



CRHIAM
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA
ANID/FONDAP/1523A0001



Universidad de Concepción



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM



USO DE HIDROGELES EN LA RETENCIÓN DE AGUA DE SUELOS AGRÍCOLAS: VENTAJAS Y DESAFÍOS

Diego Palma / Octavio Lagos / José Luis Arumí / Bruno Urbano

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

Versión impresa ISSN 0718-6460

Versión en línea ISSN 0719-3009

Directora:

Gladys Vidal Sáez

Comité editorial:

Sujey Hormazábal Méndez

María Belén Bascur Ruiz

Serie:

Uso de hidrogeles en la retención de agua de suelos agrícolas:
Ventajas y desafíos

Diego Palma, Octavio Lagos, José Luis Arumí y Bruno Urbano.

Enero 2025.

Agradecimientos:

Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería,
(CRHIAM)

ANID/FONDAP/1523A0001

Victoria 1295, Barrio Universitario,

Concepción, Chile.

Teléfono +56-41-2661570

www.crhiam.cl

Este documento debe citarse como:

Palma, D., Lagos, O., Arumí, J., Urbano, B. 2024. Uso de hidrogeles en la retención de agua de suelos agrícolas: Ventajas y desafíos. Serie Comunicacional CRHIAM, Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (ANID/FONDAP/1523A0001). ISSN 0718-6460 (versión impresa), ISSN 0719-3009 (versión online), No. 84, 33 pp. Disponible en: <https://www.crhiam.cl/publicaciones/series-comunicacionales/>



Universidad de Concepción



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

USO DE HIDROGELES EN LA RETENCIÓN DE AGUA DE SUELOS AGRÍCOLAS: VENTAJAS Y DESAFÍOS

Diego Palma / Octavio Lagos / José Luis Arumí / Bruno Urbano

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

PRESENTACIÓN

El Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería -Centro Fondap CRHIAM- está trabajando en el tema de "Seguridad Hídrica", entendida como la "capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política" (ONU-Agua, 2013).

La "Serie Comunicacional CRHIAM" tiene como objetivo potenciar temas desde una mirada interdisciplinaria, con la finalidad de difundirlos a los tomadores de decisiones públicos, privados y a la comunidad general. Estos textos surgen como un espacio de colaboración colectiva entre diversos investigadores ligados al CRHIAM como un medio para informar y transmitir las evidencias de la investigación relacionada a la gestión del recurso hídrico.

Con palabras sencillas, esta serie busca ser un relato entendible por todos y todas, en el que se exponen los estudios, conocimiento y experiencias más recientes para aportar a la seguridad hídrica de los ecosistemas, comunidades y sectores productivos. Agradecemos el esfuerzo realizado por nuestras y nuestros investigadores, quienes han trabajado de forma mancomunada y han puesto al servicio de la comunidad sus investigaciones para aportar de forma activa en la búsqueda de soluciones para contribuir a la generación de una política hídrica acorde a las necesidades del país.

Dra. Gladys Vidal
Directora de CRHIAM

DATOS DE INVESTIGADORES



Diego Palma

Ingeniero Civil Agrícola.
Programa de Magister en Ingeniería Agrícola,
Universidad de Concepción.



Octavio Lagos

Ingeniero Civil Agrícola.
Doctor of Philosophy Engineering
University of Nebraska Lincoln, USA.
Profesor asociado Departamento de Recursos Hídricos,
Facultad de Ingeniería Agrícola,
Universidad de Concepción.
Director Consorcio Tecnológico del Agua CoTH2O.
Investigador Asociado CRHIAM.



José Luis Arumi

Doctor of Philosophy. Major on Engineering.
Profesor Titular Departamento de Recursos Hídricos,
Facultad de Ingeniería Agrícola,
Universidad de Concepción.
Investigador Principal CRHIAM.



Bruno Urbano

Químico Industrial.
Doctor en Ciencias con Mención Química.
Director Departamento de Polímeros
Facultad de Ciencias Químicas,
Universidad de Concepción.

RESUMEN

Chile enfrenta una significativa escasez hídrica que afecta especialmente a la agricultura, responsable del 70-75% del consumo de agua y vulnerable en suelos de textura gruesa por su baja capacidad de retención hídrica. Los hidrogeles, polímeros superabsorbentes, pueden mejorar la retención de agua en suelos arenosos y optimizar la estructura del suelo, reduciendo el consumo y la frecuencia de riego. Sin embargo, los hidrogeles sintéticos presentan riesgos ambientales, como la generación de microplásticos, lo que resalta la necesidad de explorar alternativas sostenibles. Este análisis aborda las ventajas, limitaciones y consideraciones ambientales de los hidrogeles para promover prácticas agrícolas más sostenibles.

INTRODUCCIÓN

Chile es considerado uno de los países con una disponibilidad de recursos hídricos privilegiada, sin embargo, su disponibilidad es desigual a lo largo del territorio nacional. La situación de riesgo en disponibilidad de recursos es "extremadamente alta", desde el extremo norte del país en la región de Arica y Parinacota hasta la región de Maule, mientras que la región del Ñuble y Biobío poseen un riesgo "alto", situación que no mejora significativamente en las proyecciones al año 2040, incluso bajo escenarios optimistas (Zohuriaan-Mehr y Kabiri, 2008).

Dentro de las recomendaciones para disminuir los riesgos hídricos se encuentra, además del tratamiento/reúso/reciclaje de agua y la infraestructura verde, el mejoramiento del uso del agua en el sector agrícola. Se estima que para el año 2050, se requerirá un aumento del 50% en la producción agrícola para alimentar a la población mundial, lo que generaría como resultado escasez de agua para el sector agrícola (Alcamo *et al.*, 2002). En nuestro país, la agricultura consume entre un 70% y 75% del agua dulce disponible. En promedio la demanda regional de agua en la agricultura chilena es aproximadamente 14 mil m³ ha⁻¹. Según la experien-

cia internacional y diversos centros de investigación del país, este consumo se puede reducir sustancialmente, lo que elevaría considerablemente el rendimiento del riego.

El agua es un recurso fundamental en la agricultura. Se sabe que el crecimiento de las plantas y la calidad de los cultivos están estrechamente relacionados con la cantidad de agua y la eficiencia de su uso (Misiewicz *et al.*, 2020). Sin embargo, debido al aumento en las sequías, desertificación, cambio climático y en general a la creciente demanda de alimentos, este recurso limitado es cada vez más escaso. Por lo tanto, el desarrollo de nuevas estrategias enfocadas a mejorar la capacidad de retención de agua en el suelo brindando un uso eficaz a este recurso, lo que resulta indispensable para el desarrollo de una agricultura sostenible (Behera *et al.*, 2020). En general, la agricultura se centra en la capa superficial del suelo, comúnmente llamada horizonte A (Figura 1), ya que es aquí donde se concentra la mayor parte de la materia orgánica y nutrientes disponibles para las plantas. Esta capa, que suele encontrarse a una profundidad de 0 a 30 cm, tiene raíces activas (Figura 2), microorganismos, y materia orgánica que favorecen la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes (Tewari *et al.*, 2016).

