



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática: Polímeros Naturales para el  
almacenamiento de agua en suelos**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

Olaya Reátegui, Mariana Margarita (ORCID: 0000-0002-9509-768X)

Tovar Rodriguez, Yoseline Irma (ORCID: 0000-0002-3729-620X)

**ASESOR:**

Mgr. Garzon Flores, Alcides (ORCID: 0000-0002-0218-8743)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA-PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

A Dios que siempre ha estado presente durante todo el transcurso de la construcción de este trabajo, a todas las personas que buscan nuevos conocimientos que lleven a una nueva era de sostenibilidad con el ambiente.

Olaya

A los activistas y voluntarios que luchan día a día por la protección y conservación de ecosistemas y buscan nuevas tecnologías que generen un impacto mínimo en el ambiente.

Tovar

### **Agradecimiento**

A mi madre, a mis tíos y a mis abuelitos, que siempre velaron por mi educación y me ayudaron a cumplir mis metas.

A mi amiga y compañera de tesis Yoseline, por el trabajo en equipo y que a pesar de todas las dificultades logramos sacar adelante este trabajo.

A mí misma por no rendirme y sacar fuerzas de donde ya no había.

Olaya

A mi familia por el apoyo que me brindaron durante la carrera profesional.

A las instituciones en las que me permitieron ser voluntaria, aprender y obtener experiencias enriquecedoras.

A mi amiga y compañera de tesis Mariana por su empatía y dedicación en este trabajo.

A Joel por darme la oportunidad de trabajar con él y brindarme su apoyo durante el proceso de elaboración de este trabajo y a nuestras mascotas por darnos estabilidad emocional.

Tovar

## Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de gráficos y figuras.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	6
III. METODOLOGÍA.....	34
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	34
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.....	34
3.3. Escenario de estudio.....	36
3.4. Participantes.....	36
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.6. Procedimientos.....	37
3.7. Rigor científico.....	38
3.8. Método de análisis de datos.....	39
3.9. Aspectos éticos.....	40

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
IV. CONCLUSIONES.....	64
V. RECOMENDACIONES .....	66
REFERENCIAS	
ANEXOS	

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Clasificación de hidrogeles superabsorbentes según origen, entrecruzamiento, carga, estado físico, configuración física y composición...</i>	19
<b>Tabla 2.</b> <i>Análisis estructurales para el estudio de los hidrogeles superabsorbentes.....</i>	29
<b>Tabla 3.</b> <i>Matriz de categorización apriorística.....</i>	35
<b>Tabla 4.</b> <i>Evaluación de artículos encontrados.....</i>	37
<b>Tabla 5.</b> <i>Resumen de antecedentes y material orgánico utilizado para la síntesis de hidrogeles superabsorbentes.....</i>	41
<b>Tabla 6</b> <i>Resumen de polímeros estudiados.....</i>	42
<b>Tabla 7.</b> <i>Materiales para la síntesis de hidrogeles superabsorbentes e identificación de agente reticulante e iniciador aplicados.....</i>	43
<b>Tabla 8.</b> <i>Capacidad de absorción de los hidrogeles superabsorbentes estudiados.....</i>	50
<b>Tabla 9.</b> <i>Capacidad de hinchamiento de los hidrogeles superabsorbentes....</i>	54
<b>Tabla 10.</b> <i>Capacidad de retención de los hidrogeles superabsorbentes.....</i>	57
<b>Tabla 11.</b> <i>Aplicaciones de los polímeros superabsorbentes.....</i>	60

## Índice de gráficos y figuras

<i>Figura 1.</i> Gráfico de barras sobre cantidad de documentos publicados según país con relación a polímeros superabsorbentes. Tomado de <i>Scopus (2022)</i> . 3	3
<i>Figura 2.</i> Gráfico de líneas sobre cantidad de documentos publicados por año con relación a polímeros superabsorbentes. Tomado de <i>Scopus (2022)</i> ..... 4	4
<i>Figura 3.</i> “Mecanismo de síntesis del hidrogel CMTKG-PSA”. Tomado de <i>Khushbu et al. (2019)</i> ..... 26	26
<i>Figura 4.</i> Secuencia de los cuatro procesos de hinchamiento. Tomado de <i>Mohamady (2020)</i> ..... 27	27
<i>Figura 5.</i> Estructura del almidón. Tomado de <i>Varghese et al. (2020)</i> ..... 31	31
<i>Figura 6.</i> Estructura del quitosano. Tomado de <i>Varghese et al. (2020)</i> ..... 32	32
<i>Figura 7.</i> Estructura de la celulosa. Tomado de <i>Varghese et al. (2020)</i> . ..... 33	33
<i>Figura 8.</i> Polímeros naturales más usados en los artículos estudiados. .... 42	42
<i>Figura 9.</i> Reticulantes aplicados en los artículos estudiados..... 46	46
<i>Figura 10.</i> Iniciadores aplicados a los artículos estudiados. .... 49	49
<i>Figura 11.</i> Capacidad de absorción de los hidrogeles superabsorbentes. .... 52	52
<i>Figura 12.</i> Capacidad de hinchamiento de los hidrogeles superabsorbentes. 55	55
<i>Figura 13.</i> Capacidad de retención de los hidrogeles superabsorbentes. .... 58	58
<i>Figura 14.</i> Aplicaciones de los polímeros superabsorbentes..... 62	62

## Resumen

La agricultura es una de las actividades más importantes para el ser humano y es amenazada por el cambio climático. Por consiguiente, se desarrolló esta revisión sistemática con el objetivo de recopilar la variedad de polímeros naturales que se han estudiado en los últimos cinco años. Se incluyeron 21 artículos científicos haciendo uso de categorías y subcategorías que permitieron la identificación del polímero más usado, los de mayor absorción, hinchamiento, retención y aplicaciones, resultando como los más usados: el almidón y la celulosa. Además, el polímero a base de residuos de col blanca presentó mayor absorción (1726 g/g); el de mayor hinchamiento estuvo basado en polvo de cáscara de huevo (1256 g/g) y el de mayor retención fue el almidón proveniente del maíz (80%).

Tanto la morfología y naturaleza de los reticulantes con los que sintetizaron estos polímeros, fueron identificados como factores principales para una óptima capacidad de hinchamiento y acondicionadora del suelo.

Concluyendo, se recomienda que para futuras investigaciones se tome en cuenta el análisis de las características como resistencia a la sal, liberación de agua y biodegradabilidad del polímero superabsorbente, así como el estudio de la cantidad óptima de polímero que debe ser agregado en un cultivo.

Palabras clave: Hidrogeles superabsorbentes, polímeros superabsorbentes, agricultura.



## **Abstract**

Agriculture is one of the most important activities for human beings and is threatened by climate change. Therefore, this systematic review will be developed with the aim of compiling the variety of natural polymers that have been studied in the last five years. 21 scientific articles are included making use of categories and subcategories that allowed the identification of the most used polymer, those with the highest absorption, swelling, retention and applications, resulting in the most used: starch and cellulose. In addition, the polymer based on white cabbage residues presented higher absorption (1726 g/g); the one with the highest swelling was based on eggshell powder (1256 g/g) and the one with the highest retention was starch from corn (80%).

Both the morphology and nature of the crosslinkers with which these polymers were synthesized were identified as main factors for an optimal swelling and conditioning capacity of the soil.

In conclusion, it is recommended that for future research the analysis of the characteristics such as salt resistance, water release and biodegradability of the superabsorbent polymer be taken into account, as well as the study of the optimal amount of polymers that should be added in a crop.

Keywords: Superabsorbent hydrogels, superabsorbent polymers, agriculture.

## I. INTRODUCCIÓN

En la agricultura de regadío, la práctica de riego es uno de los procesos más complejos que debe realizar el agricultor debido a la multitud de factores implicados en el manejo del agua, requiriéndose de información técnica para el conocimiento preciso entre el agua usada y el rendimiento de los cultivos (García et al., 2009; Domínguez et al., 2012, p. 1). En el campo de la agricultura es importante saber cómo formar acondicionadores de suelo aceptables que tengan un período de tiempo antes de su degradación. Para eso se necesita la cooperación de polímeros naturales con hidrogel sintético (Kar, 2009, p. 5).

Los hidrogeles o polímeros súper absorbentes han sido propuestos ampliamente en los últimos años para uso agrícola con el objetivo de mejorar la disponibilidad de agua para las plantas incrementando las propiedades de retención de agua siendo utilizada en diversos sectores, como la agricultura y la arquitectura paisajística, logrando reducir el consumo de agua hasta un 50%, (Rivera y Mesías, 2017, p. 1). Las dosis recomendadas varían de 5 a 25 kg·ha<sup>-1</sup>, en función del tipo de suelo, cultivo y clima (SNF Inc., 2011, p. 1). Adicional al efecto de retención del agua en el suelo, estos productos mantienen temperaturas que fomentan un mejor desarrollo de las plantas, con el consecuente efecto en rendimiento, como se ha mostrado experimentalmente en cultivos como acelga (Gutiérrez et al., 2008, p. 11), plántulas forestales (Maldonado et al., 2011, p. 5), soya (Galeş et al., 2012, p. 2), plantas forestales (Ríos et al., 2012, p. 1), apio (Kosterna et al., 2012, p. 1)

Según Aravamudhan (como se citó en Mohamady, 2014 párr. 1), “Los polímeros naturales se originan en la naturaleza y se encuentran en dos tipos de células: procariota y eucariota. Al ser de naturaleza biodegradable, permite su degradación en el suelo por microorganismos en condiciones ambientales, liberando enzimas capaces de dividir el enlace de macromoléculas en pequeños fragmentos; también podrían ser candidatos para mejorar la capacidad de retención de agua del suelo”, ayudan a mantener el equilibrio dentro del ecosistema incluyendo el suelo, las plantas, el aire y el agua (Cunha et al., 2010, p. 1)

Los hidrogeles naturales son ampliamente utilizados en los sistemas de la agricultura, la administración de fármacos, purificación del agua, industria alimentaria, aplicaciones biomédicas y medicina regenerativa, apósitos para heridas, biosensores, etc. Los hidrogeles son capaces de absorber y conservar una gran cantidad de agua. Esta propiedad, encuentra aplicaciones en la agricultura y la horticultura para la liberación controlada de agua y nutrientes en los fertilizantes. La necesidad de riego y nutrición de plantas, debido a su uso, puede ser reducida. Polisacáridos, tales como quitosano, pectina y carboximetilcelulosa se han utilizado como hidrogeles superabsorbentes para fertilizantes y liberación de agua (Faheem et al., 2015, p. 414-433) (Sannino, 2009, p. 353-373).

Las moléculas de almidón y de celulosa como todos los polisacáridos, se despolimerizan por acción de los ácidos en caliente, cuando los gránulos son expuestos a la acción de ácidos muy diluidos y luego calentando esta mezcla, se obtiene la hidrólisis en los enlaces 15 glucosídico, retomando las moléculas en su forma original, es decir, a sus monómeros principales de glucosa (Senit, et al., 2018, p. 370-381).

Este trabajo de investigación presenta una justificación teórica, y esta se fundamenta en generar reflexión a través del análisis de los estudios recopilados y debate académico sobre los diversos resultados encontrados.

Asimismo, se resalta la necesidad de estudiarlos debido a la escasez de literatura en español sobre hidrogeles superabsorbentes en Latinoamérica (Fig. 1). Los hidrogeles se estudiaron desde 1985, teniendo como resultado un total de 58 artículos afines que corresponden al filtrar la búsqueda con las palabras clave “hydrogel”, usando el conector “AND” seguido por la palabra clave “superabsorbent” para artículos que contengan estas palabras en el título, además del uso de la palabra clave “agriculture” (Fig N° 2) de la base de datos bibliográfica Scopus.

Su relevancia se basa en que sirve como método de análisis de datos para la aplicación en investigaciones afines a la agricultura y el uso sostenible de los recursos hídricos destinados para esta actividad, por ende, estaría resolviendo un

problema al exponer variedades de métodos para el almacenamiento de agua en suelos evitando el derroche de este recurso y de nutrientes necesarios para las especies vegetativas en las que se aplique.

En tal sentido, en el Perú se podría aplicar en actividades de reforestación y restauración de ecosistemas vulnerables como el de lomas costeras ya que al ser un ecosistema temporal sufre de escasez de agua.

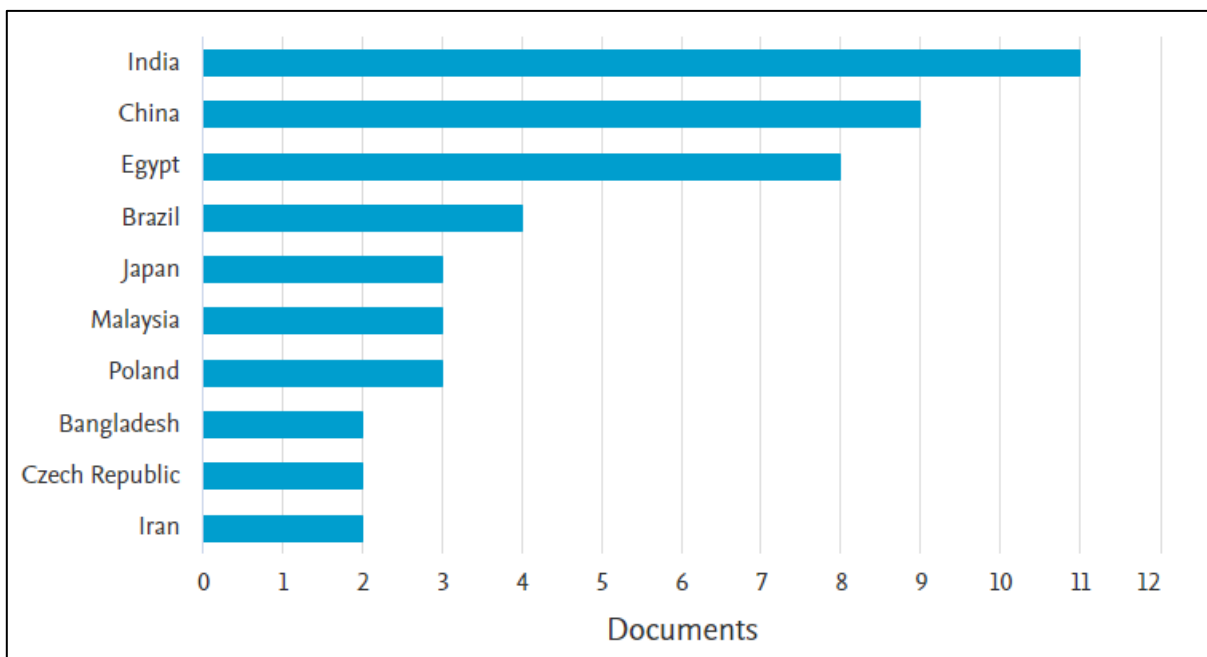


Figura 1. Gráfico de barras sobre cantidad de documentos publicados según país con relación a polímeros superabsorbentes. Tomado de Scopus (2022).

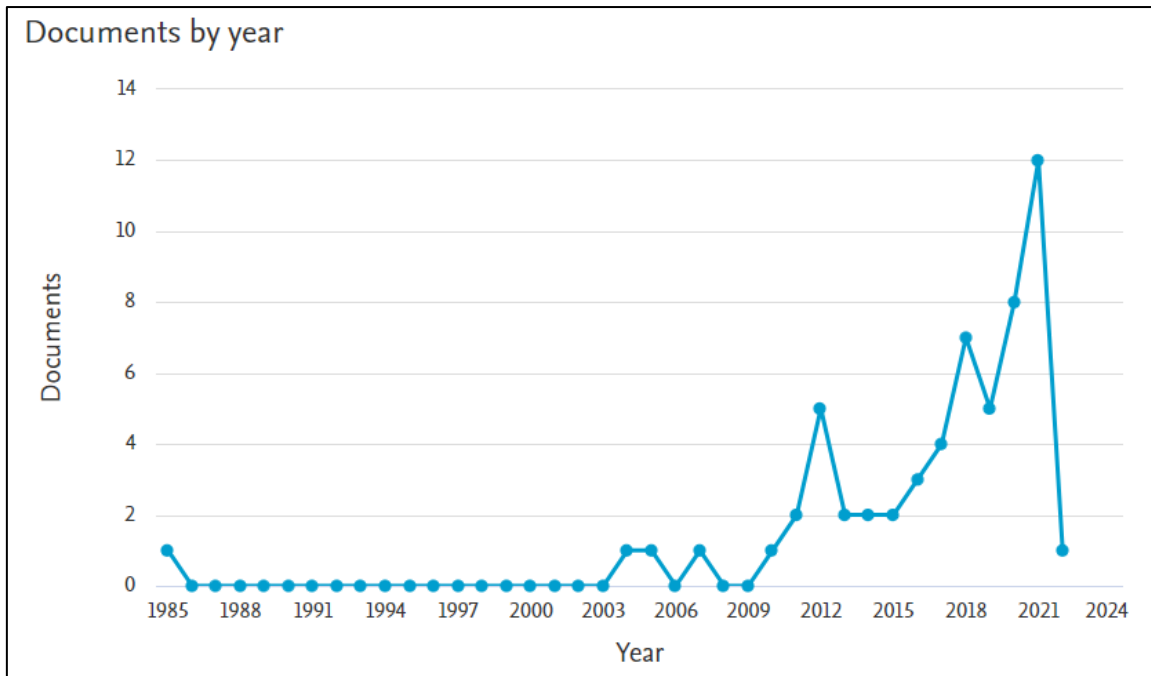


Figura 2. Gráfico de líneas sobre cantidad de documentos publicados por año con relación a polímeros superabsorbentes. Tomado de *Scopus* (2022).

De acuerdo a la realidad problemática descrita, se planteó el problema general y los problemas específicos de esta revisión. El problema general fue: ¿Cuáles son los polímeros naturales para el almacenamiento de agua en suelos? Los problemas específicos de la revisión sistemáticas fueron los siguientes:

- **PE1:** ¿Cuáles son los polímeros naturales más usados para el almacenamiento de agua en suelos?
- **PE2:** ¿Cuál es la capacidad de absorción, hinchamiento y de retención de los polímeros naturales que son usados para el almacenamiento de agua en suelos?
- **PE3:** ¿Cuáles son las aplicaciones agrícolas donde se han usado polímeros naturales para el almacenamiento de agua en suelos?

El objetivo general de esta revisión sistemática fue el de realizar una recopilación de información sobre los polímeros naturales usados para el almacenamiento de agua en suelos. Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- **OE1:** Identificar los polímeros naturales más usados para el almacenamiento de agua en suelos.
- **OE2:** Identificar la capacidad de absorción, hinchamiento y de retención de los polímeros naturales que son usados para el almacenamiento de agua en suelos.
- **OE3:** Conocer las aplicaciones agrícolas donde se han usado polímeros naturales para el almacenamiento de agua en suelos.

## II. MARCO TEÓRICO

Los artículos estudiados en esta revisión se enfocan en la síntesis de polímeros superabsorbentes publicados en los últimos cinco años que se han experimentado a nivel laboratorio como acondicionadores del suelo, germinación de semillas y crecimiento de plántulas, con la finalidad de dar nuevas alternativas ecológicas para el uso racional del agua en la agricultura. Así como conocer las características de los polímeros superabsorbentes.

Se han desarrollado diferentes tecnologías para el almacenamiento de agua en suelos, basadas en residuos de col blanca, goma guar, celulosa y goma de linaza, goma de moringa, licor rojo de pulpa de kraft, almidón y ceniza de cáscara de arroz, celulosa de paja de maíz, quitosano, lignina y goma de semilla de tamarindo, sintetizados con persulfato de potasio (KPS) y N, N' - metileno-bisacrilamida (MBA), entre otros compuestos que cumplen la función de agentes reticulantes e iniciadores para que la red del polímero cumpla con la característica de absorción.

Lertsarawut et al. (2021), ampliaron la producción de superabsorbente a base de almidón y validaron los beneficios para su aplicación en la agricultura. Caracterizaron el superabsorbente a través de FTIR y la caracterización térmica por TGA mostraron resultados que diferenciaron los materiales de partida del SWA preparado, lo que confirma la preparación eficaz del SWA a base de almidón mediante la polimerización por injerto inducida por radiación. Concluyeron que la cantidad optimizada de SWA requerida para maximizar la tasa de supervivencia de los árboles de caucho jóvenes plantados en áreas áridas en la estación seca fue de 30 g de SWA por árbol de caucho, esto permitió una tasa de supervivencia de hasta un 40% y los beneficios incluyen la reducción del consumo de agua, la disminución de la frecuencia de riego, el aumento de la porosidad del suelo y una mejor oxigenación.

Zhang et al. (2021) realizaron la síntesis de un gel de polímero superabsorbente a base de residuos de col utilizando dos monómeros AMPS (2-

acrilamida-2-metil- ácido 1-propanosulfónico) y AA (ácido acrílico). Investigaron la retención de agua, resistencia a la sal y el rendimiento de hinchamiento repetido y la estabilidad térmica de la estructura química y el aspecto microscópico del gel polimérico superabsorbente. Para su preparación se recurrió a la obtención de un polvo de col y una mezcla de soluciones de AMPS, AA, NaOH, CB, MBA y APS, los cuales fueron mezclados. Finalmente, se caracterizó este polímero a través de espectroscopía FTIR, análisis termogravimétrico, caracterización morfológica. Bajo condiciones de laboratorio obtuvieron como resultado que el hidrogel de col tiene una capacidad de absorción de agua ultrapura, agua destilada, agua corriente y solución de NaCl al 0,9 % con 1914 g/g, 1726 g/g, 306 g/g y 114 g/g respectivamente y concluye que tiene una mayor capacidad de absorción de agua, resistencia a la sal, retención de agua y estabilidad térmica y puede adaptarse al entorno del suelo y se espera que sea un agente de retención de agua ideal.

Adjuik et al. (2021) Estudiaron la síntesis de un hidrogel a base de lignina, junto con sus propiedades de hinchamiento del hidrogel, determinando en diferentes soluciones acuosas y en suelos. Utilizaron espectroscopia de infrarrojos transformada de Fourier (FTIR) para caracterizar el hidrogel usando la columna de agua colgante y el método de la placa de presión, la curva de retención de agua del suelo se midió desde un rango de cabeza de presión de agua del suelo de -3 cm hasta el punto de marchitez permanente, es decir, -15.000 cm para un suelo franco limoso. Para ello, se modificó el suelo con el hidrogel a base de lignina en concentraciones de 0, 0,1 y 0,3 % (p/p). Como resultado del estudio, concluyeron que de las propiedades de hinchamiento del hidrogel a base de lignina muestran una relación de hinchamiento máxima del 2030 % de la masa original del hidrogel en agua desionizada, del 1092 % en agua del grifo y del 825 % en la solución de NaCl al 0,9 %. Los espectros FTIR del hidrogel muestran la presencia de enlaces OH que provienen de la estructura de la lignina y hacen que el hidrogel sea reactivo a las moléculas de agua y, como resultado, se hincha. El tratamiento con hidrogel de lignina aumentó significativamente la retención de agua cerca de la saturación en comparación con un tratamiento de control del suelo sin hidrogel de lignina agregado.



Durpekova et al. (2020) Sintetizaron un gel agrícola biodegradable y renovable a base de carboximetilcelulosa (CMC) e hidroxietilcelulosa (HEC) y suero ácido reticulado con ácido cítrico (CA). Para este estudio se evaluaron la capacidad de absorción de agua, relación de hinchamiento (SR) y cinética de hinchamiento a través del método gravimétrico, además, se caracterizó mediante Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier de reflectancia total atenuada (ATR-FTIR) y análisis reológico ejecutando pruebas de barrido de frecuencia y barrido de deformación para obtener datos sobre las propiedades viscoelásticas. La mayor capacidad de hinchamiento la obtuvo la muestra denominada H5 (casi 1700%) que fue reticulada por 5% de ácido cítrico. Las muestras de H5 y H10 llegaron a la capacidad máxima de hinchamiento, 1115% y 554% después de haber sido sumergidas en agua destilada, y, en solución salina a pH 10, presentaron un hinchamiento de 994% y 541%, respectivamente. La mejor capacidad de absorción se observó entre 30 ° C y 50 ° C para el hidrogel entrecruzado.

Ahmad et al. (2020) Sintetizaron hidrogeles superabsorbentes a base de goma de Moringa oleífera (MOG) y alcohol polivinílico (PVA) reticulado con bórax, para desarrollar una goma natural -SH con mejores propiedades de hinchamiento, fisicoquímicas y de rehinchamiento que pueden competir con contrapartes sintéticas con respecto a los problemas ambientales. Analizaron que los grupos hidrofílicos de un polímero unen las partículas constituyentes de la sal de manera que este bloquea las estructuras, obstruyendo el paso de moléculas de agua, para llenar estos vacíos, se usaron polisacáridos naturales como gomas naturales, en este caso la MOG, lo que da una solución muy pegajosa cuando se sumerge en agua y sobre todo no es tóxico. Como resultado de estudio concluyeron que el comportamiento de dilatación y contracción de los hidrogeles MOG/PVA fueron influenciados por la sal inorgánica en soluciones acuosas y por medio de la prueba de retención de agua confirma la buena propiedad de retención de agua del hidrogel MOG/PVA. Esta SH de base biológica tiene un gran potencial para uso comercial a gran escala y puede ser usado para la conservación del agua en la agricultura.

Wang et al. (2020) Sintetizaron un hidrogel fertilizante con celulosa de paja y polímero lineal. Para extraer la celulosa de paja de mijo y obtener fosfato de paja de mijo (MSP), añadieron como catalizador una mezcla de dihidrogenofosfato de sodio y dihidrogenofosfato de sodio con relación másica de 1:1 y 4 % de urea, ajustando a pH 6.5 con HCl., se secó a una temperatura de 130°C durante 6 horas. Luego este fue agitado, dispersado, secado en estufa, molido y tamizado. Los materiales preparados se caracterizaron con microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS), difracción de rayos X (XRD) y análisis termogravimétrico (TGA). También analizaron la capacidad de absorción de agua y comportamiento de liberación lenta. Finalmente, se tuvo como resultado una excelente absorción de agua de 681,3 g/g en agua destilada y la mejora de la capacidad de retención de agua del suelo. Las tasas acumuladas de liberación de N y P de MSP-gAA/PVA-APP fueron 55,1 % y 47,3 % después de 30 días en el suelo, respectivamente. Concluyendo que tenía excelentes propiedades de retención de agua y liberación lenta. Además de mejorar el crecimiento del trigo. Por tanto, se proyecta a que podría ser aplicado en campos agrícolas.

Zhao et al. (2019) estudiaron que la aplicación de polímeros superabsorbentes (SAP), se ve obstaculizada porque su capacidad de absorción se ve muy afectada por los electrolitos en una solución. Fabricaron un nuevo polímero absorbente de agua modificado mediante polimerización en solución de almidón modificado con ácido sulfámico y ácido acrílico; las pruebas hechas para medir su capacidad de hinchamiento fueron en agua desionizada, en solución de cloruro de sodio, por otro lado, la capacidad de absorción de agua se midió en agua a diferentes valores de pH, concentraciones de sal y temperaturas. Llegaron a la conclusión que el copolímero preparado tenía una estructura y características de hinchamiento diferentes a las del ácido acrílico injertado con almidón ordinario, y exhibió una excelente absorción de agua y tolerancia a la sal con SR (proporción de expansión) de 1026 g/g en agua desionizada y 155 g/g en una solución de cloruro de sodio al 0,9 %.

este nuevo polímero tiene un gran potencial para aplicaciones comerciales a gran escala y podría tener amplias aplicaciones en la agricultura como retenedor de agua.

Meng et al. (2019) Presentaron un método novedoso y sencillo para usar lignosulfonato y polisacáridos, que son los principales componentes del licor rojo para hidrogeles de biopolímeros superhinchables con propiedades de retención de agua a largo plazo. Utilizaron directamente el licor rojo para preparar hidrogeles sin pretratamiento, utilizando, FT-IR, SEM, TGA y XRD para determinar la estructura y la morfología de los hidrogeles fabricados a partir de acrílico (AA) y los desechos de la industria que muestren comportamientos de liberación lenta y súper hinchable en el agua. Llegaron a la conclusión que, los hidrogeles súper hinchables son excelentes en proporciones de hinchamiento. Una pequeña cantidad de licor rojo de 0,4 g en los hidrogeles mejoró mucho la relación de hinchamiento hasta aproximadamente 280 g/g. Además, estos hidrogeles súper hinchables también exhibieron la propiedad de liberación lenta de agua, y la tasa de retención de agua es de alrededor del 80 % para hidrogeles que contienen 0,4 g de licor rojo después de 24 h a 50 °C. Por lo tanto, estos hidrogeles que contienen licor rojo con excelentes propiedades de hinchamiento y retención de agua han demostrado ser excelentes candidatos para plantas y vegetales en la retención de agua en la agricultura.

Vasconcelos et al. (2019) sintetizaron un hidrogel superabsorbente basado en un poliacrilato de sodio injertado con almidón relleno con ceniza de cáscara de arroz y fue probado como acondicionador del suelo en plántulas de melón. Obtuvieron la ceniza de cascarilla de arroz con la que se sintetizó el hidrogel a través de la polimerización por radicales libres de monómeros de acrilato de sodio e injerto de almidón proveniente de la yuca en medio acuoso, asimismo, fue caracterizado mediante espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), análisis de difracción de rayos X (XRD), microscopía electrónica de barrido (SEM) y dos experimentos de hinchamiento. Comprobaron que el hidrogel mezclado con sustrato de fibra de coco y cascarilla de arroz favorecieron el crecimiento de las plántulas de melón, teniendo al compuesto formulado con 20% en peso de cascarilla de arroz

como el de mejor absorción (42000%) ya que presenta una estructura porosa favorecedora y constituyentes hidrofílicos, además se atribuye a este como un dispositivo útil para mantener la humedad del suelo en períodos de sequía y reducir el tiempo de riego, de bajo costo y ecológico.

