIMÉRICOS COMO POTENCIALES RESERVORIOS DE AGUA Y SU APLICACIÓN EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE TOMATE EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS

**Blanca Rojas de Gascue¹, Marvelis Ramírez², Rocelis Aguilera¹,
José Luis Prin¹ y Carlos Torres²**

1) Universidad de Oriente, Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas, IIBCA-UDO, Cerro del Medio, Apdo. Postal 245, Cumaná. Edo. Sucre. Venezuela

2) Universidad de Los Andes, Departamento de Química, Grupo de Polímeros, Edo. Mérida, Venezuela

RESUMEN

Se estudio la germinación de semillas certificadas de tomate en dos tipos de suelos utilizando un hidrogel comercial y un hidrogel sintetizado en el laboratorio a partir de acrilamida(AAm) /ácido maléico (AM), N,N'-metilenbisacrilamida y persulfato de amonio. Para la germinación y crecimiento de las semillas se siguió un diseño experimental considerando dos variables: la primera consistió en el uso de dos tipos de hidrogeles, uno comercial (HG1) y el otro sintetizado en el laboratorio (HG2). La segunda variable fue el uso de suelos diferentes, uno extraído de Guayacán, Península de Araya, Estado Sucre y el otro extraído de las riberas del río de San Juan, Edo. Sucre. Además, se realizaron ensayos patrones con suelos sin hidrogel. Bajo estas condiciones, se sembraron 42 semillas certificadas de tomate y se mantuvo una condición de riego que fue de cada 3 días, con 20 mL de agua durante 41 días. Se ha observado que la presencia del hidrogel favoreció significativamente la germinación de las plantas en comparación con el suelo de Araya en su estado natural. Estos resultados permiten concluir que, en principio la presencia de los hidrogeles y su capacidad de absorber y retener agua tienen un efecto positivo sobre la germinación de las plantulas en este tipo de suelos.

Palabras claves: Hidrogeles, germinación, Península de Araya.

INTRODUCCIÓN

Los hidrogeles se pueden definir como materiales poliméricos entrecruzados en forma de red tridimensional de origen natural o sintético, que se hinchan en contacto con el agua formando materiales blandos y elásticos, y que retienen una fracción significativa de la misma en su estructura sin disolverse (1).

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.

Una aplicación que está cobrando interés en la actualidad es el empleo de estos polímeros en el campo de la agricultura, para aumentar la capacidad de retención de agua del suelo, favoreciendo por tanto el desarrollo de las plantas. Al mezclar el hidrogel con el suelo se logra, 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 factores son suficientes para mejorar la actividad biológica y aumentar la producción del suelo. Además, la utilización de polímeros también produce una mejora de la estructura del suelo y de la aireación del mismo. Así el uso de este tipo de polímeros permitirá, por ejemplo, la recuperación de zonas semiáridas o terrenos de cultivo abandonados y poco fértiles cuando se emplea de forma extensiva (2,3). El estudio de materiales con propiedades especiales que permitan el aprovechamiento de estos suelos, ha encontrado en los hidrogeles una posible solución, siendo utilizados en terrenos desérticos para mantener la humedad, y en regiones montañosas, en las que las lluvias arrastran las sustancias necesarias para el desarrollo de cultivos, para la liberación controlada de sales orgánicas y abonos nitrogenados (4-6).

Entre las características más importantes de los hidrogeles se encuentran su capacidad de absorción y retención de agua, que depende de la naturaleza de los comonomeros empleados en su síntesis y del grado de entrecruzamiento de la red macromolecular.