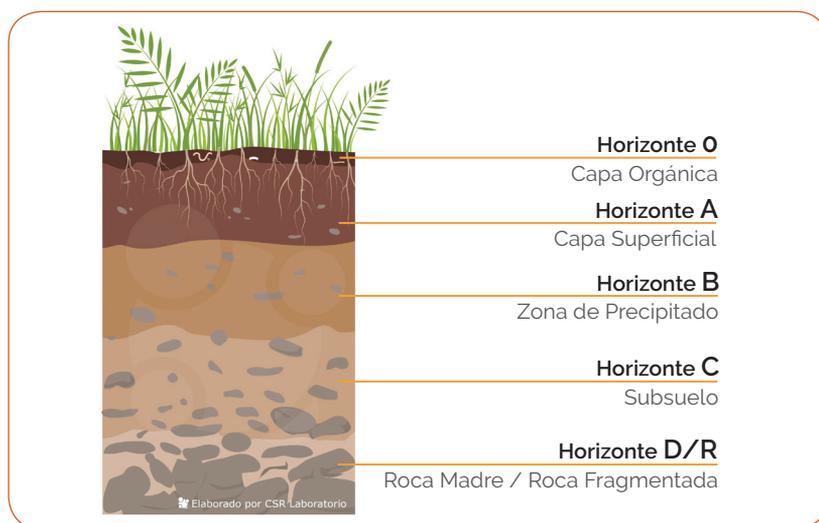


Figura 1.

Perfiles de suelo. Fuente: CSR Laboratorio.

La textura de suelo es una de las propiedades más estables y un índice útil de varias propiedades que determinan su potencial agrícola. La composición del suelo está hecha principalmente de partículas minerales y orgánicas de diferentes tamaños. Las texturas de suelo se refieren a los tamaños que lo componen y la proporción de tamaños de partículas determina la textura de suelo (Gabler *et al.*, 2009).

La proporción relativa de diferentes partículas del suelo, es decir, arena, limo y arcilla, se conocen como textura de suelo. Afecta a las propiedades del suelo, incluido a su poder de suministro de agua, la velocidad de infiltración, la aireación, la fertilidad del suelo, la facilidad de labranza y la susceptibilidad a la erosión. Por ejemplo, los suelos arenosos son porosos, tienen altos índices de infiltración y retienen poca agua, por otra parte, las arcillas tienen bajos índices de infiltración, retienen mucha agua y tienen mal drenaje. Las raíces penetran más fácilmente en arena que en las arcillas. Los suelos de textura fina y media, como los francos, francos arcillosos, franco arcilloso arenosos, franco limo arcillosos y franco limo arenosos son generalmente más deseables por su mayor retención de nutrientes y agua (White, 1987).

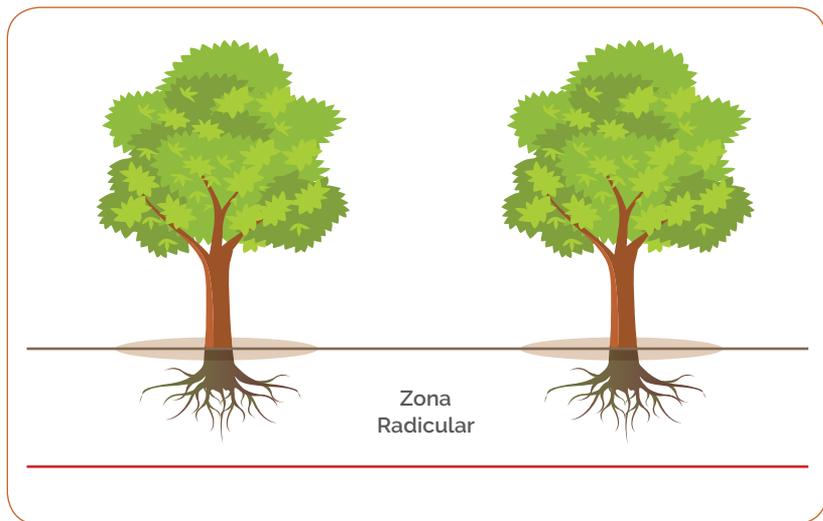


Figura 2.

Esquema sobre la zona radicular. Fuente: Holzzapfel y Arumí (2008).

Debido a la capacidad de absorción y retención de agua, los hidrogeles pueden ser empleados para mejorar la utilización del agua en la agricultura, como por ejemplo, reteniendo la humedad en el suelo (Souza *et al.*, 2016). Una red tridimensional de polímeros sintetizados con materiales naturales o sintéticos que poseen una alta capacidad de retener agua se denomina hidrogeles (Ulla *et al.*, 2015).

La aplicación de hidrogel en regiones semiáridas mejora las propiedades del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua del suelo, mejora la eficiencia del agua (baja percolación profunda) y aumenta el crecimiento de diversos cultivos. Asimismo, proporciona una atmósfera propicia para un mejor crecimiento de las raíces en suelos bien drenados (alta percolación profunda) (Abobatta, 2018).

COMPOSICIÓN DE LOS SUELOS

El suelo está compuesto por una fase sólida, que incluye partículas minerales y materia orgánica, y por un espacio poroso que ocupa el volumen restante (Figura 3). Estos poros, que no están completamente unidos, permiten el almacenamiento de agua y aire en el suelo. Las proporciones de estas tres fases (partículas minerales, materia orgánica y poros) varían según las características de las partículas texturales, sus contenidos relativos y su distribución en el suelo. Por lo tanto, es esencial conocer los tipos de textura que conforman el suelo.

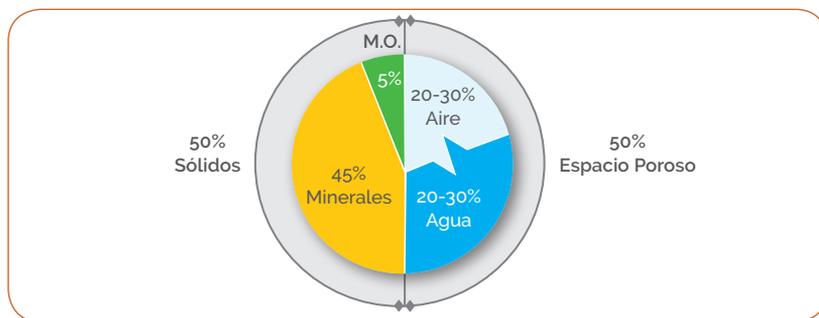


Figura 3.

Composición en volumen del suelo. Fuente: Angella *et al.* (2016).

TEXTURA DE SUELO

Los suelos están formados por partículas minerales cuyos tamaños y formas varían ampliamente. Para clasificarlas se las agrupa en función del tamaño. Una de las clasificaciones de tamaño de partícula más usada es la propuesta por la USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos) que se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1.

Clasificación del tamaño de las partículas del suelo.

| | |
|------------------|-----------------|
| Arcilla | < 0.002 mm |
| Limo | 0.002 – 0.05 mm |
| Arena muy fina | 0.05 – 0.10 mm |
| Arena fina | 0.10 – 0.25 mm |
| Arena mediana | 0.25 – 0.50 mm |
| Arena gruesa | 0.5 – 1 mm |
| Arena muy gruesa | 1 – 2 mm |

Fuente: Angella *et al.* (2016).

Los suelos son mezclas de estas partículas, por lo tanto la textura de suelo depende de las proporciones relativas de los diversos tamaños en que se presentan sus partículas minerales (arena, limo y arcilla). De acuerdo a las proporciones de éstas, el USDA clasifica a los suelos en 12 clases texturales.