Khushbu et al. (2019) fabricaron un hidrogel superabsorbente a base de goma de semilla de carboximetil tamarindo con acrilato de sodio. La síntesis de SAH se verificó mediante caracterización mediante transformada de Fourier en espectroscopia de infrarrojos, análisis termogravimétrico, microscopía electrónica de barrido y se evaluaron la capacidad máxima de retención de agua, la densidad aparente, la porosidad y la capacidad de retención de agua del suelo para ver los efectos en el suelo por el tratamiento con hidrogel. Se obtuvo como resultado que el hidrogel absorbe hasta 648 ml/g, después de la inclusión en el suelo, mostró una mejora significativa en la absorción de humedad (35 %), la porosidad (7 %) y la capacidad de retención de agua en comparación con el suelo sin tratar (control). Los efectos del hidrogel también se observaron en el crecimiento de las plantas de garbanzo. El SAH sintetizado mostró un potencial prometedor como acondicionador del suelo para aplicaciones agrícolas.

Fang et al. (2019) tuvieron como objetivo principal sintetizar un polímero superabsorbente a base de derivados de quitosano con alta absorción y capacidad de retención de agua, además, investigaron sus estructuras, capacidad de absorción de agua, retención de agua y la tolerancia a la sal. Prepararon quitosano altamente desacetilado usando quitosano crudo y una solución de NaOH al 80% a 120°C durante 2 horas. Luego se preparó el derivado de quitosano y fue sintetizado. Estudiaron la estructura química y la caracterización morfológica mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), difracción de rayos X (XRD), análisis termogravimétrico (TGA) y microscopio electrónico de barrido (SEM). Los resultados mostraron que el nuevo polímero superabsorbente presenta una excelente absorbencia de agua, que puede absorber agua destilada 615 g/g y solución de NaCl al 0,9% 44 g/g. Al mismo tiempo, este producto mostró una

excelente retención de agua y reutilización. Las propiedades antibacterianas también se probaron con el polímero superabsorbente. La introducción de grupos antibacterianos también mejora las propiedades antibacterianas contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Este tipo de polímero superabsorbente tiene una amplia perspectiva de aplicación.

Quiao et al. (2019), analizaron cómo la cantidad de reticulante (N,N'-metileno-bisacrilamida) afecta las características microestructurales, absorbentes y reológicas de polímeros superabsorbentes a base de almidón preparados en un solo paso a una alta concentración de almidón. Luego, discutieron las variaciones en las propiedades del polímero superabsorbente a base de almidón desde el punto de vista de la microestructura, en particular, la mayor cantidad de reticulante aumentó la densidad de reticulación y la proporción (GR) de la unidad de anhidroglucosa injertada en la columna vertebral del almidón, afectando la poliacrilamida (PAM) (L PAM), además, el aumento de GR y la reducción de L PAM, con una extensión de cadena reducida y una densidad de reticulación elevada, probablemente disminuyeron la flexibilidad y la movilidad de los segmentos de cadena en matrices de gel de polímero superabsorbente a base de almidón. Concluyeron que el aumento en la cantidad de MBA podría sustancialmente alterar las características microestructurales y, por lo tanto, las propiedades absorbentes y reológicas de los SAP de almidón, por lo tanto, recomendaron que es valioso para desarrollar racionalmente el almidón –SAP “más verde”, para versátiles aplicaciones.

Alam et al. (2019), Trabajaron en desarrollar un hidrogel a base de celulosa y completamente renovable con capacidades mejoradas de hinchamiento y rehinchamiento que pudiera competir con los SAP sintéticos de interés ambiental, utilizando dos materiales económicos y biodegradables: CMC y ECH. Prepararon este proceso en dos pasos, la celulosa se hizo reaccionar primero con monocloroacetato de sodio (MCA) para obtener carboximetilcelulosa (CMC) y luego se entrecruzó con epiclorhidrina (ECH), en agua destilada, el valor de retención de agua (WRV) de los hidrogeles recién fabricados alcanzó los 725 g de agua/g de gel,

que es significativamente mayor que cualquier otro material a base de celulosa superabsorbente. Concluyeron que los hidrogeles que prepararon mostraban buenas propiedades de rehinchamiento y perdieron solo entre el 5 y el 10 % de su capacidad para reabsorber agua destilada cuando se reutilizaron en cuatro ciclos consecutivos, debido a sus propiedades de hinchamiento superiores en solución salina fisiológica, los nuevos hidrogeles pueden competir con sus contrapartes sintéticas en aplicaciones tales como productos biomédicos y de higiene de alto valor entre otros para uso de suelo.

Abdel et al. (2018) Desarrollaron hidrogeles basados en la reticulación de un producto natural (Goma Guar) con diferentes monómeros de acrilato (Acrilamida, ácido acrílico y N-isopropil acrilamida). El segundo objetivo es investigar sus características de hinchamiento bajo diferentes condiciones. Además, se utilizaron muestras óptimas para implantar plantas de guayaba en condiciones de sequía. Prepararon dos conjuntos de materiales de hidrogel a base de goma guar; el primero, injertando goma guar en copolímeros de ácido acrílico/acrilamida, y, el segundo, ácido acrílico/N-isopropilacrilamida usando radical persulfato como iniciador y N, N0 metilenbisacrilamida como reticulante. Los hidrogeles preparados se denominaron AA-AcM GG y AA-NIPAMGG respectivamente. Se caracterizaron por Espectroscopía FTIR y SEM. Se estudió minuciosamente el efecto de algunas variables de composición sobre el rendimiento de hinchamiento del hidrogel PA-GG. Además, se controló el comportamiento de hinchamiento en función de la temperatura y la concentración de electrolitos. Se llevó a cabo un experimento de laboratorio para investigar el efecto de los hidrogeles óptimos en el crecimiento de la planta de guayaba. Como resultado de estudio se analizó ambos conjuntos de hidrogeles; el primer conjunto mostró una mejor retención de agua, mientras que el segundo conjunto demostró mejores propiedades de respuesta térmica. La capacidad máxima de hinchamiento de los hidrogeles preparados disminuyó al aumentar la concentración de sal, esto puede deberse a la interacción catión-anión. Además, la investigación de hinchazón-deshinchamiento confirmó la usabilidad de los hidrogeles preparados hasta tres ciclos con una absorción de agua razonable.

Thombare et al. (2018) estudiaron la reticulación con ácido etilenglicol dimetacrílico (EGDMA), así mismo la investigación describe la síntesis, caracterización y aplicaciones agrícolas de nuevos EGDMA reticulados a base de goma guar e hidrogeles superabsorbentes. Los hidrogeles se sintetizaron injertando goma guar con ácido acrílico y entrecruzándolos con ácido etilenglicol dimetacrílico (EGDMA). La síntesis de hidrogel se confirmó mediante caracterización a través de  $^{13}\text{C}$  – RMN, espectroscopia FTIR, micrografía SEM, termogravimetría análisis y estudios de absorción de agua bajo diferentes soluciones de hidrogel sintetizado (GG-AA EGDMA), se confirmó que es biodegradable con un período de vida media de 77 días, siendo probado en suelo de estudios de biodegradación. Los efectos del tratamiento con hidrogel en el suelo se evaluaron mediante el estudio de varias propiedades fisicoquímicas del mismo como densidad aparente, porosidad, absorción y retención de agua, etc. El hidrogel podría absorber hasta 800 ml de agua por gramo. Como resultado del estudio concluyeron que este potente hidrogel GG-AA-EGDMA puede ser un material prometedor como acondicionadores de suelos y agentes conservantes de agua en el sector agrícola, puesto que los resultados probados incrementaron la capacidad de retención de agua del suelo a 1,5 y el suelo podría retener el porcentaje de humedad marginalmente más alto incluso a mayor matricial succión de 15 bares. Asimismo, la incorporación de polvo fino de hidrogel al 0,3% en el suelo mejoró su porosidad hasta el 9% de su original.

Alam y Lew (2018) desarrollaron un nuevo proceso de base acuosa para la producción de materiales superabsorbentes que no contuvieron catalizadores y presentaron características ecológicas, puesto que el hidrogel superabsorbente se derivó de dos polímeros completamente biodegradables con agua como único subproducto. Obtuvieron mediante la reticulación de fibras de pulpa kraft blanqueada parcialmente oxidada con quitosano carboximetilado en agua destilada, el valor máximo de retención de agua (WRV) de los hidrogeles reticulados alcanzó 610 (g/g de gel), que es varias veces más alto que cualquier material superabsorbente basado en celulosa pura en agua salada que se encontró en la literatura, el WRV de los nuevos hidrogeles (85 g/g) duplicó el de los geles comerciales (40–50 g/g) en

presencia de cationes de potasio o amonio, el WRV aumentó aún más hasta alcanzar 91 y 96 g/g, respectivamente. Los geles solo perdieron del 5 al 10 % de su capacidad de rehinchamiento cuando se reutilizaron cuatro veces consecutivas. Concluyeron que los hidrogeles tenían una arquitectura porosa alta y un área de superficie específica que facilitaba una rápida penetración en masa en aplicaciones superabsorbentes, debido a sus propiedades superiores de hinchamiento, reutilización y naturaleza biodegradable, los nuevos hidrogeles podrían servir como fuertes candidatos para reemplazar los polímeros sintéticos derivados del petróleo y encontrar usos en productos de higiene, alimentos, agrícolas y farmacéuticos de alto valor.

Gao et al. (2018), Prepararon un compuesto superabsorbente de bajo costo y ecológico a través de la copolimerización por injerto de radicales libres de salvado de trigo (WB), ácido acrílico (AA) y laterita (LA) en solución acuosa. Usaron para su caracterización la microscopía electrónica de barrido y espectros infrarrojos transformados de Fourier revelando que LA se distribuyó uniformemente en el compuesto superabsorbente y el salvado de trigo-g-poli (ácido acrílico) laterita (WBg-PAA/LA) se formó con éxito. Concluyeron con éxito un compuesto superabsorbente WB-g-PAA/LA de bajo costo y ecológico a través de la copolimerización de injerto de radicales libres en una solución acuosa utilizando KPS como iniciador, MBA como reticulante. Los espectros FTIR revelaron que WB y LA participaron con éxito en la copolimerización y la incorporación del 5 % en peso de LA en WB-g-PAA lo que mejoró enormemente la propiedad de hinchamiento (1050 g/g) en 15 min en comparación con la superabsorbencia pura (803 g/g). Además, tuvo efectos considerables en la tasa de germinación y el crecimiento temprano de *G. uralensis*, por lo tanto, el compuesto superabsorbente WB-g-PAA/LA desarrollado podría usarse como un aditivo adecuado en nuevas aplicaciones de valor agregado.

Vinícius et al. (2017) realizaron una comparación entre los hidrogeles sintetizados a base de poli(acrilamida-co-acrilato de potasio) con polvo de cáscara de huevo (Pam-Ac/ES) y sin cáscara de huevo (Pam-Ac). Para ello, caracterizaron estos



mediante la transformada de Fourier infrarroja (FTIR), microscopía electrónica de barrido con espectroscopia de rayos X de energía dispersiva (SEM/EDX), análisis termogravimétrico (TGA), difracción de rayos X (XRD), análisis reológico y estudios cinéticos. A través del análisis de SEM-EDX, observaron que Pam-Ac presentó una superficie fibrosa con poros y Pam-Ac/ES, un diámetro de poros más pequeños y superficie irregular lo cual permitiría una mejor absorción de agua. La adición de cáscara de huevo aumentó el módulo de almacenamiento del hidrogel Pam-Ac. Además, el hinchamiento en agua para Pam-Ac/ES presentó mayor hinchamiento  $1256 \pm 39$  g agua g<sup>-1</sup> de hidrogel seco a comparación de Pam-Ac con  $629 \pm 28$  g agua g<sup>-1</sup> de hidrogel seco.

Zhang et al. (2017) combinaron la propiedad superabsorbente de la goma de linaza y la dureza de la celulosa para preparar hidrogeles hidrófilos, estos se prepararon disolviendo linaza y celulosa en NaOH/urea en soluciones acuosas por separado, luego se añadió epíclorhidrina y actuó como reticulante después de mezclar los dos tipos de soluciones, y los hidrogeles compuestos se obtuvieron por calentamiento a 60 °C por 30 minutos. La hinchazón, las propiedades y la retención del agua también se estudiaron para encontrar una manera simple y efectiva para preparar hidrogeles superabsorbentes a base de celulosa. Concluyeron con éxito el sintetizado de la linaza hidrófila, la goma de linaza desempeñó el papel de controlar los tamaños de poro para mejorar la propiedad hidrofílica, mientras que la celulosa sirvió como columna vertebral para fortalecer la estructura porosa. Los comportamientos de hinchamiento del compuesto hidrogeles fueron insensibles al cambio en la fuerza iónica en un amplio rango, mientras que la relación de hinchamiento aumentó con el incremento de la concentración de goma de linaza. La prueba de retención confirma la buena propiedad de retención de agua del hidrogel compuesto. Estos resultados ilustran que los hidrogeles compuestos de goma de linaza/celulosa tienen un alto potencial como material eficaz para la conservación del agua en aplicaciones agrícolas.

Mangesh y Anraya (2017) estudiaron la producción de un hidrogel superabsorbente a base de polímeros naturales en este caso con el Sorgo bicolor, el cual fue utilizado como columna vertebral incorporando varios monómeros sintéticos como cadena lateral sobre el proceso de injerto, formando una red de estructura tridimensional que se mejoró mediante la adición de reticulantes, lo cual aumenta el número de enlaces entre cadenas y por lo tanto se crea una red absorbible más fuerte. Extrajeron el almidón de los granos del Sorghum bicolor (una especie de cereal) por el método de remojo alcalino y se utilizó para la producción de material absorbente por injerto y reticulación con mezclas binarias de monómeros de vinilo, ácido acrílico y acrilamida, tanto los almidones modificados como los no modificados se caracterizaron con análisis termogravimétrico, espectroscopia infrarroja, microscopía electrónica de barrido y análisis de difracción de rayos X, para determinar la modificación del almidón. El almidón modificado mostró una mayor absorción de agua en el rango de 49 a 85 g/g. La absorbencia de los productos aumentó después del tratamiento con solución alcalina acuosa debido a la saponificación a temperatura más alta. Los productos saponificados mostraron un mayor nivel de absorción de agua en el rango de 245 a 400 g/g. Dieron por concluido que el producto así obtenido usando condiciones optimizadas de injerto, en saponificación resultó ser altamente superabsorbente mostrando la absorbencia de agua de 400 g/g. También se probó la influencia del pH en la absorción de agua y los mejores resultados se obtuvieron a pH 7–8.

Lara et al. (2016), tuvieron como objetivo determinar el efecto de biopolímeros a base de mucílago, pectina de nopalito y quitosano en frutos de aguacate 'Hass' Para ello, se evaluaron concentraciones de 0.5, 1.0 y 1.5% por cada uno de los biopolímeros y éstos se aplicaron por inmersión a frutos de aguacate en madurez fisiológica. Prepararon dos soluciones acuosas a tres concentraciones diferentes (0.5, 1 y 1.5%) de cada uno de los biopolímeros (mucílago y pectina) de nopalito, más quitosano a 1% (extraído de camarón) y se generaron los tratamientos analizándose a cuatro variables, como (1) Pérdida de masa. (2) Firmeza. (3) Sólidos solubles totales. (4) Color del fruto. Concluyeron que el biopolímero de pectina

(1.5%) extraído de nopalito resultó ser el más efectivo al aplicarse en frutos de aguacate 'Hass', ya que éstos presentaron menor pérdida de peso (5.78%), mayor firmeza (3.04 kgf) y mayor contenido de sólidos solubles totales (8.03 °Brix). Los frutos de aguacate 'Hass' con el polímero de pectina (1.5%) de nopalito tuvieron una vida de anaquel de 20 días. La aplicación de los biopolímeros tiende a conservar por más tiempo el color de la pulpa de los frutos de aguacate 'Hass' conservando el color verde, característico de este fruto.

El objetivo en el campo de la agricultura es cómo formar acondicionadores de suelo aceptables que tengan un período de tiempo antes de su biodegradación y que puedan absorber agua hasta cien veces su propio peso (Ghobashy, 2018, p. 58). Estas características y otras como permeabilidad, rigidez y transparencia los hacen candidatos para ser acondicionadores de suelos incorporados como polímeros naturales (Mohamady, 2020, p. 330).

Los polímeros superabsorbentes o también llamados hidrogeles, son redes poliméricas hidrófilas entrecruzadas que, gracias a su estructura permiten el ingreso de agua entre las macromoléculas, y, por consiguiente, poseen la capacidad de absorción y retención de agua en gran cantidad y nutrientes (Mohammad y Atassi, 2015, p. 2, Chang, et al., 2012, p. 1, Timoteo, et al., 2017, p. 111). Debido a estas características, suelen utilizarse para mejorar las condiciones del suelo y el crecimiento óptimo de las especies cultivadas (Smagin, Sadovnikova y Smagina, 2019, p. 1) La naturaleza de los monómeros y el proceso de polimerización utilizado para la obtención de hidrogeles, determina la variación de su tasa de hinchamiento, absorción de agua y liberación de nutrientes al suelo. Según Martin (2017) y Chirani et al. (2015) Se estima que un hidrogel podría absorber hasta mil veces su peso seco en agua (p. 68), (p. 4).

En la naturaleza se pueden encontrar polímeros basados en polisacáridos, entre estos Varghese et al. (2020) menciona a los de origen vegetal: celulosa, almidón (amilosa y amilopectina), lignina, linulina, goma guar, alginato, y de origen

animal: quitina y quitosano, gomas de xantano, ácido hialurónico, además de polímeros basados en proteínas como el colágeno y la gelatina (p. 17-24).

**Tabla 1.** *Clasificación de hidrogeles superabsorbentes según origen, entrecruzamiento, carga, estado físico, configuración física y composición.*

<b>Clasificación según</b>	<b>Tipos</b>
<b>Origen</b>	Basados en polisacáridos (de origen vegetal y animal).
<b>Entrecruzamiento (reticulación)</b>	Basados en proteínas.
<b>Carga</b>	Hidrogeles físicos
<b>Estado físico</b>	Hidrogeles químicos
<b>Configuración física</b>	Neutral
<b>Composición</b>	Aniónico

Fuente: Adaptado de Varghese et al. (2020)

Para Behrouzi y Moghadam (2018), los polímeros superabsorbentes se clasifican según su origen en polímeros sintéticos, naturales e híbridos. Los polímeros sintéticos, provienen de sustancias petroquímicas. Los polímeros naturales destacan por ser fácilmente disponibles, potencialmente biodegradables, y más biocompatibles debido a su origen. Los polímeros híbridos son injertos de monómeros sintéticos en la columna vertebral natural (p. 227-235).

En la actualidad se pueden encontrar polímeros naturales o biohidrogeles los cuales tienen la ventaja de biocompatibilidad y biodegradabilidad respecto a los polímeros o hidrogeles sintéticos quienes son muy empleados e incluso han venido reemplazando durante los últimos veinte años a los polímeros naturales debido a su larga vida útil, mayor capacidad de absorción, fuerza de gel, además de otras propiedades que se pueden ir mejorando de acuerdo con las necesidades

(Mohamed, 2015, p. 2). Cabe mencionar que el proceso de extracción de los polímeros naturales es complejo y ello demanda mayor inversión, ya que debe tomarse en cuenta que podría variar mucho según de donde se extraiga, el lugar de origen o el año de producción. Según esto, se ha optado por utilizar ambos tipos de hidrogeles para potenciar las propiedades del producto (Bhargava, 2021, p. 2).

Entre otras opciones de hidrogeles basados en polímeros naturales, se encuentra los hidrogeles formados como, por ejemplo: matriz de quitosano, estos presentan muchas ventajas, como son la biocompatibilidad y biodegradabilidad (Calo y Khutoryanskiy, 2015, p. 3). Debido a que la agricultura consume un 80% de agua mundial utilizada, esto en unos años puede presentar un problema mayor debido a la escasez en los períodos de sequía, en consecuencia, a esta problemática se invierten millones de dinero en el control de la retención del agua, muchas veces utilizando métodos que en su aplicación puede resultar dañino, en este caso en específico tenemos al polímero sintético, por sus aplicaciones constantes y no planificadas que causan estragos en la contaminación ambiental y peligros para la salud humana, por ende esto nos obliga a pensar en otras alternativas más amigables con el ambiente hechas de un material natural como es por ejemplo: la pectina (Alves y Mano, 2008, p. 3). Para Liu et al. (2002) y Marci et al. (2006) los polímeros comerciales a comparación de los naturales pueden llegar a absorber hasta mil veces su peso (~1.000 g/g) (p. 18).

Los acondicionadores de suelo son materiales que modifican favorablemente las condiciones estructurales o las propiedades físicas del suelo, generando una estabilidad a los agregados del suelo (Thombare, 2018, p. 2). Según Guilherme y Huttermann (como se citaron en Vasconcelos et al., 2020, párr. 3) Los hidrogeles parecen ser los acondicionadores del suelo más prometedores.

Para Mohamady (2016) se debe tomar en cuenta al menos tres factores: biodegradabilidad, super absorbencia, entrecruzamiento químico covalente, para elegir un hidrogel superabsorbente como acondicionador del suelo (p. 332).

Según Vasconcelos et al. (2019), el hidrogel que sintetizaron a base de poliacrilato de sodio injertado con almidón relleno con ceniza de cáscara de arroz (RHA), tuvo un efecto acondicionador sobre el crecimiento de las plántulas de melón además esto podría aún mejorar dependiendo del sustrato y cantidad del hidrogel que se utilice (p. 13).

Según Stahl et al. (como se citó en Khushbu et al., 2019, párr. 2), “en la agricultura, los hidrogeles poliméricos sintéticos no son los preferidos debido a su naturaleza no biodegradable que conduce a la contaminación del suelo”.

Con relación a buscar mejores opciones de retenedores de humedad se han explorado tanto los de origen natural como los sintéticos. Dentro de éstos, una opción es el agente base polímero de hidrogel, una de estas técnicas es el cultivo que implica el uso de películas de hidrogel para cultivar plantas. El hidrogel, al ser aplicado en una fina capa de 60 cm de ancho y 0,06 mm de espesor, puede absorber grandes volúmenes de agua en sus espacios intermoleculares (Batista et al., 2019, p. 5). Esta técnica implica el uso de un sistema de riego por goteo y una configuración de invernadero. El sistema de goteo se coloca por encima y por debajo de la hidromembrana para suministrar nutrientes y agua de manera uniforme a las plantas por encima de la hidromembrana. El sistema está equipado con un dispositivo de control para controlar la cantidad de agua dispersada a través de los tubos (Mori, 2015, p. 2; Zhang et al., 2021, p. 3). Observaron que las raíces de las plantas se vuelven extremadamente delgadas para penetrar a través de los diminutos poros del hidrogel para llegar al sistema de goteo debajo de la película. Como las plantas absorben agua a alta presión, pueden absorber nutrientes de alta calidad (Zhang et al., 2021, p. 7).

En cuanto a sus estructuras, los hidrogeles están constituidos por dos fases: una fase líquida, principalmente agua u otros fluidos biológicos, esto les confiere biocompatibilidad y permite su amplia aplicación en biomedicina, agricultura, ciencia de los alimentos y nutrición, entre otros; y una fase sólida: cadena polimérica que confieren una consistencia similar a un gel, lo que permite que la estructura pueda

atrapar agua (Croisier y Jerome, 2013, p. 2). Cuando los hidrogeles tienen grupos funcionales hidrofílicos como [COONa] en contacto con moléculas de agua, la energía cinética de las vibraciones del agua se transfiere a vibraciones de iones de agua (proceso de movilidad). La vibración del agua provoca la disociación de [COONa] en COO<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup> (proceso de disociación). Las cargas negativas se repelen y son neutralizadas por las moléculas de agua y al mismo tiempo se hidratan los iones Na<sup>+</sup> (proceso hidratado) (Horkay, Tasaki y Bassler, 2000, p. 3).

El cambio de la composición en la síntesis del acondicionador del suelo conduce a una mejora general de la disponibilidad de agua y a una mayor potencia de riego para las plantas, al mejorar la propiedad de retención de agua del suelo. Kazanskii y Dubrovskii (1992), mencionan que hay al menos tres factores a considerar para la selección de un hidrogel como acondicionador del suelo, estos deben ser: (1) biodegradables, (2) superabsorbentes y (3) entrecruzados químicamente covalente (p. 5).

La permeabilidad del suelo, la densidad, la estructura, la textura, la evaporación y las tasas de infiltración del agua a través del suelo son influenciadas por la aplicación de los polímeros superabsorbentes y para mantener el 95% del agua absorbida para el aprovechamiento de la planta, se debe manejar adecuadamente los hidrogeles (Al-Jabariy et al., 2019, p. 255).

El agua y los hidrogeles hinchados se consideran un factor que los recomienda para su uso como acondicionadores del suelo al respaldar su irrigación suplementaria y su capacidad como transportador de nutrientes, lo que provoca una degradación gradual. El proceso de hinchamiento tiene lugar cuando el hidrogel seco encuentra contacto con moléculas de agua y libera nutrientes a las plantas. La capacidad de retención de agua depende tanto de la densidad reticulada (Kruif y Anema, 2015, p. 2) y el número de grupos hidrofílicos (Loos y Feringa, 2005, p. 2).

El poder de solubilidad del agua se gana por su libre movilidad por vibraciones agua-agua. La molécula de agua es un intento de disolver el hidrogel mediante la rotura del fuerte entrecruzamiento covalente por los modos de vibración de la

molécula de agua, pero tiene como consecuencia el éxito del rompimiento de los enlaces de hidrógeno solamente.

En la etapa inicial de absorción, las primeras moléculas de agua que ingresan a la red hidratan el grupo hidrofílico más polar que se denomina "agua unida primaria". Con el tiempo, estos grupos polares se hidratan y el agua interactúa con el grupo hidrofóbico y forma "agua unida secundaria". El agua ligada primaria formada en la primera etapa junto con el agua ligada secundaria se denomina "agua unida total". Después de la absorción del "agua unida total" por la interacción con los grupos hidrófilos e hidrófobos, se absorbe una cantidad adicional de agua que se denomina "agua libre" o "agua a granel", que llena el espacio entre las cadenas de la red, y/ o el centro de poros, macroporos o vacíos más grandes. Esto se debe a la fuerza impulsora osmótica de las cadenas de red hacia la dilución infinita.

Este proceso de absorción se opone a la reticulación física en la estructura de la matriz y forma una fuerza de retracción de red elástica. El hidrogel alcanza así un nivel de hinchamiento de equilibrio. A medida que la estructura se hincha, el gel se desintegra y disuelve si las cadenas de la red o los enlaces cruzados son degradables, a un ritmo que depende de su composición (Varghese et al., 2020, p. 5).

Normalmente, los polímeros absorbentes de agua se hinchan en tres etapas. Primero, la superficie del polímero se humedece por contacto con moléculas de agua, que se combinan con los grupos hidrofílicos en la superficie (Salleh et al., 2018, p. 1422-1430). Segundo, las moléculas de agua ingresan a los microporos en las moléculas de polímero, lo que resulta en un aumento del volumen del polímero (Deméter et al., 2017, p. 131, 51-59). En la tercera etapa, la fuerza de unión del esqueleto molecular y la presión osmótica del agua alcanzan un estado de equilibrio, y se logra la máxima capacidad de absorción de agua y el volumen del polímero.

Dado que los hidrogeles son simplemente redes de polímeros hidrofílicos entrecruzados de alguna manera para producir una estructura elástica, cualquier estrategia que pueda producir una red entrecruzada podría ser utilizada para la



síntesis de hidrogel (Ahmed 2015, p. 19). El entrecruzamiento tiene el efecto de ligar un polímero a una red única, de modo que se convierte funcionalmente en una sola molécula (Hawley, 1985, p. 345). La importancia del entrecruzamiento radica en que evita el plegamiento de cadenas y, en consecuencia, la formación de cristales (Brydson, 1999, p. 54).

Ahmed et al. (2015) con base en los mecanismos de entrecruzamiento, indicaron que los hidrogeles se pueden dividir en hidrogeles entrecruzados físicamente e hidrogeles entrecruzados químicamente. Las redes reticuladas físicamente, a menudo se denominan geles "reversibles" o "físicos", ya que pueden disolverse cambiando las condiciones ambientales, como el pH, la fuerza iónica o la temperatura (p.19).

Avaramudhan et al. (2014) y Karp et al. (2009) mencionan que los polímeros naturales son de naturaleza biodegradable donde son degradados en el suelo por microorganismos en condiciones ambientales, liberando enzimas hidrolíticas capaces de escindir el enlace de macromoléculas en pequeños fragmentos (p. 329)

Calo et al. (2015); Hay dos estrategias comúnmente utilizadas para preparar hidrogeles reticulados químicamente. La primera estrategia se denomina "polimerización 3D", que se logra mediante la polimerización de moléculas hidrofílicas, como acrilatos y monómeros vinílicos, en presencia de entrecruzadores multifuncionales. El inconveniente de la polimerización 3D es la cantidad significativa de monómeros sin reaccionar y otras moléculas pequeñas, que podrían ser tóxicas y deben eliminarse mediante extensos procesos de purificación. La segunda estrategia es entrecruzar directamente los polímeros hidrofílicos para evitar una purificación extensa ya que no quedan tantas moléculas pequeñas tóxicas en el sistema. Los polímeros solubles en agua como PAA (poli ácido acrílico), PVA (poli alcohol vinílico), PAM (poliacrilamida) y polisacáridos son sistemas comúnmente utilizados para aplicaciones de la agricultura debido a su no toxicidad y biocompatibilidad (p.5)

Para Bi y Liang (2016) la polimerización por radicales libres (monómero - agente de reticulación) también permite la síntesis de hidrogeles reticulados, este

método de polimerización es adecuado cuando se menciona la alta reactividad, se tiene condiciones ambientales templadas y se encuentra en medio acuoso. Al aplicarse este método, el iniciador se descompone para formar un radical que ataca a las especies monoméricas. La descomposición del iniciador puede ser provocada por desencadenantes térmicos, químicos o fotoquímicos (p. 135).

