



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo, presentado
al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo para
obtener el título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

Uso de hidrogel para la retención del agua en suelos áridos

AUTOR:

Cesar Anthony Monar Haro

TUTOR:

Ing. Gustavo Adolfo Vásquez Galarza, MSc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

El análisis del estudio se basó en el objetivo de estudiar el uso de hidrogel para la retención del agua en suelos áridos, mejora la retención de agua en suelos áridos ha sido objeto de un estudio analítico y descriptivo. Los resultados muestran un impacto significativo en la productividad y desarrollo de cultivos en estas condiciones adversas. Se observó un incremento del 25% en la biomasa y un crecimiento del 30% en la cosecha de cultivos tratados con hidrogel en comparación con aquellos sin tratamiento. El hidrogel demostró una eficiencia destacada al retener hasta un 50% más de agua en el suelo seco. Estos biopolímeros tienen la capacidad única de absorber más agua y liberarla gradualmente, lo que promueve un suministro constante de agua para las plantas durante períodos de sequía prolongada. Estos hallazgos subrayan la importancia del hidrogel como una tecnología prometedora para mejorar la sostenibilidad agrícola en regiones con escasez hídrica, ofreciendo beneficios tanto en términos de rendimiento de cultivos como en la eficiencia en el uso del agua. En conclusión, el uso de hidrogel emerge como una solución efectiva para enfrentar los desafíos de la agricultura en suelos áridos, mejorando la disponibilidad de agua para las plantas y optimizando el rendimiento de los cultivos.

Palabras claves: Sostenibilidad, Biopolímeros, Hidrogel, Suelos, Agricultura.

SUMMARY

The analysis of the study was based on the objective of studying the use of hydrogel for water retention in arid soils, improving water retention in arid soils has been the subject of an analytical and descriptive study. The results show a significant impact on the productivity and development of crops in these adverse conditions. A 25% increase in biomass and a 30% growth in harvest will be observed for crops treated with hydrogel compared to those without treatment. The hydrogel demonstrated outstanding efficiency by retaining up to 50% more water in dry soil. These biopolymers have the unique ability to absorb more water and release it gradually, promoting a constant supply of water for plants during periods of prolonged drought. These findings underline the importance of hydrogel as a promising technology to improve agricultural sustainability in water-scarce regions, offering benefits both in terms of crop yield and water use efficiency. In conclusion, the use of hydrogel emerges as an effective solution to face the challenges of agriculture in arid soils, improving water availability for plants and optimizing crop yields.

Keywords: Sustainability, Biopolymers, Hydrogel, Soils, Agriculture.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos del estudio	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Líneas de investigación	5
2. DESARROLLO.....	6
2.1 Marco conceptual	6
2.1.2 Generalidades de los hidrogeles.....	6
2.1.3 Características de hidrogeles.....	7
2.1.4 Importancia de los hidrogeles en la agricultura	8
2.1.5 Uso de hidrogel para la retención del agua en suelos áridos.....	9
2.1.6 Impacto del uso de hidrogel en el desarrollo y productividad en suelos áridos.....	11
2.1.7 Eficiencia de la retención del agua con hidrogel en la agricultura...	14
2.1.8 Viabilidad económica de los hidrogeles en agricultores	16
2.2 Marco Metodológico	18
2.3 Resultados.....	19
2.4 Discusión de resultados	20
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	22
3.1 Conclusiones	22
3.2 Recomendaciones	23
4. REFERENCIAS Y ANEXOS	24
4.1 Referencias.....	24
4.2 Anexos	30

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 Introducción

El agua es un recurso vital que sustenta la vida en la tierra, desempeñando un papel crucial en la salud humana, la agricultura, la industria y el equilibrio ecológico. A nivel mundial, su importancia es incuestionable, ya que el acceso a agua limpia y segura es fundamental para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza, sin embargo, millones de personas aún carecen de acceso a este recurso esencial, lo que plantea serios desafíos para la salud y el desarrollo global. En el contexto nacional, la gestión y conservación del agua adquieren una relevancia particular, donde las variaciones geográficas y climáticas demandan estrategias específicas para asegurar su disponibilidad y calidad, es importante promover su uso sostenible es esencial para garantizar el bienestar de las generaciones presentes y futuras (Obando *et al.* 2019).

En el ámbito internacional, países de diversas latitudes están explorando e implementando el uso de hidrogeles en sus sistemas agrícolas, desde las zonas desérticas de Medio Oriente hasta las regiones agrícolas intensivas de América del Norte y Europa, los hidrogeles están siendo evaluados y adaptados para maximizar su eficacia en diferentes entornos, la cooperación internacional y el intercambio de conocimientos son esenciales para optimizar el uso de esta tecnología y superar las barreras de adopción (CIAD 2022).

El hidrogel ha comenzado a ser considerado como una estrategia viable para mejorar la retención de agua en suelos áridos en Ecuador, especialmente en la provincia de Santa Elena, la falta de recursos hídricos se recalca por su clima seco y escasas precipitaciones, enfrente dificultades importantes en la agricultura, el uso de hidrogel en esta zona ha demostrado resultados prometedores: los suelos han experimentado un notable incremento en su capacidad para retener humedad, lo que ha mejorado la supervivencia y el rendimiento de los cultivos, en una de las regiones más frías del país, esta práctica ayuda a la resiliencia y sostenibilidad agrícola, además de optimizar el uso del agua (Ortíz *et al.* 2021).

En varias provincias de Ecuador, donde la agricultura de secano es común y los recursos hídricos son escasos, los hidrogeles ofrecen una herramienta valiosa para asegurar la continuidad y la calidad de la producción agrícola, además, su aplicación puede mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes y otros insumos agrícolas, contribuyendo a una agricultura más sostenible y resiliente, la adopción de hidrogeles en el ámbito nacional no solo beneficiará a los agricultores al aumentar los rendimientos y reducir los costos, sino que también contribuirá a la conservación del agua, un recurso vital para el desarrollo sostenible del país (Saltos y Zambrano 2023).

En Ecuador, la agricultura es un pilar fundamental de la economía y la seguridad alimentaria, enfrentándose a desafíos significativos relacionados con la escasez de agua y el cambio climático, la variabilidad en las precipitaciones, las sequías prolongadas y el uso ineficiente de los recursos hídricos son problemas que afectan tanto a los pequeños agricultores como a las grandes explotaciones agrícolas en diversas regiones del país, el uso de hidrogeles se presenta como una innovación prometedora para mejorar la gestión eficiente del agua en la agricultura ecuatoriana (Curo 2024).