Para su identificación se usa el "diagrama triangular de textura" donde son representadas en las distintas proporciones relativas (desde el 0 al 100%) en cada uno de los lados del triángulo y, por intersección de las proporciones de cada textura, queda determinada la clase textural a la que corresponde el suelo en estudio. El diagrama triangular (Figura 4), propuesto por el USDA, muestra las proporciones de cada tipo de textura y las 12 clases texturales en que pueden ser clasificados los suelos.

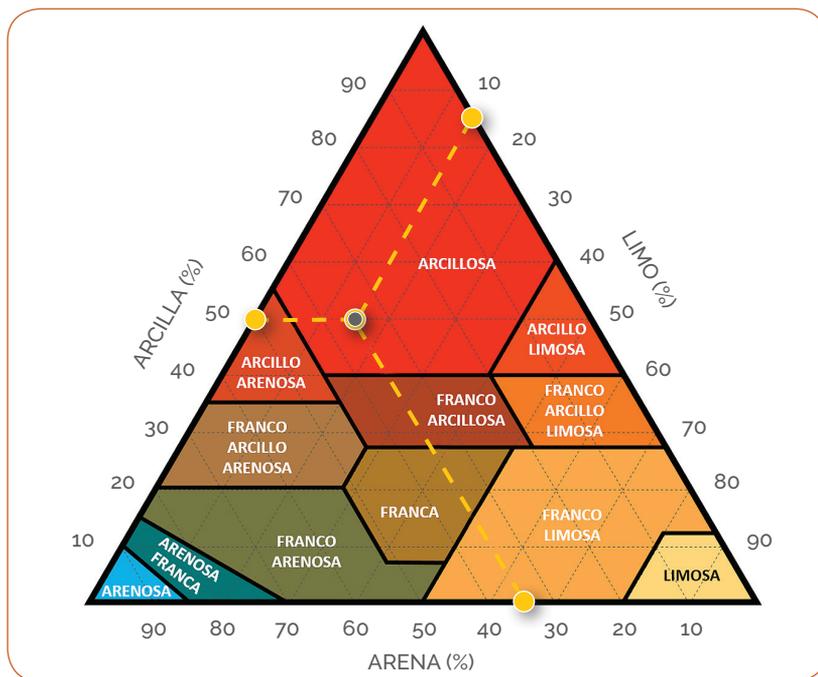


Figura 4.

Triángulo textural del USDA. Fuente: Angella *et al.* (2016).

Una forma práctica de determinar la textura de un suelo es mediante el método del tacto. Esta aproximación al tacto de la clase textural se basa en la respuesta que puede manifestar el suelo frente a un manejo determinado, tal como la labranza o su comportamiento frente al agua (Tabla 2).

Tabla 2.

Clases texturales de los suelos, con predominancia de una fracción textural.

| SUELO ARENOSO | SUELO LIMOSO | SUELO ARCILLOSO |
|---|---|--|
| Presenta en abundancia partículas gruesas, se pueden ver a ojo desnudo y separar con facilidad. | Su rango más característico es su suavidad en estado húmedo, aunque en estado seco tiene una apariencia en polvo (talco). | Con un poco de agua se vuelve jabonoso y resbaladizo. |
| Al frotar el material entre el dedo índice y el pulgar, se siente su aspereza y tamaño. Si se realiza esta acción cerca del oído es posible escuchar el crepitar de las arenas como resultado de la fricción de las partículas. | Al apretar limo húmedo entre el pulgar y el índice, se nota cómo se enrolla al secarse, dejando la piel limpia. | Si se manipula y amasa al estado plástico, forma cintas y cilindros finos y firmes. |
| Se satura con poca cantidad de agua y se seca rápidamente al aire, al secarse, se disgrega fácilmente. | Presenta adhesividad y es muy poco plástico. | Al manipularlo con algo de agua y estrujarlo, se siente suave y liso, adhiriéndose a la piel a medida que se seca. |
| Al mezclar con agua un poco de material en la palma de la mano y frotar con el índice de la mano opuesta, es posible diferenciar cantidades pequeñas de arena entre las muestras. | No retiene agua por periodos de tiempo prolongados. | Es más adhesivo, cohesivo y plástico que el suelo limoso. |
| Presenta ligera plasticidad en un rango de contenido de agua muy estrecho. | Es la partícula que domina en este suelo. | Retiene mucha agua y demora en secarse. |
| Para que domine cualitativamente, debe presentarse en cantidades elevadas. | | Las características cualitativas de plasticidad y cohesión se manifiestan aun con pequeñas cantidades de arcilla. |
| No presenta adhesividad. | | |

Fuente: Casanova *et al.* (2004).

La textura está relacionada con la cantidad total de poros (micro y macroporos) y estos, con la capacidad de retener, almacenar y brindar agua a las plantas. Los microporos son capaces de retener agua de riego mientras que en los macroporos el agua percola con facilidad.

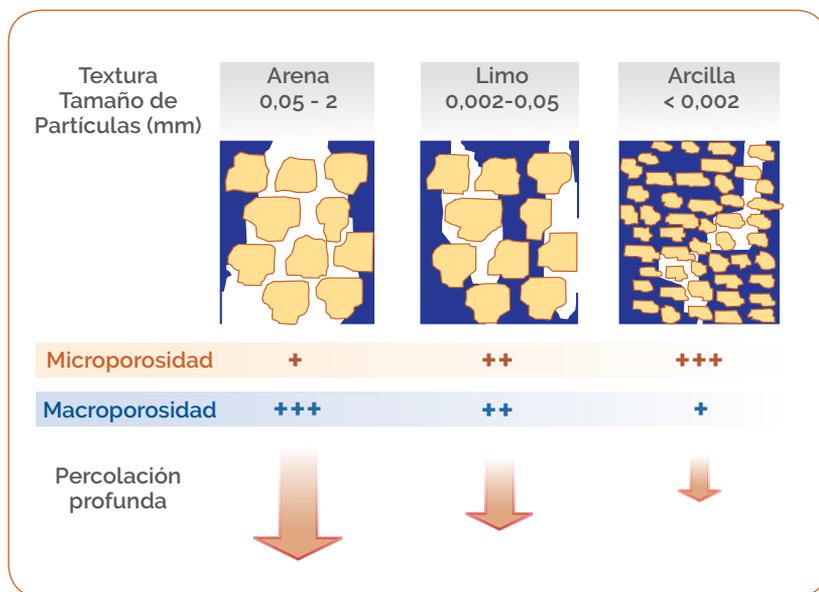


Figura 5.

Características de las texturas del suelo frente al agua.
Fuente: Casanova *et al.* (2004).

Según se puede apreciar (Figura 5), las texturas gruesas y las arenas poseen mayor proporción de macroporosidad, mientras que en las texturas finas y las arcillas predomina la microporosidad sobre la macroporosidad. Todo esto explica porque los suelos finos tienen mayor capacidad de almacenar agua. Los suelos de textura gruesa, como los arenosos, permiten una mayor percolación profunda (Figura 6) del agua debido a su estructura porosa y baja retención de humedad. Esto significa que el agua se infiltra rápidamente a través de los poros más grandes, lo que facilita su movimiento hacia las capas más profundas del suelo.

La relación entre la estructura de suelo y su capacidad de retención de humedad también puede ser mejorada mediante el uso de hidrogeles.