La polimerización por radicales en donde participan monómeros casi siempre contiene moléculas con grupos que llevan enlaces C5C, por ejemplo, grupos vinilo y acrílico. Según la composición de los hidrogeles, la polimerización por radicales libres se puede clasificar en homopolimerización (polimerización entre la misma especie de monómero en presencia de un iniciador y un agente de reticulación) o copolimerización (polimerización entre diferentes especies de monómero) (Bi y Liang, 2016, p. 134).

Por ejemplo, cuando Zhang et al. (2021) alcanzaron la temperatura de descomposición del iniciador, este actuó como un interruptor, es decir, que produjo radicales aniónicos de sulfato, y, a su vez, estos formaron sitios activos para la polimerización por injerto al extraer hidrógeno del esqueleto (p. 2)

Khushbu et al. (2019) Debido a la polifuncionalidad de reticulador, N,N'-metilenbisacrilamida (MBA),  $(\text{CH}_2\text{]CHCONHCH}_2\text{NHCOCH]CH}_2)$  (el reticulante), se formó un macro radical con sitios reactivos que pudo utilizarse como un enlace tanto el PSA (acrilato de potasio) como el CMTKG (goma de semilla de tamarindo carboximetilado) a través de sus grupos  $-\text{OH}$ . Esto resultó en la formación de una red tridimensional de hidrogel CMTKG-PSA.

El esquema de preparación de SAH (CMTKG-PSA) se muestra en la siguiente figura. El iniciador KPS (persulfato de potasio) se descompuso primero a  $60\text{ }^\circ\text{C}$  para generar sulfato. Estos radicales formaron además radicales macromoleculares, sobre los sustratos extrayendo átomos de hidrógeno del hidroxilo en los grupos de la columna vertebral de CMTKG. Estos radicales activos se hicieron reaccionar con grupos vinilo de SA para formar enlaces covalentes y la generación simultánea de nuevos radicales que pueden procesar la propagación (p. 6).

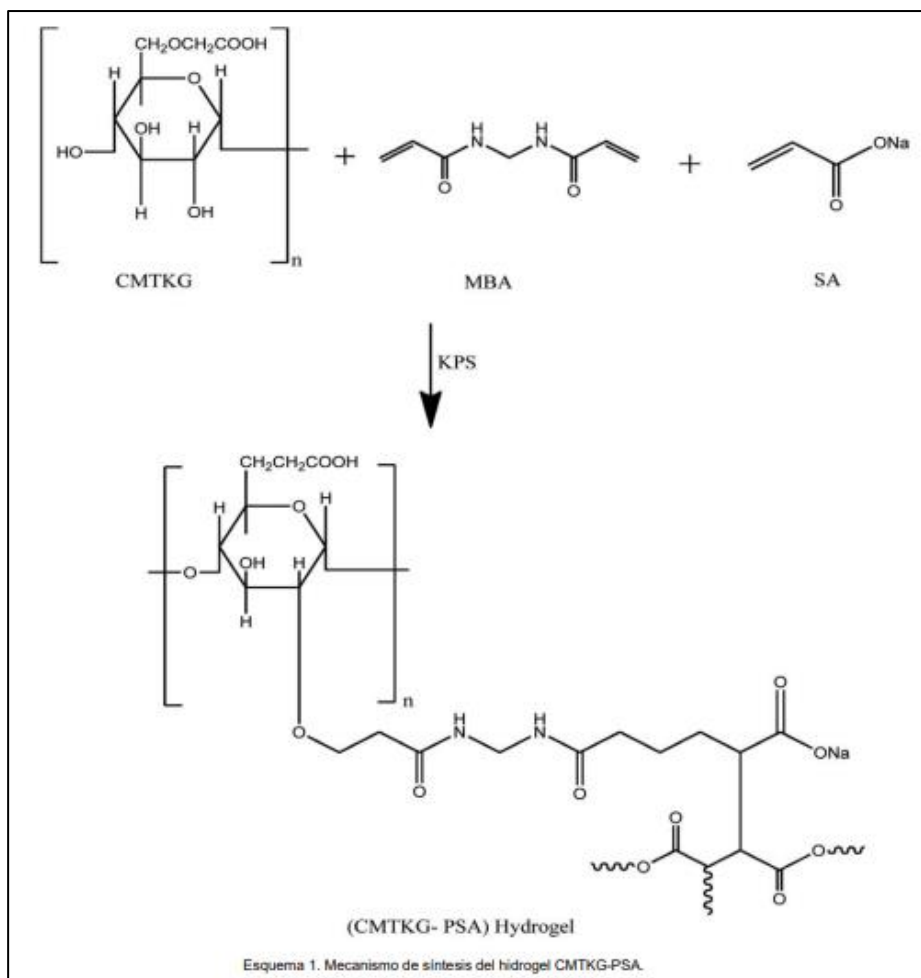


Figura 3. "Mecanismo de síntesis del hidrogel CMTKG-PSA". Tomado de Khushbu et al. (2019).

Wichterle et al. (1960). Muchos estudios reportan el uso de hidrogel superabsorbente (SAH) en el campo agrícola. El uso de hidrogel superabsorbente aumenta la capacidad del suelo para retener agua, por lo que aumenta el crecimiento de las plantas y puede resistir la sequía durante mucho tiempo. Esto es gracias a las capacidades que presenta como absorción, hinchamiento, retención, porosidad, viscosidad, entre otros. (p. 420)

La capacidad de absorción de agua de los hidrogeles resulta de su hidrofilia, que a su vez es proporcionada principalmente por fuerzas capilares, osmóticas y de hidratación (Buwalda et al., 2014). Entre las particularidades de los hidrogeles

merecen especial énfasis dos propiedades: la capacidad de absorber grandes cantidades de líquidos (más del 100% en relación a su peso seco) de manera rápida, así como su capacidad para retener compuestos específicos sin cambiar sus estructuras en estado hinchado cuando se exponen a ciertas presiones (Bao et al., 2011; Feng et al., 2014; Mahdavinia et al., 2004).

El proceso de hinchamiento de un hidrogel es una transición del estado sólido al estado fluido sin disolución ni disociación. La fuerza iónica del suelo circundante, el pH y la solución acuosa, afectan el comportamiento de hinchamiento del hidrogel (Mohamady, 2016, p. 46).

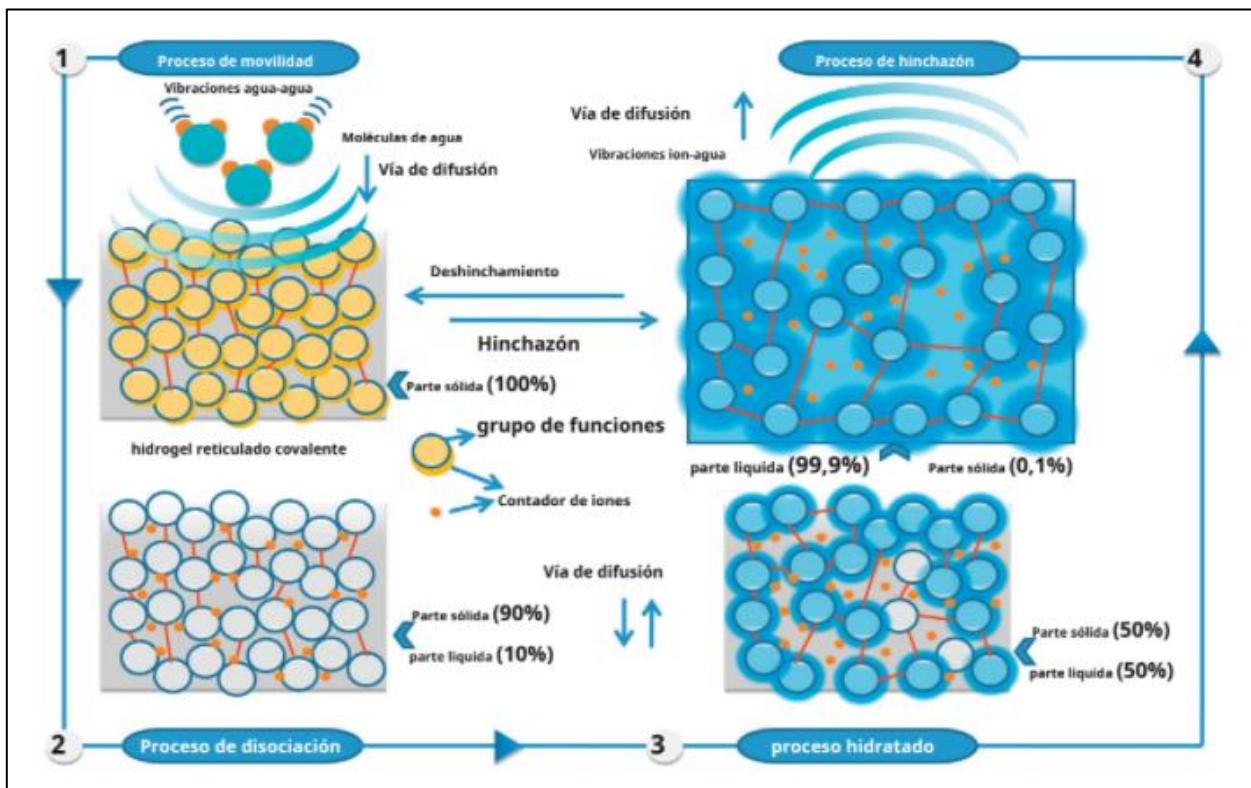


Figura 4. Secuencia de los cuatro procesos de hinchamiento. Tomado de Mohamady (2020).

Para Dao et al. (2016) La retención de agua en el polímero natural basado en SAH promueve la migración, el crecimiento, la proliferación, la diferenciación y la adhesión celular, lo que conduce a la regeneración de tejidos (p. 45). Según Chen y Chen (2019) el pH óptimo para poder obtener una mejor retención de agua y

nutrientes es de ~7, esto es para la mayoría de los hidrogeles superabsorbentes (p. 7).

Según Mohamady (2016) El tamaño de los poros es el principal factor que controla el grado de hinchamiento del hidrogel. Por el contrario, el grado de hinchamiento está relacionado con la densidad de reticulación y el número de grupos funcionales polarizables que se inmovilizan en el esqueleto del polímero. Los hidrogeles podrían fabricarse mediante polimerización iniciada por radicales de monómeros hidrofílicos y/o polímeros lineales disueltos en una solución acuosa (p. 2).

Zhou et al. (2008) Considerando la viscosidad, los investigadores establecieron la fase en sol como un estado físico del hidrogel con la característica principal de líquido fluido, mientras que la fase gel se estableció como un estado físico no fluido del hidrogel desarrollado. Generalmente, las mediciones para determinar esta propiedad se realizan en un viscosímetro y la muestra de hidrogel se coloca en un baño de agua a la temperatura objetivo para la transición sol-gel (en este caso  $37^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ) (p. 78).

Por ejemplo, en algunos antecedentes, como Elsayed et al. (2018) analizaron mediante el método de las bolsitas de té, esto consistía en colocar el hidrogel superabsorbente dentro de las bolsitas de té hasta que se hinchen completamente, luego se retiraron las bolsitas y se pesaron hasta pesos constantes. Después de medir el peso a una temperatura, los hidrogeles se volvieron a equilibrar a otra temperatura predeterminada para la medición posterior.

La absorción de agua se calcula mediante la diferencia entre el peso del hidrogel completamente hinchado y el hidrogel seco, sobre el peso en seco.

$$\text{Absorción de agua } \left(\frac{g}{g}\right) = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1}\right)$$

$M_1$  representa el peso de muestra seca y  $M_2$  representa el peso de hidrogel completamente hinchado.

Algunos de los análisis estructurales de los hidrogeles superabsorbentes son la espectroscopia infrarroja (FTIR), la cual se usa a menudo para verificar el desarrollo de reacciones de polimerización cuando se forman hidrogeles; la microscopía electrónica de barrido (SEM), es útil para determinar la morfología de varias matrices de hidrogel (Zhou et al., 2008, p. 71 - 72); Para Zhao et al. (2003), SEM también determina cualitativa y semicuantitativamente las composiciones elementales de las muestras de hidrogel mediante la emisión de rayos X. SEM puede indicar la miscibilidad del hidrogel de quitosano, así como la compatibilidad de las mezclas de polímeros con los constituyentes de la matriz de hidrogel (p. 73).

Para Klein et al. (2016) y Konwar et al. (2015) Los análisis térmicos se realizan para determinar el comportamiento térmico de los hidrogeles desarrollados. Las muestras de hidrogel se analizan en un sistema de análisis termogravimétrico con temperaturas que van desde la temperatura ambiente hasta los 600°C a una velocidad de 10°C/min, en una atmósfera de argón o nitrógeno (p. 76).

En la tabla N° 2 Batista et al. (2019) mencionaron los análisis estructurales para el estudio de los hidrogeles superabsorbentes.

**Tabla 2.** *Análisis estructurales para el estudio de los hidrogeles superabsorbentes.*

Análisis	Técnica	Técnica	Referencias
Análisis estructurales	Difracción de rayos X	Identificación de iones	Cullity and Stock (2001)
	Microscopía electrónica de barrido	Miscibilidad de fase y compatibilidad en mezclas.	Zhou et al. (2008) Zhao et al. (2009)
		Análisis topográfico	
	Espectroscopia infrarroja por	Conformación de cadenas poliméricas	Zhao et al. (2009)

	transformada de Fourier	Características morfológicas, estructurales y moleculares de la matriz	
		Identificación de compuestos químicos dentro de la matriz de hidrogel	

Fuente: Adaptado de Batista et al. (2019).

El almidón, un recurso biológico natural formado por la polimerización de moléculas de glucosa, se encuentra entre los polisacáridos más utilizados en la producción de SAP (Guilherme et al. 2015, p. 1). Sin embargo, la mayoría de los SAP a base de almidón todavía sufren de mala absorción de agua y baja tolerancia a la sal (Peng et al., 2008, p. 99).

La estructura del almidón consta de amilosa lineal y amilopectina ramificada que son unidades repetidas de glucosa. Las unidades de glucosa están orientadas en la misma dirección por el enlace glucósido  $\alpha(1-4)$  y se ramifican cada 24-30 unidades de glucosa en C6, formando enlaces  $\alpha(1-6)$ . Las enzimas que son capaces de hidrolizar el almidón no son capaces de realizar la hidrólisis de la celulosa. Debido a que la configuración  $\beta$  permite a la celulosa formar cadenas muy largas y rectas, interactúan entre sí a través de enlaces de hidrógeno que permiten la formación de la fuerte estructura fibrilar de la celulosa (Tymoczko y Stryer, et al., 2020, p. 3).

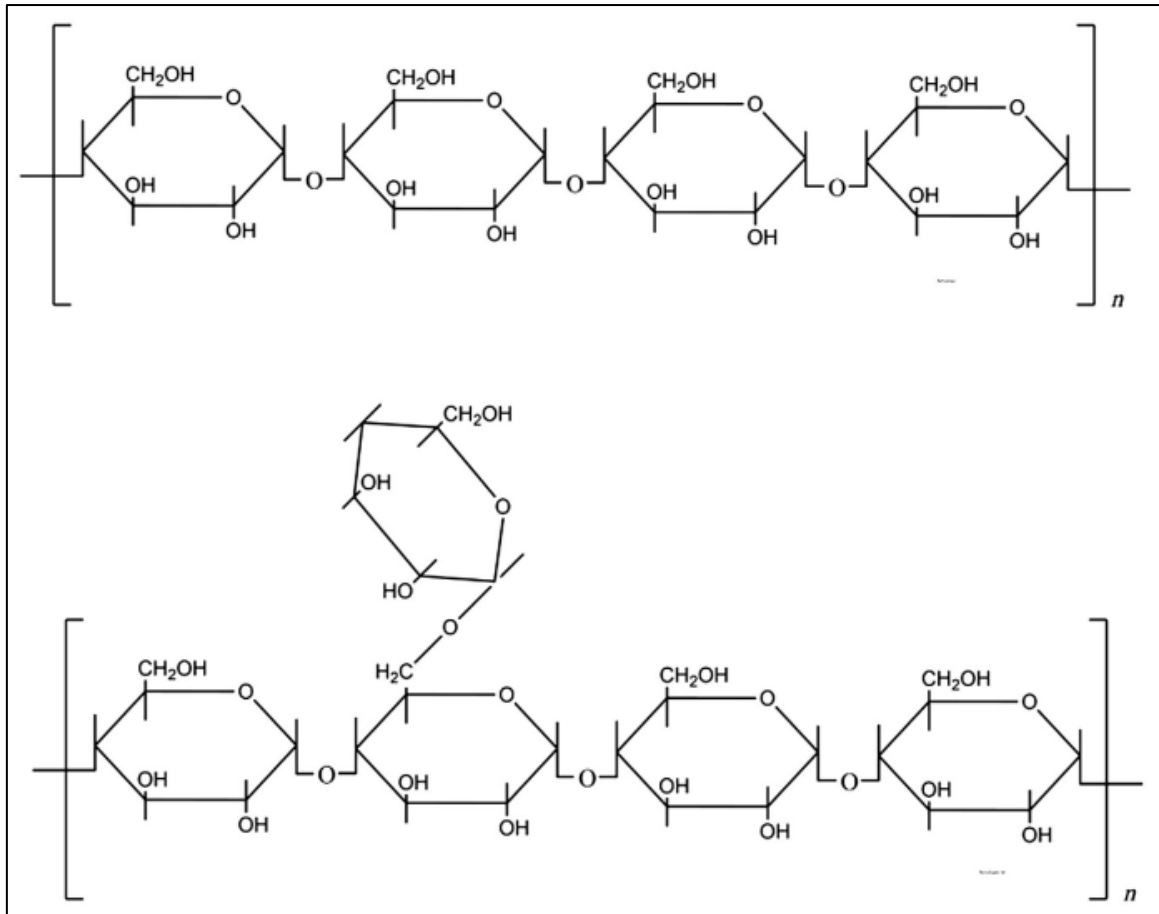


Figura 5. Estructura del almidón. Tomado de Varghese et al. (2020).

Los hidrogeles formados por matriz de quitosano, en particular, han despertado un interés creciente debido a las propiedades fisicoquímicas, biológicas y mecánicas únicas de este polímero (Calo y Khutoryanskiy, 2015, p. 6). Los hidrogeles a base de quitosano se pueden presentar como fibras, películas, geles, membranas, micropartículas o nanopartículas y esponjas sin ningún deterioro de la funcionalidad (Bansal et al., 2011, p. 6).

El quitosano es un polímero de carbohidrato obtenido a partir de la quitina mediante un proceso de desacetilación. La quitina ocupa el segundo lugar, precedida solo por la celulosa, entre los biopolímeros más abundantes. Es de ocurrencia natural en crustáceos, moluscos e insectos marinos (principalmente como parte de



su exoesqueleto), así como en hongos, en los cuales juega un papel estructural (Alves y Mano, 2008).

Químicamente, el quitosano se puede definir como un biopolímero con una disposición lineal de glucosamina compuesto por unidades de D-glucosamina y N - acetil D-glucosamina unidas por enlaces glucosídicos (Annabi y Tamayol., 2013, p. 2, Li y Rodrigues., 2012, p. 12).

Además, los estudios sobre la interacción del quitosano con otros biopolímeros se han centrado en la mejora de las propiedades de rendimiento, como resistencia mecánica y capacidad de hinchamiento, con el objetivo de materiales absorbentes eficientes (Ng et al., 2016; Rodríguez et al., 2015).

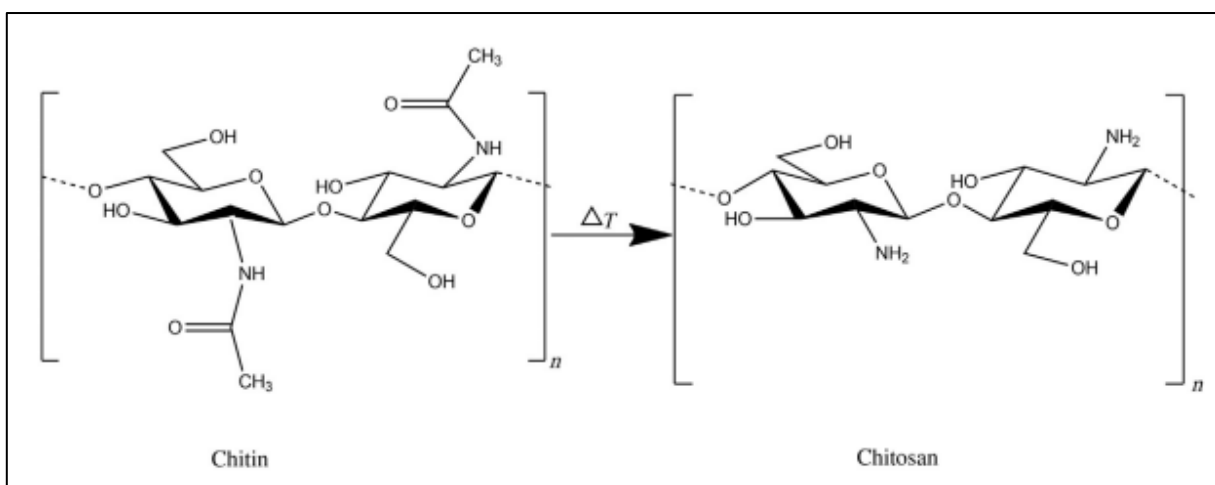


Figura 6. Estructura del quitosano. Tomado de Varghese et al. (2020).

La celulosa es un polisacárido lineal, compuesto por unidades de D-glucosa, teniendo de fórmula  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . La ausencia de cadenas laterales en las moléculas de celulosa las acerca unas a otras para formar estructuras rígidas (Varghese et al. 2020, p. 18). La celulosa se puede obtener de residuos orgánicos de la agricultura, como paja de arroz, bagazo, paja de trigo y paja de maíz (Li y Chen, 2020, p. 2). Según Sun et al. 2004, este polisacárido tiene potencial como materia prima para la elaboración de hidrogeles superabsorbentes, sin embargo, las redes de enlaces de hidrógeno e interacciones de Van der Waals, también unen fibrillas de celulosa y

hemicelulosa, estas al ser reticuladas por lignina, son más resistentes a la biodegradación además de ser impermeables al agua (p. 1).

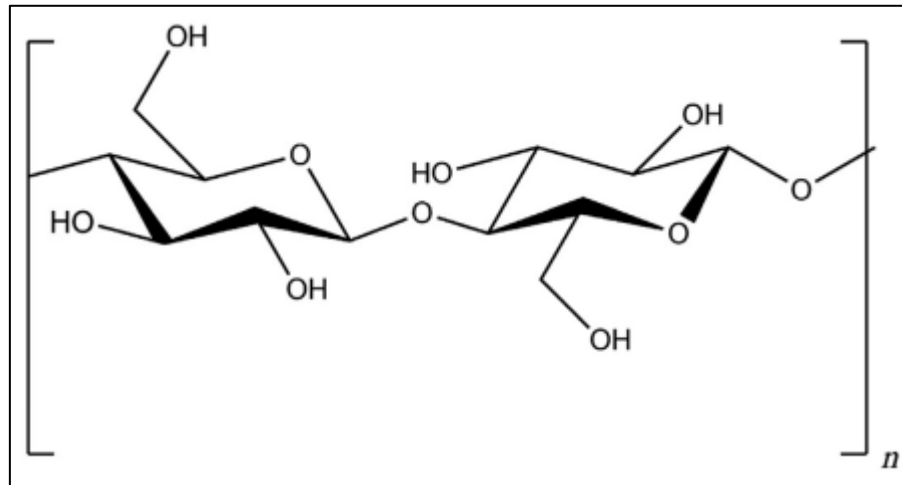


Figura 7. Estructura de la celulosa. Tomado de Varghese et al. (2020).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

Una revisión sistemática se enfoca en la revisión de literatura científica que parte de interrogantes clara y objetiva, por la que se localizan, seleccionan y analizan las investigaciones que cumplieron con los criterios previstos para poder obtener conclusiones válidas (Sánchez, 2010, p. 54). En este caso se seleccionaron 21 artículos científicos que sintetizaron polímeros naturales.

El presente estudio utilizó el tipo de investigación aplicada, en donde la investigación buscó conocer, construir y modificar una realidad problemática, inquiriendo la posibilidad útil de la practicidad, su metodología estuvo basada en la recopilación de antecedentes en la búsqueda de encontrar la solución más factible a una problemática (Borja, 2016, p. 11). Así mismo, nuestro estudio es una investigación aplicada porque se basó en el conjunto de conocimientos revelados por la ciencia para el hallazgo de los polímeros naturales más capaces para que cumplan con nuestros objetivos.

El diseño de este estudio fue considerado como cualitativo narrativo de tópicos ya que fue un estudio que se relacionó con la recolección de datos y que posteriormente fueron analizados para observarlos y describirlos (Borja, 2016, p. 12). Esto se vio reflejado en la recopilación de antecedentes bajo la misma temática de síntesis de polímeros superabsorbentes como almacenadores de agua en suelos, siendo luego producto de análisis y descripción.

#### **3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística**

La matriz de categorización se encuentra dividida entre las categorías y subcategorías, las cuales se desglosan de los objetivos en problemas específicos; para brindar una mayor exactitud de la información que se quiera proporcionar en los resultados (Ver Tabla N°1).

**Tabla 3.** Matriz de categorización apriorística.

Objetivos	Problema	Categoría	Subcategoría	Criterios
Identificar los polímeros naturales más usados para el almacenamiento de agua en suelos.	¿Cuáles son los polímeros naturales más usados para el almacenamiento de agua en suelos?	Polímeros	-Polímeros naturales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Artículos en inglés y español.</li> <li>2. Artículos a nivel mundial.</li> <li>3. Revistas indexadas.</li> <li>4. Artículos publicados en los últimos cinco años.</li> <li>5. Artículos de libre acceso.</li> <li>6. Libros en español e inglés de los últimos cinco años.</li> </ol>
Identificar la capacidad de absorción, hinchamiento y de retención de los polímeros naturales que son usados para el almacenamiento de agua en suelos.	¿Cuál es la capacidad de absorción, hinchamiento y de retención de los polímeros naturales que son usados para el almacenamiento de agua en suelos?	Propiedades mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Capacidad de absorción</li> <li>-Capacidad de hinchamiento</li> <li>-Capacidad de retención</li> </ul>	
Conocer las aplicaciones agrícolas donde se han usado polímeros naturales para el almacenamiento de agua en suelos.	¿Cuáles son las aplicaciones agrícolas donde se han usado polímeros naturales para el almacenamiento de agua en suelos?	-Aplicaciones agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Acondicionadores del suelo.</li> <li>-Germinación y crecimiento de plántulas.</li> </ul>	

### **3.3. Escenario de estudio**

Los estudios recopilados en esta revisión sistemática se llevaron a cabo en laboratorios de pruebas ex situ e in situ en países pertenecientes a Asia, África, América y Europa, como China, Tailandia, India, Egipto, Canadá, Estados Unidos de Norteamérica, Brasil y República Checa, donde se sintetizaron y aplicaron polímeros superabsorbentes para su caracterización, como acondicionadores del suelo y germinación de semillas y crecimiento de plántulas. A la vez, siendo recomendados para su uso en la agricultura y el uso racional del agua.

### **3.4. Participantes**

Como participantes de este estudio se consideraron a revistas indizadas, libros y capítulos de libros provenientes de fuentes académicas confiables y de alta calidad como Scopus, Science Direct, ASC Publications, Springer Link, Redalyc, Dialnet, ASABE Technical Library, Royalsocietypublishing.org (Atypon) y Scielo.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.5.1 Técnicas**

El análisis de documentos se adoptó como técnica para este estudio, mediante el cual permitió mantener un orden en la selección y recolección de información, siendo estas relevantes para la investigación y es considerada por Vickery (2002) como técnica científica auxiliar (p. 281).

Sánchez y Vega (2003), mencionaron que esta técnica consiste en procedimientos, operaciones, estudio y actividades realizadas por los diferentes autores de los artículos estudiados en donde aparecen estos conceptos delimitados siendo respuesta a las necesidades mencionadas en nuestros objetivos (p. 51).

### 3.5.2 Instrumentos

Como instrumento de recolección de datos se utilizó la Ficha de Antecedentes (Anexo) la cual consta de dos partes, una de ellas detallando: la referencia, objetivo, metodología, resultados y conclusiones, los materiales sintetizados y agentes reticulante e iniciadores influyentes en las investigaciones revisadas la cual permitió la comparación y el análisis de datos para la discusión y objetividad.

### 3.6. Procedimientos

Para la evaluación de la literatura que se seleccionó, se procedió por etapas usando la búsqueda avanzada de las fuentes de información, incluyendo en ellas el uso de palabras clave como filtro principal, la relevancia del tema, como se detalla en la Tabla N° 4.

**Tabla 4.** Evaluación de artículos encontrados.

Evaluación de artículos					
Palabras clave	Hydrogel superabsorbent, natural polymer superabsorbent, biopolymer. "Hydrogel Superabsorbent" OR "Natural polymer" AND "agriculture" "Hydrogel Superabsorbent" OR "biopolymer" AND "agriculture"				
ETAPA 1: Búsqueda de información		ETAPA 2 Evaluación de descarte e inclusión			ETAPA 3
Plataformas de búsqueda	Artículos encontrados	Exclusión por duplicidad	Exclusión por título y resumen	Exclusión por la no aplicación en suelo	Seleccionados por texto completo
Science Direct	43	5	27	3	8
Scopus	15	3	7	2	3
ASC Publications	5	0	1	0	4
Springer Link	3	0	1	1	1
Redalyc	7	1	4	2	0
Dialnet	3	2	1	0	0
ASABE Technical Library	1	0	0	0	1
Royalsocietypublishing.org (Atypon)	3	0	1	0	2
Scielo	5	0	4	1	1
Hindawi	5	0	4	1	1

### 3.7. Rigor científico

Según Scott (como se citó en Erazo, 2011, párr. 13) “el rigor científico está ligado no al uso de un método versus, sino a la falta de errores, "impecabilidad" o perfección con que son aplicados los mismos. El significado que esta "impecabilidad" tiene en la aplicación de los métodos, en el marco de investigación cualitativa, es lo que aquí interesa destacar, a ello el estudio aquí realizado asume su confiabilidad cumpliendo con 4 rigores científicos: Dependencia, credibilidad, confiabilidad y transferibilidad.”