Los hidrogeles son polímeros capaces de absorber y retener grandes cantidades de agua, liberándola de manera gradual a las plantas según sus necesidades, esta tecnología permite optimizar el uso del agua, reduciendo la frecuencia de riego y mitigando los efectos del estrés hídrico en los cultivos, la implementación de hidrogeles en la agricultura ecuatoriana puede proporcionar soluciones efectivas para incrementar la productividad, especialmente en zonas vulnerables a la sequía y con acceso limitado a fuentes de agua confiables (Álvarez *et al.* 2023).

1.2 Planteamiento del problema

El proceso de la agricultura se enfrenta en varios problemas dado a la variación del clima, además de la escasez de agua en zonas de suelos áridos y el aumento de la demanda de los alimentos, son ciertos factores que requieren de una intervención para gestionar el agua de forma adecuada para aseverar la sostenibilidad de la producción agrícola, no obstante, el agua se la debe aprovechar

de forma adecuada en varias prácticas de la agricultura actualmente dado a la evaporación que existe, se filtra de forma eficiente y distribución desigual del líquido vital en los suelos áridos, este déficit se basa en el desperdicio considerable del recurso vital en las innovaciones que son prometedoras para realizar un abordaje en la problemática del uso de hidrogel para retener aguas en zonas áridas (Ortega *et al.* 2020).

A nivel mundial el proceso de gestión del agua se da por un problema crítico dado a las variaciones del clima y el aumento de la necesidad de agua, esta deficiencia tiene una incidencia directa en la producción del agro y por lo cual afecta el desarrollo de sembríos en varias zonas existen consumos de agua por encima del 70% de lo disponible, la optimización de los recursos hídricos logra generar un impacto positivo en las zonas áridas, el uso de hidrogeles son importantes debido a la retención y absorción de agua que resultad una opción innovadora que asiste a los agricultores a mejorar la utilización del agua donde enfrentan varios problemas dando solución (Chávez y Colupu 2023).

A pesar de los beneficios que tiene la utilización de hidrogeles en las zonas áridas tiene un desafío fundamental dado a los costos que tiene este producto hasta su aplicación debido a que no son fáciles de acceder más para los agricultores que tienen pocas hectáreas en zonas rurales que requieren mayormente de la retención de agua en suelos, además esto muestra una eficacia y durabilidad del hidrogel en varios suelos y en condiciones del clima que son variables, otro de los aspectos críticos son la seguridad de la utilización y el impacto ambiental, debido a que tienen una seguridad elevada varios tipos de hidrogeles pueden generar un efecto negativo en el ecosistema del suelo, a pesar de que estudios sobre estas afecciones son limitadas y requieren de un análisis más detallado para asegurar la utilización de este producto (Ortíz *et al.* 2021).

1.3 Justificación

El presente estudio sobre el uso de hidrogel para la retención del agua en suelos áridos en la agricultura se realiza debido a la urgente necesidad de optimizar el uso de los recursos hídricos en el sector agrícola, especialmente en regiones

vulnerables a la escasez de agua en zonas de la península de Santa Elena, el cambio climático, junto con el crecimiento de la población y la intensificación de la agricultura, ha incrementado la presión sobre los recursos hídricos y la productividad agrícola, los hidrogeles, con su capacidad de retener agua y liberarla gradualmente, ofrecen una tecnología para enfrentar estos desafíos, este estudio, por lo tanto, no solo tiene relevancia práctica inmediata para los agricultores, sino que también contribuye al conocimiento científico sobre las aplicaciones de los hidrogeles en la agricultura.

Desde un punto de vista teórico-científico, la investigación aportará al desarrollo de nuevas metodologías y prácticas agrícolas sostenibles, al explorar la eficiencia de los hidrogeles en la retención y liberación de agua en cultivos específicos de la región, este estudio genera datos empíricos que pueden ser utilizados para ajustar y optimizar su uso en diferentes contextos agrícolas, además, la investigación puede identificar los mecanismos a través de los cuales los hidrogeles impactan la absorción de nutrientes y la salud del suelo, ofreciendo una comprensión más profunda de sus beneficios ecológicos y agronómicos.

1.4 Objetivos del estudio

1.4.1 Objetivo general

- Analizar el uso de hidrogel para la retención del agua en suelos áridos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar el impacto del uso de hidrogel en el desarrollo y productividad en suelos áridos.
- Establecer la eficiencia de retención del agua de hidrogel en los suelos áridos.
- Describir la viabilidad económica de los hidrogeles por parte de los agricultores.

1.5 Líneas de investigación

En el estudio se enfocará en los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo desarrollado en recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología, además la línea investigativa basada en el desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable, mientras que la sublínea investigativa se basa en agricultura sostenible, sustentable y nutrición vegetal.

2. DESARROLLO

2.1 Marco conceptual

2.1.2 Generalidades de los hidrogeles

Los hidrogeles son productos poliméricos que tienen una capacidad para realizar el proceso de la absorción y retención de cantidades de agua, esta propiedad tiene una estructura versátil aplicable en diferentes industrias desde la medicina hasta la agricultura siendo compuestos esenciales de cadenas polimérica las cuales pueden retener varias veces su peso en cantidad de agua lo que forma una sustancia de forma gelatinosa que tiene completamente hidratado a los suelos (Urbano 2021).

Una de las particulares más destacadas en los hidrogeles es la capacidad que tienen la retención de agua lo que permite liberar el agua de una manera más controlada esta propiedad es característica útil en las aplicaciones de los cultivos donde los hidrogeles son empleados para optimizar la retención de humedad en las zonas áridas promoviendo el desarrollo de los cultivos de una forma sostenible y eficiente, al momento de liberar el agua de una forma lenta estos productos permiten reducir la frecuencia de riego en estos sitios donde existen problemas de sequía en varios periodos (Ferreira *et al.* 2020).



Figura 1. Hidrogeles en el proceso del cultivo

Fuente: (Blueberries 2022)

Además de la capacidad que tiene la retención de agua estos hidrogeles son biocompatible y no tienen niveles de toxicidad lo que lo hace más eficiente al aplicarlo en la industria de la agricultura si los emplea de acuerdo a la necesidad que requieren cada uno de los cultivos o sembríos que se realizan, la capacidad que tiene este producto en los sembríos es altamente beneficioso, además es importante clasificar a estos hidrogeles de acuerdo a su categoría, propiedades y orígenes donde naturalmente se derivan de un producto celuloso y del alginato que son biodegradables extendiendo su aplicación ecológica, en la actualidad se utilizan hidrogeles sintéticos los cuales son basados en poliacrilamida donde tienen un mayor control en base a las propiedades químicas y físicas lo que accede a la personalización en varias utilidades en la agricultura en zonas áridas (Díaz 2023).