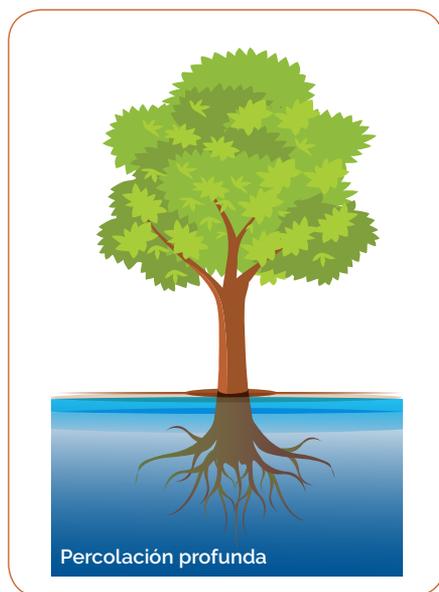


Figura 6.

Esquema de percolación profunda en suelos agrícolas.

Fuente: Holzapfel y Arumí (2008).

HIDROGELES

Los hidrogeles son sistemas abiertos que pueden alojar compuestos químicos que actúen como nutrientes y tienen la capacidad de almacenar agua. En términos simples, durante un evento de lluvia o riego, los hidrogeles absorben y retienen una gran cantidad de humedad actuando como un reservatorio adicional de agua. A medida que el suelo se seca durante el periodo de sequía, el agua absorbida en el superabsorbente se libera en el suelo, proporcionando agua a las raíces de las plantas gradualmente. Cuando la absorción de agua supera 100 veces su masa o más, se denominan polímeros superabsorbentes (Zohuriaan-Mehr y Kabari, 2008).

Actualmente existen superabsorbentes capaces de absorber hasta 1000 gramos de agua por gramo de hidrogel seco (Ulla *et al.*, 2015). Los hidrogeles se pueden clasificar como naturales, de acuerdo a su fuente de origen. Entre los polímeros naturales más comunes se encuentran el quitosano, celulosa, colágeno, alginato, y almidón (Klein y Poverenov, 2020).

Las principales ventajas que presentan los polímeros naturales son la biodegradabilidad y biocompatibilidad (capacidad de los hidrogeles para interactuar con sistemas biológicos), y que estos no dejan residuos tóxicos al degradarse. La capacidad de descomposición biológica de estos materiales se debe a que cuando se encuentran en entornos propicios para la actividad biológica, son descompuestos mediante las enzimas producidas por microorganismos como bacterias, hongos y algas. Las cadenas poliméricas se rompen mediante procesos no enzimáticos como la hidrólisis química, en consecuencia, no existen subproductos tóxicos que afecten al medio ambiente (Sannino *et al.*, 2005).

En particular, los polisacáridos han sido ampliamente reportados en la síntesis de hidrogeles naturales con gran potencial de aplicabilidad en la agricultura debido a su biodegradabilidad, bajo costo, no toxicidad y abundancia. Entre los polisacáridos más reportados se encuentran pectina, almidón, alginato, quitina, celulosa y sus derivados (Song *et al.*, 2020). El almidón resalta entre los polisacáridos con potenciales aplicaciones agroindustriales (fertilizantes de liberación controlada, mejoramiento de estructura y retención de agua en el suelo) siendo más allá de ser altamente abundante en la naturaleza y de ser obtenido de fuentes renovables, que se compone de Amilosa y Amilopectina, lo cual le confiere resistencia mecánica, y capacidad para mejorar las condiciones del suelo aumentando indirectamente el crecimiento de las plantas (Motamedi *et al.*, 2020).

Qiao *et al.*, (2016) desarrollaron y caracterizaron un fertilizante de liberación lenta encapsulado en un polímero superabsorbente (SAP) a base de almidón, utilizando celulosa etílica como recubrimiento interno y SAPs derivados de almidones de maíz, papa y yuca como recubrimiento externo. Se observó que las propiedades de absorción de agua y la tasa de liberación de nitrógeno en el suelo estaban significativamente influenciadas por la estructura del SAP, donde un aumento en el tamaño del gel fractal y una reducción en el diámetro de los poros resultaron en una mejor capacidad de retención de agua y una liberación gradual del nutriente. En particular, el SAP basado en almidón de papa mostró una liberación controlada más efectiva, liberando un 40% del nitrógeno en 24 horas y un 70% en 96 horas (Figura 7).

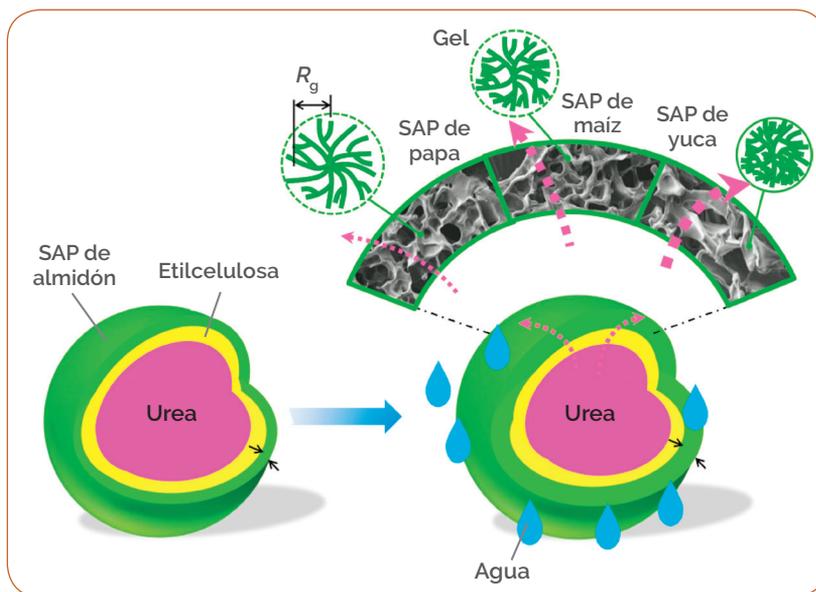


Figura 7.

Representación esquemática de la relación entre las características del polímero superabsorbente a base de almidón y los comportamientos de liberación lenta de doble recubrimiento. Fuente: Qiao *et al.*, 2016.

Asimismo, el uso de hidrogeles iónicos como la carboximetilcelulosa, un derivado de la celulosa, el cual se obtiene de la modificación química de la celulosa, donde los grupos carboximetilo se unen a las unidades de glucosa en las cadenas de la celulosa. Este hidrogel ha demostrado tener mayores capacidades de absorción de agua que los polímeros no iónicos (Ai *et al.*, 2021). Se han informado copolímeros basados en carboximetilcelulosa (CMC) que alcanzan una capacidad de hinchamiento de hasta $1700 \text{ (g}_{\text{hidrogel}}/\text{g}_{\text{H}_2\text{O}})$ (Durpekova *et al.*, 2020).

Dimitri *et al.*, (2008) reportaron hidrogeles de carboximetilcelulosa con capacidad de absorción de $75 \text{ (g}_{\text{hidrogel}}/\text{g}_{\text{H}_2\text{O}})$ y al probarse en un cultivo de tomate cherry, se encontró que la humedad del suelo se conservó por un periodo de 4 veces más largo, cuando se aplicaba 1% de hidrogel al suelo, aumentando la vida de la planta antes de marchitarse por falta del agua (Demetri *et al.*, 2013).