La dependencia es el criterio en el que diferentes autores que recolectan datos similares en el campo y efectúen los mismos análisis, generen resultados equivalentes. De acuerdo con Franklin y Ballau (2005) existen dos clases de dependencia, la interna (Grado en el cual diversos autores, al menos dos, generan temas similares con los mismos datos) y la externa (Grado en que diversos investigadores generan temas similares en el mismo ambiente y período, pero cada quien recaba sus propios datos) (p. 356, 357). Este tipo de criterio es demostrado en nuestras conclusiones que se conseguirán luego de efectuar la comparación de diversos artículos científicos acerca de Polímeros y su caracterización para la aplicación en la agricultura. La dependencia en el rigor científico se refleja también en el uso de agua destilada como un elemento en común entre los estudios recopilados.

El criterio de credibilidad, autenticidad o mencionado como “valor de la verdad”, se define como la similitud de los resultados y el fenómeno que se ha estudiado depende de la inclusión de conocimientos expertos en el diseño de sistemas de medición y verificación (Eden, 2009, p. 387; Miller y Bush, 2015, p. 137, 138). También deriva de la transparencia en el procedimiento de elaboración de normas, relacionada con la apertura de los procesos de toma de decisiones y el resultado de las evaluaciones frente a las normas y la accesibilidad de la información necesaria para

determinar si la investigación es eficaz para cumplir sus objetivos y cómo lo hace. (Vermeulen, 2007, p. 163). Este criterio es verificado en base a la seguridad que nos proporciona cada artículo extraído el cual deriva de una fuente confiable (revistas indizadas) la cual nos puede brindar la certeza de que sus resultados son válidos y verídicos.

La confiabilidad asegura que los resultados representan algo verdadero, y que los resultados que dan los autores son independientes de las circunstancias de la investigación. En un estudio cualitativo la confiabilidad es un asunto complejo tanto por la naturaleza de los datos, como del propio proceso de investigación y de la resolución. Se afirma que si los resultados se repiten la confiabilidad se puede asegurar, por eso es que en la investigación cualitativa es recomendable trabajar con diferentes métodos de recolección de la información (Goetz, 1988, p. 7). Esto se puede observar en la aplicación del mismo agente reticulante y la misma metodología empleada en las investigaciones estudiadas en la presente revisión.

Transferibilidad es la posibilidad de trasladar los resultados a otros contextos en estudios posteriores (Castillo y Vásquez, 2003, p. 166). Si se habla de transferibilidad se tiene en cuenta que los fenómenos estudiados están íntimamente vinculados a los momentos, a las situaciones del contexto y a los sujetos participantes de la investigación. La forma de lograr este criterio es a través de una descripción profunda de las características del contexto en que se realiza la investigación y de los sujetos participantes. Dicha descripción servirá para realizar comparaciones y descubrir lo común y lo específico con otros estudios (Noreña et al. 2012, p. 267). Y este criterio es usado en los resultados adquiridos de otros autores acerca del cotejo de cómo los polímeros al ser modificados pueden tener mejores resultados en su aplicación a la agricultura.

### **3.8. Método de análisis de datos**

Para cumplir con los objetivos de esta investigación se elaboró una tabla de resumen dividida en dos partes: primera y segunda parte (adjuntas en el Anexo), además



de tablas independientes con el fin de detallar el análisis que requirieron los resultados de todos los artículos científicos recopilados que sintetizaron y experimentaron con los polímeros naturales, de manera general fueron categorizados como polímeros, por sus propiedades mecánicas (capacidad de absorción, capacidad de hinchamiento y capacidad de retención), y aplicaciones agrícolas (acondicionadores del suelo y germinación y crecimiento de plántulas). Conjuntamente, se generaron gráficos como apoyo visual que acompañaron a los resultados potenciando así el análisis de la información.

### **3.9. Aspectos éticos**

La presente investigación consideró el cumplimiento de los principios éticos expresados por el Vicerrectorado de Investigación UCV en el año 2020 de acuerdo con la Resolución del Consejo Universitario N° 0606-2021/UCV en la que cita el artículo 48 de la Ley universitaria N° 30220, la cual menciona que la investigación constituye una función esencial y obligatoria de la Universidad que la realiza respondiendo mediante la producción de conocimiento y desarrollo de tecnologías a las necesidades de la sociedad con especial énfasis a la realidad. Por consiguiente, se respetó la autoría de las fuentes de información según el estilo de la norma ISO 690 y se cumplió con los principios éticos pertenecientes al Colegio de Ingenieros del Perú respecto a la investigación.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tipo de polímero superabsorbente más usado en la agricultura corresponde a los que se producen a partir de almidón, se encuentra subcategorizado por su nivel de absorción que genera en los diferentes tipos de tipo de suelo, como en su diferente aplicación.

**Tabla 5.** Resumen de antecedentes y material orgánico utilizado para la síntesis de hidrogeles superabsorbentes.

N°	Autores	Material orgánico
1	Zhang et al. (2021)	Col blanca
2	Thombare et al. (2018)	Goma guar
3	Elsayed et al. (2018)	Goma guar
4	Zhang et al. (2017)	Celulosa y goma de linaza
5	Ahmad et al. (2020)	Goma de moringa
6	Zhao et al. (2019)	Almidón
7	Meng et al. (2019)	Licor rojo de pulpa
8	Vasconcelos et al. (2019)	Almidón y ceniza de cáscara de arroz
9	Wang et al. (2018)	Celulosa de paja
10	Alam et al. (2018)	Quitosano carboximetilado
11	Mangesh et al. (2017)	Almidón
12	Adjuik (2021)	Lignina alcalina
13	Khushbu et al. (2019)	Goma de semilla de carboximetil tamarindo
14	Lertsarawut et al. (2021)	Almidón
15	Tao et al. (2018)	Paja de maíz
16	Fang et al. (2019)	Aminoetilquitosano
17	Quiao et al. (2019)	Almidón de maíz
18	Gao et al. (2018)	Salvado de trigo
19	Durpekova et al. (2020)	Celulosa

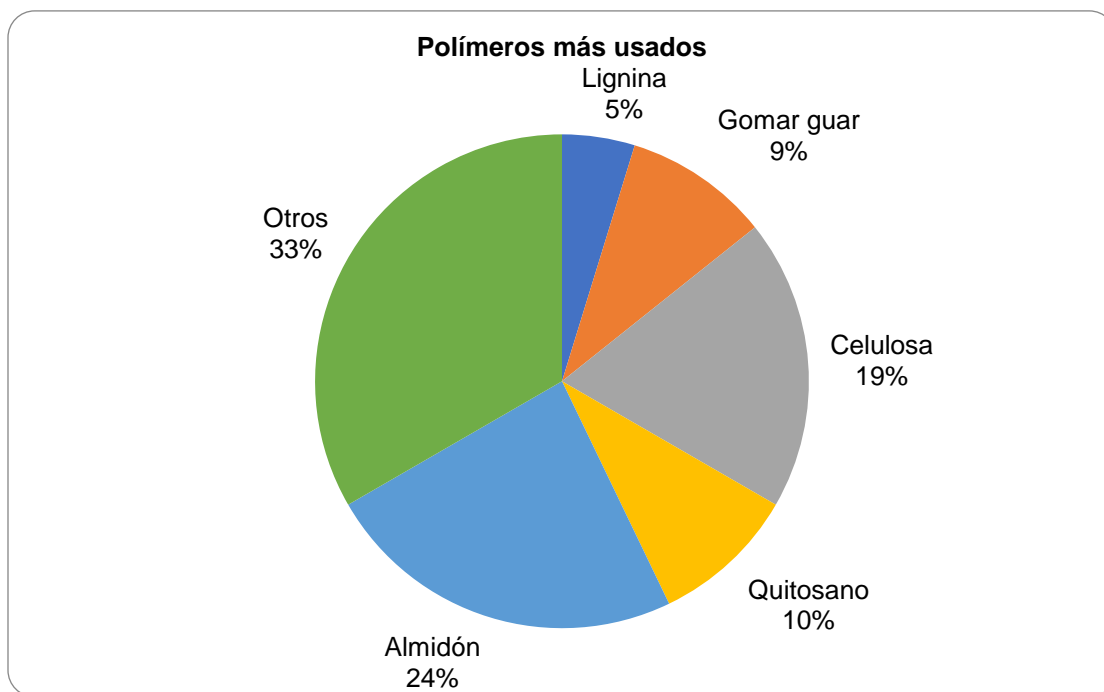
20	Vinícius et al. (2017)	Cáscara de huevo
21	Alam et al. (2019)	Celulosa (Pulpa de madera de Kraft)

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6** Resumen de polímeros estudiados.

Tipo	%	Cantidad
Lignina	4.76%	1
Gomar guar	9.52%	2
Celulosa	19.05%	4
Quitosano	9.52%	2
Almidón	23.81%	5
Otros	33.33%	7
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>	<b>21</b>

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 8.* Polímeros naturales más usados en los artículos estudiados.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las investigaciones de artículos estudiados, los autores indican que los polímeros naturales más usados son aquellos que tienen mayor capacidad de absorción, siendo ello corroborado por la mayoría de los autores donde el polímero más usado ha sido el almidón injertado (esto representa el 23.81% de los estudios considerados en esta revisión sistemática) tanto sus derivados como sus modificaciones para una mejor retención de agua.

Según Li, Zhang y Wang (2007), a pesar de ser uno de los más usados, la mayoría de los polímeros sintetizados a base de almidón aún presentan una mala absorción de agua y baja tolerancia a la sal. Sin embargo, Zhao et al. (2019) manifiesta que la capacidad de absorción del Almidón aumenta respectivamente con diferentes soluciones como son, el agua desionizada, solución de cloruro de sodio al 0,9%, esto debido a que el copolímero preparado tenía una estructura y características de hinchamiento, eran diferentes a las del ácido acrílico injertado con almidón ordinario, y exhibió una excelente absorción de agua.

Añadiendo Vasconcelos et al. (2019) que se basó en probar un hidrogel hecho de poli (acrilato de sodio) injertado con almidón relleno con ceniza de cáscara de arroz (RHA) como acondicionador del suelo, dio a entender que el compuesto formulado con 20 % en peso de RHA tiene una capacidad de absorción sobresaliente (~42 000 %), que se puede atribuir a sus constituyentes hidrofílicos y morfología.

**Tabla 7.** *Materiales para la síntesis de hidrogeles superabsorbentes e identificación de agente reticulante e iniciador aplicados.*

N°	Autores	Se sintetizó	Reticulante	Iniciador
1	Zhang et al. (2021)	Col de desecho (CB) con dos monómeros AMPS (2-acrilamida-2-metil- ácido 1-propanosulfónico) y AA (ácido acrílico).	N, N' - metileno-bisacrilamida (MBA)	Persulfato de potasio (KPS) (0,5 %)
2	Thombare et al. (2018)	Goma guar con ácido acrílico y entrecruzado con ácido etilglicol dimetacrílico (EGDMA)	Ácido dimetacrílico de etilenglicol (EGDMA)	Peróxido de benzoilo (BPO)

3	Elsayed et al. (2018)	Dos conjuntos de materiales de hidrogel (PA-GG) a base de goma guar injertando goma guar en copolímeros de ácido acrílico/acrilamida (AA-AcM GG) y ácido acrílico/N-isopropilacrilamida (AA-NIPAMGG)	N, N' - metileno-bisacrilamida (MBA)	Radical persulfato de potasio (KPS) (0.05g)
4	Zhang et al. (2017)	Soluciones de celulosa y goma de linaza disueltas en el sistema acuoso de NaOH/urea y entrecruzadas con epíclorhidrina.	Epíclorhidrina (ECH)(1,18 g/ml)	Celulosa y la goma de linaza
5	Ahmad et al. (2020)	Hidrogeles superabsorbentes a base de goma de moringa oleífera y alcohol polivinílico reticulado con bórax.	Bórax (borato de sodio)	Alcohol vinílico (PVA)
6	Zhao et al. (2019)	Un nuevo polímero absorbente de agua modificado mediante polimerización en solución de almidón modificado con ácido sulfámico y ácido acrílico.	N,N' - metileno-bisacrilamida (MBA)	Persulfato de potasio (APS)
7	Meng et al. (2019)	Fuentes de licor rojo de pulpa, que se produce por cocción de sulfito ácido en la industria del papel, consisten en lignosulfonato y polisacárido, comúnmente considerados como desechos o subproductos y utilizados en bajo valor, como surfactante y adhesivo.	N,N'-metileno-bisacrilamida (MBA, AR, 98 %)	Persulfato de amonio (APS)
8	Vasconcelos et al. (2019)	Se sintetizó y probó un compuesto de hidrogel superabsorbente basado en una matriz de poli(acrilato de sodio) injertado con almidón relleno con ceniza de cáscara de arroz (RHA)	N,N' - metileno-bisacrilamida (MBA)	Persulfato de potasio (KPS)
9	Wang et al. (2018)	Sintetizado a partir de celulosa extraída de paja de mijo y polímero lineal	N,N' - metileno-bisacrilamida (MBA) Influencia en la absorción de agua. 0.4% en peso.	Persulfato de potasio (KPS) y persulfato de amonio (APS)

10	Alam et al. (2018)	Se sintetizaron mediante la reticulación de fibras de pulpa kraft blanqueada parcialmente oxidada con quitosano carboximetilado.	Quitosano con anhídrido succínico adherido	No precisa
11	Mangesh et al (2017)	Un superabsorbente a base de biopolímeros mediante injerto y entrecruzamiento de almidón extraído de sorgo.	N,N' - metileno-bisacrilamida (MBA)	Persulfato de potasio (KPS)
12	Adjuik (2021)	Se sintetizó la lignina alcalina de grado analítico (bajo contenido de sulfonato) con un peso molecular aproximado de 10.000 g/mol y pH 10,5. Se adquirió poli (etilenglicol) diglicidil éter (PEGDGE) con un peso molecular promedio de ~500 g/mol y NaOH .	Poli (etilenglicol) diglicidil éter (PEGDGE) con un peso molecular promedio de ~500 g/mol	No precisa
13	Khushbu et al. (2019)	Goma de semilla de carboximetil tamarindo con acrilato de sodio.	N,N' - metileno-bisacrilamida (MBA)	Persulfato de potasio (KPS)
14	Lertsarawut et al. (2021)	Almidón extraído de yuca	No precisa	Usa radiación
15	Tao et al. (2018)	Paja de maíz (MS), ácido acrílico (AA), Nm N-metilenbisacrilamida (MBA) y arcilla de paligorskita (PGS)	Nm N-metilenbisacrilamida (MBA)	Persulfato de potasio (KPS)
16	Fang et al. (2019)	Sintetizar un polímero ecológico utilizando cloruro de (2-piridil) acetil quitosan (PACS), ácido acrílico (AA) y acrilamida (AM) en solución acuosa mediante una polimerización por radicales libres.	N,N'-metilenbisacrilamida(MBA)	Persulfato de amonio (APS)
17	Quiao et al. (2019)	Polímeros superabsorbentes a base de almidón preparados en un solo paso a una alta concentración de almidón	Nm N-metilenbisacrilamida (MBA)	Nitrato amónico cérico (CAN)
18	Gao et al. (2018)	Se sintetizó un compuesto superabsorbente ecológico y económico mediante la copolimerización por injerto de radicales libres de salvado de trigo (WB), ácido acrílico (AA) y laterita (LA) en una solución acuosa	Nm N-metilenbisacrilamida (MBA)	Persulfato de potasio (KPS)

19	Durpekova et al. (2020)	Derivados de la celulosa (carboximetilcelulosa (CMC) e hidroxietilcelulosa (HEC)) y suero ácido reticulado con ácido cítrico.	Ácido cítrico (5%)	No precisa
20	Vinícius et al. (2017)	Se sintetizó un compuesto de hidrogel superabsorbente basado en poli(acrilamida-co-acrilato de potasio) como matriz que contenía 17 % en peso de polvo de ES(cascará de huevo) de pollo como relleno y se comparó con el gel sin relleno.	Nm N-metilenbisacrilamida (MBA)	Persulfato de potasio (KPS)
21	Alam et al. (2019)	En este proceso de dos pasos, primero se hizo reaccionar la celulosa con monocloroacetato de sodio (MCA) para obtener carboximetilcelulosa (CMC) y luego se entrecruzó con epiclorhidrina (ECH).	Celulosa modificada	No precisa

Fuente: elaboración propia.

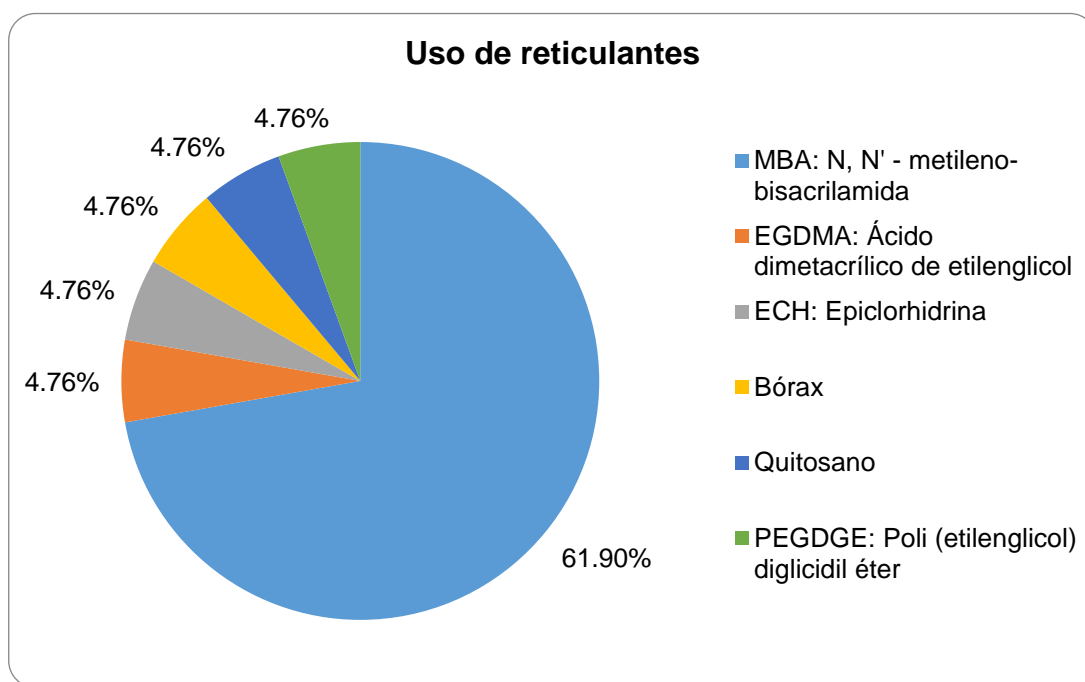


Figura 9. Reticulantes aplicados en los artículos estudiados.

Fuente: elaboración propia.

Para el objetivo específico, el entrecruzamiento de redes poliméricas se dan por motivos del agente de reticulación, en este caso, el más usado fue N,N'-Metilenobisacrilamida (MBA), según Vasconcelos et al. (2019), los hidrogeles son materiales blandos que consisten en redes tridimensionales formados por polímeros hidrofílicos reticulados. Estas peculiaridades dotan a los hidrogeles de la capacidad de absorber y retener grandes cantidades de líquido, sin disolverse. Así, los hidrogeles pueden actuar como reservorios de agua y, también, liberar agua dependiendo de la demanda de las raíces de las plantas.

Así mismo, Mangesh et al. (2017), manifiesta que la adición de reticuladores aumentan el número de enlaces y por lo tanto se crea una red más fuerte y absorbible, siendo usado en porcentaje de peso por algunos autores en sus estudios científicos para probar a qué porcentaje se puede crear una red polimérica resistente, cabe recalcar que el reticulante solo es el complemento de un proceso que contiene un “iniciador” para formar la red polimérica y llegar a su nivel de absorción final.

Para (Zhang et al. 2021), cuando el contenido de MBA fue del 0,10 %, logró la absorbencia máxima de 1914 g/g, a medida que aumentó el contenido de MBA, aumentó la densidad de reticulación del polímero, lo que redujo la expansión de la red de polímero en el líquido y el espacio de la estructura de la red haciéndola más resistente.

Mientras tanto, Zhao et al. (2019), añadió el reticulante al 0,15 %, dando como resultado 1026 g/g de nivel de absorción, para ambos autores buscaban crear una red polimérica más resistente, por ende, el porcentaje era mayor que 0,5%, esto conlleva a que cuanto más porcentaje la red de polímeros será más resistente, pero tendrá un límite de hinchamiento y de creación de más redes y puede llevar a una ruptura.

Por otro lado, Wang et al. (2018) Utilizó la cantidad de reticulante al 0,4 % en peso, la absorbencia de agua del producto alcanzó un máximo de 681,3 g/g, porque el enlazador directamente relacionado con la densidad de reticulación afectó la formación de la red y la resistencia mecánica del polímero, así mismo afirmó que los niveles más altos de reticulante produjeron la formación de una red adicional. Estas redes



promoverían reducir el volumen libre disponible dentro del polímero, disminuyendo la absorción de agua. El entrecruzamiento más bajo no solo podría disminuir la densidad de entrecruzamiento, sino que también conduciría al aumento del material soluble, lo que podría resultar en una menor absorción de agua, esto lo secundó Meng et al. (2019), el cual manifestó que el aumento en la concentración de reticulante más allá del nivel óptimo provoca un aumento en la densidad de reticulación en el polímero, esto hace que el gel se vuelva más rígido y quebradizo y, por lo tanto, impide la hinchazón. Por lo tanto, la concentración óptima de reticulante que tomó fue de 0,5%, dando como resultado una absorción de 400 g/g.

Ambos autores buscaban un nivel óptimo tanto de absorción como de hinchamiento buscando así no saturar a la red de polímeros y buscando un equilibrio entre ellas. En cambio, Meng et. al (2019), Khushbu et. al (2019) y Tao et al. (2018) para obtener la capacidad de hinchamiento, no lo representaron como porcentaje si no por gramos y en miligramos, Tao et al. (2018), usó 0,03 g (30 mg) de agente reticulante, haciendo que el proceso de absorción sea más lento, esto se debe principalmente al hecho de que los grupos hidrofílicos absorben moléculas de agua que están inmovilizadas en la red reticulada tridimensional; por otro lado, Meng et al. (2019) usó solo 0,05 g (equivale a 50 ml) de reticulante, para luego disolverlo en agua desionizada, esto hizo que el reticulante obtuviera más peso conforme se hinchaba para dar como resultado 280 g/g, a diferencia de Khushbu et al. (2019) que probó las medidas de las concentraciones que iban de menor a mayor desde 17 mg a 53mg, esto hizo que se diera cuenta que el índice de hinchazón disminuyó significativamente, porque cuanto mayor era la concentración de los niveles de MBA, mayor era el entrecruzamiento, lo que resultó en una disminución de la formación de la red, lo cual reducía aún más el volumen libre, dando como resultado 648 ml/g de hinchamiento. Ambos autores buscaban hacer una red polimérica que resista al hinchamiento pero que a su vez no pierda el poder de retención de agua puesto que los hidrogeles se vuelven más compactos con un exceso de reticulante, dependiendo del fin que se le quiera dar.

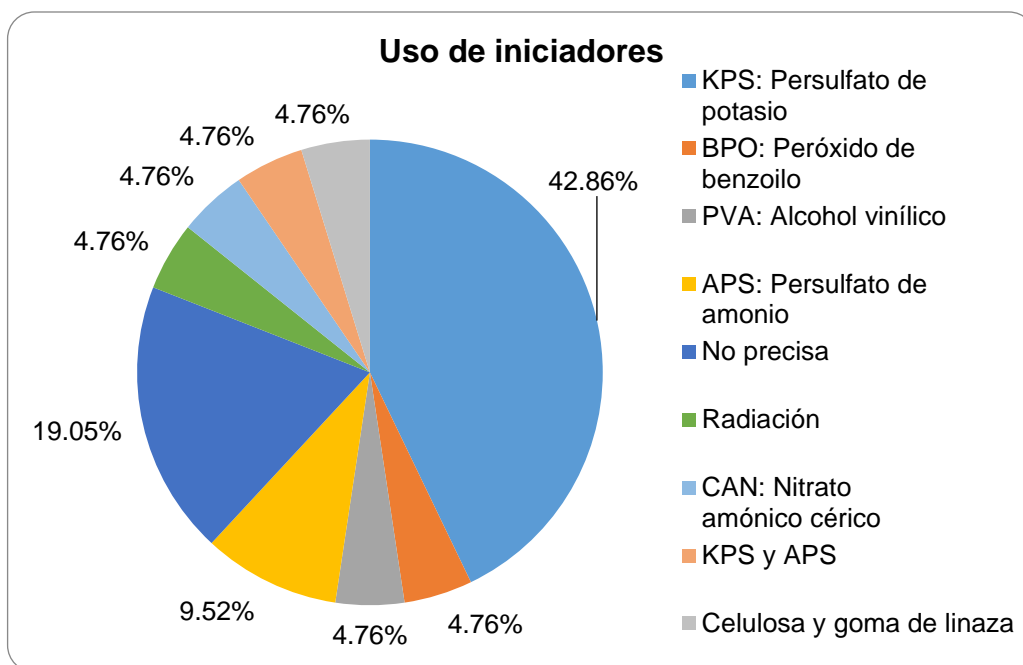


Figura 10. Iniciadores aplicados a los artículos estudiados.

Fuente: elaboración propia.

Zhang et al. (2021) y Wang et al. (2018) utilizaron la concentración de iniciador a 0, 4% y 0, 5%, de Persulfato de sodio (KPS), respectivamente, para crear radicales y formar más sitios de injerto en la estructura inicial del polímero con el que trabajaron; por otro lado, Elsayed et al. (2018) usaron el iniciador KPS, para la copolimerización del injerto mediante la generación de radiales libres, técnicamente el KPS funcionó como iniciador redox para producir los radicales libres en el polímero, y así formar entrecruzamiento.

Mangesh et al. (2017) y Khushbu et al. (2019) atribuyeron que la concentración de iniciador juega un papel notable en la preparación del hidrogel superabsorbente al crear sitios activos en cadenas de polímeros, al variar la concentración del iniciador KPS. Según Mangesh et al. (2017) la concentración máxima que pudo llegar de iniciador es de 2%, puesto que un nivel más alto no generó cambio alguno en la absorción del polímero, este resultado lo da porque el aumento del iniciador al hacerse

la prueba causó un aumento en la formación de homopolímeros (polímero formado por solo un tipo de monómero), lo que hace que no admita otros monómeros a la cadena y así disminuya la adición de otro injerto. Por otro lado, Khushbu et al. (2019), enfatizó en el uso del iniciador a menor concentración de 0,1 g da como resultado una reacción tranquila de polimerización que conduce a una mayor concentración de monómero soluble, esto da como resultado la formación de una red de hidrogel suelta que conduce a una menor hinchazón, lo cual perjudica al polímero si es que se quiere que su función sea la absorción e hinchamiento.

**Tabla 8.** Capacidad de absorción de los hidrogeles superabsorbentes estudiados.

N°	Autores	Capacidad de absorción (g/g)	Tipo de agua	Nota respecto al tipo de agua
1	Zhang et al. (2021)	1726.00	Agua destilada	En agua ultrapura: 1914 g/g. En agua destilada: 1726 g/g En agua corriente: 306 g/g En solución de NaCl al 0.9%: 114 g/g
2	Thombare et al. (2018)	800.00	Agua destilada	A pH (4): 470 g/g A pH (7): 608 g/g A pH (9): 625 g/g En solución de NaCl al 0.9%: 77g/g
3	Elsayed et al. (2018)	220.00	Agua destilada	Todas las soluciones se prepararon con agua destilada (50ml) siendo NIPAM1.5-GG5 AA = 220 (g/g)
4	Zhang et al. (2017)	87%	Agua destilada	No precisa
5	Ahmad et al. (2020)	1163.00	Agua desionizada	En agua desionizada: 1163 g/g En solución de NaCl al 0.9%: 290 g/g
6	Zhao et al. (2019)	1020.00	Agua desionizada	En agua desionizada: 1026 g/g En solución de NaCl al 0.9%: 155 g/g A pH (7): 1020 g/g A pH (8): 514 g/g
7	Meng et al. (2019)	280.00	Agua desionizada	Para 0.4 g (RLH0.4)
8	Vasconcelos et al. (2019)	400.00	Agua destilada	No precisa

9	Wang et al. (2018)	681.30	Agua destilada	Se alcanzó esta absorbencia debido a la cantidad de reticulante: 0.4% en peso. Afectó tanto la formación de la red, como la resistencia mecánica del polímero.
10	Alam et al. (2018)	610.00	Agua destilada	En agua salada: 85 g/g* En presencia de potasio o cationes de amonio, aumentó entre 91 y 96 g/g *Gel comercial: 40-50 g/g
11	Mangesh et al. (2017)	400.00	No precisa	El pH influyó en la absorción de agua, los mejores resultados se obtuvieron a pH 7-8. A pH (7): 400 g/g A pH (8): 370 g/g El iniciador se mantuvo al 2% (p/p) del almidón utilizado. La concentración óptima de reticulante se tomó como 0.5% en peso. Antes de la saponificación, el valor de absorción de agua fue de 85g/g.
12	Adjuik (2021)	No precisa	No precisa	No precisa
13	Khushbu et al. (2019)	648.00	Agua destilada	La capacidad de absorción de agua aumentó de pH 4 a 12. A 0.1 g de iniciador; máxima absorbencia de agua fue 227g/g, el índice de hinchazón de la SAH disminuyó cuando la concentración del iniciador aumentó más allá de 0,1 g.
14	Lertsarawut et al. (2021)	5511%	Agua destilada	A base de almidón de yuca A base de celulosa: 1278%
15	Tao et al. (2018)	700.00	Agua destilada	No precisa
16	Fang et al. (2019)	615.00	Agua destilada	En solución de NaCl al 0.9%: 44 g/g
17	Quiao et al. (2019)	212.12	Agua destilada	0,02 g de agente de reticulación MBA utilizado para la síntesis de almidón-SAP

18	Gao et al. (2018)	1050	Agua destilada	72 g/g -1en solución de NaCl al 0,9%
19	Durpekova et al. (2020)	No precisa	No precisa	No precisa
20	Vinícius et al. (2017)	100%	Agua destilada	No precisa
21	Alam et al. (2019)	425	Agua destilada	No precisa

Fuente: Elaboración propia.