El empleo de hidrogeles superabsorbentes en aplicaciones agrícolas necesitan unos requerimientos mínimos, ya que no se puede utilizar al azar cualquier tipo de hidrogel sino que es necesario estudiar previamente su comportamiento antes de su empleo. El mal uso de los hidrogeles puede provocar grandes pérdidas económicas. Es por ello que el objetivo de este

trabajo fue evaluar el desempeño de un hidrogel sintetizado en el Laboratorio a partir del desarrollo de semillas certificadas de tomate en diferentes tipos de suelos.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Síntesis de los hidrogeles. Se preparó el hidrogel utilizando los reactivos combinados de la siguiente forma: Acrilamida (AAm)/ácido maléico (AM). Como agente entrecruzante se utilizó N,N'-metilenbisacrilamida (1%) y como iniciador persulfato de amonio (0,5%). El disolvente fue agua destilada. Las cantidades correspondientes de acrilamida (1,8 g), ácido maléico (0,2 g) y agente entrecruzante (0,02 g) se disolvieron en agua destilada. A continuación se agregó el iniciador, se agitó hasta total disolución y se colocó en un baño de aceite a 60°C, donde permaneció por 3 horas hasta la formación de los geles.

Una vez terminada la polimerización, los geles se extrajeron, se lavaron con agua destilada, se cortaron en forma de pastilla y se secaron a temperatura ambiente hasta alcanzar peso constante. A los hidrogeles completamente secos se les conoce como xerogeles.

2.2. Evaluación de los polímeros hidrogeles en la germinación de semillas de tomate en dos tipos de suelos. En este ensayo se utilizaron semillas de tomate por ser una planta de rápido crecimiento. La germinación y crecimiento de semillas certificadas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) se siguió por medio del diseño experimental descrito en la Tabla 1. Para cada condición, se sembraron 42 semillas usando recipientes con capacidad de 250 mL, en donde se colocaron las mezclas de suelo/hidrogel. En cada uno, se sembraron 3 semillas con lo cual (para cada condición) se prepararon 14 recipientes

La primera variable consistió en el uso de dos tipos de hidrogeles, uno comercial (HG1) y el otro sintetizado en el laboratorio (HG2), AAm/AM (90/10) al 1% de agente entrecruzante. La segunda variable fue el uso de suelos diferentes, uno extraído de Guayacán, Península de Araya, Estado Sucre y el otro extraído de las riberas del río de San Juan, Estado Sucre. Además, se realizaron ensayos patrones con suelos sin hidrogel. Finalmente, se varió la proporción de hidrogel, según lo descrito en la Tabla 1.

Para cada condición del diseño experimental (Tabla 1), se trituró y purificó el hidrogel en agua desionizada durante 48 horas usando la proporción 0,1 g/L (hidrogel/agua). Transcurrido este

tiempo, el hidrogel fue extraído del agua y secado a temperatura ambiente hasta alcanzar masa constante. Para el riego se utilizaron 20 mL de agua desionizada, por recipiente, cada tres días.

En la condición 6 después que la planta estuvo desarrollada se detuvo el riego para medir la absorción de agua por parte del hidrogel en función del tiempo.

Tabla 1. Diseño experimental para seguir la germinación de semillas

Tratamientos	% de hidrogel	Suelo	Observaciones
1	0,45	Araya	
2	0	Araya	Patrón
3	0,45	San Juan	
4	0	San Juan	Patrón
5	0,90	Araya	
6	0,45	Araya	Para medir en función del tiempo
7	0.45 (HG2)	Araya	

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Efecto de los hidrogeles en la germinación y crecimiento de semillas de tomate.

Una de las principales aplicaciones de los hidrogeles es en el campo de la agricultura, especialmente, en los suelos áridos. Con el fin de comparar el comportamiento de semillas de planta de vida corta en uno de los hidrogeles sintetizados en el laboratorio, respecto a uno comercial y respecto al suelo árido sin hidrogeles se planteó el diseño experimental descrito en la Tabla 1.

En el experimento planteado se evaluó: el efecto de la concentración del hidrogel respecto al suelo, el tipo de suelo y el control donde las semillas se sembraron, en los dos tipos de suelos, en ausencia de hidrogeles.