El enlace entre el agua y el grupo carboxilo en los hidrogeles se basa principalmente en la formación de enlaces de hidrógeno. El agua es una molécula polar, esto es debido a la diferencia de electronegatividad entre el oxígeno y el hidrógeno. En la molécula de agua, el oxígeno tiende a atraer más fuertemente los electrones compartidos, adquiriendo así una carga parcial negativa (δ^-) mientras que los átomos de hidrógeno adquieren una carga parcial positiva (δ^+).

En el grupo carboxilo, el oxígeno del grupo R-COOH es altamente electronegativo, y por lo tanto, adquiere una carga parcial negativa. Cuando el hidrogel superabsorbente entra en contacto con agua, se establece una interacción atractiva entre el oxígeno del grupo carboxilo y los átomos de hidrógeno de las moléculas de agua.

El oxígeno del grupo carboxilo (R-COOH) presenta una carga parcial negativa debido a su mayor electronegatividad. El hidrógeno de la molécula de agua presenta una carga parcial positiva. La interacción electrostática entre la carga negativa del oxígeno del grupo carboxilo y la carga positiva del hidrógeno de agua resulta en la formación de un enlace de hidrógeno. Este enlace de hidrógeno es más fuerte que las interacciones dipolo-dipolo convencionales y contribuye significativamente a la capacidad de los hidrogeles superabsorbentes para absorber grandes cantidades de agua. Además, dado que los hidrogeles superabsorbentes suelen contener numerosos grupos carboxilo en su estructura polimérica, la formación de múltiples enlaces de hidrógeno mejora aún más la capacidad de retención de agua del material.

La carboximetilcelulosa, quitosano y el almidón han demostrado excelentes propiedades de absorción de agua cuando se emplean en la síntesis de hidrogeles, sin embargo, sus propiedades mecánicas y la resistencia del gel son limitadas, siendo necesario la reticulación para alcanzar una mayor estabilidad (Zeinali *et al.*, 2020).

El quitosano destaca entre los polisacáridos con aplicaciones agroindustriales prometedoras, incluyendo fertilizantes de liberación controlada, mejoramiento de la estructura del suelo y retención de agua. Más allá de su abundancia en la naturaleza y su obtención de fuentes renovables, el quitosano tiene propiedades únicas como la biodegradabilidad, la bio-

compatibilidad y la capacidad de formar películas y geles. Estas características permiten que el quitosano mejore las condiciones del suelo, promoviendo indirectamente el crecimiento de las plantas al aumentar la capacidad de retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes (Sinha *et al.*, 2020; Kurita, 2001).

Jayanudin *et al.*, (2022) sintetizaron un hidrogel superabsorbente basado en quitosano y ácido acrílico, destinado a mejorar la capacidad de retención de agua en suelos arenosos, los cuales generalmente presentan baja retención de humedad y escasa fertilidad. El hidrogel mostró una significativa mejora en la capacidad de los suelos para retener agua, lo que es crucial para aplicaciones agrícolas en zonas áridas. Los resultados destacaron que la adición del hidrogel con mayor concentración de quitosano incrementó la capacidad de hinchamiento y la retención de agua en el suelo, lo cual podría beneficiar el crecimiento de las plantas en suelos con poca capacidad de retención de agua. Además, se demostró que el hidrogel puede ser reutilizado manteniendo un 60% de su capacidad de absorción tras varios ciclos de uso, lo que lo hace una solución económica y sostenible para mejorar la productividad agrícola en suelos desfavorables.

Por otro lado existen los polímeros sintéticos, como por ejemplo: ácido poliacrílico, poliacrilamida, y acetato de polivinilo. Los hidrogeles sintéticos se caracterizan por presentar altas tasas de absorción (> 400 gramos de H₂O destilada/gramo de hidrogel) (Michalik y Wandzik, 2020), disponibilidad de una amplia variedad de materias primas, y mayor vida útil debido a su baja biodegradabilidad, lo que constituye su principal desventaja puesto que generan subproductos tóxicos que afectan al medio ambiente (Chang *et al.*, 2020). La prevalencia del uso de polímeros sintéticos se atribuye principalmente a su notable capacidad de absorción de agua. Asimismo, se distingue por su prolongada durabilidad, resistencia mecánica (indicando que puede resistir tensiones, deformaciones y cargas mecánicas sin sufrir rupturas ni descomposición), y costos más bajos (Behera y Mahanwar, 2020).

Cuando se han utilizado hidrogeles de poliacrilamida, poliacrilato de potasio, y mezcla de poliacrilamida/poliacrilato de potasio (25/75), se han reportado capacidades de absorción de alrededor de 300, 700, y 1800 (gramos de H₂O/gramos de hidrogel), respectivamente (El-Rehim *et al.*, 2004). Si bien los polímeros sintéticos conservan la humedad del suelo, poseen una baja degradabilidad y se consideran potenciales contaminantes del suelo, limitando el uso a futuro en la agricultura (Tomadoni *et al.*, 2019).

Con el propósito de conferir biodegradabilidad a la cadena polimérica, preservando al mismo tiempo sus notables capacidades de absorción de agua. Se ha propuesto la síntesis de hidrogeles constituidos por componentes sintéticos y naturales (Klein y Poverenov, 2020). Algunas estrategias recientemente abordadas incluyen la síntesis de hidrogeles basados en mezclas de poliacrilamida y alginato o quitosano (capacidad de absorción ~ 370 g/g) (Elbarbary *et al.*, 2017), copolímeros basados en mezclas de lignina y poli (vinil alcohol) (capacidades de absorción superiores a 500 g/g) (Wu *et al.*, 2019), copolímeros de injerto de almidón y acrilamida (capacidad de absorción de 550 g/g) (Bao *et al.*, 2019).

RETENCIÓN DE HUMEDAD Y FRECUENCIA DE RIEGO

El uso de hidrogeles en suelos de textura gruesa, ofrece una solución innovadora y eficiente para mejorar la capacidad de retención de humedad, con efectos significativos sobre la frecuencia de riego. Los suelos de textura gruesa se caracterizan por tener partículas grandes y porosas que permiten un drenaje rápido, lo que dificulta la retención de agua y nutrientes esenciales para las plantas (Ahmed *et al.*, 2020). Al incorporar hidrogeles, que son polímeros capaces de absorber y retener grandes cantidades de agua, se crea una red de microreservorios que almacenan agua disponible para las raíces de las plantas durante periodos de sequía (Figura 8) o entre riegos (Kabiri *et al.*, 2016). Este aumento en la capacidad de retención de humedad transforma la dinámica hídrica del suelo, permitiendo una mejora en la sostenibilidad del cultivo (Sivapalan, 2006).