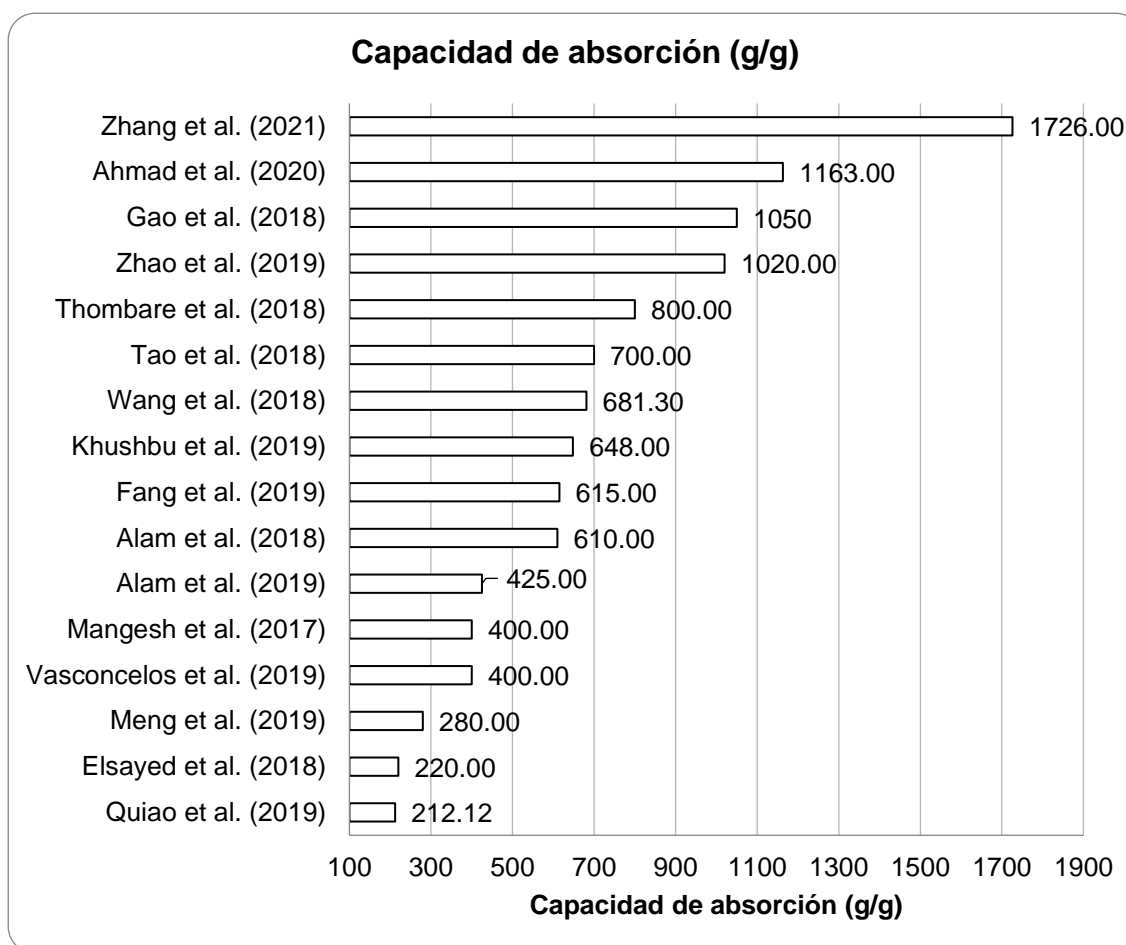


Figura 11. Capacidad de absorción de los hidrogeles superabsorbentes.

Fuente: Elaboración propia.

La mayor capacidad de absorción obtenida en las investigaciones estudiadas fue la de Zhang et al. (2021), quienes sintetizaron un hidrogel superabsorbente a base de

col blanca (*Brassica oleracea L.*), la mayor absorción se obtuvo en agua ultrapura, siendo ésta 1914 g/g y en agua destilada (1726 g/g), sin embargo, en agua de grifo fue de 306 g/g (p. 7), cabe mencionar que la comparación que se realizó entre los demás artículos estudiados (Fig. 7), fue en base a la aplicación con agua destilada a excepción de Ahmad et al. (2020), quienes aplicaron agua desionizada e indicaron que la absorbencia durante los primeros 120 minutos fue aumentando bruscamente y luego se volvió más lenta hasta alcanzar la máxima absorción (p. 17956).

Cuatro de los estudios revisados se mantuvieron en el rango de 600 a 700 g/g de absorción, entre los cuales, coinciden en que el comportamiento de absorción de agua se debe a la presencia de mayor grupos carboxilo (Alam et al. 2018, p. 10), además, para Wang et. al (2018), la absorción aumentó del 40 al 70%, debido a la densidad de carga ya que ésta se relaciona con el grado de neutralización, esto es porque el aumento de AA (ácido acrílico) puede hacer que se injerten más grupos hidrófilos, en consecuencia, haya una mayor absorción, sin embargo, se vio el efecto contrario cuando hay un exceso de AA (p. 6). Coincidente con ello, Khushbu et al. (2019) y Fang et al. (2019), mencionan el efecto del iniciador como causante del aumento y luego el descenso de la capacidad de absorción debido al exceso de radicales que causan el paso de terminación de la colisión bimolecular, que acortan la cadena de absorción de agua (p. 580).

**Tabla 9.** Capacidad de hinchamiento de los hidrogeles superabsorbentes.

N°	Autores	Capacidad de hinchamiento	Nota
1	Zhang et al. (2021)	240.00 g/g	A 50°C
2	Thombare et al. (2018)	625.00 g/g	No precisa
3	Elsayed et al. (2018)	220.00 g/g	A 78°C
4	Zhang et al. (2017)	300.00 g/g	Relación de hinchamiento de equilibrio a 37°C.
5	Ahmad et al. (2020)	1163.00 g/g	No precisa
6	Zhao et al. (2019)	1020.00 g/g	No precisa
7	Meng et al. (2019)	280.00 g/g	Para 0.4 g (RLH0.4)
8	Vasconcelos et al. (2019)	No precisa	No precisa
9	Wang et al. (2018)	No precisa	No precisa
10	Alam et al. (2018)	No precisa	No precisa
11	Mangesh et al. (2017)	280.00 g/g	En almidón de sorgo
12	Adjuik (2021)	2030%	1092% en agua de grifo, 825% en solución de NaCl al 0.9%.
13	Khushbu et al. (2019)	452.00 g/g	A Ph (4): 141 g/g A pH (9): 340 g/g A pH (12): 452 g/g
14	Lertsarawut et al. (2021)	543.93 g/g	A escala de laboratorio: 543.93 A escala de producción: 218.27
15	Tao et al. (2018)	No precisa	No precisa
16	Fang et al. (2019)	No precisa	Después de 5 veces de hinchazón, este producto aún mantuvo más del 50% de la capacidad de absorción de agua.
17	Quiao et al. (2019)	No precisa	No precisa
18	Gao et al. (2018)	No precisa	No precisa
19	Durpekova et al. (2020)	1115%	La mayor captación de agua por la muestra H5 se alcanzó en agua destilada a pH 7,2. En agua destilada: Muestra H5: 1115% Muestra H10: 554% En solución salina a pH (10): Muestra H5: 994%

			Muestra H10: 541%
20	Vinícius et al. (2017)	1256 g/g	Para hidrogel con polvo de cáscara de huevo: $1256 \pm 39$ g agua g <sup>-1</sup> de hidrogel seco. Para hidrogel sin relleno: $629 \pm 28$ g agua g <sup>-1</sup> de hidrogel seco.
21	Alam et al. (2019)	No precisa	No precisa

Fuente: elaboración propia.

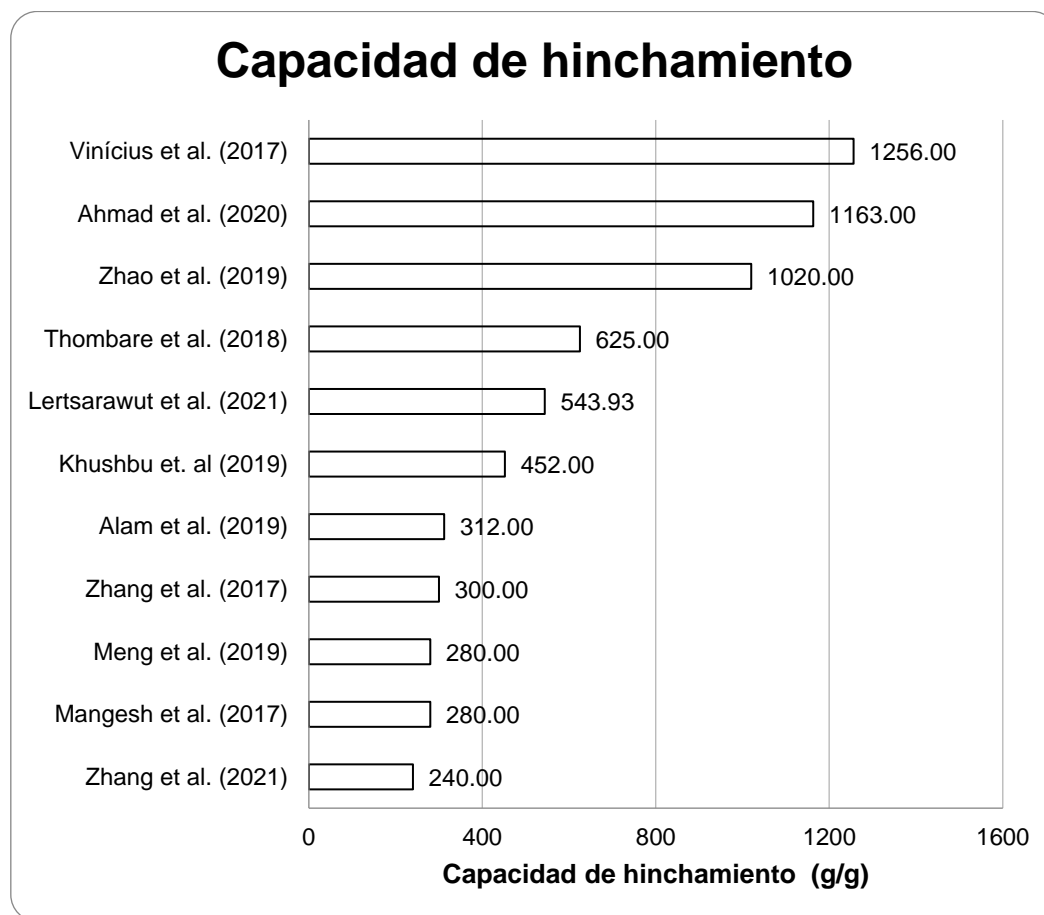


Figura 12. Capacidad de hinchamiento de los hidrogeles superabsorbentes.

Fuente: elaboración propia.

Vinícius et. al (2017), Encontraron la mayor capacidad de hinchamiento gracias al compuesto basado en poli(acrilamida-co-acrilato de potasio), que como matriz contenía 17% de polvo de cascará de huevo, puesto que es un material con una fuente rica en



CaCO<sub>3</sub>, siendo una alternativa de mejora de la fuerza del gel, permitiendo que se forme la estructura homogénea, siendo un compuesto adecuado para su aplicación en la agricultura (p. 2004-2009) , por otro lado Ahmad et al. (2020) Obtuvieron su mayor capacidad de hinchamiento en los hidrogeles sintetizados, esto lo atribuyen a la aplicación de alcohol polivinílico quien, al ser usado como iniciador, permite el aumento del hinchamiento luego de la aplicación de bórax, el aumento inicial del hinchamiento puede deberse al aumento de la hidrofilia y la formación de una red de tamaño de poro óptimo (p. 17956).

Para Elsayed et al. (2018), se encontró una mayor eficiencia de hinchamiento cuando con una cantidad de 1.5% de reticulante. La mayor capacidad de hinchamiento que lograron disminuyó al aumentar la concentración de sal pudiendo deberse a la interacción catión-anión. El hidrogel con mayor densidad de entrecruzamiento que se obtuvo presentó menor absorción de agua por tiempo debido a la elasticidad reducida (p. 10).

La menor capacidad de hinchamiento que se estudió fue la de Mangesh et al. (2017), siendo el almidón proveniente de sorgo el presentado en su estudio en comparación del almidón de trigo, el de mejor resultado. Se injertó almidón proveniente de sorgo, con ácido acrílico y acrilamida y observaron que, a mayor adición de injerto, mayor era la absorbancia, esto debido al contenido de grupos carboxílicos y amida que son polares y tienen la capacidad de formar enlaces de hidrógeno con el agua, lo que aumenta la hinchazón y absorción. La transmitancia del almidón de sorgo es mayor que la del almidón de trigo. Esto puede deberse a la mejor claridad de la pasta que se debe a la presencia de una proporción de amilopectina que tiene una mayor solubilidad y, por lo tanto, proporciona una solución clara y estable. Sin embargo, el aumento en la concentración de reticulante más allá del nivel óptimo provocó un aumento en la densidad de reticulación en el polímero. Esto hizo que el gel se volviera más rígido y quebradizo y, por lo tanto, impidió la hinchazón (p. 13).

**Tabla 10.** Capacidad de retención de los hidrogeles superabsorbentes.

<b>N°</b>	<b>Autores</b>	<b>Capacidad de retención</b>	<b>Notas</b>
1	Zhang et al. (2021)	50.00%	A una temperatura de 25°C
2	Thombare et al. (2018)	54.00%	3kg de hidrogel x 1kg suelo. temperatura ambiente
3	Elsayed et al. (2018)	No precisa	A una temperatura de 25°C
4	Zhang et al. (2017)	14 días	14 días
5	Ahmad et al. (2020)	31.00%	A una temperatura de 60°C
6	Zhao et al. (2019)	No precisa	No precisa
7	Meng et al. (2019)	No precisa	No precisa
8	Vasconcelos et al. (2019)	No precisa	No precisa
9	Wang et al. (2018)	No precisa	No precisa
10	Alam et al. (2018)	610g/g	Los SAP se sumergieron en agua destilada o solución salina
11	Mangesh et al (2017)	No precisa	No precisa
12	Adjuik (2021)	No precisa	-3cm a -10cm
13	Khushbu et. al (2019)	8.68%	El mejor resultado se obtuvo con 0,3 % de SAH, es decir, 3 g de SAH por kg de suelo y una disponibilidad significativamente mayor de agua para las plantas en el suelo.
14	Lertsarawut et. al (2021)	No precisa	No precisa
15	Tao et al. (2018)	No precisa	El agua se puede retener durante 4 días a 35°C
16	Fang et al. (2019)	80.00%	Después de 72 h, este producto todavía tenía más del 60 % de retención de agua. Cuando la temperatura alcanza los 60 °C, el polímero superabsorbente tiene una capacidad de retención de agua de alrededor del 50 % a las 12 h.
17	Quiao et al. (2019)	No precisa	No precisa
18	Gao et al. (2018)	No precisa	No precisa
19	Durpekova et al. (2020)	No precisa	No precisa
20	Vinícius et al. (2017)	No precisa	No precisa
21	Alam et al. (2019)	No precisa	No precisa

Fuente: elaboración propia.

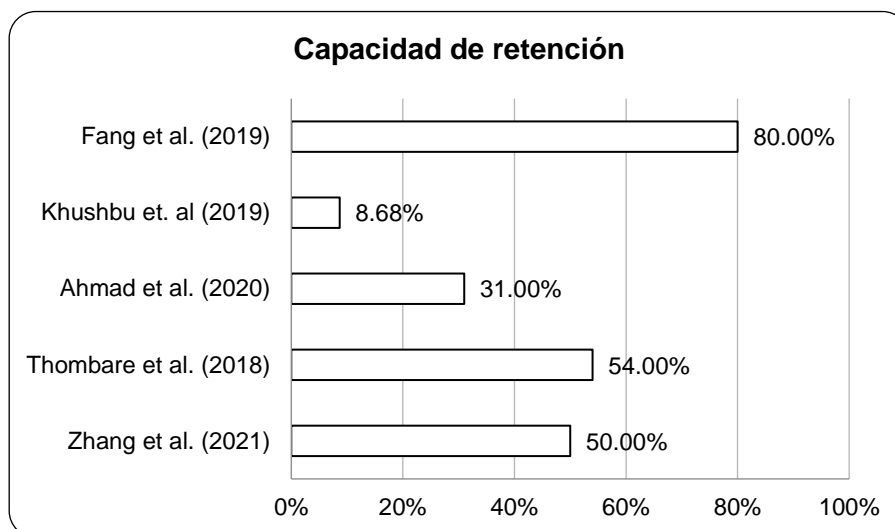


Figura 13. Capacidad de retención de los hidrogeles superabsorbentes.  
Fuente: elaboración propia.

Fang et al. (2019) obtuvo mayor retención de agua del SAP, a diferentes temperaturas, comenzando de 25°C, lo que fue variando cuando las horas fueron pasando, la muestra SAP, tenía una capacidad de retención de 80% cuando comenzaron las primeras 10 horas, después de las 72h, este producto aún tenía más del 60% a solo temperatura ambiente.

Mientras que a una temperatura de 60°, dando como resultado una capacidad de retención de 50% a las 12 h, la diferencia en el rendimiento de la retención de agua podría determinar que cuanto más aumenta la temperatura menor será la retención de agua.

Así mismo, también lo analizó Zhang et al. (2021) probando su polímero superabsorbente a diferentes temperaturas, determinó que a 50° el SAP, tuvo una capacidad de retención de agua de 50% después de 18h aproximadamente, en comparación de cuando se probó con una temperatura de 25°, su retención de agua mejoró y se mantuvo en 50% después de 54h, lo que llevó a concluir que a temperaturas más altas, estas débiles fuerzas de interacción eran inestables, dando como resultado diferentes propiedades de retención de agua del gel de polímero superabsorbente a diferentes temperaturas.

Por otro lado, Thombare et al. (2018), analizó la capacidad de retención de agua en suelo, teniendo como criterio la cantidad de hidrogel añadido, siendo este 3kg de hidrogel x 1kg suelo, dando como resultado un 54% de retención de agua en suelo.

Según Zhang et al. (2021) y Fang et al. (2019) el análisis de la morfología de los polímeros es sumamente importante para una buena absorción de agua, esto es analizado por la Microscopía electrónica de barrido (SEM), lo cual nos muestra el estado de porosidad.

Para Fang et al. (2019), Vasconcelos et al. (2019) y Wang et al. (2018), Los polímeros con morfología con pliegues, agujeros con poro interconectado y características ásperas y porosas podrían aumentar efectivamente el área de superficie específica y ser beneficiosas para la preservación de las moléculas de agua en la estructura.

Según Thombare et al. (2018), Zhang et al. (2017), Meng et al. (2019), Zhao et al. (2019) y Khushbu et al. (2019), afirmaron que la red del gel, comprenden macro y microporos, que en este caso permiten a la penetración directa del agua facilitando la difusión de fluidos en la red polimérica, lo que resulta a una mayor capacidad de hinchamiento, para Zhang et al. (2017), utilizaron un controlador del tamaño de los poros para mejorar la propiedad hidrofílica. Lo secunda, Meng et al (2019) y Zhao et al. (2019) ambos usaron proporciones distintas de los polímeros con los que trabajaron para alterar la morfología y cambiar las dimensiones de los poros, lo cual provocan tanto la disminución o el aumento de la capacidad de hinchamiento. Por otro lado, Khushbu et al. (2019) determinó que los espacios porosos entre las estructuras de la red tridimensional se disminuirían al reducir el volumen libre disponible dentro de la red de gel que comprendía tanto micro como macro poros, estos poros se atribuyen a un mayor índice de hinchamiento, ya que permiten la penetración directa del líquido en la red de polímero por medio de la difusión del fluido.

**Tabla 11.** *Aplicaciones de los polímeros superabsorbentes.*

N°	Autores	Aplicaciones
1	Zhang et al. (2021)	No lo aplica, pero lo recomienda como agente retenedor de agua ideal.
2	Thombare et al. (2018)	Acondicionador del suelo y recomienda su uso como agente conservante de agua.
3	Elsayed et al. (2018)	Efecto en el crecimiento de la planta de guayaba.
4	Zhang et al. (2017)	No lo aplicaron, pero mencionaron que tiene potencial como material para la conservación eficaz del agua.
5	Ahmad et al. (2020)	No lo aplicaron, pero menciona que tiene un gran potencial para el uso comercial a gran escala tanto para la agricultura como para productos higiénicos.
6	Zhao et al. (2019)	Acondicionador del suelo. Mencionaron que podría tener amplias aplicaciones en la agricultura y silvicultura.
7	Meng et al. (2019)	No lo aplicaron, pero mencionaron que estos tipos de hidrogeles basados en licor rojo son excelentes candidatos para la retención de agua en la agricultura: plantas y vegetales.
8	Vasconcelos et al. (2019)	Acondicionador del suelo para plántulas de melón.
9	Wang et al. (2018)	Efecto sobre el crecimiento de plántulas de semillas de trigo y uso de fertilizante. Mencionaron también que tiene un gran potencial de aplicación en la agricultura.
10	Alam et al. (2018)	No lo aplicaron. Lo recomendaron como acondicionador del suelo.
11	Mangesh et al. (2017)	No fue aplicado, pero mencionaron que presenta un buen nivel de absorción.
12	Adjuik (2021)	Acondicionador del suelo. Mencionó que tiene un potencial para aumentar la retención de agua del suelo en el rango de altos potenciales de agua del suelo y casi saturación.
13	Khushbu et al. (2019)	Acondicionador del suelo. Mencionaron que tiene potencial de uso en el sector agrícola como agente conservante de agua y suelo.
14	Lertsarawut et al. (2021)	Acondicionador del suelo para árboles de caucho. Indicaron que ofrece un potencial prometedor para aplicaciones agrícolas.

15	Tao et al. (2018)	Germinación de semillas de maíz y crecimiento de plántulas de maíz. Indicó que proporciona un uso factible para la aplicación de polímero superabsorbente en la agricultura.
16	Fang et al. (2019)	No fue aplicado. Mencionaron que tiene buenas perspectivas de aplicación debido a sus excelentes propiedades.
17	Quiao et al. (2019)	No fue aplicado. Mencionaron que podrían desarrollarse superabsorbentes a base de almidón “más verde” para aplicaciones con propiedades a la medida.
18	Gao et al. (2018)	Acondicionador del suelo para la germinación y el crecimiento temprano de <i>G. uralensis</i> . Mencionaron también que puede usarse más como un agente de retención de agua eficaz para el crecimiento de medicamentos a base de hierbas en suelos áridos.
19	Durpekova et al. (2020)	No fue aplicado. Mencionaron que una mayor investigación podría confirmar si el hidrogel a base de suero de celulosa es realmente adecuado para uso agrícola, especialmente para la retención en áreas áridas y hasta podría reemplazar a los sintéticos a base de acrílico.
20	Vinícius et al. (2017)	No fue aplicado. Mencionaron que por sus buenas propiedades mecánicas es adecuado para su aplicación en la agricultura.
21	Alam et al. (2019)	No fue aplicado. Mencionaron que debido a sus componentes biodegradables y al proceso de reticulación ecológico, son prometedores para su uso como “superabsorbentes verdes”.

Fuente: elaboración propia.

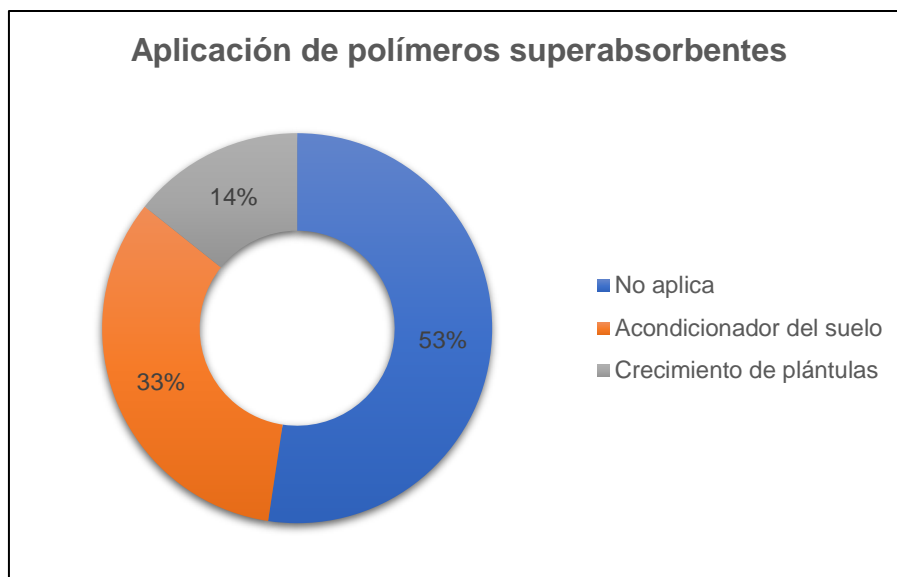


Figura 14. Aplicaciones de los polímeros superabsorbentes.

Según Elsayed et al. (2018), Gao et al. (2018) y Wang et al. (2018) probaron sus nuevos hidrogeles, hecho de goma guar, salvado de trigo y celulosa de paja, respectivamente, en el crecimiento óptimo y acondicionamiento de suelo de la planta de Guayaba, para la planta medicinal *Glycyrrhiza uralensis* y semillas de trigo, con el objetivo de probar la capacidad de sus hidrogeles. Tanto Elsayed (2018) como Gao (2018), probaron el suelo en condiciones de sequía, durante 15 y 18 días, después de este tiempo el crecimiento de la longitud de las plantas mejoró notablemente, mientras que Wang (2018), utilizó solo suelo seco y lo probó durante 30 días, puesto que buscaban mejorar la tasa de infiltración del suelo, después de los días transcurridos, el producto aplicado facilitó el crecimiento del trigo. Esto indicó que los suelos trabajados de los tres autores habían mejorado su retención de agua y que eran capaces de usarse como un aditivo adecuado en el crecimiento de plantas en la agricultura.

Por otro lado, Lertsarawut et al. (2021) probaron su nuevo hidrogel a base de almidón, en el desarrollo de los árboles de caucho, regándolos 2 días y luego dejándolos sin regar, probando los hidrogeles por temporada para así llegar a un porcentaje de supervivencia. Mientras que Vasconcelos et al. (2019), probaron sus nuevos hidrogeles de almidón compuesto de 20% de ceniza de cáscara de arroz, en la germinación de semilla de melón, por ende, acondicionó los suelos en los que

trabajaría, en este caso probó el suelo arcilloso y suelo arenoso, regando el suelo 8 días, suspendiéndolo hasta el día 25. Para probar los hidrogeles tanto, Lertsarawut et al. (2021) como Vasconcelos et al. (2019), se basaron en el peso en porcentaje y en gramos, la muestra de 0,75 de superabsorbente en suelo arcilloso fue la más óptima para el crecimiento de plántulas de melón , mientras que 0,25 para suelos arenosos puesto que en más cantidad dañaba las raíces, en el caso de los árboles de caucho lograron un 77% de supervivencia con 30 g de superabsorbente, por consiguiente ambos llegaron al resultado de que los beneficios de los hidrogeles, incluyen la reducción del consumo de agua, la disminución de la frecuencia de riego, el aumento de la porosidad del suelo y una mejor oxigenación.



#### IV. CONCLUSIONES

El polímero natural más usado para el almacenamiento de agua según las investigaciones estudiadas es el almidón, éste ha sido proveniente de yuca, sorgo (*Sorghum bicolor*) y maíz. Sin embargo, necesita ser modificado a través de injerto para que sus características den mejores resultados en absorción de agua y tolerancia a la sal, como por ejemplo se realizaron dos estudios en los que se injertó ácido acrílico sobre almidón (siendo uno de ellos uno de los polímeros con mejor capacidad de absorción e hinchamiento), poli(acrilato de sodio) injertado con almidón relleno con ceniza de cáscara de arroz (RHA) y síntesis de superabsorbente a base de polímeros mediante injerto y entrecruzamiento de almidón extraído de sorgo.

Se evidenció que uno de los factores principales para la absorción de agua ha sido la morfología del hidrogel superabsorbente sintetizado, estos necesitan tener una óptima porosidad, rugosidad y acanalamiento en su superficie, gracias a esto los hidrogeles presentaron un área mayor de contacto con las moléculas de agua. Al mismo tiempo, la naturaleza de los reticulantes formaron cadenas poliméricas resistentes que permitieron una mayor absorción de agua, sin embargo, se tuvo en cuenta la concentración de estos ya que al tener un aumento excesivo ocasionaba la ruptura de las redes poliméricas generando un lento hinchamiento.

Los estudios que obtuvieron una mayor capacidad de hinchamiento utilizaron gomas naturales, en este caso, el almidón y la goma oleífera para suplir o llenar los vacíos en soluciones salinas. Asimismo, esto ayuda a mejorar la capacidad de hinchamiento.

Concluimos que los autores destacados que realizaron pruebas de retención de agua se basaron en la variación de temperaturas en el rango de 25°C y 60°C, y ambos fueron medidos en horas, desde 10 horas a 72 horas midiendo su retención en porcentaje (%), siendo la temperatura ambiente (25°C), la óptima para llegar a obtener una mejor retención. La aplicación de estos hidrogeles superabsorbentes se analizó tanto en suelo como en laboratorio, observando su comportamiento en diferentes

cultivos como en el de árboles de caucho, en la germinación de semillas de maíz y crecimiento de plántulas de maíz, y en plántulas de melón.

