

## APLICACIÓN DE HIDROGELES EN LA AGRICULTURA

APPLICATION OF HYDROGELS IN AGRICULTURE

MARCELA N. RETA REYNA <sup>1</sup>

LORENA FARIÁS CEPEDA <sup>1</sup>

VÍCTOR M. OVANDO  
MEDINA <sup>2</sup>

LILIA EUGENIA SERRATO  
VILLEGAS <sup>1</sup>

### RESUMEN

Actualmente, la agricultura enfrenta importantes desafíos causados por fenómenos como la degradación del suelo, la erosión, la disminución de la disponibilidad de agua para el uso de riego y la pérdida de nutrientes; esto ha impulsado la búsqueda de alternativas a la agricultura tradicional que permitan plantear soluciones a estas problemáticas. En este contexto, se presenta un panorama general del uso de hidrogeles en la agricultura como una estrategia innovadora y sostenible para enfrentar algunos de los desafíos actuales.

Una de las características de los hidrogeles es su capacidad de absorber agua y liberarla de manera gradual. Esta propiedad resulta especialmente beneficiosa en regiones con escasez de agua o en cultivos que requieren un riego intensivo. Además, los hidrogeles pueden ser utilizados para encapsular fertilizantes, permitiendo su liberación controlada. Esto no solo evita cambios drásticos en la composición química del suelo, sino que también satisface los requisitos nutricionales de los cultivos de manera más eficiente. De este modo, se optimiza el uso de recursos y se promueve una agricultura más sostenible. En el presente trabajo no solo aborda las aplicaciones prácticas de los hidrogeles en la agricultura, sino que también presenta las diferentes técnicas disponibles para su síntesis y como se lleva a cabo su proceso de absorción que estos materiales experimentan.

En conclusión, los hidrogeles son una herramienta valiosa para la agricultura del futuro, con el potencial de eficientizar el uso del agua de riego y optimizar la fertilización de los cultivos.

**Palabras clave:** hidrogel; agricultura; riego; agua; fertilizantes.

1. Facultad de Ciencias  
Químicas, Unidad Sureste,  
UAdeC.

2. Unidad Académica  
Multidisciplinaria Región  
Altiplano, Universidad  
Autónoma de San Luis  
Potosí.

Correspondencia  
lorenafarias@uadec.edu.mx  
ORCID: 0000-0001-7835-9628

Fecha de recepción  
5 de diciembre de 2024.

Fecha de aceptación  
10 de febrero de 2025.

## ABSTRACT

Currently, agriculture faces significant challenges caused by phenomena such as soil degradation, erosion, decreased availability of water for irrigation use, and nutrient loss; this has driven the search for alternatives to traditional agriculture to address these issues. In this context, a general overview of the use of hydrogels in agriculture is presented as an innovative and sustainable strategy to face some of the current challenges.

One of the characteristics of hydrogels is their ability to absorb water and release it gradually. This property is especially beneficial in regions with water scarcity or in crops that require intensive irrigation. Additionally, hydrogels can be used to encapsulate fertilizers, allowing for controlled release. This not only prevents drastic changes in the soil's chemical composition but also meets the nutritional requirements of crops more efficiently. Thus, resource use is optimized, and more sustainable agriculture is promoted. This work not only addresses the practical applications of hydrogels in agriculture but also presents the different techniques available for their synthesis and the absorption process these materials undergo.

In conclusion, hydrogels are a valuable tool for the future of agriculture, with the potential to make irrigation water use more efficient and optimize crop fertilization.

**Keywords:** hydrogel; agriculture; irrigation; water; fertilizers.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la humanidad enfrenta grandes problemáticas causadas por el cambio climático, la erosión del suelo y la demanda descontrolada de productos, lo que ocasiona un gran reto para la agricultura, por lo que se buscan alternativas para eficientizar los



procesos de obtención de los alimentos. En este sentido es tarea de los investigadores buscar opciones para atender estos problemas.

El crecimiento de la población ha incrementado la demanda de varios productos como los alimentos, lo que ha generado diversos problemas ambientales, como la alteración de los ciclos biogeoquímicos y el cambio en el uso de la tierra. Esto incluye la conversión de pastizales y bosques en tierras agrícolas, provocando deforestación, drenaje de suelos y modificaciones en su composición química, entre otros impactos. También se ha visto afectada la biodiversidad de los ecosistemas. Asimismo, ha aumentado el uso de pesticidas, fertilizantes y el consumo de agua (De La Fuente & Suárez, 2008).