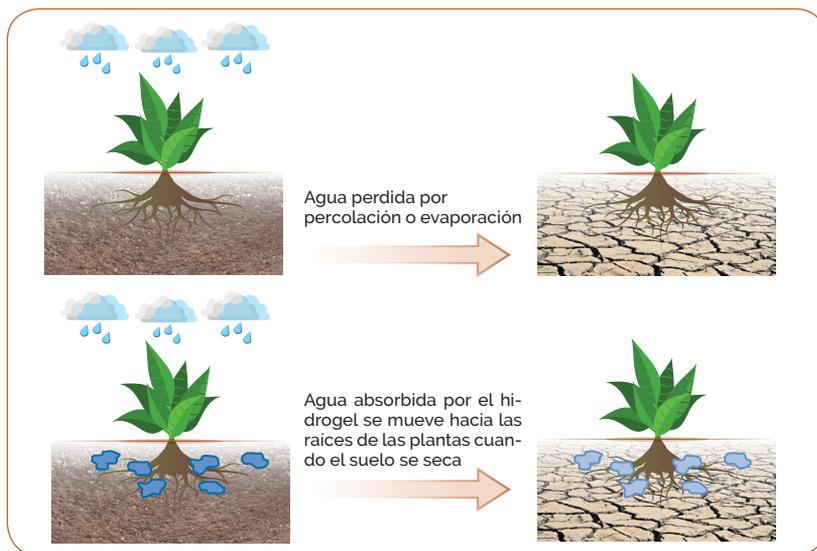


Figura 8.

Resistencia a la sequía por la adición de un hidrogel al suelo.

Fuente: Kair *et al.* (2023).

Los hidrogeles funcionan absorbiendo el agua cuando está disponible y liberándola gradualmente cuando el suelo se seca, lo que proporciona un suministro constante de agua a las plantas (EL-Hady *et al.*, 2019). Esta propiedad es particularmente beneficiosa en suelos arenosos, donde el agua tiende a percolarse rápidamente fuera del alcance de las raíces. Este suministro continuo de agua proporcionado por el hidrogel es absorbido por las raíces de la planta (Figura 9), que la utilizan para realizar sus funciones vitales.

Esta es luego transportada a través de la planta hasta las hojas, donde se libera en forma de vapor mediante un proceso llamado evapotranspiración. Durante la evapotranspiración, la planta regula su temperatura y facilita el intercambio de gases, lo que a su vez mejora su crecimiento y desarrollo. Gracias a la liberación gradual de agua por el hidrogel, la planta puede mantener un suministro continuo de humedad, lo que maximiza este proceso y optimiza su rendimiento, especialmente en comparación con suelos sin hidrogel, donde el agua se pierde rápidamente por la percolación.



Figura 9.

Proceso de absorción, retención y liberación de agua por hidrogeles en suelos y su efecto en la evapotranspiración de las plantas.

Fuente: Santibañez (2024).

Con la adición de hidrogel, el agua se retiene en el perfil del suelo por más tiempo, lo que no solo mejora la disponibilidad de agua sino también la de nutrientes, ya que estos se disuelven y transportan a través del agua retenida (Karimi *et al.*, 2019). Esta capacidad de liberar agua lentamente reduce la necesidad de riegos frecuentes, lo que es un beneficio significativo tanto en términos de conservación de agua como de costos operativos (Liang *et al.*, 2021).

La reducción en la frecuencia de riego es uno de los beneficios más destacados del uso de los hidrogeles. En condiciones típicas, los suelos arenosos requieren riegos frecuentes para mantener un nivel adecuado de humedad. Sin embargo, con la incorporación de hidrogeles, la frecuencia de riego puede disminuir drásticamente, ya que el agua se mantiene disponible en el suelo por periodos más prolongados (Islam *et al.*, 2011).

Esto no solo reduce el consumo de agua, sino que también disminuye el trabajo y los costos asociados al riego constante. En áreas agrícolas, donde el acceso al agua puede ser limitado y el riego representa una parte significativa de producción, el uso de hidrogeles puede resultar en ahorros sustanciales y una mayor eficiencia en la gestión del agua (Abobatta, 2018).

El uso de hidrogeles también mejora la estructura del suelo, aumentando su capacidad para retener no solo agua, sino también aire y nutrientes. Al absorber agua, los hidrogeles se expanden, creando espacios porosos que mejoran la aireación del suelo y permiten un mejor desarrollo de las raíces (Lentz *et al.*, 2020). Esto puede llevar a un aumento en la biomasa radicular y una mejora en la salud general de las plantas, lo que se traduce en rendimientos más altos y una mayor resistencia a condiciones de estrés hídrico (Orikiriza *et al.*, 2009).

DE LOS BENEFICIOS A LA PREOCUPACIÓN AMBIENTAL: LA URGENTE BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS BIODEGRADABLES

Los polímeros superabsorbentes (SAPs), especialmente los sintéticos, han despertado preocupación debido a su baja biodegradabilidad y los posibles impactos negativos en el medio ambiente. Krasnopeeveva *et al.* (2022) destacan que un problema significativo es la limitada, si no inexistente, biodegradabilidad de los SAPs sintéticos. Esta falta de biodegradabilidad, junto con su no renovabilidad y potencial toxicidad, puede afectar adversamente la salud de las plantas, la fertilidad del suelo y contribuir a la contaminación ambiental (Lejcuś *et al.*, 2018).

A pesar de sus propiedades superiores de absorción de agua, los SAPs basados en acrilatos presentan un alto peso molecular y una estructura completamente basada en átomos de carbono, lo que les confiere una baja biodegradabilidad con consecuencias devastadoras para el medio ambiente (Chen *et al.*, 2022). Esta baja biodegradabilidad se ha evidenciado en estudios donde, después de 24 semanas de incubación en di-

ferentes suelos, se observó una biodegradación menor al 0.85%, lo que sugiere la formación de microplásticos persistentes que podrían ingresar a la cadena alimentaria (Wilske *et al.*, 2014).

Smagin *et al.* (2014) informan que la biodegradación de los hidrogeles durante un período de vegetación de tres meses puede ser significativa, superando el 30% bajo condiciones áridas y más del 10% en climas húmedos. Sin embargo, estos hidrogeles pierden gradualmente sus propiedades previstas cuando ingresan al suelo, lo que podría desencadenar la formación de residuos sólidos similares a los microplásticos (Bai *et al.*, 2013; Dehkordi, 2016). La evidencia sobre la formación de estos residuos sólidos es aún anecdótica, y se necesita más investigación para comprender completamente los procesos que facilitan su formación y los impactos ambientales subsecuentes (Nagaraj y Rajan, 2020; Thomas *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2022).

La acumulación de residuos sólidos de SAP en la biota del suelo y sus posibles efectos ecotoxicológicos permanecen en gran medida desconocidos. Si estos residuos se comportan como microplásticos convencionales, podrían ser ingeridos por organismos del suelo, interfiriendo con los nutrientes y otras sustancias en el tracto digestivo, lo que podría facilitar la entrada de sustancias tóxicas en la cadena alimentaria humana (Khoshmanesh *et al.*, 2023; Saha *et al.*, 2020).

En resumen, los SAPs sintéticos presentan riesgos ambientales significativos, especialmente en términos de su persistencia y formación de residuos sólidos en el suelo. Aún queda mucho por investigar sobre su impacto a largo plazo en la salud del suelo y la productividad de los cultivos. El futuro de los hidrogeles en la agricultura depende de explorar alternativas sostenibles, como enmiendas de suelo biodegradables, para evitar los riesgos asociados con los SAPs actuales. Es crucial una investigación más profunda para comparar la biodegradabilidad de los SAPs sintéticos con los biodegradables o de origen biológico en suelos agrícolas (Adjuik *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

El uso de hidrogeles en la agricultura se presenta como una solución innovadora y efectiva para abordar el problema de escasez de agua, especialmente en suelos arenosos. Estos suelos, caracterizados por su alta porosidad y rápida percolación, tienen serias dificultades para retener el agua necesaria para el crecimiento óptimo de las plantas. En estos suelos, el agua se infiltra rápidamente fuera del alcance de las raíces de las plantas, haciendo que el agua disponible y los nutrientes, contenidos en ella se pierdan y no sean utilizadas de manera eficiente.