Para cada condición se siguieron 42 semillas cuyos resultados en el tiempo se muestran en la Tabla 2. En esta tabla se evidencia que la desviación estándar en todas las condiciones fue baja, manteniéndose por debajo de ± 1 cuando se utilizó el hidrogel comercial (HG1), y menor a 6 para el hidrogel sintetizado (HG2) en el laboratorio. A continuación, se discutirá el efecto de cada variable sobre los resultados reportados en esta tabla.

Tabla 2. Número de semillas germinadas

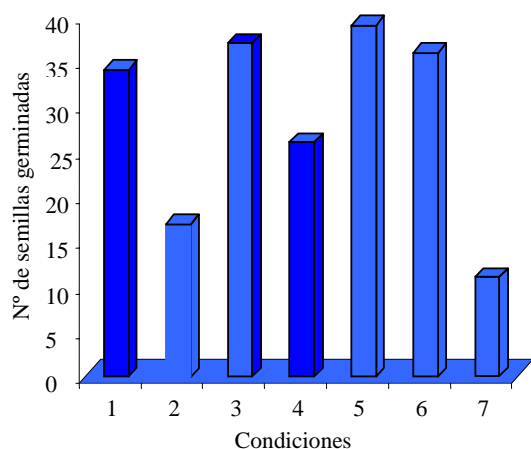
Días/Condición	1	2	3	4	5	6	7
7	35±1,0	17±3,9	37±0,8	26±2,5	38±0,6	36±0,9	11±4,8
14	38±0,6	9±5,2	39±0,5	33±1,4	40±0,3	38±0,6	23±2,9
21	38±0,6	-	39±0,5	33±1,4	40±0,3	38±0,6	6±5,6
28	38±0,6	-	39±0,5	33±1,4	40±0,3	38±0,6	6±5,6
34	38±0,6	-	39±0,5	26±2,5	40±0,3	38±0,6	6±5,6
41	38±0,6	-	39±0,5	17±3,9	40±0,3	38±0,6	6±5,6

Condición:

- 1: HG1: (0,45%)/suelo de Araya
- 2: HG1: (0%)/suelo de Araya (control)
- 3: HG1: (0,45%)/suelo de San Juan
- 4: HG1: (0,%) /suelo de San Juan
- 5: HG1: (0,90%)/suelo de Araya
- 6: HG1: (0,45%)/suelo de Araya
- 7: HG2: (0,45%)/suelo de Araya

3.2. Germinación de las semillas de tomate. En la figura 1, se compara la germinación de las semillas de tomate a los 7 días, donde se puede apreciar que en todas las condiciones hubo germinación. No obstante, se observó una mayor cantidad de semillas germinadas en las condiciones donde estaba presente el hidrogel comercial. En la condición 7 también estaba presente un hidrogel, pero este sintetizado en el laboratorio con base a acrilamida (AAM) y ácido maléico (AM) (90/10), la germinación de las semillas de tomate fue menor.

En la figura 2, se puede observar que el hidrogel sintetizado tiene menor retención de humedad y, con ello, reservas hídricas menores en comparación con el hidrogel comercial, lo que justifica que la germinación fuese más baja.



Condiciones:

- 1: HG1: (0,45%)/suelo de Araya
- 2: HG1: (0%)/suelo de Araya (control)
- 3: HG1: (0,45%)/suelo de San Juan
- 4: HG1: (0,%) /suelo de San Juan
- 5: HG1: (0,90%)/suelo de Araya
- 6: HG1: (0,45%)/suelo de Araya
- 7: HG2: (0,45%)/suelo de Araya

Figura 1. Nº de semillas germinadas a los 7 días para las diferentes condiciones del diseño experimental.