Se recopilaron 21 investigaciones sobre polímeros naturales usados para el almacenamiento de agua en suelos, de los cuales, el 33% de estos fueron aplicados como acondicionadores de suelo; el 14%, para la germinación y crecimiento de plántulas y árboles, presentando un incremento de la capacidad de retención e hinchamiento de agua y reducción del estrés oxidativo, cabe mencionar que esto también depende del sustrato aplicado al suelo. Finalmente, el 53% de los estudios han sido probados a nivel laboratorio y recomiendan su uso en la agricultura y silvicultura.

## V. RECOMENDACIONES

Al sintetizar nuevos polímeros superabsorbentes, considerar su resistencia a la sal (soluciones salinas), así como sus características como la liberación y biodegradabilidad para el análisis de los hidrogeles sintetizados, también su comportamiento como acondicionadores del suelo y el estudio de la cantidad óptima de polímero que debe ser agregado en un cultivo.

Considerar el estudio del quitosano y la celulosa como polímero base ya que muestran una buena capacidad de absorción y son escasos los estudios que lo aplican.

Se recomienda el estudio de la caracterización y experimentación del almidón injertado ya que ha obtenido resultados óptimos en cuanto a su resistencia polimérica, la cual mejora la absorción del agua.

En cuanto al tipo de reticulante, se sugiere encontrar el equilibrio (cantidad óptima suministrada) puesto que la cantidad de éste puede afectar notoriamente a la capacidad de absorción e hinchamiento del hidrogel superabsorbente.

## REFERENCIAS

ALAM, M.N., ISLAM, Md.S. y CHRISTOPHER, L.P., 2019. Sustainable Production of Cellulose-Based Hydrogels with Superb Absorbing Potential in Physiological Saline. *ACS Omega*, vol. 4, no. 5, pp. 9419-9426. DOI [10.1021/acsomega.9b00651](https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00651).

Ahmad, S., Manzoor, K., Purwar, R. Y Ikram, S., 2020. Morphological and Swelling Potential Evaluation of Moringa oleifera Gum/Poly(vinyl alcohol) Hydrogels as a Superabsorbent. *ACS Omega*, vol. 5, no. 29, pp. 17955-17961. DOI [10.1021/acsomega.0c01023](https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01023).

Ahmed, E.M., 2015. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of Advanced Research*, vol. 6, no. 2, pp. 105-121. ISSN 2090-1232. DOI [10.1016/j.jare.2013.07.006](https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006).

Abdel-Raouf, M.E., El-Saeed, S.M., Zaki, E.G. Y Al-Sabagh, A.M., 2018. Green Chemistry approach for preparation of hydrogels for agriculture applications through modification of natural polymers and investigating their swelling properties. *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 27, no. 4, pp. 1345-1355. ISSN 1110-0621. DOI [10.1016/j.ejpe.2018.09.002](https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.09.002).

Adjuik, Toby A., et al. Lignin-based Hydrogel for Water Retention in Silt Loam Soil. En 2021 ASABE Annual International Virtual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2021. p. 1.

Alves, N.M. Y Mano, J.F., 2008. Chitosan derivatives obtained by chemical modifications for biomedical and environmental applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 43, no. 5, pp. 401-414. ISSN 0141-8130. DOI [10.1016/j.ijbiomac.2008.09.007](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2008.09.007).

Aravamudhan, A., Ramos, D.M., Nada, A.A. Y Kumbar, S.G., 2014. Chapter 4 - Natural Polymers: Polysaccharides and Their Derivatives for Biomedical Applications. En: S.G. Kumbar, C.T. Laurencin Y M. Deng (eds.), Natural and Synthetic Biomedical Polymers [en línea]. Oxford: Elsevier, pp. 67-89. [Consulta: 6 abril 2022]. ISBN 978-0-12-396983-5. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123969835000041>.

Bao, Y., Ma, J. Y Li, N., 2011. Synthesis and swelling behaviors of sodium carboxymethyl cellulose-g-poly(AA-co-AM-co-AMPS)/MMT superabsorbent hydrogel. *Carbohydrate Polymers*, vol. 84, no. 1, pp. 76-82. ISSN 0144-8617. DOI [10.1016/j.carbpol.2010.10.061](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.10.061).

Batista, R.A., Otoni, C.G. Y Espitia, P.J.P., 2019. Chapter 3 - Fundamentals of chitosan-based hydrogels: elaboration and characterization techniques. En: A.-M. HOLBAN Y A.M. GRUMEZESCU (Eds.), Materials for Biomedical Engineering [en línea]. S.I.: Elsevier, pp. 61-81. [Consulta: 28 febrero 2022]. ISBN 978-0-12-816901-8. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128169018000031>

Bi, X., Liang, A., Tan, Y., Maturavongsadit, P., Higginbotham, A., Gado, T., Gramling, A., Bahn, H. Y Wang, Q., 2016. Thiol-ene crosslinking polyamidoamine dendrimer-hyaluronic acid hydrogel system for biomedical applications. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, vol. 27, no. 8, pp. 743-757. ISSN 0920-5063. DOI [10.1080/09205063.2016.1159473](https://doi.org/10.1080/09205063.2016.1159473).

Bosquez, E., E. J. Vernon, L. Pérez, I. Guerrero. 2000. Películas y cubiertas comestibles para la conservación en frescos de frutas y hortalizas. *Industria Alimentaria* 22: 14-36.

Buwalda, S.J., Boere, K.W.M., Dijkstra, P.J., Feijen, J., Vermonden, T. Y Hennink, W.E., 2014. Hydrogels in a historical perspective: From simple

networks to smart materials. *Journal of Controlled Release*, vol. 190, pp. 254-273. ISSN 0168-3659. DOI [10.1016/j.jconrel.2014.03.052](https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.03.052).

Caló, E. Y Khutoryanskiy, V.V., 2015. Biomedical applications of hydrogels: A review of patents and commercial products. *European Polymer Journal*, vol. 65, pp. 252-267. ISSN 0014-3057. DOI [10.1016/j.eurpolymj.2014.11.024](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.11.024).

Chang, Y.-Y., Gong, Y. Y Peng, M.W., 2012. Expatriate Knowledge Transfer, Subsidiary Absorptive Capacity, and Subsidiary Performance. *Academy of Management Journal*, vol. 55, no. 4, pp. 927-948. ISSN 0001-4273. DOI [10.5465/amj.2010.0985](https://doi.org/10.5465/amj.2010.0985).

Chen, J., Cheng, H., Wu, D., Linhardt, R.J., Zhi, Z., Yan, L., Chen, S. Y Ye, X., 2017. Green recovery of pectic polysaccharides from citrus canning processing water. *Journal of Cleaner Production*, vol. 144, pp. 459-469. ISSN 0959-6526. DOI [10.1016/j.jclepro.2016.12.140](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.140).

Chirani, N., L'hocine, Y., Gritsch, L. And Motta, F., 2015. History and Applications of Hydrogels. *Journal of Biomedical Sciences* [online], vol. 04, no. 02. [Consultation: April 6, 2022]. ISSN 2254609X. DOI [10.4172/2254-609X.100013](https://doi.org/10.4172/2254-609X.100013) . Available at: <http://www.jbiomeds.com/biomedical-sciences/history-and-applications-of-hydrogels.php?aid=7218> .

Chu, J., Metcalfe, P., Linford, H.V., Zhao, S., Goycoolea, F.M., Chen, S., Ye, X., Holmes, M. Y Orfila, C., 2022. Short-time acoustic and hydrodynamic cavitation improves dispersibility and functionality of pectin-rich biopolymers from citrus waste. *Journal of Cleaner Production*, vol. 330, pp. 129789. ISSN 0959-6526. DOI [10.1016/j.jclepro.2021.129789](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129789).

Croisier, F. Y Jérôme, C., 2013. Chitosan-based biomaterials for tissue engineering. *European Polymer Journal*, vol. 49, no. 4, pp. 780-792. ISSN 0014-3057. DOI [10.1016/j.eurpolymj.2012.12.009](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2012.12.009).

Cunha A, Almeida A, Coelho FJRC, Gomes NCM, Oliveira V, Santos AL. 2010. Bacterial extracellular enzymatic activity in globally changing aquatic ecosystems, p 124–135. In Méndez-Vilas A (ed), *Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology*. Formatex Research Center, Badajoz, Spain.

Dao Chau, K., 2016. The effect of hydraulic retention time and loading rate on the removal of pollutants from fish processing wastewater by anaerobic process. *Proceedings of the AFSA Conference 2016 on Food Safety and Food Security, Bhubaneswar, India, 15-17 September, 2016*, pp. 76-79.

De Loos, M., Feringa, B.L. Y Van Esch, J.H., 2005. Design and Application of Self-Assembled Low Molecular Weight Hydrogels. *European Journal of Organic Chemistry*, vol. 2005, no. 17, pp. 3615-3631. ISSN 1099-0690. DOI [10.1002/ejoc.200400723](https://doi.org/10.1002/ejoc.200400723).

Demeter, M., Virgolici, M., Vancea, C., Scarisoreanu, A., Kaya, M.G.A. Y Meltzer, V., 2017. Network structure studies on  $\gamma$ -irradiated collagen–PVP superabsorbent hydrogels. *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 131, pp. 51-59. ISSN 0969-806X. DOI [10.1016/j.radphyschem.2016.09.029](https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.09.029).

Domínguez, A., Martínez, R.S., Juan, J.A., Martínez, A. Y Tarjuelo, J.M., 2012. Simulation of maize crop behavior under deficit irrigation using MOPECO model in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, vol. 107, pp. 42-53. DOI [10.1016/j.agwat.2012.01.006](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.01.006).

DURPEKOVA, S., FILATOVA, K., CISAR, J., RONZOVA, A., KUTALKOVA, E. y SEDLARIK, V., 2020. A Novel Hydrogel Based on Renewable Materials for Agricultural Application. *International Journal of Polymer Science*, vol. 2020, pp. e8363418. ISSN 1687-9422. DOI 10.1155/2020/8363418

EDGAR, TW and MANZ, DO, 2017. Chapter 11 - Applied Experimentation. In: TW EDGAR and DO MANZ (eds.), *Research Methods for Cyber Security* [online]. SI: Syngress, pp. 271-297. [Consultation: April 4, 2022]. ISBN 978-0-12-805349-2. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012805349200011X>

FANG, Shixin, WANG, Guangjian, XING, Rongge, CHEN, Xiaolin, LIU, Song, QIN, Yukun, LI, Kecheng, WANG, Xueqin, LI, Rongfeng Y LI, Pengcheng, 2019. Synthesis of superabsorbent polymers based on chitosan derivative graft acrylic acid-co-acrylamide and its property testing. *International Journal of Biological Macromolecules*. 1 julio 2019. Vol. 132, p. 575-584. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2019.03.176.

Faheem Ullah, Othman, M.B.H., Javed, F., Ahmad, Z. Y Akil, H.Md., 2015. Classification, processing and application of hydrogels: A review. *Materials Science and Engineering: C*, vol. 57, pp. 414-433. ISSN 0928-4931. DOI [10.1016/j.msec.2015.07.053](https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.07.053).

Feng, E., Ma, G., Wu, Y., Wang, H. Y Lei, Z., 2014. Preparation and properties of organic-inorganic composite superabsorbent based on xanthan gum and loess. *Carbohydrate Polymers*, vol. 111, pp. 463-468. ISSN 0144-8617. DOI [10.1016/j.carbpol.2014.04.031](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.031)

GALES, D.C., RĂUS, L., AILINCĂI, C. y JITĂREANU, G., (2012). THE INFLUENCE OF AQUASORB ON MORPHO-PHYSIOLOGICAL PROPERTIES ON CORN AND SOYBEANS YIELD, IN THE CONDITIONS OF IASI COUNTY. , vol. 55, pp. 6.

GARCÍA, V.M.; FERERES, E.; MATEOS, L.; ORGAZ, F.; STEDUTO, P.: "Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop", *Agronomy journal*, 101(3): 477-487, 2009, ISSN: 1435-0645.

GAO, J., LIU, J., PENG, H., WANG, Y., CHENG, S. y LEI, Z., [sin fecha].



Preparation of a low-cost and eco-friendly superabsorbent composite based on wheat bran and laterite for potential application in Chinese herbal medicine growth. *Royal Society Open Science*, vol. 5, no. 5, pp. 180007. DOI 10.1098/rsos.180007 .

Ghobashy, M.M. Y Elhady, M.A., 2017. pH-sensitive wax emulsion copolymerization with acrylamide hydrogel using gamma irradiation for dye removal. *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 134, pp. 47-55. ISSN 0969-806X. DOI [10.1016/j.radphyschem.2017.01.021](https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.01.021).

GLOSARIOS@SERVIDOR-ALICANTE.COM, 2015. Absorción (Química). *glosarios@servidor-alicante.com*. en línea. 13 agosto 2015. [Accedido 31 marzo 2022]. Recuperado a partir de: <https://glosarios.servidor-alicante.com/quimica/absorcionSpanish/English/French>

Gutiérrez, C. I. J, Hernández, A.F., Calzada, R.T., Wong, J.C. Y Cohen, I.S., 2008. Efecto Del Polimero Aquastock® En La Capacidad De Retencion De Humedad Del Suelo Y Su Efecto En El Rendimiento De La Acelga (*Beta vulgaris* var *cycla*). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, vol. VII, no. 1, pp. 65-72. ISSN , 2007-526X.

Guilherme, M.R., Aouada, F.A., Fajardo, A.R., Martins, A.F., Paulino, A.T., Davi, M.F.T., Rubira, A.F. Y Muniz, E.C., 2015. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. *European Polymer Journal*, vol. 72, pp. 365-385. ISSN 0014-3057. DOI [10.1016/j.eurpolymj.2015.04.017](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.04.017).

Horkay, F., Tasaki, I. Y Basser, P.J., 2000. Osmotic Swelling of Polyacrylate Hydrogels in Physiological Salt Solutions. *Biomacromolecules*, vol. 1, no. 1, pp. 84-90. ISSN 1525-7797. DOI [10.1021/bm9905031](https://doi.org/10.1021/bm9905031).

Hüttermann, A., Oriquiriza, L.J.B. Y Agaba, H., 2009. Application of Superabsorbent Polymers for Improving the Ecological Chemistry of Degraded or Polluted Lands. *CLEAN – Soil, Air, Water*, vol. 37, no. 7, pp. 517-526. ISSN 1863-0669. DOI [10.1002/clen.200900048](https://doi.org/10.1002/clen.200900048)

In Situ-Forming Cross-linking Hydrogel Systems: Chemistry and Biomedical Applications | IntechOpen, sin fecha. en línea. [Accedido 30 marzo 2022]. Recuperado a partir de: <https://www.intechopen.com/chapters/51086>

KARP, G., 2009. *Cell and Molecular Biology: Concepts and Experiments*. S.I.: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-48337-4.

Kazanskii, K.S. Y Dubrovskii, S.A., 1992. Chemistry and physics of “agricultural” hydrogels. *Polyelectrolytes Hydrogels Chromatographic Materials* [en línea]. Berlin, Heidelberg: Springer, *Advances in Polymer Science*, pp. 97-133. [Consulta: 6 abril 2022]. ISBN 978-3-540-46728-1. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/3-540-55109-3\\_3](https://doi.org/10.1007/3-540-55109-3_3).

Klein, M.P., Hackenhaar, C.R., Lorenzoni, A.S.G., Rodrigues, R.C., Costa, T.M.H., Ninow, J.L. Y Hertz, P.F., 2016. Chitosan crosslinked with genipin as support matrix for application in food process: Support characterization and  $\beta$ -d-galactosidase immobilization. *Carbohydrate Polymers*, vol. 137, pp. 184-190. ISSN 0144-8617. DOI [10.1016/j.carbpol.2015.10.069](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.069).

Konwar, A., Gogoi, N., Majumdar, G. Y Chowdhury, D., 2015. Green chitosan–carbon dots nanocomposite hydrogel film with superior properties. *Carbohydrate Polymers*, vol. 115, pp. 238-245. ISSN 0144-8617. DOI [10.1016/j.carbpol.2014.08.021](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.021).

Kosterna, E., Zaniewicz-Bajkowska, A., Rosa, R. Y Franczuk, J., 2012. The effect of AgroHydroGel and irrigation on celeriac yield and quality. *Folia Horticulturae*, vol. 24. DOI [10.2478/v10245-012-0015-z](https://doi.org/10.2478/v10245-012-0015-z).

Krochta, J. M., C. De Mulder-Johnston. 1997. Edible and Biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology*. 51: 61-74.

Kruif, C.G. (Kees) De, Anema, S.G., Zhu, C., Havea, P. Y Coker, C., 2015. Water holding capacity and swelling of casein hydrogels. *Food Hydrocolloids*, vol. 44, pp. 372-379. ISSN 0268-005X. DOI [10.1016/j.foodhyd.2014.10.007](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.007).

Khushbu, Warkar, S.G. Y Kumar, A., 2019. Synthesis and assessment of carboxymethyl tamarind kernel gum based novel superabsorbent hydrogels for agricultural applications. *Polymer*. 2019. Vol. 182. DOI 10.1016/j.polymer.2019.121823. Scopus

Lara, J.E.B., Balois-Morales, R., Martínez, M.T.S., López, P.J., Jimenez-Ruiz, E.I., Sanchez-Herrera, L.M., Guzmán, G.G.L. Y Paredes, D.G., 2016. Biopolímeros de mucílago, pectina de nopalitas y quitosano, como recubrimientos en almacenamiento y vida de anaquel de frutos de aguacate 'Hass'. *Acta Agrícola y Pecuaria*, vol. 2, no. 2 (Mayo-Agosto 2016), pp. 43-50. ISSN 2448-7090, 2395-874X.

Lertsarawut, P., Rattanawongwiboon, T., Tangthong, T., Laksee, S., Kwamman, T., Phuttharak, B., Romruensukharom, P., Suwanmala, P. Y Hemvichian, K., 2021. Starch-based super water absorbent: A promising and sustainable way to increase survival rate of trees planted in arid areas. *Polymers*. 2021. Vol. 13, no. 8. DOI 10.3390/polym13081314. Scopus

Liu, P., Zhai, M., Li, J., Peng, J. Y Wu, J., 2002. Radiation preparation and swelling behavior of sodium carboxymethyl cellulose hydrogels. *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 63, no. 3, pp. 525-528. ISSN 0969-806X. DOI [10.1016/S0969-806X\(01\)00649-1](https://doi.org/10.1016/S0969-806X(01)00649-1).

LI, Simeng y CHEN, Gang, 2020. Agricultural waste-derived superabsorbent hydrogels: Preparation, performance, and socioeconomic impacts. *Journal of*

*Cleaner Production*. 1 abril 2020. Vol. 251, pp. 119669. DOI [10.1016/j.jclepro.2019.119669](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119669).

Mahdavinia, G.R., Pourjavadi, A., Hosseinzadeh, H. Y Zohuriaan, M.J., 2004. Modified chitosan 4. Superabsorbent hydrogels from poly(acrylic acid-co-acrylamide) grafted chitosan with salt- and pH-responsiveness properties. *European Polymer Journal*, vol. 40, no. 7, pp. 1399-1407. ISSN 0014-3057. DOI [10.1016/j.eurpolymj.2004.01.039](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2004.01.039).

Maldonado-Benitez, K.R., Aldrete, A., López-Upton, J., Vaquera-Huerta, H. Y Cetina-Alcalá, V.M., 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. En mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia*, vol. 45, no. 3, pp. 389-398. ISSN 1405-3195.

Marcì, G., Mele, G., Palmisano, L., Pulito, P. Y Sannino, A., 2006. Environmentally sustainable production of cellulose-based superabsorbent hydrogels. *Green Chemistry*, vol. 8, no. 5, pp. 439-444. ISSN 1463-9270. DOI [10.1039/B515247J](https://doi.org/10.1039/B515247J).

Martin, C., Oyen, E., Van Wanseele, Y., Haddou, T.B., Schmidhammer, H., Andrade, J., Waddington, L., Van Eeckhaut, A., Van Mele, B., Gardiner, J., Hoogenboom, R., Madder, A., Spetea, M. Y Ballet, S., 2017. Injectable peptide-based hydrogel formulations for the extended in vivo release of opioids. *Materials Today Chemistry*, vol. 3, pp. 49-59. ISSN 2468-5194. DOI [10.1016/j.mtchem.2017.01.003](https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2017.01.003).

MM Ghobashy, G. Bassioni, Hidrogeles de poli (acrilamida-co-alginato de sodio) sensibles a estímulos de pH preparados por radiación γ para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón, *Adv. polim. Tecnología* 37 (6) (2018) 2123-2133.

Meng, Y., Liu, X., Li, C., Liu, H., Cheng, Y., Lu, J., Zhang, K. Y Wang, H., 2019. Super-swelling lignin-based biopolymer hydrogels for soil water retention from paper industry waste. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 135, pp. 815-820. ISSN 0141-8130. DOI [10.1016/j.ijbiomac.2019.05.195](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.195).

MECA, Julio Sánchez, 2010. Cómo realizar una revisión sistemática y un meta-análisis. *Aula abierta*. 2010. Vol. 38, no. 2, pp. 53-64.

Mohammad, N., Atassi, Y. Y Tally, M., 2017. Synthesis and swelling behavior of metal-chelating superabsorbent hydrogels based on sodium alginate-g-poly(AMPS-co-AA-co-AM) obtained under microwave irradiation. *Polymer Bulletin*, vol. 74, no. 11, pp. 4453-4481. ISSN 1436-2449. DOI [10.1007/s00289-017-1967-5](https://doi.org/10.1007/s00289-017-1967-5).

Mohammad, B. Y Moghadam, P.N., 2018. Synthesis of a new superabsorbent copolymer based on acrylic acid grafted onto carboxymethyl tragacanth. *Carbohydrate Polymers*, vol. 202, pp. 227-235. ISSN 0144-8617. DOI [10.1016/j.carbpol.2018.08.094](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.094).

Mohamady Ghobashy, M., 2020. Chapter 12 - The application of natural polymer-based hydrogels for agriculture. En: Y. CHEN (ed.), *Hydrogels Based on Natural Polymers* [en línea]. S.I.: Elsevier, pp. 329-356. [Consulta: 21 febrero 2022]. ISBN 978-0-12-816421-1. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128164211000136>.

Natural Cellulose-Chitosan Cross-Linked Superabsorbent Hydrogels with Superior Swelling Properties | ACS Sustainable Chemistry & Engineering, sin fecha. [en línea]. [Accedido 21 marzo 2022]. Recuperado a partir de: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.8b01062>

Peng, G., Xu, S., Peng, Y., Wang, J. Y Zheng, L., 2008. A new amphoteric superabsorbent hydrogel based on sodium starch sulfate. *Bioresource*

*Technology*, vol. 99, no. 2, pp. 444-447. ISSN 0960-8524. DOI [10.1016/j.biortech.2007.01.018](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.018)

QIAO, D., TU, W., WANG, Z., YU, L., ZHANG, B., BAO, X., JIANG, F. y LIN, Q., 2019. Influence of crosslinker amount on the microstructure and properties of starch-based superabsorbent polymers by one-step preparation at high starch concentration. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 129, pp. 679-685. ISSN 0141-8130. DOI [10.1016/j.ijbiomac.2019.02.019](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.019).

QUEIRÓS, M.V.A., BEZERRA, M.N. y FEITOSA, J.P.A., 2017. Composite Superabsorbent Hydrogel of Acrylic Copolymer and Eggshell: Effect of Biofiller Addition. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, vol. 28, pp. 2004-2012. ISSN 0103-5053, 1678-4790. DOI [10.21577/0103-5053.20170046](https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170046)

Ríos-Saucedo, J.C., Rivera-González, M., Valenzuela-Nuñez, L.M., Trucios-Caciano, R. Y Rosales-Serna, R., (2012). Diagnóstico De Las Reforestaciones De Mezquite Y Métodos Para Incrementar Su Supervivencia En Durango, México. , Pp. 6.

Rivera. R, y Mesías, F. 2017. Absorción de agua de hidrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, pp. 7.

Salleh, W.N.F.W., Tahir, S.M. Y Mohamed, N.S., 2018. Synthesis of waste cooking oil-based polyurethane for solid polymer electrolyte. *Polymer Bulletin*, vol. 75, no. 1, pp. 109-120. ISSN 1436-2449. DOI [10.1007/s00289-017-2019-x](https://doi.org/10.1007/s00289-017-2019-x).

Sannino, A., Demitri, C. Y Madaghiele, M., 2009. Biodegradable Cellulose-based Hydrogels: Design and Applications. *Materials*, vol. 2, no. 2, pp. 353-373. ISSN 1996-1944. DOI [10.3390/ma2020353](https://doi.org/10.3390/ma2020353).

Senit, J.J., Velasco, D., Gomez Manrique, A., Sanchez-Barba, M., Toledo, J.M., Santos, V.E., Garcia-Ochoa, F., Yustos, P. Y Ladero, M., 2019. Orange peel waste upstream integrated processing to terpenes, phenolics, pectin and monosaccharides: Optimization approaches. *Industrial Crops and Products*, vol. 134, pp. 370-381. ISSN 0926-6690. DOI [10.1016/j.indcrop.2019.03.060](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.060).

Smagin, A., Sadovnikova, N. Y Smagina, M., 2019. Synthetic gel structures in soils for sustainable potato farming. *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, pp. 18588. ISSN 2045-2322. DOI [10.1038/s41598-019-55205-8](https://doi.org/10.1038/s41598-019-55205-8).

SNF Inc. (2011) Water retainers for soils and substrates. [http://snf.com.au/downloads/Aquasorb\\_E.pdf](http://snf.com.au/downloads/Aquasorb_E.pdf). (Abril 2022).

Stahl, J.D., Cameron, M.D., Haselbach, J. Y Aust, S.D., 2000. Biodegradation of superabsorbent polymers in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 7, no. 2, pp. 83-88. ISSN 1614-7499. DOI [10.1065/espr199912.014](https://doi.org/10.1065/espr199912.014).

Suhail Ahmad, Kaiser Manzoor, Roli Purwar, Saiqa Ikram. Morphological and Swelling Potential Evaluation of Moringa oleifera Gum/Poly(vinyl alcohol) Hydrogels as a Superabsorbent. *ACS Omega* **2020**, 5 (29), 17955-17961. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01023>

SUÁREZ, M.B., [2005]. Metodología de Investigación Científica para ingeniería Civil. [en línea], [Consulta: 4 abril 2022]. Disponible en: [https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_Investigaci%C3%B3n\\_Cient%C3%ADfica\\_para\\_ingenier%C3%ADa\\_Civil](https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil)

TAO, Jinghe, ZHANG, Wenxu, LIANG, Li y LEI, Ziqiang, sin fecha. Effects of eco-friendly carbohydrate-based superabsorbent polymers on seed germination and seedling growth of maize. *Royal Society Open Science*. Vol. 5, no. 2, p. 171184. DOI 10.1098/rsos.171184.

TELI, Mangesh D. y MALLICK, Aranya, 2018. Application of Sorghum Starch for Preparing Superabsorbent. *Journal of Polymers and the Environment*. 1 abril 2018. Vol. 26, no. 4, p. 1581-1591. DOI [10.1007/s10924-017-1057-7](https://doi.org/10.1007/s10924-017-1057-7).

Thombare, N., Mishra, S., Siddiqui, M.Z., Jha, U., Singh, D. Y Mahajan, G.R., 2018. Design and development of guar gum based novel, superabsorbent and moisture retaining hydrogels for agricultural applications. *Carbohydrate Polymers*, vol. 185, pp. 169-178. ISSN 1879-1344. DOI [10.1016/j.carbpol.2018.01.018](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.018).

Vasconcelos, M.C., Gomes, R.F., Sousa, A.A.L., Moreira, F.J.C., Rodrigues, F.H.A., Fajardo, A.R. Y Neto, L.G.P., 2020. Superabsorbent Hydrogel Composite Based on Starch/Rice Husk Ash as a Soil Conditioner in Melon (*Cucumis melo* L.) Seedling Culture. *Journal of Polymers and the Environment*. 2020. Vol. 28, no. 1, p. 131-140. DOI [10.1007/s10924-019-01593-x](https://doi.org/10.1007/s10924-019-01593-x). Scopus

Varghese, A.M. Y Karanikolos, G.N., 2020. CO<sub>2</sub> capture adsorbents functionalized by amine – bearing polymers: A review. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 96, pp. 103005. ISSN 1750-5836. DOI [10.1016/j.ijggc.2020.103005](https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2020.103005).

Vinícius, M., Bezerra, M. Y Feitosa, J., 2017. Composite Superabsorbent Hydrogel of Acrylic Copolymer and Eggshell: Effect of Biofiller Addition. *Journal of the Brazilian Chemical Society* [en línea], [Consulta: 6 abril 2022]. ISSN 01035053. DOI [10.21577/0103-5053.20170046](https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170046). Disponible en: [http://jbcs.sbq.org.br/audiencia\\_pdf.asp?aid2=4922&nomeArquivo=2016-0735AR.pdf](http://jbcs.sbq.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=4922&nomeArquivo=2016-0735AR.pdf).

WATANABE, K., SAENSUPO, S., NA-IAM, Y., KLOMSA-ARD, P. y SRIROTH, K., 2019. Effects of Superabsorbent Polymer on Soil Water Content and Sugarcane Germination and Early Growth in Sandy Soil Conditions. *Sugar Tech*, vol. 21, no. 3, pp. 444-450. ISSN 0974-0740. DOI [10.1007/s12355-018-0672-5](https://doi.org/10.1007/s12355-018-0672-5).