Como resultado de estos problemas y aumentos en la demanda de alimentos, es crucial buscar alternativas que ofrezcan una solución a esta situación. Los hidrogeles, materiales poliméricos con una estructura tridimensional entrelazada de cadenas flexibles, se destacan por su capacidad para absorber y liberar grandes cantidades de soluciones acuosas manteniendo su estructura tridimensional. Estos sólidos granulares se expanden a medida que las soluciones acuosas penetran en su interior, incrementando su tamaño (Barón Cortés y col., 2007).

En la agricultura se pueden utilizar los hidrogeles para absorber el agua del riego y así brindarle periódicamente el agua necesaria a las plantas y una liberación lenta de nutrientes para ser aprovechados completamente por las plantas, reduciendo el consumo de ambos (Rizwan y col., 2021). La finalidad de esta revisión es dar a conocer un panorama general sobre las aplicaciones de los hidrogeles en la agricultura.

## 1. CLASIFICACIÓN DE LOS HIDROGELES

Los hidrogeles se pueden clasificar con base en su naturaleza, estructura o síntesis como se muestra en la Figura 1 (González Hurtado y col., 2007). Según su naturaleza se pueden clasificar como naturales, sintéticos e híbridos, en cuanto a su estructura se clasifican como amorfos, cristalinos y semi-cristalinos (Tariq y col., 2023). Debido al



avance científico los hidrogeles sintéticos y los compuestos por una combinación de polímeros naturales y sintéticos son los más utilizados ya que tienen una mayor capacidad de absorber el agua, una vida útil más larga y pueden ser modificados para disminuir su tiempo de degradación (Rizwan y col., 2021).

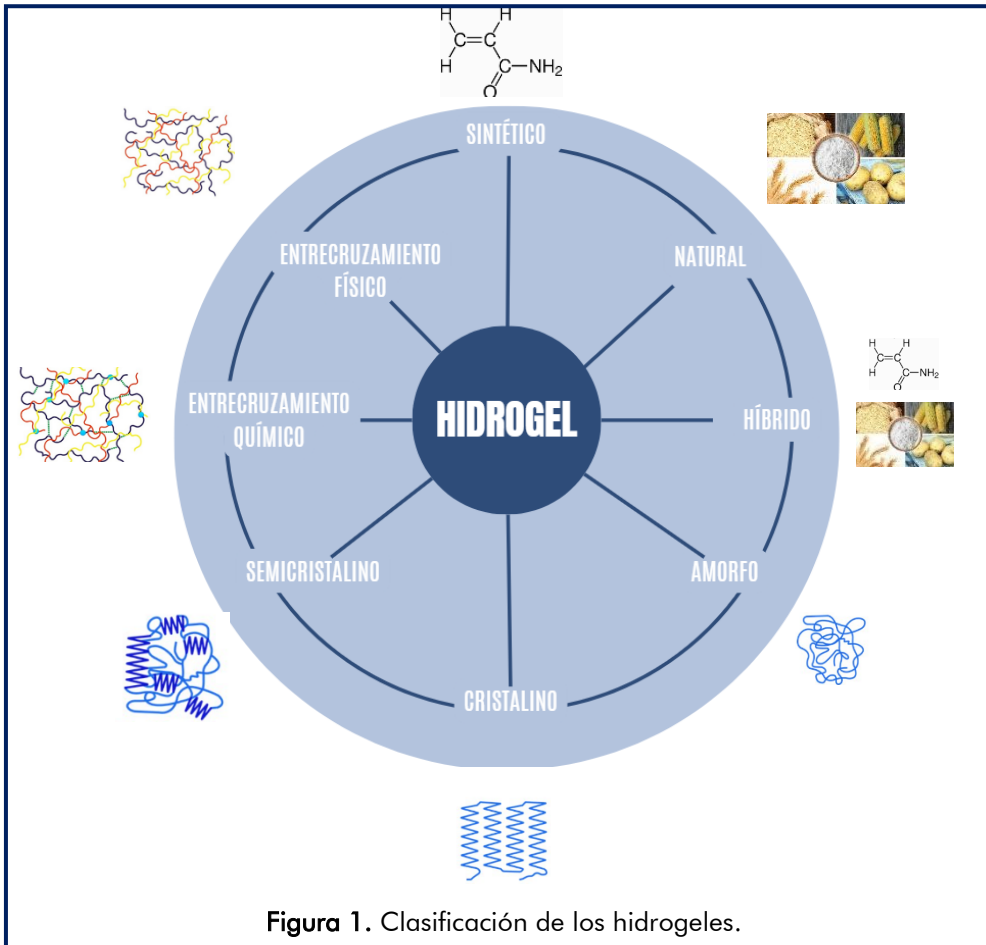
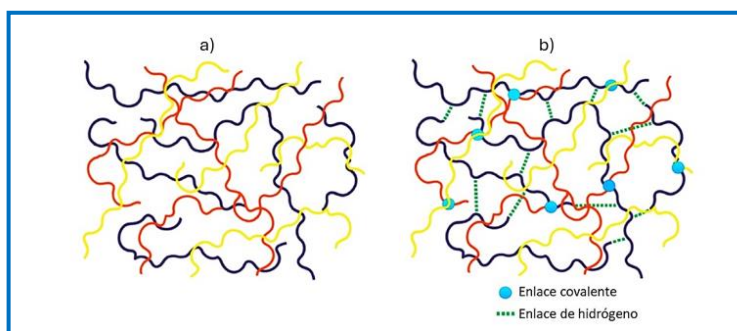