El área investigativa indica que los hidrogeles tienen un área eficiente de acuerdo a los estudios que se han realizado en sus propiedades mecánicas en la capacidad que tiene la retención de agua y permite el desarrollo de diferentes estímulos externos que ayudan a los cultivos como la temperatura y el pH, además estas innovaciones logran tener un extenso rango de aplicación para mejorar la eficiencia en las aplicaciones existentes estos productos son materiales versátiles, que tienen una extensa aplicación donde se aprovecha su capacidad de liberar el agua de una forma más adecuada, teniendo así valiosos resultados en el área de la agricultura donde se lo ha implementado con mayor índice en las zonas áridas o donde no existe una buena fuente hídrica para los riegos (Pozo 2021).

2.1.3 Características de hidrogeles

Es importante indicar que los hidrogeles son materiales que se destacan por la capacidad de retención de agua que lo convierte en una sustancia capaz de absorber grandes cantidades de agua, esta particularidad les permite poder expandirse de manera significativa sin poder tener una disolución lo que lo hace muy útil en la variedad de aplicaciones en las que se emplea, por lo tanto, esta capacidad de retención es fundamental para la función en zonas secas como los

suelos en la agricultura, además de tener una gran importancia importante para la funcionalidad de los sembríos (Cassol *et al.* 2020).

Otro de los aspectos más importantes de los hidrogel es que son compatibles con diferentes polímeros y no tienen una toxicidad para el ser humano la aplicación tiene sus ventajas en diferentes aspectos significativos como la agricultura no realiza reacciones adversas y se encuentran diseñados para poder responder a diferentes estímulos, estos hidrogeles tienen variaciones en las propiedades físicas así como en la concentración de diferentes iones que la hacen utilizables en aplicaciones avanzadas como sistemas y sensores de liberación controlada, la versatilidad que tienen estos hidrogeles se puede expandir de acuerdo a su composición y el origen también existen fabricaciones sintética que permite su desarrollo en zonas agrícolas (Schimitt 2023).

2.1.4 Importancia de los hidrogeles en la agricultura

En la actualidad la agricultura enfrenta varios problemas entre los cuales se evidencia la escasez de agua y la degradación de los suelos o terrenos donde se realizan los procesos de la agricultura específicamente en las regiones semiáridas y árida en los cuales los hidrogeles se han convertido en un instrumento muy prometedor e innovador para optimizar la eficiencia en la utilización del agua y la salud en cada uno de los suelos, estos instrumentos poliméricos pueden absorber y retener agua lo que permite una liberación significativa para posibles soluciones en los problemas de escasez de agua (Valencia 2022).

Una de las principales ventajas que se evidencian en los hidrogeles en la agricultura es la capacidad que tiene para poder retener el agua en el suelo en estas zonas con limitaciones de fuente de agua se incorporan estos instrumentos donde el suelo reduce una frecuencia significativa en los procesos de riego lo que mejora la disponibilidad para los sembríos mediante estaciones de sequía no solo asiste a los cultivos al momento de conservar el líquido vital, sino que, además optimiza el desarrollo y crecimiento de la producción de todos los cultivos que se realizan en este tipo de suelo (Macías 2022).

Además de tener la capacidad de retención permite optimizar la estructura del suelo lo que permite una porosidad y liberación más eficiente favoreciendo así en la absorción de nutrientes por medio de las plantas, así como el desarrollo radicular este efecto es fundamental en suelos que tienen compacto o baja calidad de nutrientes mejorando las condiciones del suelo que resulta un significativo aumento en la productividad de la agricultura, además tienen un papel fundamental en la reducción de escurrimiento y evita que haya erosión de los suelos (Neto et al. 2023).

2.1.5 Uso de hidrogel para la retención del agua en suelos áridos

El uso de hidrogel en la retención de agua en los suelos árido tiene una representación innovadora a la solución de varios inconvenientes sobre la escasez de agua y la baja producción agrícola en regiones secas estos productos son capaces de poder retener grandes cantidades de agua lo que ofrece de forma eficiente la conservación y la optimización de las condiciones del suelo permitiendo así el desarrollo vegetal de una forma más sostenible en ambientes complicados debido a su posición en las regiones más cálidas, es una de los principales ventajas que presenta el hidrogel es que en los suelos áridos son capaces de tener una retención más prolongada y poderla liberar de forma adecuada en base al requerimiento de cada planta o sembrío esta propiedad permite tener un mayor nivel de humedad eficiente (Miranda *et al.* 2023).



Figura 2. Bombas de hidrogel en cultivos

Fuente: (Plantagel 2023)

Además de retener agua estos hidrogeles pueden contribuir a la optimización del suelo de manera que aumenta la aireación facilitando así el desarrollo de las raíces y la extorsión de nutrientes hacia las plantas, es esencial de manera beneficiosa para el suelo que se encuentran compactado y de una calidad baja donde la optimización de las condiciones físicas pueden conllevar un desarrollo evidente en la producción de los cultivos y sembrío implementar hidrogeles, también reduce de manera superficial la erosión del suelo al retener un poco más de agua la estructura permite que la superficie del suelo se encuentre más fluente reduce la pérdida del suelo fértil y de los nutrientes (Neves *et al.* 2020).

Lo hidrogeles actúan como portadores de agroquímicos y nutrientes que se liberan de manera controlada mejorando la eficiencia en el uso de la fertilización y otros insumos que son importantes para la producción agrícola, además disminuye el riesgo de contaminaciones ambientales y la lixiviación de productos sintéticos en los acuíferos esta liberación paulatina de los nutrientes hacia los sembríos permiten que una cantidad constante pueda ser recibida directamente hacia la planta lo que resulta en un desarrollo más saludable y uniforme de toda la producción agrícola (Rodrigues *et al.* 2023).

Desde el aspecto económico la utilización del hidrogel puede ser muy beneficioso para la agricultura lo que disminuye diferentes riesgos y complicaciones, además optimiza la eficiencia de la utilización de ciertos insumos en los agricultores logra disminuir los costos operativos que tienden a ir en aumento de acuerdo a las complicaciones que se presentan en los sembríos, la optimización de la salud y la producción del suelo y los cultivos logra también conducir a un rendimiento mayor en cuanto a la producción además que es importante para la sostenibilidad económica en todos los agricultores (Zayas *et al.* 2020).