Los hidrogeles, que son polímeros superabsorbentes, pueden retener grandes cantidades de agua y liberarla gradualmente. Funcionan como depósitos que absorben el agua cuando está disponible, durante periodos de lluvia o riego, y luego la liberan cuando el suelo comienza a secarse. Esto proporciona un suministro constante y prolongado de agua a las plantas, lo que es crucial durante los periodos de sequía o entre riegos. De esta manera, los hidrogeles tienen el potencial de mejorar significativamente la retención de humedad en el suelo, asegurando que una mayor proporción del agua aplicada sea utilizada por las plantas.

Incorporar hidrogeles en el suelo puede reducir drásticamente la frecuencia de riego necesaria, lo que no solo ahorra agua sino que también disminuye los costos operativos para los agricultores. Además, al retener el agua por más tiempo en el suelo, los hidrogeles también mejoran la disponibilidad de nutrientes, ya que estos se disuelven y son transportados con el agua retenida, promoviendo un crecimiento más saludable y vigoroso de las plantas.

Los hidrogeles representan una herramienta prometedora para mejorar la retención de agua y nutrientes en suelos agrícolas, especialmente en aquellos de textura arenosa, donde la rápida pérdida de agua es un desafío significativo. Al absorber y liberar agua de manera gradual, estos polímeros pueden reducir la necesidad de riego frecuente y mejorar el crecimiento de las plantas. Sin embargo, es importante considerar que el uso de hidrogeles sintéticos plantea preocupaciones ambientales, como su

persistencia en el suelo y la posible formación de residuos. A medida que la investigación avanza, será esencial evaluar tanto los beneficios como los riesgos, y explorar alternativas más sostenibles, como los hidrogeles biodegradables, para asegurar un enfoque equilibrado y seguro en la implementación de esta tecnología en la agricultura.

REFERENCIAS

- Abobatta, W. 2018. Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. *Adv. Agric. Environ. Sci.*, 1(2), 59-64.
- Abobatta, W. F. 2018. Hydrogels and their applications in agriculture: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(30), 7495-7507.
- Adjuik, T. A., Nokes, S. E., & Montross, M. D. 2023. Biodegradability of bio-based and synthetic hydrogels as sustainable soil amendments: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(12), e53655. <https://doi.org/10.1002/app.53655>.
- Ahmed, I. M., Dai, H., Zheng, W., Cao, F., Zhang, G., & Sun, D. 2020. Impact of hydrogels on soil structure and plant growth: A critical review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 290, 106-741.
- Ai, F., Yin, X., Hu, R., Ma, H., & Liu, W. 2021. Research into the super-absorbent polymers on agricultural water. *Agricultural Water Management*, 245, 106513.
- Alcamo, J., Henrich, T., & Rosch, T. 2002. World Water in 2025 - Global modelling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century. Centre for Environmental System Research, University of Kassel: Germany.
- Angella, G., & Salgado, R. 2016. Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/322888562_Conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua-suelo-planta
- Bai, W., Song, J., & Zhang, H. 2013. Repeated water absorbency of superabsorbent polymers in agricultural field applications: A simulation study. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 63(5), 433-441. <https://doi.org/10.1080/09064710.2013.797488>.

- Behera, S., & Mahanwar, P. A. 2020. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: a review. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 59(4), 341356.
- Buchmann, C., & Schaumann, G. E. 2017. Effect of water entrapment by a hydrogel on the microstructural stability of artificial soils with various clay content. *Plant and Soil*, 414(1–2), 181–198. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3110-z>.
- Casanova, M., Vera, W., Luzio, W., & Salazar, O. 2004. Edafología, Guía de Clases Prácticas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos. Santiago, Chile. 75 p.
- Chang, L., Xu, L., Liu, Y., & Qiu, D. 2020. Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. *Polymer Testing*, 107021.
- Chen, J., Wu, J., Raffa, P., Picchioni, F., & Koning, C. E. 2022. Superabsorbent Polymers: From long-established, microplastics generating systems, to sustainable, biodegradable and future proof alternatives. *Progress in Polymer Science*, 125, 101475. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2021.101475>.
- Dehkordi, D. K. 2016. The effects of superabsorbent polymers on soils and plants. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 39(3), 267–298.
- Demitri, C., Del Sole, R., Scalera, F., Sannino, A., Vasapollo, G., Maffezzoli, A., & Ambrosio, L., Nicolais, L. 2008. Novel superabsorbent cellulose-based hydrogels crosslinked with citric acid. *Journal of Applied Polymer Science*, 110(4), 2453–2460.
- Demitri, C., Scalera, F., Madaghiele, M., Sannino, A., & Maffezzoli, A. 2013. Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture. *International Journal of Polymer Science*.

- Durpekova, S., Filatova, K., Cisar, J., Ronzova, A., Kutalkova, E., & Sedlarik, V. 2020. A Novel Hydrogel Based on Renewable Materials for Agricultural Application. *International Journal of Polymer Science*, 2020.
- Eficagua. 2019. Hidrogeles agrícolas: ¿Cómo funcionan? Disponible en: <https://eficagua.cl/hidrogeles-agricolas-como-funcionan/>.
- El-Hady, O. A., & Tayel, M. Y. 2019. Water-storing polymers in agriculture: an overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, 74(3), 282-287.
- El Rehim, H. A., Hegazy, E. S. A., & El Mohdy, H. A. 2004. Radiation synthesis of hydrogels to enhance sandy soils water retention and increase plant performance. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3), 1360-1371.
- Elbarbary, A. M., Abd El-Rehim, H. A., El-Sawy, N. M., Hegazy, E.-S. A., & Soliman, E.-S. A. 2017. Radiation induced crosslinking of polyacrylamide incorporated low molecular weights natural polymers for possible use in the agricultural applications. *Carbohydrate Polymers*, 176, 19-28.
- Fan, H., Wang, L., Feng, X., Bu, Y., Wu, D., & Jin, Z. 2017. Supramolecular Hydrogel Formation Based on Tannic Acid. *Macromolecules*, 50(2), 666-676.
- Gabler, R. E., Peter, J. F., Trapson, M., & Sack, D. 2009. *Physical Geography*. Brooks/Cole, Belmont, USA.
- Islam, M. R., Hu, Y., Mao, S., & Du, Y. 2011. Application of superabsorbent polymer in agriculture and industry. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(5), 565-572.
- Jin, S., Kim, Y., Son, D., & Shin, M. 2022. Tissue Adhesive, Conductive, and Injectable Cellulose Hydrogel Ink for On-Skin Direct Writing of Electronics. *Gels*, 8(6), 336.