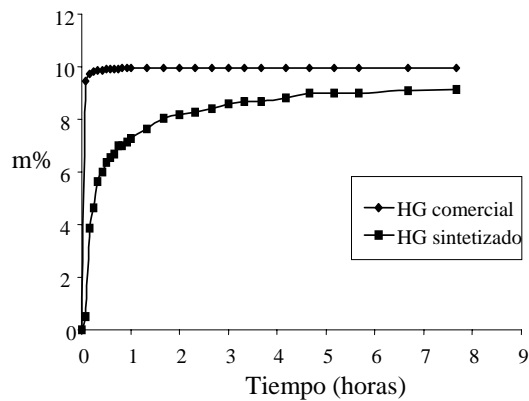
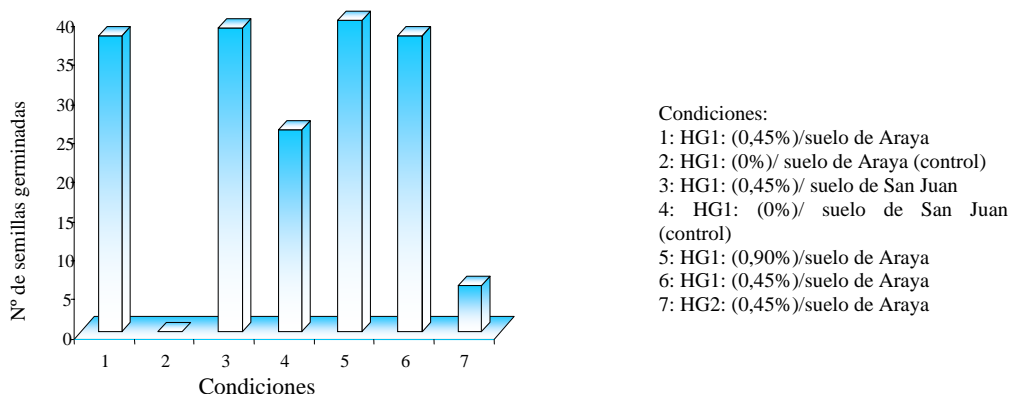


Figura 2. Isotermas de hinchamiento del hidrogel comercial y uno sintetizado de AAm/AM (90/10), a 25°C.

Hay que destacar que, a los 34 días, el número de semillas que germinó (figura 3), ya convertidas en pequeñas plantas (plántulas) fue similar al que se tenía a los 14 días, a excepción de las semillas que habían germinado en la condición 2 (solo suelo de Araya) que murieron finalmente, aunque el riego se mantuvo en ellas cada tres días, al igual que para la demás condiciones. En este punto hay que resaltar que en la condición 7, donde se utilizó el hidrogel sintetizado en el laboratorio, las semillas germinadas sí se mantuvieron vivas durante la experiencia, a diferencia de la condición 2, lo cual se puede apreciar comparativamente en las fotos de las figuras 4 y 5.



Condiciones:
 1: HG1: (0,45%)/suelo de Araya
 2: HG1: (0%)/ suelo de Araya (control)
 3: HG1: (0,45%)/ suelo de San Juan
 4: HG1: (0%)/ suelo de San Juan (control)
 5: HG1: (0,90%)/suelo de Araya
 6: HG1: (0,45%)/suelo de Araya
 7: HG2: (0,45%)/suelo de Araya

Figura 3. Número de semillas de tomate germinadas a los 34 días para las diferentes condiciones del diseño experimental.



Figura 4. Control de semillas en suelo de Araya sin hidrogeles (condición 2) después de 14 días.



Figura 5. Semillas de tomate germinadas en presencia del hidrogel sintetizado (condición 7) después de 14 días.

3.3. Efecto de la concentración del hidrogel respecto suelo sobre la germinación. Se observó que la cantidad de semillas germinadas a los 7 días para distintas proporciones del hidrogel comercial se vio favorecida proporcionalmente.

Una mayor cantidad del hidrogel comercial se constituye en una mayor reserva de agua para las semillas producto del aumento de las interacciones del tipo enlace de hidrógeno que el agua puede establecer con los grupos amida que forman parte del hidrogel comercial.