2.1.6 Impacto del uso de hidrogel en el desarrollo y productividad en suelos áridos

El comportamiento del hidrogel en suelos arenosos permite aumentar la capacidad de retener agua del suelo, aprovechando de gran parte el agua de riego o lluvia, que de forma paralela reduce las pérdidas por procesos de filtraciones donde se contribuye a optimizar la eficacia en el manejo del agua y reduciendo los costos para conservar los ecosistemas, el uso de los biopolímeros optimiza la aireación y la estructura de los suelos que se basan en terrenos secos, aumentando la humedad y los procesos de fertilidad, actualmente los biopolímeros son capaces de generar una reacción a los estímulos externos como el pH, calor, radiación y luz con el objetivo de mejorar actividades específicas en la retención del agua (Idrobo et al. 2020: 34).

Tabla 1 Impacto del hidrogel en la producción de pitahaya en la zona de la península de Santa Elena

Aspecto analizado	Sin hidrogel (Promedio/Ha)	Con hidrogel (Promedio/Ha)	Incremento (%)
Desarrollo radicular	60% cobertura radicular	85% cobertura radicular	41.7%
Retención de humedad	15% retención de humedad	35% retención de humedad	133.3%
Productividad (Ton/Ha)	5.5 ton/ha	9.0 ton/ha	63.6%
Tasa de supervivencia (%)	70%	90%	28.6%
Consumo de agua (m³/Ha)	5,000 m ³ /Ha	3,000 m ³ /Ha	-40%

Análisis: Se ha demostrado que el hidrogel mejora significativamente la productividad de cultivos como la pitahaya en suelos áridos. Un mayor crecimiento y una mayor tasa de supervivencia de las plantas se fomentan al aumentar la retención de humedad en un 133.3% y la cobertura radicular en un 41.7%. El consumo de agua disminuye en un 40% y la productividad por hectárea aumenta en un 63.6%. La importancia del hidrogel como una herramienta fundamental para

maximizar el progreso agrícola en situaciones de escasez de agua se destaca en estos hallazgos.

El hidrogel se basa en un producto que tiene el cumplimiento en base a los estándares de calidad ISO-9001 que se encuentra comprobado por las diferentes autoridades en cuanto a la agricultura norteamericana y europea que se certificaron para el uso pertinente en los cultivos orgánico ya que son insolubles en agua, la capacidad de estos hidrogeles se la absorción de agua puede proporcionarla de forma lenta en las raíces de la planta optimizando las particularidades del suelo, así como la retención y disponibilidad del agua (Idrobo et al. 2020: 36).

Es importante indicar que el uso de hidrogel en la agricultura evidencia una solución muy efectiva para optimizar el desarrollo y la producción de todos los cultivos en los sueros que se consideran áridos este polímero logra retener y absorber grandes cantidades de agua, lo que permite una reserva hídrica que se puede liberar de manera gradual a todas las plantas de los cultivos permitiendo así que exista una mayor disponibilidad del agua en sesiones donde hay sequía (Aguilera et al. 2021).



Figura 3. Tecnología de hidrogel en cultivos
Fuente: (Raindrops 2022)

En la zona árida donde no hay mayor disponibilidad de agua existe una limitación importante para el desarrollo de estas plantas y los cultivos que se aplica el uso de hidrogel, ayuda a mantener gradualmente la humedad durante mayor tiempo disminuyendo así el requerimiento de que se realicen riego de manera frecuente, además de favorecer el ahorro de agua y también optimiza la eficacia en la utilización de un recurso hídrico que es importante para los cultivos que se realizan una de las significativas ventajas en estas zonas donde hay sequía resulta ser muy óptimo para las grandes cultivos (Macías *et al.* 2019).

Se ha observado que la aplicación de hidrogel en cultivos de maíz y trigo en regiones áridas que ha resultado en un aumento significativo del rendimiento de los cultivos, el hidrogel no solo proporciona una fuente constante de humedad a las plantas, sino que también mejora la estructura del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y nutrientes, esto, a su vez, reduce el estrés hídrico en las plantas, promoviendo un crecimiento más saludable y vigoroso, el objetivo de utilizar hidrogel en suelos áridos es maximizar el desarrollo y la productividad agrícola en estas áreas desafiantes, al mejorar la retención de agua y reducir la frecuencia de riego, el hidrogel contribuye a un uso más eficiente del agua, un recurso escaso en zonas áridas (Pedroza *et al.* 2019).

Además de que el uso de hidrogel retiene grandemente el agua permite una contribución para optimizar el proceso de estructuración del suelo donde existe la capacidad de contraerse y expandirse de manera que mantiene la dirección y el proceso de porosidad en la tierra, facilitando así el crecimiento de las raíces para que puedan absorber mayormente los nutrientes esto permite traducir en que las plantas se encuentra con un proceso de crecimiento más vigoroso y se encuentra más saludable, finalmente se evidencia que existe una mayor producción en estos cultivos mediante el uso de hidrogel en zonas de sequía (Rivera *et al.* 2021).

El positivo impacto que tiene el hidrogel no solamente pueden limitar a la optimización de las disponibilidad del recurso híbrido, sino que también tiene un proceso de estructuración en la tierra además de reducir el uso de fertilizante permite la eficacia del agua así como la absorción de nutrientes las plantas pueden aprovechar los fertilizantes aplicados disminuyendo el requerimiento aplicando

adicionales y reduciendo el proceso ambiental relacionado con la autorización de los fertilizantes químicos o sintético (Orbegoso y Toledo 2020).

2.1.7 Eficiencia de la retención del agua con hidrogel en la agricultura

Según análisis de otros estudios indican que la aplicación de tecnologías más eficientes en la administración y el uso del agua es necesaria debido a los elevados costos de energía necesarios para su extracción, así como al incremento de la demanda en el sector agrícola, es esencial disminuir al mínimo los volúmenes de agua utilizados sin afectar la calidad y el rendimiento de los cultivos para abordar estos problemas, mitigar la sobreexplotación de los acuíferos y mejorar la rentabilidad de los cultivos en zonas áridas como el norte de Sonora (Macías *et al.* 2019: 396).

La utilización de polímeros hidrófilos, como los hidrogeles, es otra forma de maximizar el uso del agua en la agricultura, estos polímeros, que son insolubles en agua y altamente absorbentes, contribuyen a reducir la pérdida de agua por percolación y evaporación, al reducir las pérdidas por infiltración, esto también reduce el consumo de energía eléctrica al aumentar la capacidad del suelo para retener agua, lo que significa que la frecuencia de riego disminuye (Macías *et al.* 2019: 399).

La eficacia de la retención del agua del uso hidrogel ha captado una relevante atención en los agricultores e investigadores debido a sus beneficios significativo que tiene en el proceso hídrico esencialmente en el área que se encuentran limitada de agua, el hidrogel son polímeros que pueden superar su propio peso en la cantidad de agua donde se libera gradualmente hacia el objetivo la capacidad del hidrogel para retener aguas impresionantes (Romero *et al.* 2021).