Figura 1. Clasificación de los hidrogeles.

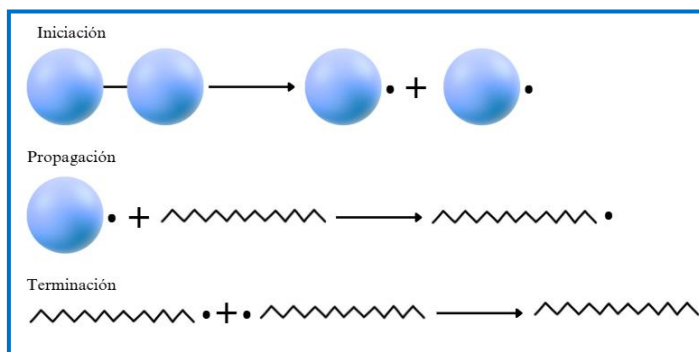
## 2. SÍNTESIS DE HIDROGELES

Los hidrogeles se sintetizan comúnmente por entrecruzamiento ya sea físico (por interacción iónica, puentes de hidrógeno, interacción hidrófoba o cristalización) o químico (por enlaces covalentes entre las cadenas poliméricas) (Parro Serrano, 2019). La Figura 2 muestra la representación gráfica de los diferentes tipos de entrecruzamiento.



**Figura 2.** Representación de entrecruzamiento en un hidrogel a) entrecruzamiento físico de distintos polímeros b) entrecruzamiento químico por enlaces covalentes y de hidrógeno.

En el entrecruzamiento químico, Rizwan y col. (2021) describe este proceso como el de polimerización vía radicales libres ya que tiene etapas de iniciación, propagación y terminación (Figura 3), y que, al llegar a la gelificación, la polimerización se divide en tres categorías: polimerización en solución, polimerización en suspensión y fotopolimerización.



**Figura 3.** Representación gráfica de polimerización vía radicales libres con terminación por combinación.

En la polimerización en solución los monómeros (moléculas pequeñas que se unen con otras para formar moléculas de mayor tamaño llamadas polímeros) se encuentran disueltos en un disolvente y los agentes entrecruzantes se polimerizan por luz UV o vía redox. Este proceso presenta una alta conversión por la baja viscosidad y la reacción se puede dar a temperatura ambiente. La polimerización en suspensión involucra monómeros y disolventes insolubles dispersos en

un medio acuoso con ayuda de un agente de suspensión (Sikdar y col., 2021). En la fotopolimerización la iniciación se da por radicales en presencia de radiación de alta energía (por ejemplo, radiación gamma) que incide en los monómeros, después se da la propagación y la terminación (Rizwan y col., 2021).

Los precursores más utilizados para la síntesis de hidrogeles naturales según Rizwan y col. (2021) son los polisacáridos, quitosano, el almidón, subproductos de la agricultura, el alginato y la goma guar, mientras que los hidrogeles sintéticos suelen estar compuestos por ácido acrílico, acrilamida, acrilato de sodio, alcohol polivinílico, entre otros.