3.4. Efecto del tipo de suelo sobre la germinación. En el diseño experimental realizado se usaron dos tipos de suelos, uno extraído de la Península de Araya (suelo arcilloso-arenoso) y, otro, de San Juan (suelo arenoso). Se consideró importante tomar en cuenta esta variable, debido a que el análisis de suelos, realizado a la tierra de Araya (Tabla 3), evidenció que la cantidad de

calcio y azufre era alto y podrían generar un efecto colateral en el diseño experimental. Este efecto estaría ausente al sembrar en un suelo “lavado” como lo constituye el de San Juan.

Tabla 3. Análisis de suelo de Araya (realizado por INIA).

Componentes y medidas	Composición química	Diagnostico INIA
Arena	53,20%	-
Limo	22,00%	-
Arcilla	24,80%	-
Fósforo	11,86 ppm	Bajo
Potasio	97,00 ppm	Medio
Calcio	1121,00 ppm	Alto
Aluminio	0,00 meq/100g	Bajo
Materia orgánica	2,03%	-
Azufre	220,00 ppm	Alto
C.E*	1,391/ohm.cm	Alta
pH	7,78	-

INIA: Instituto Nacional de investigaciones Agrícolas C.E*: Conductancia eléctrica como índice de salinidad. Método de conductimetría, relación agua/suelo: 5/1.

Por otra parte, el análisis de suelos reflejó un índice de salinidad alto en el suelo de Araya, a pesar de que éste fue extraído de zonas de Guayacán cercanas a la montaña y alejadas de la costa. La comparación de los resultados, de germinación del suelo de Araya con los obtenidos en el suelo de San Juan, permitió discriminar el efecto de esta salinidad ausente en este último tipo de suelo.

En la figura 6 se presenta la germinación de las semillas de tomate en función del tiempo para los dos tipos de suelo donde puede apreciarse que la germinación fue, en principio, 5% más alta en el suelo de Araya, pero a partir de los 14 días en ambos suelos germinó el 95% de las semillas plantadas, cantidad que se mantuvo constante los 50 días de la experiencia. Estos resultados evidencian que las diferencias en calcio y azufre y, el índice de salinidad en el suelo de Araya, cuando estuvo presente el hidrogel, parecen no afectar la germinación de las semillas de tomate.

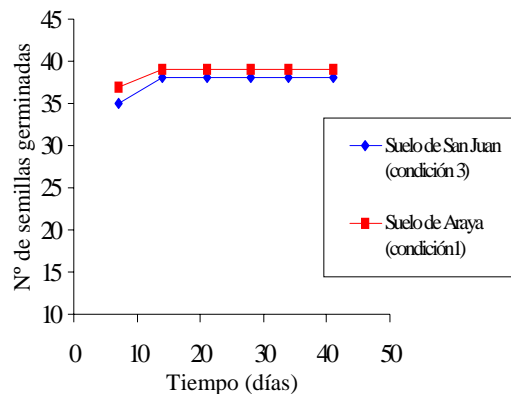


Figura 6. Germinación de las semillas de tomate para los distintos tipos de suelos mezclados con 0,45% de hidrogel comercial.

3.5. Germinación en las condiciones de control. Las condiciones de control o patrones de comparación fueron las semillas sembradas en el suelo de Araya y en el suelo de San Juan sin hidrogeles. Los resultados en estas dos condiciones se pueden comparar en la Tabla 2 y en las figuras 1 y 3; en ellas se pueden apreciar lo antes expuesto para el suelo de Araya, que permitió la germinación del 37% de las semillas, pero, la ausencia de hidrogeles, impidió que este porcentaje aumentara y, por el contrario, a los 21 días ninguna de las plántulas, en esta condición, había sobrevivido.

Por el contrario, en el suelo de San Juan sin hidrogeles, germinaron desde la primera semana, más del 60% de las semillas y las mismas se mantuvieron vivas durante toda la experiencia. Estos resultados demuestran que el alto índice de salinidad no pareció afectar la germinación de las semillas cuando estaba presente el hidrogel, sin embargo, en ausencia de éste la salinidad y, posiblemente las altas concentraciones de calcio y de azufre del suelo de Araya, evitaron el desarrollo de las semillas que habían logrado germinar.