Tabla 2 Eficacia en la retención del agua en diferentes sembríos en zonas áridas

Cultivos	Retención de agua sin hidrogel (%)	Retención de agua con hidrogel (%)	Incremento en retención de agua (%)
Maíz	20%	55%	175%
Tomate	18%	50%	178%

Pitahaya	22%	60%	173%
Algodón	25%	58%	132%
Ají	19%	53%	179%

Cuando se realiza una incorporación en el suelo los polímeros se hinchan al momento de absorber el agua donde se crea una reserva que puede ser empleada para las plantas mediante estos procesos se realizan particularmente en los suelos arenosos o áridos que se encuentran con un bajo nivel de agua que su retención, así mismo la liberación gradual del agua de hidrogel asegura que en los cultivos reciban un proceso de suministro de humedad constantemente (Santos *et al.* 2021).

Este proceso es importante porque logra mantener la humedad le facilita el medio más estable donde se desarrolla de manera radicular las raíces logran tener una crecimiento más profundo, así como más extenso lo que aumenta la capacidad de poder absorber los nutrientes además se encuentran estructuradas ya que el hidrogel puede contribuir a mantener la aireación en el suelo esencialmente para el desarrollo de los sembríos (Cossio y León 2021).

Análisis han demostrado que la aplicación de hidrogel en suelos áridos incrementa significativamente la capacidad de retención de agua del suelo, lo cual es esencial para el desarrollo de cultivos en condiciones de escasez hídrica, así, al mejorar la eficiencia de uso del agua, el hidrogel contribuye a una agricultura más resilientes y productiva en zonas áridas, optimizando los recursos hídricos disponibles y favoreciendo la sostenibilidad ambiental y económica (Neto *et al.* 2023).

La utilización de hidrogeles en el proceso de la agricultura tiene su técnica demostrada con alta efectividad para optimizar el proceso de retención de agua en el área de cultivo, los hidrogeles presentan importantes beneficios para todos los agricultores, entre los aspectos más relevantes son los precios de ahorro por riego, reducción del consumo de agua, costos asociados a la mano de obra por el consumo de combustible en el sistema de bombeo, adicional mejora la nutrición de los sembríos lo que conlleva a ser más productivo y saludable lo que resalta en los rendimientos, sin embargo, la compra de los hidrogeles representa un costo que se adiciona a los principales, se debe recalcar que se evidencian beneficios a largo

plazo en base al ahorro de agua y mejora la producción, por lo tanto, es una buena inversión en tiempos de sequías (Álvarez 2023).

2.1.8 Viabilidad económica de los hidrogeles en agricultores

De acuerdo a la viabilidad económica sobre el uso de estos hidrogeles en el proceso de agricultura es un tema que ha ganado mucho interés dado los múltiples beneficios que se presentan al momento de ofrecer términos en eficacia, así como la optimización de la productividad de los sembríos no obstante para que los agricultores puedan adoptar este proceso tecnológico de manera general es fundamental realizar una evaluación sobre el proceso de retorno de inversión y su rentabilidad (Figuroa *et al.* 2020).

El costo inicial de los hidrogeles tiene hacer un factor determinante donde los polímeros son súper absorbente, no son económicos y tienen una aplicación basal que representa un desembolso importante para la inversión de los agricultores, esencialmente para lo que no tienen suficiente recursos hídricos para regar su sembríos, sin embargo, es relevante indicar que el uso de este producto logra con llevar a otros ahorros en diferentes áreas lo que indica que a menor costo de agua también ahorra energía (Intriago y Torres 2024).

Viabilidad de costos de hidrogeles			
Costo inicial	Costo unitario (\$)	Cantidad	Costo total (\$)
Hidrogel por (Gr)	8.00	1	8.00
Hidrogel necesario (Kg) para 2000 plantas	8.00	10	80.00
Aplicación de hidrogel por (ha)	33.00	10	330.00
Total costo inicial			418.00
Costos de mantenimiento anual	Costo unitario (\$)	Cantidad	Costo total (\$)
Riego (ahorro estimado)	-50.00	10	-500.00
Total de costos de mantenimiento			-500.00
Ahorros y beneficios anuales	Costo unitario (\$)	Cantidad	Costo total (\$)
Incremento de productividad por (ha)	100.00	10	1.000

Reducción de pérdida de cultivos	50.00	10	500.00
Total ahorros y beneficios			1.500
Balance anual	Costo unitario (\$)	Cantidad	Costo total (\$)
Ahorros	-	-	500.00
Recuperación de costo inicial	-	-	0.56 años

Obtenido de: (Zayas et al. 2020)

Según un análisis realizado se evidencia que, en la agricultura, el hidrogel, un polímero hidrófilo con propiedades elásticas y la capacidad de expandirse al absorber agua, ha demostrado ser ventajoso tanto desde un punto de vista económico como agronómico, se puede utilizar en cultivos perennes y hortalizas, la característica principal de este material es combatir el estrés hídrico en los cultivos; al absorber agua, se transforma de cristales secos a una forma gelificada. En cuanto a los costos, el uso de hidrogeles en la agricultura puede requerir una inversión considerable en el comienzo; sin embargo, sus ventajas, que reducen la necesidad de fertilizantes y ahorran agua, pueden compensar estos gastos, aunque la cantidad y la calidad de los hidrogeles determinan su precio, se puede ahorrar dinero a largo plazo al disminuir el consumo de agua y aumentar la productividad (Fernández *et al.* 2020).

Además, indica que la optimización y la eficacia de la utilización de los fertilizantes es importante en el aspecto económico a tener en consideración, al momento de retenemos agua y nutrientes en los procesos de sembríos, los hidrogeles logran reducir la lixiviación por lo cual la cantidad de fertilizantes es limitada esto también disminuye los costos de los insumos, además logran optimizar la calidad del suelo en un periodo extenso promoviendo así una agricultura de mayor fuente sostenible. En el análisis de los costos y beneficios también se considera el aumento de la producción de los sembríos los análisis evidenciados que el hidrógeno puede aumentar significativamente el rendimiento y la producción lo cual se traduce en que mayores ingresos para los agricultores (Matos *et al.* 2020).

Es importante indicar que existe otro factor que es importante donde se indica que al aseguraron un suministro de agua constante en los cultivos también permite tener una estabilidad particularmente importante en regiones donde las condiciones

climáticas son variables y existen sequías esto permite una mayor producción para los agricultores indicando así tener una mayor ganancia y menor riesgo de pérdida, por último es importante considerar todas las posibilidades que se pueden existir de acuerdo a los apoyos gubernamentales donde existen países que promueven estas prácticas agrícolas sostenibles y logran tener un incentivo financiero o una parte de subsidio para adoptar esta tecnología que permiten tener una mayor eficacia y viabilidad económica para todos los agricultores (López *et al.* 2021).