### 3. HINCHAMIENTO DEL HIDROGEL

El hinchamiento es el fenómeno que se da cuando el hidrogel entra en contacto con el agua, aumentando su tamaño, véase la Figura 4. Las moléculas del medio acuoso penetran la red tridimensional debido a las alteraciones en los enlaces de hidrogeno que permiten a las moléculas de agua difundirse dentro de los poros de la estructura del hidrogel (Benítez y col., 2013; Tariq y col., 2023).

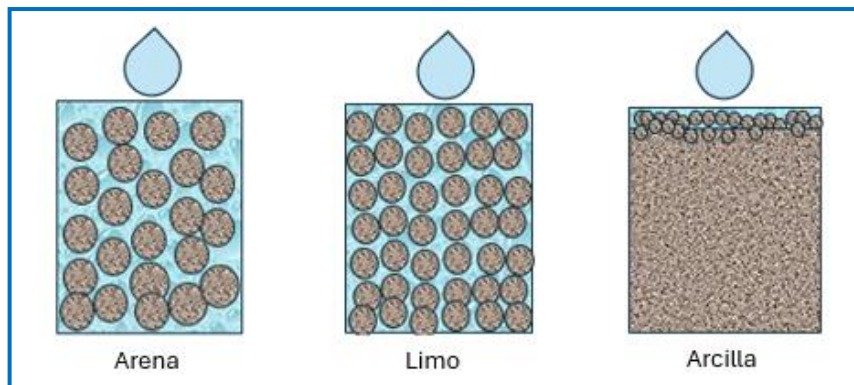


**Figura 4.** Hidrogel hinchado con agua e hidrogel seco (xerogel).

El comportamiento de hinchamiento del hidrogel también está directamente relacionado con la composición y concentración del monómero y del agente entrecruzante. Un factor importante para el comportamiento del hidrogel es su temperatura, ya que tiene un efecto sobre el hinchamiento del hidrogel, este puede ser una ventaja o desventaja, dependiendo del objetivo que se tenga con el hidrogel. Este

comportamiento está relacionado con el monómero (Rizwan y col., 2021).

Otro factor que interviene en el desempeño de un hidrogel puede ser el tipo de suelo en el que se aplicarán. Existen diferentes tipos de suelos y estos los podemos distinguir a partir de su tamaño de partícula (Figura 5). Los suelos que tienen una mayor capacidad de absorber agua son los que tienen menor tamaño de partícula, ya que las partículas están más juntas unas de otras lo que deja menos espacios vacíos por los que el agua se queda retenida, mientras que, en los suelos con mayor tamaño de partícula, estas se encuentran más alejadas una de otra por lo que hay una menor retención de agua (Rizwan y col., 2021).



**Figura 5.** Retención de agua por tamaño de partícula.

#### 4. APLICACIÓN DE HIDROGELES EN LA AGRICULTURA

Barón Cortés y col. (2007) compararon el hinchamiento de un hidrogel variando las concentraciones del agente entrecruzante, el iniciador y de los monómeros en suelos franco-arcillosos con hidrogeles sintetizados mediante suspensión inversa con acrilamida y acrilato de potasio. El hidrogel disminuyó el marchitamiento de las especies forestales hasta un 400% y las especies marchitas hasta un 250% para sequías, así mismo la modificación en los hidrogeles presentaron grandes diferencias en cuanto a la disminución del agua que se usa para la irrigación siendo el hidrogel con mayor concentración de monómero el que presentó mejores resultados con una disminución de en la cantidad de agua de riego del 34.5% para acacias y 46.7% para rábanos.

En 2010, Idrobo y col., demostraron que el empleo de hidrogeles con mayor concentración de polímero incrementa el rendimiento en el cultivo y disminuye la pérdida de humedad, además de que, a mayor cantidad de hidrogel en el suelo, mayor es la retención de humedad en un suelo arenoso.

Así mismo, Rivera Fernández y Mesías Gallo (2016) evaluaron el porcentaje de absorción y humectación de un hidrogel a base de acrilamina de potasio en suelo arenoso, limoso y arcilloso. El hidrogel se comportó diferente de acuerdo con la textura del suelo aumentando la humedad en suelos secos cediendo el agua contenida al suelo mientras que en los saturados permanecía sin grandes modificaciones.

Recientemente, Sorze y col (2024), desarrollaron un nuevo hidrogel biodegradable a base de goma xatana reforzada con fibras de madera mediante reticulación con ácido cítrico, trimetafosfato de sodio o ácido tánico a distintas concentraciones donde los hidrogeles con ácido cítrico y tánico demostraron mayor estabilidad dimensional y capacidad de absorción de agua. Por otra parte, la presencia de fibras proporciono mayor estabilidad y una biodegradabilidad del 60% después de 7 meses.