3.6. Crecimiento de las plantas. En la Tabla 4 y en la figura 7, se presenta el crecimiento promedio semanal de las plántulas de tomate, donde puede apreciarse que el mayor crecimiento se obtuvo en la condición donde el hidrogel comercial estaba presente en una mayor proporción (0,90%) en el suelo de Araya (condición 5). En las condiciones 1, 3 y 6 donde el hidrogel comercial estaba presente en menor proporción (0,45%), las plantas también desarrollaron tamaños cercanos a los resultados de la condición 5.

Tabla 4. Alturas promedio (en cm) alcanzadas por las plantas de tomate.

Días/ Condición	1	2	3	4	5	6	7
7	3,7±0,4	3,2±2,1	3,3±0,3	2,4±0,3	4,6±2,3	3,5±0,5	3,1±2,3
14	5,8±0,3	3,7±3,9	5,7±0,4	3,9±0,6	7,7±0,5	5,7±0,4	4,0±1,1
21	7,6±0,4	-	7,3±0,7	4,0±1,0	9,0±0,7	7,1±0,4	5,5±1,8
28	8,8±0,3	-	8,6±1,1	4,5±1,4	10,3±0,5	8,3±0,4	6,7±1,1
34	9,6±0,9	-	9,0±1,3	5,9±1,1	11,0±0,7	9,0±0,8	6,7±0,1
41	10,6±0,7	-	9,3±0,9	7,3±1,5	13,1±1,3	10,3±0,6	7,7±0,86

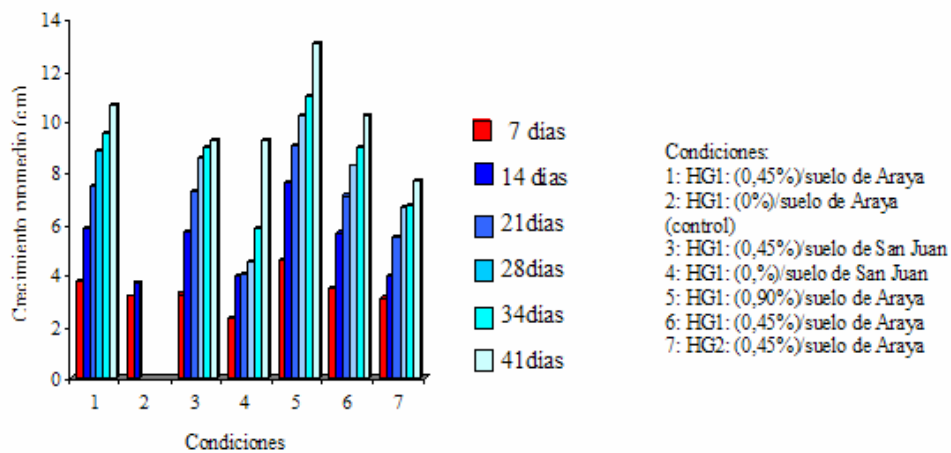


Figura 7. Crecimiento promedio semanal de las plántulas de tomate

En el desarrollo de las plántulas sembradas en el suelo de Araya se comprobó que la presencia del hidrogel fue decisiva para el crecimiento de las mismas, debido a su capacidad de aumentar el volumen de retención del agua de riego; esta capacidad es comparable al crecimiento de las plántulas en el suelo de San Juan sin hidrogeles (condición 4).

También se puede inferir, de los resultados de la figura 9, que el crecimiento de las plantas fue proporcional a la cantidad de hidrogel utilizado, donde el aumento de la proporción de hidrogeles generó plántulas con hojas bien definidas (véanse las figuras 8 y 9).



Figura 8. Foto de plántulas de tomate con hojas definidas (condición 5).



Figura 9. Foto de plántulas de tomate a los 30 días (condición 5).