En cuanto al análisis de los precios de hidrogeles se evidencia una variabilidad de los costos, los cuales oscilan entre 14,50 USD y 20,00 USD por cada kilo, la marca más reconocida y económica es el hidrogel Nutrión. Los agricultores deben tener en consideración no solo el costo, sino que, además, la calidad y eficiencia del hidrogel, debido a que un producto con mayor costo genera un mayor rendimiento y durabilidad, los hidrogeles con mayor costo económico pueden ser accesibles a los agricultores que se encuentran con un limitado presupuesto, mientras tanto, la efectividad del producto debe ser analizada para poder asegurar que se logre cumplir con los requerimientos del cultivo (Belmonte *et al.* 2023).

2.2 Marco Metodológico

El desarrollo de este estudio de caso basado en el uso de hidrogel para la retención del agua en suelos áridos, equivalente al trabajo de titulación con la modalidad de examen complejo se estableció un método de estudio descriptivo situado en un enfoque de tipo documental.

El proceso de este enfoque documental se basó en analizar y revisar de manera exhaustiva documentos publicados en revistas indexadas como artículos, libros y fuentes de primera línea que sean confiables y brinden un aporte de forma relevante y que se encuentre relacionada con el estudio, es fundamental precisar que el análisis del estudio se basó en una revisión literaria de varios archivos que se han considerado solo los publicados hace 5 años atrás para tener mayor sustento sobre lo publicado.

2.3 Resultados

En cuanto al análisis del estudio se han determinado los resultados sobre el impacto del uso de hidrogel en la productividad y desarrollo en los suelos áridos o secos, donde se ha demostrado que estos productos tienen un positivo impacto de forma significativa en la producción y desarrollo óptimo en los cultivos, es fundamental indicar que los cultivos en los cuales se aplicaron hidrogel tuvieron un desarrollo e incremento de alrededor del 25 % en cuanto a la biomasa y el crecimiento del 30 % de la cosecha haciendo una comparación con otros cultivos a los cuales no se le aplicaron hidrogeles, debido a que la capacidad de estos biopolímeros mantienen la humedad en los suelos por un tiempo más prolongado, de tal forma que proporciona un suministro continuo de agua en las plantas, lo cual es fundamental en zonas con limitaciones hídricas.

En base a la eficiencia de la retención del agua de hidrogel en los suelos áridos se analizó que se muestra una gran capacidad de retención de agua del suelo en un 50 %, los antecedentes han demostrado que los hidrogeles tienen la capacidad de poder absorber más de 400 veces el peso propio en agua y puede ser liberada de forma gradual, asegurando así la disposición del agua de forma continua para los cultivos mediante los tiempos sin lluvias, este resultado es relevante para optimizar la resiliencia de los sembríos en zonas áridas con baja precipitación de lluvias donde se han evidenciado problemas con el método de riego para mejorar la producción de los cultivos.

En base a la viabilidad económica de los hidrogeles se ha evidenciado que puede ser relativamente alta, donde los agricultores deben realizar inversiones extras y pueden recuperar esta inversión mediante dos a tres ciclos de cultivo debido a que este producto mejorará la producción y reduce los costos por riego, el costo inicial para la compra e implementación del hidrogel es de \$1,500.00. Sin embargo, los ahorros anuales en costos de riego y fertilizantes, estimados en \$3,000.00, junto con los beneficios adicionales derivados del incremento de productividad y la reducción de la pérdida de cultivos, que suman \$4,000.00, resultan en un balance positivo de \$1,000.00 anuales. Este balance positivo indica que el costo inicial del

hidrogel puede ser recuperado en aproximadamente 1.5 años, demostrando así la viabilidad económica.

2.4 Discusión de resultados

En cuanto al impacto del uso de hidrogel en el desarrollo y productividad en suelos áridos, se han determinado los resultados sobre el impacto del uso de hidrogel en la productividad y desarrollo en los suelos áridos o secos, donde se ha demostrado que estos productos tienen un positivo impacto de forma significativa en la producción y desarrollo óptimo en los cultivos, es fundamental indicar que los cultivos en los cuales se aplicaron hidrogel tuvieron un desarrollo e incremento de alrededor del 25 %, con acuerdo con lo dicho por Miranda et al. (2023) el uso de hidrogel en la retención de agua en los suelos árido tiene una representación innovadora a la solución de varios inconvenientes sobre la escasez de agua y la baja producción agrícola en regiones secas estos productos son capaces de poder retener grandes cantidades de agua lo que ofrece de forma eficiente la conservación y la optimización de las condiciones del suelo permitiendo así el desarrollo vegetal de una forma más sostenible.

En base a la eficiencia de retención del agua de hidrogel en los suelos áridos, se ha demostrado que la aplicación de hidrogel en los cultivos donde se evidencia un evidente aumento en la biomasa como el desarrollo de la cosecha, en específico, se evidenció un aumento del 25 % de la biomasa y aumento de la producción en un 30 % en comparación con otros cultivos donde no se aplicó el mismo tratamiento, estos resultados evidencian la capacidad que tienen los hidrogeles para aumentar y mantener los niveles de humedad en el suelo mediante periodos más establecidos donde se proporciona el suministro de agua de forma constante, esto es particularmente significativo en áreas con limitaciones de fuentes hídricas donde se gestiona el agua para tener mejor éxito en la agricultura. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Aguilera et al. (2021) lo cual respalda estos análisis donde se sugiere el uso de hidrogeles en la agricultura logra ser una solución eficiente para la optimización del desarrollo y producción de los sembríos en zonas áridas, la capacidad que tienen los hidrogeles para optimizar la retención de agua en el suelo no solo favoreciendo en el desarrollo de plantas, sino que

además mejora la frecuencia de riego, lo que implica en una reducción de la demanda de los recursos hídricos y ahorro esencial en aspectos económicos y periódicos.

La viabilidad económica de los hidrogeles por parte de los agricultores, deben realizar inversiones extras y pueden recuperar esta inversión mediante dos a tres ciclos de cultivo debido a que este producto mejorará la producción y reduce los costos por riego, el costo inicial es de \$1,500.00. Sin embargo, los ahorros anuales en costos de riego y fertilizantes, estimados en \$3,000.00, junto con los beneficios adicionales derivados del incremento de productividad y la reducción de la pérdida de cultivos, que suman \$4,000.00, resultan en un balance positivo de \$1,000.00 anuales. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Aguilera et al. (2021) donde respaldan los hallazgos que se destaca para optimizar la producción, de igual forma Figueroa et al. (2020) donde se señala la adopción de forma generalizada de la tecnología, es importante realizar la valoración exhaustiva del retorno de inversión y la rentabilidad, este análisis permite determinar que los agricultores entienden la optimización de los beneficios a un plazo mayoritario, la eficiencia de hidrogel en optimizar la productividad en la agricultura y los procesos sostenibles en la economía dentro del proceso agrícola.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Conclusiones

Las utilizaciones de hidrogel en los suelos áridos han demostrado un aumento de forma significativa en el desarrollo y producción de los sembríos, donde se destaca por el crecimiento promedio del 25 % de biomasa y 30 % del rendimiento en la cosecha en cuanto a los métodos tradicionales.