En el 2007, González Hurtado y col., sintetizaron un hidrogel a base de urea-formaldehído en el que encapsularon un fertilizante para la liberación controlada de nutrientes, los estudios *in vitro* demostraron que el fertilizante obtenido permitía a la planta obtener nutrientes por un tiempo mayor en comparación con los fertilizantes convencionales, por lo que se reduciría las aplicaciones de fertilizante y el gasto económico.

Se han sintetizado hidrogeles compuestos basados en celulosa bacteriana para la encapsulación de fertilizantes directamente en las redes poliméricas entrecruzadas del hidrogel, Zaharia y col. (2018) demostraron que la adición celulosa bacteriana presenta una liberación más controlada de fertilizante y un material más rígido, optimizando este tipo de hidrogeles para la aplicación agrícola.



Recientemente, Iqbal y col. (2024), sintetizaron un hidrogel a base de almidón y quitosano utilizando ácido cítrico como reticulante, además se desarrollaron compuestos de hidrogel incorporando cenizas de madera, nanocelulosa y fertilizante para mejorar las propiedades del hidrogel. El hidrogel presentó un hinchamiento de entre 200 y 420% en la muestra con nanocelulosa, ya que aumenta la densidad del hidrogel y lo hace más cristalino. La ceniza de madera al hidrogel aumento el grado de reticulación en el hidrogel. La adición del fertilizante aumentó el crecimiento de las plantas.

El uso de fertilizantes químicos ha traído consigo varios problemas ambientales, ocasionados por la lixiviación de iones de nutrientes que provoca una alteración a la composición química del suelo, quema de nutrientes y contaminación ambiental. La liberación lenta de nutrientes ataca estas problemáticas, además de que le permite a la planta absorber los nutrientes necesarios y prevenir la pérdida de éstos. Por lo anterior Gogoi y col. (2022) modificaron un hidrogel con *Azospirillum brasilense* (bacteria fijadora de nitrógeno) para llevar a cabo la liberación controlada de un fertilizante a base de nitrógeno y zinc. La adición de *Azospirillum brasilense* aumentó la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, por lo que puede usarse como una alternativa a los fertilizantes químicos, incrementa la fertilidad del suelo con la adición de zinc y mejora la microbiota.

## 5. DESVENTAJAS DE LOS HIDROGELES

Los hidrogeles presentan un potencial para la liberación controlada de agua y fertilizantes en la agricultura, sin embargo, aun presentan ciertos desafíos hacia el medio ambiente. El principal problema de los hidrogeles sintéticos es su toxicidad, además de que debido al no ser solubles en agua y que algunos no son biodegradables, causan efectos perjudiciales al medio ambiente. Por otra parte, los hidrogeles naturales pueden solucionar este problema por su biodegradabilidad, no toxicidad o biodisponibilidad, pero poseen poca resistencia mecánica. El costo de dichos materiales presenta un desafío, ya que el aumento

de la complejidad de estos elevará los precios y se verá afectado en su aplicación (Singh *et al.*, 2021).

## CONCLUSIONES

Gracias a su estructura los hidrogeles pueden absorber y liberar de manera controlada agua, lo que disminuye el consumo de ésta, reduciendo costos y permitiendo que la planta absorba solo las cantidades necesarias, disminuyendo el estrés energético. También, aumentan el rendimiento del cultivo, disminuyen los marchitamientos, y en suelos con tamaño de partícula grande, permiten retener más agua. Además, se pueden emplear en recubrimientos de fertilizantes para la liberación lenta de nutrientes para sean aprovechados completamente por la planta. Los hidrogeles también pueden ser modificados para remplazar a los fertilizantes químicos y mejorar la fertilidad, esta aplicación de los hidrogeles es beneficiosa para disminuir la degradación del suelo y la contaminación del agua causada por los fertilizantes y reduce el costo. Incluso los hidrogeles pueden ser modificados para que sean biodegradables y reducir su toxicidad. Por todo lo anterior, se puede decir que los hidrogeles son una gran alternativa para enfrentar las problemáticas causadas por la agricultura como la desertificación, el aumento de consumo de agua y fertilizantes.

## AGRADECIMIENTOS

El autor Marcela N., Reta-Reyna agradece a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila y al programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales por su apoyo otorgado



en la formación de profesionistas. También agradece al CONAHCYT por la beca de maestría número 2061682.