WANG, Weishuai, YANG, Zhengli, ZHANG, Aiping y YANG, Shiqi, 2021. Water retention and fertilizer slow release integrated superabsorbent synthesized from millet straw and applied in agriculture. *Industrial Crops and Products*. 1 febrero 2021. Vol. 160, p. 113126. DOI 10.1016/j.indcrop.2020.113126

Zhang, Wenxu, Liu, Qian, Guo, Lulu, Wang, Peng, Liu, Shengfang, Chen, Jing Y Lei, Ziqiang, 2021. White Cabbage (*Brassica oleracea* L.) waste, as biowaste for the preparation of novel superabsorbent polymer gel. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 1 diciembre 2021. Vol. 9, no. 6, p. 106689. DOI 10.1016/j.jece.2021.106689


Zhang, Hao., Luan, Qian., Huang, Qingde., Tang, Hu., Huang, Fenghong., Li, Wenlin., Wan, Chuyun., Liu, Changsheng., Xu, Jiqu., Guo, Pingmei., & Zhou, Qi., A facile and efficient strategy for the fabrication of porous linseed gum/cellulose superabsorbent hydrogels for water conservation. *Carbohydrate Polymers* <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.070>

ZHAO, Chenhao, ZHANG, Min, LIU, Zhiguang, GUO, Yanle y ZHANG, Qiang, 2019. Salt-Tolerant Superabsorbent Polymer with High Capacity of Water-Nutrient Retention Derived from Sulfamic Acid-Modified Starch. *ACS Omega*. 31 marzo 2019. Vol. 4, no. 3, p. 5923-5930. DOI 10.1021/acsomega.9b00486 .

Zhou, H.Y., Chen, X.G., Kong, M., Liu, C.S., Cha, D.S. Y Kennedy, J.F., 2008. Effect of molecular weight and degree of chitosan deacetylation on the preparation and characteristics of chitosan thermosensitive hydrogel as a delivery system. *Carbohydrate Polymers*, vol. 73, no. 2, pp. 265-273. ISSN 0144-8617. DOI [10.1016/j.carbpol.2007.11.026](http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.026).

## ANEXOS

### Anexo 1: Ficha de antecedentes (primera parte)

				Revisión Sistemática: Polímeros Naturales para el almacenamiento de agua en suelos								
FICHA DE ANTECEDENTES: PRIMERA PARTE												
N°	Buscador	Revista	Título	Título en español	Autor	Año	Cita	Palabras clave	País	Tipo de país	DOI	Link
1	ScienceDirect	Journal of Environmental Chemical Engineering	White Cabbage (Brassica oleracea L.) waste, as biowaste for the preparation of novel superabsorbent polymer gel	Residuos de col blanca (Brassica oleracea L.), como biorresiduos para la preparación de un nuevo gel polimérico superabsorbente	Wenxu Zhang, Qian Liu, Lulu Guo, Peng Wang, Shengfang Liu, Jing Chen, Ziqiang Lei	2021	Zhang et al. (2021)	Superabsorbent polymer gel, Bio-waste cabbage, 2-acrylamide-2-methyl-1-propane sulfonic acid, Salt resistance.	China	Ingreso mediano alto	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106689">https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106689</a>	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343721016663">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343721016663</a>
2	ScienceDirect	Elsevier	Design and development of guar gum based novel, superabsorbent and moisture retaining hydrogels for agricultural applications	Diseño y desarrollo de nuevos hidrogeles superabsorbentes y retenedores de humedad a base de goma guar para aplicaciones agrícolas	Nandkishore Thombare, Sumit Mishra, M.Z. Siddiqui, Usha Jha, Deodhari Singh, Gopal R. Mahajan	2018	Thombare et al. (2018)	Guar gum, EGDMA, Agriculture, Moisture retention, Soil conditioners.	India	Ingreso mediano bajo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.018">https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.018</a>	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861718300183">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861718300183</a>
3	ScienceDirect	Egyptian Journal of Petroleum	Green chemistry approach for preparation of hydrogels for agriculture applications through modification of natural polymers and investigating their swelling properties	Enfoque de química verde para la preparación de hidrogeles para aplicaciones agrícolas mediante la modificación de polímeros naturales y la investigación de sus propiedades de hinchamiento	Manar Elsayed Abdel-Raouf, Shimaa Mohmaed El-Saeed, Elsayed Gamal Zaki, Ahmed Mohamed Al-Sabagh	2018	Elsayed et al. (2018)	Guar gum, AcrylateN-isopropyl acryl amide, Green hydrogels, Temperature sensitive, Salt sensitive.	Egipto	Ingreso mediano bajo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.09.002">https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.09.002</a>	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062118302290">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062118302290</a>

**FICHA DE ANTECEDENTES: PRIMERA PARTE**

N°	Buscador	Revista	Título	Título en español	Autor	Año	Cita	Palabras clave	País	Tipo de país	DOI	Link
4	ScienceDirect	Elsevier	A facile and efficient strategy for the fabrication of porous linseed gum/cellulose superabsorbent hydrogels for water conservation	Una estrategia fácil y eficiente para la fabricación de hidrogeles superabsorbentes de celulosa/goma de linaza porosa para la conservación del agua	Hao Zhang ,Qian Luan, Qingde Huang, Hu Tang, Fenghong Huang, Wenlin Li, Chuyun Wan, Changsheng Liu, Jiqu Xu, Pingmei Guo, Qi Zhou	2017	Zhang et al. (2017)	Cellulose,Linseed gum, Hydrogel.	China	Ingreso mediano alto	<a href="https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.070">https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.070</a>	<a href="https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S0144861716313443">https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S0144861716313443</a>
5	ASC Publications	ACS Omega	Morphological and Swelling Potential Evaluation of Moringa oleifera Gum/Poly(vinyl alcohol) Hydrogels as a Superabsorbent (2020)	Evaluación Morfológica y del Potencial de Hinchazón de Moringa oleifera Hidrogeles de goma/poli (alcohol vinílico) como superabsorbente	Suhail Ahmad, Kaiser Manzoor, Roli Purwar, and Saiqa Ikram	2020	Ahmad et al. (2020)	-	Egipto	Ingreso mediano bajo	<a href="https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01023">https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01023</a>	<a href="https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.0c01023">https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.0c01023</a>
6	ASC Publications	ACS Omega	Salt-Tolerant Superabsorbent Polymer with High Capacity of Water- Nutrient Retention Derived from Sulfamic Acid-Modified Starch	Polímero superabsorbente tolerante a la sal con alta capacidad de agua con Retención de nutrientes derivada del almidón modificado con ácido sulfámico	Chenhao Zhao, Min Zhang, Zhiguang Liu, Yanle Guo, and Qiang Zhang	2019	Zhao et al. (2019)	-	China	Ingreso mediano alto	<a href="https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00486">https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00486</a>	<a href="https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsomega.9b00486">https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsomega.9b00486</a>
7	ScienceDirect	Elsevier	Super-swelling lignin-based biopolymer hydrogels for soil water retention from paper industry waste	Hidrogeles de biopolímero a base de lignina súper hinchables para el agua del suelo retención de residuos de la industria papelera	Yi Meng, Xueqian Liu, Chengxiang Li, Huan Liu, Yi Cheng, Jie Lu, Kai Zhang, Haisong Wang	2019	Meng et. al (2019)	Licor rojo,Lignina, hidrogele	China	Ingreso mediano alto	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.195">https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.195</a>	<a href="https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S0141813019316484#!">https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S0141813019316484#!</a>

**FICHA DE ANTECEDENTES: PRIMERA PARTE**

N°	Buscador	Revista	Título	Título en español	Autor	Año	Cita	Palabras clave	País	Tipo de país	DOI	Link
8	Scopus	Journal of Polymers and the Environment	Superabsorbent Hydrogel Composite Based on Starch/Rice Husk Ash as a Soil Conditioner in Melon (Cucumis melo L.) Seedling Culture	Compuesto de hidrogel superabsorbente a base de almidón/ceniza de cáscara de arroz como acondicionador del suelo en cultivo de plántulas de melón (Cucumis melo L.)	Maria C. de Vasconcelos, Raelle F. Gomes, Antonio A. L. Sousa, Francisco J. C. Moreira, Francisco H. A. Rodrigues, André R. Fajardo, Luis G. Pinheiro Neto.	2019	Vasconcelos et al. (2019)	Soil conditioner, Superabsorbent hydrogels, Hydrogel composite, Agriculture, Cucumis melo L.	Brasil	Ingreso mediano alto	<a href="https://doi.org/10.1007/s10924-019-01593-x">https://doi.org/10.1007/s10924-019-01593-x</a>	<a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-019-01593-x">https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-019-01593-x</a>
9	ScienceDirect	Elsevier	Water retention and fertilizer slow release integrated superabsorbent synthesized from millet straw and applied in agriculture	Retención de agua y fertilizante superabsorbente integrado de liberación lenta sintetizado a partir de paja de mijo y aplicado en la agricultura	Weishuai Wang, Zhengli Yang, Aiping Zhang, Shiqi Yang	2020	Wang et al. (2018)	Millet straw, Semi-interpenetrating polymer networks, Water retention, Slow-release, Fertilizer.	China	Ingreso mediano alto	<a href="https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113126">https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113126</a>	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669020310438">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669020310438</a>
10	ASC Publications	ACS Omega	Natural Cellulose-Chitosan Cross-Linked Superabsorbent Hydrogels with Superior Swelling Properties	Hidrogel superabsorbentes reticulados de celulosa natural y quitosano con propiedades de hinchamiento superiores	Dr. MD Nur Alam, Lew p Christopher	2018	Alam et al. (2018)	Superabsorbent gels, Cellulose, Chitosan, Cross-linking, Water retention value.	Canadá	Ingreso alto	<a href="https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b01062">https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b01062</a>	<a href="https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.8b01062">https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.8b01062</a>
11	Springer Link	Journal of Polymers and the Environment	Application of Sorghum Starch for Preparing Superabsorbent	Aplicación de almidón de sorgo para la preparación de superabsorbente	Mangesh D. Teli, Aranya Mallick	2017	Mangesh et al. (2017)	Biopolymer, Starch, Graft copolymerization, Acrylic acid, Acrylamide, Superabsorbent.	India	Ingreso mediano bajo	<a href="https://doi.org/10.1007/s10924-017-1057-7">https://doi.org/10.1007/s10924-017-1057-7</a>	<a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-017-1057-7#citeas">https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-017-1057-7#citeas</a>
12	ASABE Technical Library	American Society of Agricultural and Biological Engineers	Lignin-based Hydrogel for Water Retention in Silt Loam Soil	Hidrogel a base de lignina para la retención de agua en suelos franco limosos	Adjuik T.A., Nokes S.E, Montross M.D., Wendroth O.	2021	Adjuik (2021)	Hydrogel, lignin, soil, water retention.	EE.UU	Ingreso alto	<a href="https://doi.org/10.13031/objetivo.202100216">https://doi.org/10.13031/objetivo.202100216</a>	<a href="https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=52505">https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=52505</a>
13	Scopus	Polymer	Synthesis and assessment of carboxymethyl tamarind kernel gum based novel superabsorbent hydrogels for agricultural applications	Síntesis y evaluación de nuevos hidrogeles superabsorbentes basados en carboximetil tamarindo para aplicaciones agrícolas	Khushbu, Sudhir G. Warkar, Anil Kumar	2019	Khushbu et al. (2019)	Moisture retention, Superabsorbent hydrogels, Biopolymer, Agriculture, Soil conditioner.	India	Ingreso mediano bajo	<a href="https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.121823">https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.121823</a>	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032386119308298">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032386119308298</a>


**FICHA DE ANTECEDENTES: PRIMERA PARTE**

N°	Buscador	Revista	Título	Título en español	Autor	Año	Cita	Palabras clave	País	Tipo de país	DOI	Link
14	Scopus	Polymers	Starch-based super water absorbent: A promising and sustainable way to increase survival rate of trees planted in arid areas	Súper absorbente de agua a base de almidón: una forma prometedora y sostenible de aumentar la tasa de supervivencia de los árboles plantados en zonas áridas	Pattra Lertsarawut, Thitirat Rattanawongwiboon, Theeranan Tangthong, Sakchai Laksee, Tanagorn Kwamman, Butri Phuttharak, Phayao Romruensukharom, Phiriyatorn Suwanmala and Kasinee Hemvichian.	2021	Pattra et. al (2021)	Cassava starch, super absorbent polymer, super water absorbent, radiation-induced graft polymerization, field test, rubber tree, drought, SAP, SWA, acrylic acid.	Tailandia	Ingreso mediano alto	<a href="https://doi.org/10.3390/polym13081314">https://doi.org/10.3390/polym13081314</a>	<a href="https://www.mdpi.com/2073-4360/13/8/1314">https://www.mdpi.com/2073-4360/13/8/1314</a>
15	royalsocietypublishing.org (Atypon)	Royal Society Open Science	Effects of eco-friendly carbohydrate-based superabsorbent polymers on seed germination and seedling growth of maize	Efectos de polímeros superabsorbentes ecológicos a base de carbohidratos en la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de maíz	Jinghe Tao, Wenxu Zhang, Li Liang and Ziqiang Lei	2018	Tao et al. (2018)	Superabsorbent polymers, carbohydrate, seed germination, seedling growth, maize	China	Ingreso mediano alto	<a href="https://doi.org/10.1098/rsos.171184">https://doi.org/10.1098/rsos.171184</a>	<a href="https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.171184">https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.171184</a>
16	ScienceDirect	International Journal of Biological Macromolecules	Synthesis of superabsorbent polymers based on chitosan derivative graft acrylic acid-co-acrylamide and its property testing	Síntesis de polímeros superabsorbentes a base de injerto de derivado de quitosano de ácido acrílico-co-acrilamida y ensayo de sus propiedades	Shixin Fang, Guangjian Wang, Rong Xing, Xiaolin Chen, Song Liu, Yukun Qin, Kecheng Li, Xueqin Wang, Rongfeng Li, Pengcheng Li.	2019	Fang et al. (2019)	Superabsorbent polymer, (2-Pyridyl) acetyl chitosan chloride, Antibacterial activity.	China	Ingreso mediano alto	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.176">https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.176</a>	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813019307597?via%3Dihub">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813019307597?via%3Dihub</a>
17	ScienceDirect	Elsevier	Influence of crosslinker amount on the microstructure and properties of starch-based superabsorbent polymers by one-step preparation at high starch concentration	Influencia de la cantidad de reticulante en la microestructura y las propiedades de los polímeros superabsorbentes a base de almidón mediante la preparación en un solo paso a una alta concentración de almidón	Dongling Qiao, Wenyao Tu, Zhong Wang, Long Yu, Binjia Zhang, Xianyang Bao, Fatang Jiang, Qinlu Lin	2019	Qiao et al. (2019)	Starch-based superabsorbent polymer High-viscosity reaction system Crosslinking agent	China	Ingreso mediano alto	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.019">https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.019</a>	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813018369691?via%3Dihub">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813018369691?via%3Dihub</a>

**FICHA DE ANTECEDENTES: PRIMERA PARTE**

N°	Buscador	Revista	Título	Título en español	Autor	Año	Cita	Palabras clave	País	Tipo de país	DOI	Link
18	Royalsocietypublishing.org (Atypon)	Royal society open science	Preparation of a low-cost and eco-friendly superabsorbent composite based on wheat bran and laterite for potential application in Chinese herbal medicine growth	Preparación de un compuesto superabsorbente de bajo costo y ecológico basado en salvado de trigo y laterita para su aplicación potencial en el crecimiento de la medicina herbal china	Jiande Gao, Jin Liu, Hui Peng, Yaya Wang, Sha Cheng and Ziqiang Lei	2018	Gao et al. (2018)	Laterite, superabsorbent composite, urea fertilizer carrier, Chinese herbal medicine growth.	China	Ingreso mediano alto	<a href="https://doi.org/10.1098/rsos.180007">https://doi.org/10.1098/rsos.180007</a>	<a href="https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.180007">https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.180007</a>
19	Hindawi	International Journal of Polymer Science	A Novel Hydrogel Based on Renewable Materials for Agricultural Application	Un nuevo hidrogel basado en materiales renovables para aplicaciones agrícolas	Silvie Durpekova, Kateryna Filatova, Jaroslav Cisar, Alena Ronzova, Erika Kutalkova y Vladimir Sedlarik	2020	Durpekova et al. (2020)	-	República Checa	Ingreso mediano medio	<a href="https://doi.org/10.1155/2020/8363418">https://doi.org/10.1155/2020/8363418</a>	<a href="https://www.hindawi.com/journals/ijps/2020/8363418/">https://www.hindawi.com/journals/ijps/2020/8363418/</a>
20	Scielo	Journal of the Brazilian Chemical Society	Composite Superabsorbent Hydrogel of Acrylic Copolymer and Eggshell: Effect of Biofiller Addition	Hidrogel superabsorbente compuesto de copolímero acrílico y cáscara de huevo: efecto de la adición de biorrelleno	Marcos Vinícius A. Queirós, Maslândia N. Bezerra and Judith P. A. Feitosa	2017	Vinícius et al. (2017)	Polymer-matrix composite, superabsorbent hydrogel, acrylamide, acrylate, eggshell	Brasil	Ingreso mediano medio	<a href="https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170046">https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170046</a>	<a href="https://www.scielo.br/j/bchs/a/xrkmkj9LskLYxNvJzXzMYM/?lang=en">https://www.scielo.br/j/bchs/a/xrkmkj9LskLYxNvJzXzMYM/?lang=en</a>
21	ASC Publications	ACS omega	Sustainable Production of Cellulose-Based Hydrogels with Superb Absorbing Potential in Physiological Saline	Producción sostenible de hidrogeles a base de celulosa con excelente potencial de absorción en solución salina fisiológica	Md Nur Alam, Md. Shahidul Islam, Lew P. Christopher	2019	Alam et al. (2019)	Fibers, Absorption, Cellulose, Nucleic acid structure, Hydrogels	Canadá	Ingreso mediano medio	<a href="https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00651">https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00651</a>	<a href="https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.9b00651">https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.9b00651</a>

Anexo 2: Ficha de antecedentes (segunda parte)

		Revisión Sistemática: Polímeros Naturales para el almacenamiento de agua en suelos					
FICHA DE ANTECEDENTES: SEGUNDA PARTE							
N°	Título	Objetivo	Metodología	Resultados y conclusiones	Se sintetizó	Reticulante	Iniciador
1	White Cabbage (Brassica oleracea L.) waste, as biowaste for the preparation of novel superabsorbent polymer gel	Reducir la contaminación de los biorresiduos de la col en el medio ambiente y lograr el reciclaje de los recursos biológicos de desecho, la síntesis de un gel de polímero superabsorbente novedoso basado en la col de desecho (CB) utilizando dos monómeros AMPS (2-acrilamida-2-metil-ácido 1-propanosulfónico) y AA (ácido acrílico).	La estabilidad térmica de la estructura química y el aspecto microscópico del gel polimérico superabsorbente se investigaron mediante espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), análisis gravimétrico térmico (TGA) y microscopio electrónico de barrido (SEM).	Los resultados mostraron que el nuevo gel de polímero superabsorbente exhibe una excelente absorción de agua, que puede absorber agua ultrapura, agua destilada, agua del grifo y solución de NaCl al 0,9 % en 1914 g/g, 1726 g/g, 306 g/g y 114 g/g, respectivamente. Esto es más alto que en estudios relacionados 30 %- 40 % en agua destilada, 60 %- 70 % en agua del grifo y 10 %- 20 % en solución de NaCl al 0,9 %. Por lo tanto, este gel de polímero superabsorbente mostró una alta propiedad de hinchamiento y una resistencia estable a la sal. Tiene una amplia perspectiva de aplicación.	Col de desecho (CB) con dos monómeros AMPS (2-acrilamida-2-metil-ácido 1-propanosulfónico) y AA (ácido acrílico).	N, N' - metileno-bisacrilamida (MBA)	Persulfato de potasio (KPS): 0,5%
2	Design and development of guar gum based novel, superabsorbent and moisture retaining hydrogels for agricultural applications	Sintetizar y caracterizar hidrogeles injertados de goma guar, ácido acrílico y entrecruzamiento con ácido etilenglicol dimetacrílico (EGDMA).	La síntesis de hidrogel se confirmó mediante caracterización mediante 13C – NMR, espectroscopia FTIR, micrografía SEM, análisis termogravimétrico y estudios de absorción de agua en diferentes soluciones.	El hidrogel sintetizado (GG AAEGDMA) es biodegradable con un período de vida media de 77 días a través de estudios de biodegradación en el suelo. Los efectos del tratamiento con hidrogel en el suelo se evaluaron mediante el estudio de varias propiedades fisicoquímicas del suelo, como la densidad aparente, la porosidad, la capacidad de absorción y retención de agua, etc. La capacidad de retención de agua del agua aumentó hasta un 54 % de su original y la porosidad también aumentó hasta un 9 % de su original. El hidrogel sintetizado reveló un enorme potencial como material acondicionador del suelo para aplicaciones agrícolas.	Goma guar con ácido acrílico y entrecruzado con ácido etilglicol dimetacrílico (EGDMA)	Ácido dimetacrílico de etilenglicol (EGDMA)	Peróxido de benzoilo (BPO)
3	Green chemistry approach for preparation of hydrogels for agriculture applications through modification of natural polymers and investigating their swelling properties	El objetivo principal del presente estudio es desarrollar hidrogeles basados en la reticulación de un producto natural (Goma Guar) con diferentes monómeros de acrilato (Acrilamida, ácido acrílico y N-isopropilacrilamida). El segundo objetivo es investigar sus características de hinchamiento bajo diferentes condiciones. Además, se utilizaron muestras óptimas para implantar plantas de guayaba en condiciones de sequía.	Prepararon dos conjuntos de materiales de hidrogel a base de goma guar injertando goma guar en copolímeros de ácido acrílico/acrilamida y ácido acrílico/N-isopropilacrilamida usando radical persulfato como reticulante. Los hidrogeles preparados se denominaron AA-AcM GG y AA-NIPAMGG respectivamente, se caracterizaron por Espectroscopía FTIR y SEM. Estudiaron también el efecto de algunas variables de composición sobre el rendimiento de hinchamiento del hidrogel.	Como resultado de estudio se analizó ambos conjuntos de hidrogeles; El primer conjunto mostró una mejor retención de agua, mientras que el segundo conjunto demostró mejores propiedades de respuesta térmica. La capacidad máxima de hinchamiento de los hidrogeles preparados disminuyó al aumentar la concentración de sal, esto puede deberse a la interacción catión-anión. Además, la investigación de hinchazón-deshinchamiento confirmó la usabilidad de los hidrogeles preparados hasta tres ciclos con una absorción de agua razonable.	Dos conjuntos de materiales de hidrogel (PA-GG) a base de goma guar injertando goma guar en copolímeros de ácido acrílico/acrilamida (AA-AcM GG) y ácido acrílico/N-isopropilacrilamida (AA-NIPAMGG) usando radical persulfato como iniciador y N,N0metileno-bisacrilamida como reticulante.	N, N' - metileno-bisacrilamida (MBA)	Radical persulfato de potasio (KPS): 0.05g

4	A facile and efficient strategy for the fabrication of porous linseed gum/cellulose superabsorbent hydrogels for water conservation	Fabricar un hidrogel combinando la propiedad superabsorbente de la goma de linaza y la dureza de la celulosa.	Los hidrogeles compuestos se investigaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), difracción de rayos X (XRD) y análisis termogravimétrico (TGA).	Los resultados revelaron que la goma de linaza contribuía principalmente a la adsorción del agua, mientras que la celulosa actuó como columna vertebral para fortalecer la estructura porosa. Estos hidrogeles podrían aplicarse potencialmente para la conservación eficaz del agua en la agricultura.	Soluciones de celulosa y goma de linaza disueltas en el sistema acuoso de NaOH/urea y entrecruzadas con epíclorhidrina.	Epíclorhidrina (ECH): 1,18 g/ml	Celulosa y la goma de linaza
5	Morphological and Swelling Potential Evaluation of Moringa oleifera Gum/Poly (vinyl alcohol) Hydrogels as a Superabsorbent (2020)	El objetivo fue desarrollar una goma natural -SH con mejores propiedades de hinchamiento, fisicoquímicas y de rehinchamiento que pueden competir con contrapartes sintéticas con respecto a los problemas ambientales	El hidrogel se sintetizó utilizando materiales biodegradables y baratos: MOG y PVA. El procedimiento de síntesis es de base acuosa, sin catalizadores y respetuoso con el ambiente.	Dio como resultado que el comportamiento de dilatación y contracción de los hidrogeles MOG/PVA fueron influenciados por la sal inorgánica en soluciones acuosas y por medio de la prueba de retención de agua confirma la buena propiedad de retención de agua del hidrogel MOG/PVA. Esta SH de base biológica tiene un gran potencial para uso comercial a gran escala y puede ser usado para la conservación del agua en la agricultura	Hidrogeles superabsorbentes a base de goma de moringa oleífera y alcohol polivinílico reticulado con bórax.	Bórax (borato de sodio)	Poli vinilo alcohol (PVA)
6	Salt-Tolerant Superabsorbent Polymer with High Capacity of Water-Nutrient Retention Derived from Sulfamic Acid-Modified Starch	El objetivo fue desarrollar un nuevo polímero absorbente de agua modificado mediante polimerización en solución de almidón modificado con ácido sulfámico y ácido acrílico, para que así las proporciones de hinchamiento de este polímero absorbente fueran mejores y no se vieran obstaculizadas por los electrolitos en una solución.	las pruebas hechas para medir su capacidad de hinchamiento fueron en agua desionizada, en solución de cloruro de sodio, por otro lado, la capacidad de absorción de agua se midió en agua a diferentes valores de pH, concentraciones de sal y temperaturas.	Concluyeron que el copolímero preparado tenía una estructura y características de hinchamiento diferentes a las del ácido acrílico injertado con almidón ordinario, y exhibió una excelente absorción de agua y tolerancia a la sal	Un nuevo polímero absorbente de agua modificado mediante polimerización en solución de almidón modificado con ácido sulfámico y ácido acrílico	N, N' - metileno-bisacrilamida (MBA)	Persulfato de amonio (APS)
7	Super-swelling lignin-based biopolymer hydrogels for soil water retention from paper industry waste	Presentar un método novedoso y sencillo para utilizar lignosulfonato y polisacáridos, que son los principales constituyentes del licor rojo para hidrogeles de biopolímero superhinchables con larga propiedades de retención de agua a largo plazo.	Utilizaron directamente el licor rojo para preparar hidrogeles sin pretratamiento. FT-IR, SEM, TGA y XRD se utilizan para determinar la estructura y la morfología de los hidrogeles fabricados a partir de acrílico (AA) y los desechos de la industria muestren comportamientos de liberación lenta y superhinchable en el agua.	Como resultado comprobaron que, los hidrogeles súper hinchables mostraron una mayor compacidad y excelentes proporciones de hinchamiento. Una pequeña cantidad de licor rojo de 0,4 g en los hidrogeles mejoró mucho la relación de hinchamiento hasta aproximadamente 280 g/g. Además, estos hidrogeles súper hinchables también exhibieron la propiedad de retención de agua, la cual fue alrededor del 80 % para hidrogeles que contienen 0,4 g de licor rojo. Por lo tanto, estos hidrogeles que contienen licor rojo con excelentes propiedades de hinchamiento y retención de agua han demostrado ser excelentes candidatos para plantas y vegetales en la retención de agua en la agricultura.	Fuentes de licor rojo de pulpa, que se produce por cocción de sulfito ácido en la industria del papel, consisten en lignosulfonato y polisacárido comúnmente considerados como desechos o subproductos y utilizados en bajo valor, como surfactante y adhesivo.	N,N'-metileno-bisacrilamida (MBA, AR, 98 %)	Persulfato de amonio (APS)