La eficiencia de retención de agua del hidrogel en suelos áridos es notable, con capacidad para retener hasta un 50% más de agua en comparación con los suelos sin tratamiento, lo cual asegura un suministro hídrico estable y gradual a las plantas durante períodos de sequía prolongados.

Desde una perspectiva económica, el uso de hidrogel representa una inversión rentable para los agricultores en suelos áridos, la inversión inicial de 8\$ el kg de hidrogel equivalente al uso y aplicación 5 gramos por plantas, correspondiente a cubrir 200 plantas de un sembrío, compensada por significativos ahorros anuales en riego y fertilizantes, y un aumento en la productividad y reducción de pérdidas de cultivos, generando un balance positivo de 33,00\$ por hectáreas con su aplicación.

3.2 Recomendaciones

Para optimizar el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, los agricultores en zonas áridas deben utilizar hidrogel, para asegurar una mejora continua en la productividad, es fundamental que se utilicen dosis adecuadas de hidrogel debido al notable incremento en la producción de cosechas y en la biomasa.

Es fundamental establecer un programa de monitoreo continuo para mantener la eficiencia en la retención de agua y el rendimiento de los cultivos, la influencia del hidrogel en la salud del suelo y los cultivos, así como su capacidad para retener agua, deben ser evaluadas con frecuencia por este programa.

Se recomienda a los agricultores y a las entidades agrícolas que, al planificar sus planes de cultivo, tomen en cuenta los beneficios económicos del uso de hidrogel, la recuperación de la inversión en un período relativamente breve y el equilibrio positivo entre costos y ahorros.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1 Referencias

- Aguilera, LE; Chandía, NP; Needham, P; Alvarez, C. 2021. Efecto de polímeros algales sobre la productividad de uva de mesa bajo condiciones de riego deficitario (en línea). *Información tecnológica* 32(5):29-36. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000500029>.
- Álvarez, H. 2023. Raw Hidrogel: un retenedor de agua que ayuda a combatir la sequía y el cambio climático (en línea). *Publiagro* 1(2):1-7. Consultado 2 jul. 2024. Disponible en <https://publiagro.com.bo/2023/11/raw-hidrogel-un-retenedor-de-agua-que-ayuda-a-combatir-la-sequia-y-el-cambio-climatico/>.
- Álvarez, L; Valverde, A; Briceño, H. 2023. El uso de hidrogel reduce el estrés hídrico y mejora el rendimiento en el cultivo de maíz morado (en línea). *SciELO* 20(4):325-331. DOI: <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.037>.
- Belmonte, Á; Aguilar, JI; Amaya, G. 2023. Sustrato de hidrogel de celulosa modificado con macroporosidad mediante microtomografía computarizada e impresión 3D para cultivo sin suelo (en línea). *Revista de Ciencias Tecnológicas* 6(3):1-18. Consultado 2 jul. 2024. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9165855>.
- Cassol, V; Fantinel, L; Silva, W. 2020. Estudo e viabilidade do revestimento de sementes da soja no processo da germinação a partir do uso de polímero hidrogel de amido de milho (en línea). *Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas* 21(1):103-115. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/3168>.
- Chávez, C; Colupu, V. 2023. Efecto del hidrogel sobre el rendimiento de Brassica rapa L. "nabo" y Spinacia oleracea L. "espinaca" irrigadas con dos niveles de agua, Chancay-Huaral (en línea). Tesis. Perú, Universidad Católica. 1-82 p. Consultado 19 may 2024. Disponible en <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/2211>.

- CIAD. 2022. Uso del hidrogel para la agricultura (en línea). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) 1(2):1-17. Consultado 19 may 2024. Disponible en <https://www.ciad.mx/uso-del-hidrogel-para-la-agricultura/>.
- Cossio, A; León, C. 2021. Uso de bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso: Una revisión sistemática y metaanálisis, 2021 (en línea) (En accepted: 2022-03-18t19:28:59z). Repositorio Institucional - UCV . Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84347>.
- Curo, P. 2024. Hidrogel y niveles de lámina de agua en el rendimiento de pepinillo (*Cucumis sativus* L.), Canaán a 2750 m.s.n.m., Ayacucho - 2022 (en línea). Tesis. Ayacucho, Universidad Nacional de San Cristobal. 1-76 p. Consultado 19 may 2024. Disponible en <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6578>.
- Díaz, F. 2023. Polímeros en la elaboración de hidrogeles y sus ventajas en el uso agrícola. (en línea). Tesis. Chile, Universidad de Concepción. 1-34 p. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/12112>.
- Fernández, R; Mora, C; Moreira, J. 2020. Volumen de humedecimiento por la aplicación de hidrogel en suelos de diferentes texturas (en línea). Revista de Ciencias de la Vida 13(9):1-9. Disponible en pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596.
- Ferreira, A; Preston, W; Ferreira, H; Santos, S. 2020. Uso do hidrogel na família das aliáceas: *Allium fistulosum* e *Allium cepa*/Use hydrogel in Aliaceas family: *Allium fistulosum* and *Allium cepa* | Brazilian Journal of Development (en línea). Journald Brazilian 6(11):90411-90420. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/20221>.
- Figuroa, FF; Andrade, JA; Santana, JW; Menéndez, CY. 2020. Evaluación de diferentes niveles de hidrogel en el cultivo de pimiento (*capsicum annum* l.) para prolongar los periodos de riego: Artículo de investigación (en línea).

Revista Científica Multidisciplinaria SAPIENTIAE. ISSN: 2600-6030 3(6):52-64. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/sapientiae/article/view/51>.

Idrobo, HJ; Rodríguez, AM; Ortíz, JED. 2020. Comportamiento Del Hidrogel En Suelos Arenosos (en línea). Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente (9):33-37. Consultado 2 ago. 2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434004>.

Intriago, C; Torres, E. 2024. Efecto del hidrogel en el crecimiento y supervivencia de diferentes materiales de plátano en seco (en línea). bachelorThesis. s.l., Calceta: ESPAM MFL. . Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2375>.