## REFERENCIAS

- Barón Cortés, A., Barrera Ramírez, I. X., Boada Eslava, L. F., & Rodríguez Niño, G. (2007). Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. *Ingeniería e Investigación*, 27(3): 35-44. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327305>
- Benítez, J. L., Lárez Velásquez, C., & Rojas de Gáscue, B. (2013). Cinética de absorción y transporte del agua en hidrogeles sintetizados a partir de acrilamida y anhídrido maleico. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(2): 242-253. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0255-69522015000200010](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000200010)
- De La Fuente, E. B., & Suárez, S. A. (2008). Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura. *Ecología Austral*, 18(3): 239-252. [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667782X2008000300001&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667782X2008000300001&script=sci_arttext)
- Gogoi, R., Borgohain, A., Baruah, M., Karak, T., & Saikia, J. (2022). Boosting nitrogen fertilization by a slow releasing nitrate-intercalated biocompatible layered double hydroxide–hydrogel composite loaded with *Azospirillum brasilense*. *RSC Advances*, 12(11) 6704-6714. <https://doi.org/10.1039/d1ra08759b>
- González Hurtado, M., Hernández Díaz, M. I., Dupeyrón Martell, D., Rieumont Briones, J., Rodríguez Acosta, C., Cuesta, E., & Sardiña, C. (2007). Síntesis y comportamiento de un material polimérico aplicado como recubrimiento en un fertilizante de liberación controlada. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 8(4): 275-286. <https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2019/08/2007-gonzalez.pdf>
- Idrobo, H. J., Rodríguez, A. M., & Díaz Ortíz, J. E. (2010). Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 9: 33-37. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434004>
- Iqbal, D. N., Tariq, Z., Philips, B., Sadiqa, A., Ahmad, M., Al-Ahmary, K. M., Ali, I., & Ahmed, M. (2024). Nanocellulose/wood ash-reinforced starch–chitosan hydrogel composites for soil conditioning and their impact on pea plant



growth. *RSC Advances*, 14(13): 8652-8664. <https://doi.org/10.1039/d3ra08725e>

Parro Serrano, I. (2019). Hidrogeles sintéticos con propiedades mecánicas controladas [Trabajo fin de grado, Universidad de Zaragoza]. <https://zaguan.unizar.es/record/85277/files/TAZ-TFG-2019-2516.pdf>

Rivera Fernández, R. D., & Mesías Gallo, F. (2016). Absorción de agua de hidrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo. *FCA UNCUYO*, 50(2): 15-21. <https://www.scielo.org/ar/pdf/refca/v50n2/v50n2a02.pdf>

Rizwan, M., Gilani, S. R., Durani, A. I., & Naseem, S. (2021). Materials diversity of hydrogel: Synthesis, polymerization process and soil conditioning properties in agricultural field. *Journal of Advanced Research*, 33: 15-40. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.03.007>

Singh, N., Agarwal, S., Jain, A., & Khan, S. (2021). 3-Dimensional cross linked hydrophilic polymeric network "hydrogels": An agriculture boom. *Agricultural Water Management*, 253: 106939. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106939>

Sikdar, P., Uddin, M. M., Dip, T. M., Islam, S., Hoque, M. S., Dhar, A. K., & Wu, S. (2021). Recent advances in the synthesis of smart hydrogels. *Materials Advances*, 2(14): 4532-4573. <https://doi.org/10.1039/d1ma00193k>

Sorze, A., Valentini, F., Mucignat, M. B., Pegoretti, A., & Dorigato, A. (2024). Multifunctional xanthan gum/wood fibers based hydrogels as novel topsoil covers for forestry and agricultural applications. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 7: 100520. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100520>

Tariq, Z., Iqbal, D. N., Rizwan, M., Ahmad, M., Faheem, M., & Ahmed, M. (2023). Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding. *RSC Advances*, 13(35): 24731-24754. <https://doi.org/10.1039/d3ra03472k>

Zaharia, A., Radu, A., Iancu, S., Florea, A., Sandu, T., Minca, I., Fruth-Oprisan, V., Teodorescu, M., Sarbu, A., & Iordache, T. (2018). Bacterial cellulose-poly(acrylic acid-co-N,N'-methylene-bis-acrylamide) interpenetrated networks for the controlled release of fertilizers. *RSC Advances*, 8(32): 17635-17644. <https://doi.org/10.1039/c8ra01733f>