En la figura 10 se compara el crecimiento promedio semanal de las plántulas de tomate en los dos tipos de suelo, en presencia del hidrogel comercial. En las mismas se aprecia que, después de los 14 días, se alcanzaron tamaños ligeramente mayores cuando se sembró en el suelo de Araya; estos resultados posiblemente se deban a que en dicho suelo el hidrogel parecía retener más el agua de riego en comparación con el de San Juan, donde se observó que el agua de riego se filtraba rápidamente, debido a su mayor porosidad.

Otro aspecto que podría estar influyendo es la alta cantidad de calcio y azufre detectada en el análisis de suelo que podría estar favoreciendo el crecimiento de las plántulas.

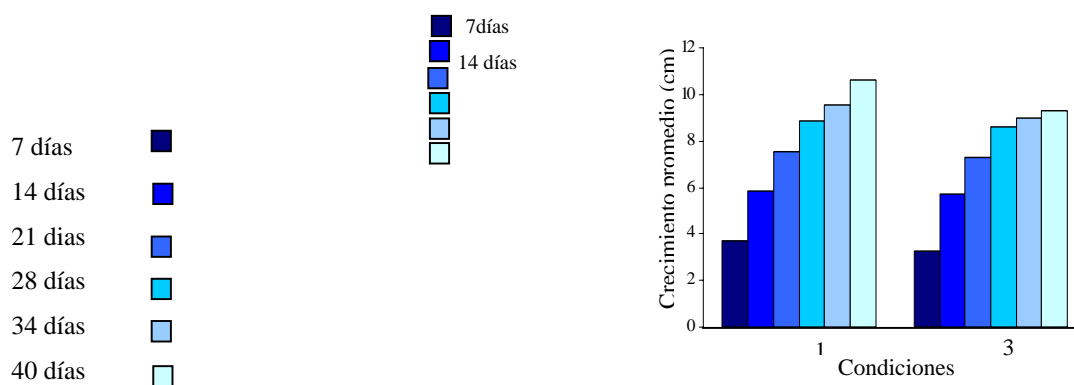


Figura 10. Comparación del crecimiento de las plántulas de tomate en los diferentes suelos.

CONCLUSIONES

Los hidrogeles mejoraron el suministro de agua a la planta, incrementando la germinación de la semillas de tomate en comparación con el suelo de Araya en estado natural. Además, la presencia del hidrogel, parece disminuir el efecto negativo de la alta salinidad del suelo sobre el crecimiento de las semillas. Estos resultados permiten decir que, en principio, la presencia de los polímeros y su capacidad de absorber y retener agua tienen un efecto positivo sobre la germinación y el crecimiento de plantas en este tipo de suelos.

Agradecimientos. Agradecemos al Consejo de Investigación de la UDO por el financiamiento de parte de este trabajo de investigación a través del proyecto CI-5-1902-0955/00 y al Dr. Issa Katime por la asesoría prestada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Davis, M. y Yip, D. “*Síntesis de hidrogeles*”, *Rev. Iberoam. Polim.*, **29**, 701 (1998).
2. Kazanskii, K. y Dubroskii, S. “*Chemistry and physics of agricultural hidrogels*”. *Adv. Sci. Polym.*, **104**, 99 (1991)
3. Chávez, M.; Díaz, J.; Pérez, U. Y., Delfín, J. 1990. “*Temas de enzimología*”. Tomo 2. Facultad de Biología. Universidad de la Habana. 84 pp.
4. Rojas, B.; Aguilera, R.; Prin, J.; Cequea, H.; Cumana, J.; Rosales, E. y 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 hidrogeles*”, *Rev. Iberoam. Polim.*, **5(1)**, 17 (2004)
5. Katime I. “*Hidrogeles inteligentes*”, *Rev. Iberoam. Polim.*, **5(5)**, 10 (2000).
6. Katime I., Katime O. y Katime D. “*Los materiales inteligentes de este milenio: Los hidrogeles macromoleculares. Síntesis, propiedades y aplicaciones*”. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao España, 2004