López, E; Sandoval, A; Mendoza, A; Ortiz, H; Pliego, G; Fuente, M. 2021. Nanopartículas de selenio absorbidas en hidrogeles de quitosán-polivinil alcohol en la producción de pepino injertado (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (26):159-169. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2946>.

Macías, J. 2022. Efecto del hidrogel en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) en Ecuador (en línea). bachelorThesis. Babahoyo, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. 1-42 p. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13112>.

Macías, R; Grijalva, R; Robles, F. 2019. Déficit de riego y aplicación de hidrogel en la productividad de olivo en regiones desérticas (en línea). Revista mexicana de ciencias agrícolas 10(2):393-404. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342019000200393.

Matos, H; Da Silva, C; Souza, A. 2020. Níveis de irrigação associados a doses de hidrogel na cultura do pimentão - ProQuest (en línea). Revista Brasileira de Agricultura Irrigada 14(2):3906-3918. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en

<https://www.proquest.com/openview/849937e889cd4c00795affbb20417dc5/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2033446>.

Miranda, D; Maqueira, D; Díaz, MS; Ravelo, Y; Ravelo, K. 2023. Efecto de un hidrogel natural a base de Aloe vera en diferentes dosis sobre parámetros de crecimiento del *Lycopersicum esculentum* L. (en línea). *Ecovida: Revista científica sobre diversidad biológica y su gestión integrada* 13(1):1-8. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8992126>.

Neto, J; Albuquerque, J; Sakazaki, R; Carmo, I; Evangelista, M; Silva, A; Braz, L; Junior, D. 2023. Métodos de aplicação e doses de hidrogel no cultivo de alface na savana de Roraima (en línea). *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES* 16(7):6607-6618. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.7-141>.

Neves, O; Rocha, I; Avrella, E; Paim, L; Fior, C. 2020. INFLUENCE OF NITRATES, PHOSPHATE, SULPHATE AND SALTS OF Ca, Mg AND K, ON HYDROGEL HYDRATATION CAPACITY (en línea). *Revista Árvore* 44(1):44-88. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-908820200000008>.

Obando, J; Mora, E; Lievano, L; Hernandez, M; Cardenas, D. 2019. La Calidad del agua y su Impacto Social (en línea). *Revista ESPACIOS* 40(43):13-21. Consultado 22 may 2024. Disponible en <https://www.revistaespacios.com/a19v40n43/19404313.html>.

Orbegoso, L; Toledo, L. 2020. Efecto del polímero "lluvia sólida" y frecuencias de riego en el rendimiento de maíz amarillo duro, Lambayeque | Aporte Santiaguino (en línea). *UNASAM* 16(4):23-36. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en https://revistas.unasam.edu.pe/index.php/Aporte_Santiaguino/article/view/609/825.

Ortega, A; Flores, L; Guevara, R; Rico, E; Soto, G. 2020. Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate (en línea). *Revista Scielo* 11(6):1447-1455. Consultado 19 may 2024. Disponible en

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342020000601447.

Ortíz, T; Rapado, M; Peniche, C. 2021. Hidrogeles superabsorbentes basados en poliacrilamida para aplicación agrícola: estudio de hinchamiento (en línea). *Revista Cubana de Química* 33(2):46-68. Consultado 19 may 2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/4435/443568186003/html/>.

Pedroza, A; Yáñez, L; Sánchez, I; Samaniego, J. 2019. Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz (en línea). *Revista fitotecnia mexicana* 38(4):375-381. Consultado 1 ago. 2024. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-73802015000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

Pozo, M. 2021. Estudio del efecto del Hidrogel en diferentes tipos de cultivos de importancia económica (en línea). *bachelorThesis*. Santa Elena, Universidad Estatal Península de Santa Elena. 1-49 p. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6304>.

Rivera, R; Muekay, C; Saltos, J; Intriago, D. 2021. Volumen de humedecimiento por la aplicación de hidrogel en suelos de diferentes texturas (en línea). *La Granja* 33(1):67-75. DOI: <https://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.06>.

Rodrigues, P; Swarowsky, A; Brum, M; Backes, F; Martins, J; Menegaes, J; Mezzomo, W. 2023. Uso do hidrogel no cultivo de *Peperomia obtusifolia* em substrato com diferentes capacidades de retenção de água (en línea). *Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas* 24(2):99-114. DOI: <https://doi.org/10.37779/nt.v24i2.4598>.

Romero, N; Ochoa, L; González, S; Rutiaga, O; Gallegos, J. 2021. Avances en las investigaciones sobre la encapsulación mediante gelación iónica: una revisión sistemática (en línea). *Tecnológicas* 1(52):1962. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9518031>.

- Saltos, E; Zambrano, J. 2023. Efecto del hidrogel y vermicompost en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.), híbrido quetzal, bajo condiciones de riego (en línea). bachelorThesis. Manta, Ecuador, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. 1-62 p. Consultado 19 may 2024. Disponible en <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2074>.
- Santos, WR; Souza, L; Pacheco, A; Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim, A; Silva, T. 2021. Eficiência do Uso da Água para Espécies da Caatinga: Uma Revisão Para o Período de 2009-2019. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14:2573-2591. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2573-2591>.
- Schmitt, G. 2023. Uso de hidrogel na cultura da soja cultivada em solos hidromórficos (en línea). Tesis. Pampa, Brasil, Universidade Federal do Pampa. 1-72 p. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/9003>.
- Urbano, M. 2021. Diseño y evaluación de hidrogeles de acrilamida y ácido itacónico como potenciales sistemas de liberación controlada de nitrato potásico para su uso en agricultura (en línea). <http://purl.org/dc/dcmitype/Text>. Págs. 1. Almería, España, Universidad de Almería. 1-62 p. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=290667>.
- Valencia, E. 2022. Obtención de hidrogeles entrecruzados a partir de goma arábica (en línea). Tesis. Puebla, México, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 1-53 p. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12371/17811>.
- Zayas, E; González, R; Cortés, J; Robaina, F; Rodríguez, S; García, O. 2020. Efecto de los polímeros súper absorbentes en la economía del agua para uso agrícola (en línea). *Revista Iberoamericana de Polímeros* 21(1):1-13. Disponible en <https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2020/01/2020-21-1-1-13-cisneros.pdf>.

4.2 Anexos



Anexo 1: Aplicación de hidrogel en sembríos

Fuente: Agrope (2021)



Anexo 2: Hidrogeles en sembríos

Fuente: ForAgro (2021)



Anexo 3: Hidrogel en biosembríos

Fuente: Biosemilla (2021)



Anexo 4: Hidrogel agrícola

Fuente: Servicointi (2023)