8	Superabsorbent Hydrogel Composite Based on Starch/Rice Husk Ash as a Soil Conditioner in Melon (Cucumis melo L.) Seedling Culture	Sintetizar y probar un compuesto de hidrogel superabsorbente basado en una matriz de poli (acrilato de sodio) injertado con almidón relleno con ceniza de cáscara de arroz (RHA) como acondicionador del suelo para mejorar el crecimiento de las plántulas de melón.	Usaron el almidón proveniente de la yuca, acrilato de sodio (AAS), N, N-metilenbisacrilamida (MBA) y el persulfato de potasio (KPS). Se obtuvo la ceniza de cáscara de arroz mediante el lavado, secado, trituración, enfriamiento y tamizado de la cascarilla de arroz. Se sintetizó el hidrogel a través de la polimerización por radicales libres de monómeros de acrilato de sodio e injerto de almidón en medio acuoso. Y se caracterizó usando por medio de espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), análisis de difracción de rayos X (XRD), microscopía electrónica de barrido (SEM) y experimentos de hinchamiento.	Los experimentos de campo revelaron que pequeñas cantidades de este compuesto de hidrogel mezclado con el sustrato favorecen el crecimiento de las plántulas de melón. Además, el efecto acondicionador sobre el crecimiento de las plántulas de melón se puede adaptar según el tipo de sustrato (fibras de coco y suelos arenosos o arcillosos) y la cantidad de hidrogel utilizado. El compuesto formulado con 20 % en peso de RHA presentó una capacidad de absorción sobresaliente (~42 000 %), que se puede atribuir a sus constituyentes hidrofílicos y morfología. El composite SH-20RHA presenta una estructura porosa altamente conectada que favorece la absorción de agua. Los hallazgos reportados en este estudio permiten sugerir que el compuesto SH-20RHA es un dispositivo útil para mantener el suelo húmedo durante períodos de sequía o reducir el tiempo de riego. Este hidrogel superabsorbente de bajo costo y ecológico puede clasificarse como un dispositivo prometedor para el acondicionamiento del suelo.	Se sintetizó y probó un compuesto de hidrogel superabsorbente basado en una matriz de poli(acrilato de sodio) injertado con almidón relleno con ceniza de cáscara de arroz (RHA)	N,N' metilenbisacrilamida (MBA)	- Persulfato de potasio (KPS)
9	Water retention and fertilizer slow release integrated superabsorbent synthesized from millet straw and applied in agriculture	Preparar mediante polimerización en solución, un nuevo fertilizante de red de polímero semiinterpenetrante (MSP-g-AA/PVA-APP) sintetizado a partir de celulosa de paja y polímero lineal.	Los materiales preparados se caracterizaron con microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS), difracción de rayos X (XRD) y análisis termogravimétrico (TGA). También se estudiaron la absorción de agua y el comportamiento de liberación lenta	Las tasas acumulativas de liberación de N y P de MSP-g-AA/PVA-APP fueron 55,1 % y 47,3 % después de 30 días en el suelo, respectivamente. Se estudió el efecto de MSP-g-AA/PVA-APP en el crecimiento del trigo y los resultados muestran que los productos de aplicación podrían facilitar el crecimiento del trigo. Se concluyó que el producto con propiedad de retención de agua y liberación lenta, siendo de bajo costo y amigable con el medio ambiente, tiene gran potencial de aplicación en la agricultura.	Sintetizado a partir de celulosa extraída de paja de mijo y polímero lineal.	N,N' metilenbisacrilamida (MBA)  Influencia en la absorción de agua. 0.4% en peso.	- Persulfato de potasio (KPS) y persulfato de amonio (APS)
10	Natural Cellulose-Chitosan Cross-Linked Superabsorbent Hydrogels with Superior Swelling Properties	Se llevó a cabo el desarrollo un nuevo superabsorbente basado en agua y respetuoso con el medio ambiente para la producción de materiales biodegradables a partir de celulosa derivada de las fibras de madera, el proceso se basa en un método modificado químicamente para la oxidación de peryodato de celulosa para generar grupos aldehído que pueden oxidarse a grupos carboxilo y posteriormente reticulado con quitosano.	Obtuvieron mediante la reticulación de fibras de pulpa kraft blanqueada parcialmente oxidada con quitosano carboximetilado en agua destilada, el valor máximo de retención de agua (WRV) de los hidrogeles reticulados alcanzó 610 (g/g de gel), que es varias veces más alto que cualquier material superabsorbente basado en celulosa	Concluyeron que los hidrogeles tenían una arquitectura porosa alta y un área de superficie específica que facilitaba una rápida penetración en masa en aplicaciones superabsorbentes, debido a sus propiedades superiores de hinchamiento, reutilización y naturaleza biodegradable, los nuevos hidrogeles podrían servir como fuertes candidatos para reemplazar los polímeros sintéticos derivados del petróleo y encontrar usos en productos de higiene, alimentos, agrícolas y farmacéuticos de alto valor.	Se sintetizaron mediante la reticulación de fibras de pulpa kraft blanqueada parcialmente oxidada con quitosano carboximetilado.	Quitosano con anhídrido succínico adherido.	No precisa


11	Application of Sorghum Starch for Preparing Superabsorbent	Su objetivo fue estudiar el Sorgho bicolor como un polímero natural en la producción de un hidrogel superabsorbente, se utilizándolo como columna vertebral incorporando varios monómeros sintéticos como cadena lateral sobre el proceso de injerto, formando una red de estructura tridimensional que se mejoró mediante la adición de reticulantes, lo cual aumenta el número de enlaces entre cadenas y por lo tanto se crea una red absorbible más fuerte.	Extrajeron el almidón de los granos del Sorghum bicolor (una especie de cereal) por el método de remojo alcalino y se utilizó para la producción de material absorbente por injerto y reticulación con mezclas binarias de monómeros de vinilo a saber, ácido acrílico y acrilamida, tanto los almidones modificados como los no modificados se caracterizaron con análisis termogravimétrico, espectroscopia infrarroja, microscopía electrónica de barrido y análisis de difracción de rayos X, para determinar la modificación del almidón.	Dando como resultado que el producto así obtenido usando condiciones optimizadas de injerto, en saponificación resultó ser altamente superabsorbente mostrando la absorbencia de agua de 400 g/g. También se probó la influencia del pH en la absorción de agua y los mejores resultados se obtuvieron a pH 7-8.	Un superabsorbente a base de biopolímeros mediante injerto y entrecruzamiento de almidón extraído de sorgo	N,N'-metilenbisacrilamida (MBA)	persulfato de potasio
12	Lignin-based Hydrogel for Water Retention in Silt Loam Soil	Estudiaron la síntesis de un hidrogel a base de lignina, junto con sus propiedades de hinchamiento del hidrogel, determinando en diferentes soluciones acuosas y en suelos.	Utilizaron espectroscopia de infrarrojos transformada de Fourier (FTIR) para caracterizar el hidrogel usando la columna de agua colgante y el método de la placa de presión, la curva de retención de agua del suelo se midió desde un rango de cabeza de presión de agua del suelo de -3 cm hasta el punto de marchitez permanente, es decir, -15.000 cm para un suelo franco limoso. Para ello, se modificó el suelo con el hidrogel a base de lignina en concentraciones de 0, 0,1 y 0,3 % (p/p).	Como resultado del estudio, concluyeron que las propiedades de hinchamiento del hidrogel a base de lignina muestran una relación de hinchamiento máxima del 2030 % de la masa original del hidrogel en agua desionizada, del 1092 % en agua del grifo y del 825 % en la solución de NaCl al 0,9 %. Los espectros FTIR del hidrogel muestran la presencia de enlaces OH que provienen de la estructura de la lignina y hacen que el hidrogel sea reactivo a las moléculas de agua y, como resultado, se hincha.	Se sintetizó la lignina alcalina de grado analítico (bajo contenido de sulfonato) con un peso molecular aproximado de 10.000 g/mol y pH 10,5. Se adquirió poli (etilenglicol) diglicidil éter (PEGDGE) con un peso molecular promedio de ~500 g/mol y NaOH	Poli (etilenglicol) diglicidil éter (PEGDGE) con un peso molecular promedio de ~500 g/mol	No precisa
13	Synthesis and assessment of carboxymethyl tamarind kernel gum based novel superabsorbent hydrogels for agricultural applications	Fabricación de un hidrogel superabsorbente a base de goma de semilla de carboximetil tamarindo con acrilato de sodio.	La síntesis de SAH se verificó mediante caracterización transformada de Fourier en espectroscopia de infrarrojos, análisis termogravimétrico, microscopía electrónica de barrido y se evaluaron la capacidad máxima de retención de agua, la densidad aparente, la porosidad y la capacidad de retención de agua del suelo para ver los efectos en el suelo por el tratamiento con hidrogel.	Se obtuvo como resultado que el hidrogel absorbe hasta 648 ml/g, después de la inclusión en el suelo, mostró una mejora significativa en la absorción de humedad (35 %), la porosidad (7 %) y la capacidad de retención de agua en comparación con el suelo sin tratar (control). Los efectos del hidrogel también se observaron en el crecimiento de las plantas de garbanzo. El SAH sintetizado mostró un potencial prometedor como acondicionador del suelo para aplicaciones agrícolas.	Goma de semilla de carboximetil tamarindo con acrilato de sodio.	MBA	Persulfato de potasio (KPS)

14	Starch-based super water absorbent: A promising and sustainable way to increase survival rate of trees planted in arid areas	Ampliar la producción de superabsorbente de agua a base de almidón y validar los beneficios prácticos para aplicaciones agrícolas.	El polifosfato de amonio (APP) se introdujo para suministrar nutrientes de nitrógeno y fósforo. Los materiales preparados se caracterizaron con microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS), difracción de rayos X (XRD) y análisis termogravimétrico (TGA). También se estudiaron la absorción de agua y el comportamiento de liberación lenta de MSP-g-AA/PVA-APP.	Los resultados indicaron que MSP-g-AA/PVA-APP mostró una excelente absorción de agua de 681,3 g/g en agua destilada y mejoró la capacidad de retención de agua del suelo. Las tasas acumuladas de liberación de N y P de MSP-gAA/PVA-APP fueron 55,1 % y 47,3 % después de 30 días en el suelo, respectivamente. Se estudió el efecto de MSP-g-AA/PVA-APP en el crecimiento del trigo y los resultados muestran que los productos de aplicación podrían facilitar el crecimiento del trigo. Se pudo concluir que el producto con propiedad de retención de agua y liberación lenta, siendo de bajo costo y amigable con el medio ambiente, tenía gran potencial de aplicación en la agricultura.	Almidón extraído de yuca		Usa radiación
15	Effects of eco-friendly carbohydrate-based superabsorbent polymers on seed germination and seedling growth of maize	Sintetizar polímeros superabsorbentes con carbohidratos, caracterizarlos y aplicarlos en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz.	Se caracterizó a través de análisis de espectros infrarrojos por transformada de Fourier, microscopía electrónica de barrido y análisis termogravimétrico/térmico diferencial. Luego, se realizó un experimento completamente aleatorio para evaluar el efecto de los SAP a base de carbohidratos en la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de maíz en un cofre de clima artificial.	Los resultados mostraron que agregar una cantidad adecuada de SAP podría mejorar la longitud de la raíz, la longitud de los brotes, la biomasa total, potencial de germinación y tasa de germinación. Indica que este SAP no es tóxico para las plantas y puede promover la germinación de semillas, y al mismo tiempo brinda la posibilidad de reemplazar otros sustratos.	Paja de maíz (MS), ácido acrílico (AA), Nm N-metilenbisacrilamida (MBA) y arcilla de paligorskita (PGS)	MBA	Persulfato de potasio (KPS)
16	Synthesis of superabsorbent polymers based on chitosan derivative graft acrylic acid-co-acrylamide and its property testing	El objetivo principal de este estudio es la síntesis de un nuevo polímero superabsorbente o a base de derivados de quitosano con alta absorción de agua y capacidad de retención de agua. Se investigaron las estructuras de SAP y también se estudiaron propiedades como la absorción de agua, la retención de agua y la tolerancia a la sal.	La estructura química y la caracterización morfológica se investigaron mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), difracción de rayos X (XRD), análisis termogravimétrico (TGA) y microscopio electrónico de barrido (SEM).	Los resultados mostraron que el nuevo polímero superabsorbente presenta una excelente absorción de agua, que puede absorber agua destilada 615 g/g y solución de NaCl al 0,9% 44 g/g. Al mismo tiempo, este producto mostró una excelente retención de agua y reutilización. Las propiedades antibacterianas también se probaron el polímero superabsorbente. La introducción de grupos antibacterianos también mejora las propiedades antibacterianas contra Escherichia coli y Staphylococcus aureus. Este tipo de polímero superabsorbente tiene una amplia perspectiva de aplicación.	Sintetizar un polímero ecológico utilizando cloruro de (2-piridil) acetil quitosano (PACS), ácido acrílico (AA) y acrilamida (AM) en solución acuosa mediante una polimerización por radicales libres.	N,N'-metilenbisacrilamida (MBA)	Persulfato de amonio
17	Influence of crosslinker amount on the microstructure and properties of starch-based superabsorbent polymers by one-step preparation at high starch concentration	Su objetivo fue estudiar cómo la cantidad de reticulante (N, N-metileno-bisacrilamida) afecta las características microestructurales, absorbentes y reológicas de polímeros superabsorbentes a base de almidón preparados en un solo paso a una alta concentración de almidón	Se caracterizó a través de análisis termogravimétrico (TGA), Espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN), Dispersión de rayos X de ángulo pequeño de sincrotrón (SAXS)	Este trabajo ha puesto de manifiesto cómo influye la cantidad de reticulante MBA, la microestructura y las características absorbentes y reológicas para almidón-SAPs preparados por un método de un solo paso en la alta concentración de almidón. Tenga en cuenta que el aumento en la cantidad de MBA podría sustancialmente alterar las características microestructurales y, por lo tanto, las propiedades absorbentes y reológicas de los SAP de almidón. Luego, se discutieron las evoluciones en las propiedades del almidón-SAP desde el punto de vista de la microestructura.	Polímeros superabsorbentes a base de almidón preparados en un solo paso a una alta concentración de almidón	N,N'-metilenbisacrilamida (MBA)	Nitrato amónico cérico (CAN)

18	Preparation of a low-cost and eco-friendly superabsorbent composite based on wheat bran and laterite for potential application in Chinese herbal medicine growth	(a) Preparan un compuesto superabsorbente ecológico mediante la copolimerización por salvado de trigo, ácido acrílico y laterita en solución acuosa. (b) estudiar las propiedades del WB-g-PAA/LA (salvado de trigo-g-poli(ácido acrílico)/laterita) (c) investigar sus aplicaciones como portador de fertilizantes de urea y agua, en el crecimiento de una hierba china.	Prepararon agua destilada (25 ml) y WB (2,0 g) a un matraz de tres bocas de 250 ml equipado con un agitador. Luego se colocó en un baño de agua con termostato preestablecido a 70 °C, con agitación durante 30 min para formar una mezcla homogeneizada. Luego, la mezcla se enfrió a 50 °C y se agregó el iniciador pesado KPS y se agitó durante 15 min adicionales. Posteriormente, se incorporaron a la mezcla cantidades pesadas del reticulante MBA, polvo LA y monómero AA, con un grado de neutralización del 70%. Se permitió que la temperatura de reacción aumentara hasta 70°C y se mantuvo durante 1,5 h hasta completar la polimerización.	Se preparó con éxito un compuesto superabsorbente WB-g-PAA/LA de bajo costo y ecológico a través de la copolimerización de injerto de radicales libres en una solución acuosa utilizando KPS como iniciador, MBA como reticulante. Los espectros FTIR revelaron que WB y LA participaron con éxito en la copolimerización y la incorporación del 5 % en peso de LA en WB-g-PAA lo que mejoró enormemente la propiedad de hinchamiento (1050 g/g) en 15 min en comparación con la superabsorbencia pura (803 g/g) Además, tuvo efectos considerables en la tasa de germinación y el crecimiento temprano de <i>G. uralensis</i> , por lo tanto, el compuesto superabsorbente WB-g-PAA/LA desarrollado podría usarse como un aditivo adecuado en nuevas aplicaciones de valor agregado.	Se sintetizó un compuesto superabsorbente ecológico y económico mediante la copolimerización por injerto de radicales libres de salvado de trigo (WB), ácido acrílico (AA) y laterita (LA) en una solución acuosa.	N,N'-metilenbisacrilamida (MBA)	Persulfato de potasio (KPS)
19	A Novel Hydrogel Based on Renewable Materials for Agricultural Application	Diseñar y caracterizar de un hidrogel a base de suero/celulosa nuevo, biodegradable y renovable (es decir, hidrogel agrícola). Este fue formulado a partir de derivados de la celulosa (carboximetilcelulosa (CMC) e hidroxietilcelulosa (HEC)) y suero ácido reticulado con ácido cítrico, con el objetivo de obtener un producto agrícola con alta capacidad de hinchamiento para mantener la calidad del suelo y conservar los recursos hídricos.	Las muestras de hidrogel se prepararon disolviendo una mezcla de CMCNa y HEC a una concentración de polímero total de 3% en peso, en una relación en peso igual a 3:1, en el suero ácido (alternativa al suero destilado - agua comúnmente utilizada para la preparación de hidrogel) mediante agitación suave en un mezclador a temperatura ambiente hasta que se formó una solución homogénea que mostró un aumento significativo en la viscosidad (16-24 h). Posteriormente, el CA se agregó a la solución en diferentes concentraciones (3, 5 y 10% en peso) para obtener muestras con varios grados de entrecruzamiento. Las muestras de hidrogel se moldearon como un hidrogel de 10 mm de espesor en placas de Petri. La reacción de entrecruzamiento se logró durante el siguiente ciclo de secado de las muestras de hidrogel a 60 ° C durante 24 horas. ATR- FTIR (Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier de reflectancia total atenuada), TGA, SEM, calorimetría de barrido diferencial (DSC).	Los resultados confirmaron que la estabilidad del hidrogel mejoró con la presencia del ácido cítrico. Como consecuencia, es necesario utilizar una concentración de reticulación apropiada y cumplir con ciertas condiciones para garantizar que las propiedades de hinchamiento del hidrogel preparado sean suficientes.	Derivados de la celulosa (carboximetilcelulosa (CMC) e hidroxietilcelulosa (HEC)) y suero ácido reticulado con ácido cítrico.	Ácido cítrico (5%)	No precisa

20	Composite Superabsorbent Hydrogel of Acrylic Copolymer and Eggshell: Effect of Biofiller Addition	Preparar un hidrogel superabsorbente compuesto de copolímero acrílico y cáscara de huevo para biorrelleno.	Los hidrogeles fueron sintetizados por copolimerización por radicales libres. Se añadió acrilamida (1,05 g, 0,015 mol, en 1 ml) a 24 ml de agua destilada burbujeando constantemente con nitrógeno. Después de la disolución, obtenida con agitación, se añadió KAc acuoso. A continuación, también se añadieron MBA (0,2 %), KPS (0,2 % mol en 1 ml) y, N, N', N' tetrametiletildiamina (TEMED) (0,1 % mol). El volumen total se mantuvo en 30 ml. El sistema se mantuvo bajo agitación adicional hasta que alcanzó el punto de gelificación. Después de 24 h, el hidrogel se ralló, lavó y secó en estufa a 70 °C. El material se tamizó para obtener muestras con tamaños de partículas en el rango de 500 a 710 µm (malla 24-35). El hidrogel obtenido se denominó Pam-Ac.	El compuesto mejoró la fuerza del gel y la absorción de agua y solución salina aumentó en un 100 y un 41%, respectivamente. Los altos valores de hinchamiento, la estructura homogénea y las buenas propiedades mecánicas obtenidas con la incorporación de un contenido relativamente alto de un material de desecho de bajo costo indica que este compuesto es adecuado para su aplicación en la agricultura. Además, este enfoque proporciona un enfoque más ecológico y destino útil para los residuos de cáscara de huevo.	Se sintetizó un compuesto de hidrogel superabsorbente basado en poli(acrilamida-co-acrilato de potasio) como matriz que contenía 17 % en peso de polvo de ES(cascará de huevo) de pollo como relleno y se comparó con el gel sin relleno.	N,N'-metilenbisacrilamida (MBA)	Persulfato de potasio (KPS)
21	Sustainable Production of Cellulose-Based Hydrogels with Superb Absorbing Potential in Physiological Saline	Desarrollar un hidrogel a base de celulosa nuevo y completamente renovable con capacidades mejoradas de hinchamiento y rehinchamiento que pudiera competir con los SAP sintéticos de interés ambiental. El nuevo hidrogel se preparó utilizando dos materiales económicos y biodegradables: CMC y ECH.	La reacción de carboximetilación se llevó a cabo en medio acuoso (agua), luego la Pulpa BSWK (pulpa Kraft de madera blanda blanqueada) secada al aire (50 g) se mezcló con 230 g de solución de MCA (100 g de MCA en 130 g de agua) en un Mezclador Hobart a temperatura ambiente durante 10-15 min y luego transferido a una botella. La botella se colocó en un baño de agua precalentado a 50 °C durante 4 h para permitir la impregnación de MCA en el interior de la fibra. A continuación, se añadió a la mezcla de reacción una solución de NaOH (62,5 g de NaOH en 100 g de agua) y se agitó durante 10-15 min en el mezclador. Se permitió que la reacción prosiguiera durante la noche (12 h) a temperatura ambiente.	Los hidrogeles mostraron buenas propiedades de rehinchamiento y perdieron solo del 5 al 10 % de su capacidad para reabsorber agua cuando se reutilizaron en cuatro ciclos consecutivos. Debido a sus propiedades de hinchamiento superiores en solución salina fisiológica, los nuevos hidrogeles pueden competir con sus contrapartes sintéticas en aplicaciones tales como productos biomédicos y de higiene de alto valor.	En este proceso de dos pasos, primero se hizo reaccionar la celulosa con monocloroacetato de sodio (MCA) para obtener carboximetilcelulosa (CMC) y luego se entrecruzó con epíclorhidrina (ECH).	Celulosa modificada	No precisa

Anexo 3 Ficha de antecedentes (tercera parte)

				Revisión Sistemática: Polímeros Naturales para el almacenamiento de agua en suelos				
FICHA DE ANTECEDENTES: TERCERA PARTE								
N°	Título	Autor	Capacidad de absorción	Índice de hinchamiento o capacidad de hinchamiento o rehinchamiento	Cap. de retención	Biodegradabilidad	Tipo de suelo	Aplicación
1	White Cabbage (Brassica oleracea L.) waste, as biowaste for the preparation of novel superabsorbent polymer gel	Zhang et al. (2021)	Capacidad de absorción: En agua ultrapura: 1914 g/g. En agua destilada: 1726 g/g En agua corriente: 306 g/g En solución de NaCl al 0.9%: 114 g/g	-	50%	-	-	Nivel laboratorio
2	Design and development of guar gum based novel, superabsorbent and moisture retaining hydrogels for agricultural applications	Thombare et al. (2018)	800ml/gr	A pH (4): 470 g/g A pH (7): 608 g/g A pH (9): 625 g/g	54%	Velocidad de descomposición (k)= 0.009 Vida media de la constante es de 77 días.	Suelo recolectado de granja. El suelo tenía las siguientes propiedades: Arena 60.5 %, Limo 18.0 %, Arcilla 21.5 %; capacidad de retención de agua 33.59%; densidad de partículas 2.64 g/cm <sup>3</sup> (Blake & Hartge, 1986); densidad aparente 1.34 g/cm <sup>3</sup> ; C orgánico 0.6 %; pH (suelo: agua: 1: 2.5) 5.5; CE a 25°C 0.058 dS/m; conductividad hidráulica 2.82cm/hora.	Agrícola
3	Green chemistry approach for preparation of hydrogels for agriculture applications through modification of natural polymers and investigating their swelling properties	Elsayed et al. (2018)	-Ácido acrílico/acrilamida (AA-NIPAM-GG) / (NIPAM 1.5- GG5) = 220 (g/g) -Ácido acrílico/N-isopropilacrilamida (AA-AcM-GG) / AcM1.5-GG5) = 165 (g/g)	NIPAM1.5-GG5 AA = 220 (g/g)	-	-	-	El suelo fue bien regado y luego ha sido sometido a condiciones de sequía durante 15 días. Luego se agregaron los hidrogeles óptimos en cierto peso y las muestras con hidrogeles se compararon con la muestra de prueba.
4	A facile and efficient strategy for the fabrication of porous linseed gum/cellulose superabsorbent hydrogels for water conservation	Zhang et al. (2017)	-	ref: Gel46 (4:6) (respectivamente de acuerdo a su contenido de goma de linaza y celulosa hinchamiento de 300 (g/g)	-	14 días	-	-
5	Morphological and Swelling Potential Evaluation of Moringa oleifera Gum/Poly (vinyl alcohol) Hydrogels as a Superabsorbent (2020)	Ahmad et al. (2020)	-	MOG/PVA alcanzó 1163 g/g en agua desionizada y 290 g/g en una solución de NaCl al 0,9 % e	-	-	-	-

6	Salt-Tolerant Superabsorbent Polymer with High Capacity of Water-Nutrient Retention Derived from Sulfamic Acid-Modified Starch	Zhao et al. (2019)	Capacidad de absorción: -1026 g/g en agua desionizada - 145 g/g en solución de cloruro de sodio al 0,9% (aumentando 99,5 y un 13,4 %, respectivamente)	A pH (7): 1026 g/g A pH (8): 514 g/g	-	-	-	-
7	Super-swelling lignin-based biopolymer hydrogels for soil water retention from paper industry waste	Meng et al. (2019)	-	La solución gota a gota un licor rojo de peso dado (0,1 g, 0,2 g, 0,3 g, 0,4 g y 0,5 g, respectivamente) se lo denominó, RLH0.1, RLH0.2, RLH0.3, RLH0.4 y RLH0.5, respectivamente para poder llevar el control del índice de hinchamiento.  RLH0.3 = 220 g/g RLH0.4 = 280 g/g,	80%	-	-	-
8	Superabsorbent Hydrogel Composite Based on Starch/Rice Husk Ash as a Soil Conditioner in Melon (Cucumis melo L.) Seedling Culture	Vasconcelos et al. (2019)	(-42 000 %)	-	-	-	Suelo arcilloso y suelo arenoso.	Acondicionador del suelo para plántulas.
9	Water retention and fertilizer slow release integrated superabsorbent synthesized from millet straw and applied in agriculture	Wang et al. (2018)	En agua destilada: 681,3 g/g	-	-	-	Se probó a través de un sistema de prueba que consistió en una columna de suelo (10cm de diámetro y 60cm de altura) y un sistema de suministro de agua. Capa amortiguadora compuesta de arena y laterita. Se realizó una prueba de infiltración, dando como resultado una densidad aparente de 1.5g/cm	-
10	Natural Cellulose-Chitosan Cross-Linked Superabsorbent Hydrogels with Superior Swelling Properties	Alam et al. (2018)	-	-	-	-	-	-
11	Application of Sorghum Starch for Preparing Superabsorbent	Mangesh et al. (2017)	400g/g	A pH (7): 400 g/g A pH (8): 370 g/g	-	-	-	-

12	Lignin-based Hydrogel for Water Retention in Silt Loam Soil	Adjuik (2021)	-	20,1 g de agua/g de hidrogel en agua desionizada.	-	-	Franco limosos	Se realizó la observación del comportamiento de hinchamiento para determinar el grado de hinchamiento del hidrogel que puede hacer que el suelo se expanda sobre los anillos metálicos utilizados para sostener las muestras en la columna de agua colgante.
13	Synthesis and assessment of carboxymethyl tamarind kernel gum based novel superabsorbent hydrogels for agricultural applications	Khushbu et. al (2019)	648ml/g	A pH (4): 141 g/g A pH (9): 340 g/g A pH (12): 452 g/g	-	-	-	-
14	Starch-based super water absorbent: A promising and sustainable way to increase survival rate of trees planted in arid areas	Pattra et. al (2021)	En agua destilada 681.3 g/g	A escala de laboratorio: 543.93 A escala de producción: 218.27 Los índices de hinchamiento después de de 18, 24, 72 y 96 h fueron 199,53 (±12,27), 201,56 (±11,38), 214,83 (±10,68) y 218,27 (±10,64) g/g, respectivamente.	-	-	Suelo arenoso	Árboles de caucho
15	Effects of eco-friendly carbohydrate-based superabsorbent polymers on seed germination and seedling growth of maize	Tao et al. (2018)	-	-	-	-	-	Germinación de semillas de maíz y crecimiento de plántulas de maíz.



16	Synthesis of superabsorbent polymers based on chitosan derivative graft acrylic acid-co-acrylamide and its property testing	Fang et al. (2019)	Agua destilada: 615 g/g Solución de NaCl al 0,9% 44 g/g	Después de 5 veces de hinchazón, este mantuvo más del 50% de la capacidad de absorción de agua.	80%	-	-	-
17	Influence of crosslinker amount on the microstructure and properties of starch-based superabsorbent polymers by one-step preparation at high starch concentration	Quiáo et al. (2019)	Almidón-SAP-2", en los que "2" indica la cantidad (es decir, 0,02 g) de agente de reticulación MBA utilizado para la síntesis de almidón-SAP  SAP-2 212.12 ± 0.51a	-	-	-	-	-
18	Preparation of a low-cost and eco-friendly superabsorbent composite based on wheat bran and laterite for potential application in Chinese herbal medicine growth	Gao et al. (2018)	Absorción de agua óptima de 1050 g/g -1 en agua destilada y 72 g/g -1 en solución de NaCl al 0,9%	-	-	-	-	Se logró una tasa de degradación del 38 % en peso cuando el material compuesto se sumergió en el sobrenadante del suelo durante 30 días. Además, aproximadamente el 64,3 % en peso de nitrógeno se liberó en 4 días desde la UB, mientras que aproximadamente el 62 % en peso se liberó después de 10 días para la UBCSC. Además, el suelo con WB-g-PAA/LA (5% en peso) tuvo efectos considerables en la tasa de germinación y el crecimiento temprano de <i>G. uralensis</i> .
19	A Novel Hydrogel Based on Renewable Materials for Agricultural Application	Durpekova et al. (2020)		La mayor captación de agua por la muestra H5 se alcanzó en agua destilada a pH 7,2. En agua destilada: Muestra H5: 1115% Muestra H10: 554% En solución salina a pH (10): Muestra H5: 994% Muestra H10: 541%	-	-	-	El comportamiento de hinchamiento de las muestras preparadas se midió en diferentes medios sumergiendo las muestras en agua destilada (DW), medios ácidos (pH 2,5 y 4,5), neutros (pH 7,2) y alcalinos (pH 8,0 y 10,0).

20	Composite Superabsorbent Hydrogel of Acrylic Copolymer and Eggshell: Effect of Biofiller Addition	Vinícius et al. (2017)	En agua destilada: 100% En solución salina: 41%	629 ± 28 g/g	-	-	-	Se compararon las cinéticas de hinchamiento de Pam-Ac y Pam-Ac/ES en agua destilada a 25 ± 1 °C. Una masa conocida de gel (aproximadamente 20 mg) se colocó dentro de un filtro de vidrio sinterizado previamente pesado (N° 0) y se cubrió con agua destilada a temperatura ambiente. Luego se retiró el filtro de vidrio y se drenó el exceso de agua. Se secaron las paredes externas y se volvió a pesar el sistema. Inicialmente, los sistemas se pesaron a intervalos de 1,0 min y luego a intervalos más largos.
21	Sustainable Production of Cellulose-Based Hydrogels with Superb Absorbing Potential in Physiological Saline	Alam et al. (2019)	425 g/g	312 ± 2 g/g	725 g/g			Se mantuvieron tres proporciones de CMC/ ECH basadas en el peso de 0,5, 0,75 y 1,5 durante la preparación del hidrogel. Se añadieron diferentes concentraciones porcentuales en peso de CMC y ECH, a una solución de NaOH al 6% en peso para formar una suspensión de celulosa. Por ejemplo, para preparar un hidrogel que tuviera WRV (retención de agua) de 118 g/g de gel y 725 g/g de gel, se mezcló 3 % en peso de CMC (que contenía 3,5 mmol de grupos COOH/g de celulosa) con 4 % en peso de ECH y 93 % en peso de NaOH (a una concentración del 6 % en peso). La suspensión se agitó hasta que las fibras de CMC se mezclaron por completo con la solución de NaOH. Luego se agregó ECH lentamente.