- Jung, A., Endres, M. B., & Weichold, O. 2020. Influence of environmental factors on the swelling capacities of superabsorbent polymers used in concrete. *Polymers*, 12(10), 2185. <https://doi.org/10.3390/polym12102185>.
- Kabiri, K., Zohuriaan-Mehr, M. J., & Stöckelhuber, K. W. 2016. Advanced Superabsorbent Polymer Materials. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 55(6), 526-544.
- Karimi, A., Shamsuddin, N., & Akbari, G. A. 2019. Effects of superabsorbent polymer on soil moisture content and yield of plants in sandy soils. *Water*, 11(3), 623.
- Klein, M., & Poverenov, E. 2020. Natural biopolymer based hydrogels for use in food and agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(6), 23372347.
- Krasnopeevea, E. L., Panova, G. G., & Yakimansky, A. V. 2022. Agricultural applications of superabsorbent polymer hydrogels. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23), 15134. <https://doi.org/10.3390/ijms232315134>.
- Lejcuś, K., Śpitalniak, M., & Dąbrowska, J. 2018. Swelling Behaviour of Superabsorbent Polymers for Soil Amendment under Different Loads. *Polymers*, 10(3), 271. <https://doi.org/10.3390/polym10030271>.
- Lentz, R. D., & Sojka, R. E. 2020. Applying polyacrylamide (PAM) to reduce erosion and improve infiltration in sandy soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(3), 303-310.
- Liang, J., Zhang, H., Du, J., Liu, M., & Zhang, J. 2021. Hydrogel-based controlled release fertilizer: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(9), 3753-3765.
- Michalik, R., & Wandzik, I. 2020. A mini-review on chitosan-based hydrogels with potential for sustainable agricultural applications. *Polymers*, 12(10), 2425.

- Misiewicz, J., Głogowski, A., Lejcuś, K., & Marczak, D. 2020. The Characteristics of Swelling Pressure for Superabsorbent Polymer and Soil Mixtures. *Materials*, 13(22), 5071.
- Motamedi, E., Motesharezedeh, B., Shirinfekr, A., & Samar, S. M. 2020. Synthesis and swelling behavior of environmentally friendly starch-based superabsorbent hydrogels reinforced with natural char nano/micro particles. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1), 103583.
- Nagaraj, A., & Rajan, M. 2020. Future needs and trends: Influence of polymers on the environment. In AlMaadeed, M. A. A., Ponnamma, D., & Carignano, M. A. (Eds.), *Polymer Science and Innovative Applications* (pp. 593–634). Elsevier, Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816808-0.00019-6>.
- Orikiriza, L. J. B., Buyinza, M., Nkunika, P. O. Y., Kansime, F., & Basamba, T. A. 2009. Hydrogels for soil amendment: Implications on soil microbial composition and plant growth. *African Journal of Biotechnology*, 8(22), 6515-6520.
- Pomari, A. A. do N., Montanheiro, T. L. do A., de Siqueira, C. P., Silva, R. S., Tada, D. B., & Lemes, A. P. 2019. Chitosan hydrogels crosslinked by genipin and reinforced with cellulose nanocrystals: Production and characterization. *Journal of Composites Science*, 3(3), 84. <https://doi.org/10.3390/jcs3030084>.
- Qiao, D., Liu, H., Yu, L., Bao, X., Simon, G. P., Petinakis, E., & Chen, L. 2016. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by starchbased superabsorbent polymer. *Carbohydrate Polymers*, 147, 146–154.
- Rodriguez, E., Bellé, A. S., Hackenhaar, C. R., & Spolidoro, L. S. 2018. Efficient enzyme-assisted extraction of genipin from genipap (*Genipa americana* L.) and its application as a crosslinker for chitosan gels. *Food Chemistry*, 240, 1114-1122. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617318381>.

- Saha, A., Sekharan, S., & Manna, U. 2020. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. *Soil and Tillage Research*, 204, 104736. <https://doi.org/10.1007/s10965-021-02795-5>.
- Sannino, A., Pappadà, S., Madaghiele, M., Maffezzoli, A., Ambrosio, L., & Nicolais, L. 2005. Crosslinking of cellulose derivatives and hyaluronic acid with water-soluble carbodiimide. *Polymer*, 46(25), 11206-11212.
- Santibañez, M. 2024. Evaluación de un hidrogel en la capacidad de retención de humedad en el suelo. Proyecto de título, Ingeniero Civil Agrícola. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.
- Sivapalan, S. 2006. Benefits of treating a sandy soil with a crosslinked-type polyacrylamide. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(5), 579-584.
- Smagin, A. V., Sadovnikova, N. B., & Smagina, M. V. 2014. Biodestruction of strongly swelling polymer hydrogels and its effect on the water retention capacity of soils. *Eurasian Soil Sci.*, 47, 591-597.
- Song, B., Liang, H., Sun, R., Peng, P., Jiang, Y., & She, D. 2020. Hydrogel synthesis based on lignin/sodium alginate and application in agriculture. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144, 219-230.
- Sousa, H. R., Lima, I. S., Neris, L. M. L., Silva, A. S., Nascimento, A. M. S. S., Araújo, F. P., Ratke, R. F., Silva, D. A., Osajima, J. A., Bezerra, L. R., & Silva-Filho, E. C. 2021. Superabsorbent hydrogels based to polyacrylamide/cashew tree gum for the controlled release of water and plant nutrients. *Molecules*, 26(9), 2680. <https://doi.org/10.3390/molecules26092680>.

- Tester, R., Karkalas, J., & Qi, X. 2004. Starch—Composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39, 151-165.
- Thomas, D., Schütze, B., Heinze, W. M., & Steinmetz, Z. 2020. Sample preparation techniques for the analysis of microplastics in soil—A review. *Sustainability*, 12(21), 9074. <https://doi.org/10.3390/su12219074>.
- Tomadoni, B., Casalongué, C., & Alvarez, V. A. 2019. Biopolymer-based hydrogels for agriculture applications: Swelling behavior and slow release of agrochemicals. In *Polymers for Agri-food applications*. 99-125.
- Ullah, F., Othman, M. B. H., Javed, F., Ahmad, Z., & Akil, H. M. 2015. Classification, processing and application of hydrogels: a review. *Mater Sci Eng, C*, 57, 414-433.
- Wang, Y., Wang, C., Zhao, Y., & Wang, P. 2018. Effects of a superabsorbent resin with boron on bacterial diversity of peat substrate and maize straw. *BioMed Research International*, 2018, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2018/6071085>.
- Wilske, B., Bai, M., Lindenstruth, B., Bach, M., Rezaie, Z., Frede, H.-G., et al. 2014. Biodegradability of a polyacrylate superabsorbent in agricultural soil. *Environ Sci Pollut Res*, 21, 9453-60.
- Wu, L., Huang, S., Zheng, J., Qiu, Z., Lin, X., & Qin, Y. 2019. Synthesis and characterization of biomass lignin-based PVA super-absorbent hydrogel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140, 538-545.
- Zeinali, A., Sirousazar, M., Dastgerdi, Z. H., & Kheiri, F. 2020. Gelatin/Montmorillonite and Gelatin/Polyvinyl Alcohol/Montmorillonite Bio-nanocomposite Hydrogels: Microstructural, Swelling and Drying Properties. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 59(5), 263-283.
- Zohuriaan-Mehr, M. J., & Kabiri, K. 2008. Superabsorbent polymer materials: A review. *Iranian Polymer Journal (English Edition)*, 17(6), 451-477.



CRHIAM
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA
ANID/FONDAP/1523A0001



Universidad de Concepción



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM



USO DE HIDROGELES EN LA RETENCIÓN DE AGUA DE SUELOS AGRÍCOLAS: VENTAJAS Y DESAFÍOS



Universidad de Concepción



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA



Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia

