

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Aplicación del Hidrogel como Retenedores de Agua en la agroforestería

Por:

AMANDA ARACELI GÓMEZ PÉREZ

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Aplicación del Hidrogel como Retenedores de Agua en la Agroforestería

Por:

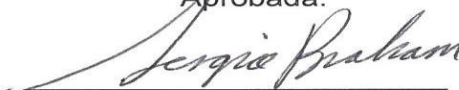
AMANDA ARACELI GÓMEZ PÉREZ

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada:



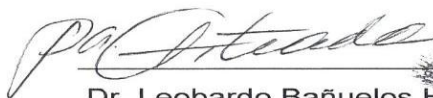
Ing. Sergio Braham Sabag
Asesor Principal



M.C. Melchor García Valdez
Coasesor



Ing. José Antonio Ramírez Díaz
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía
Coordinación
División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2014

DEDICATORIA

CON TODO MI AMOR A MIS PADRES

María Guadalupe Pérez Méndez y Sebastián Gómez Vázquez por haberme dado la vida, quienes han sido fuente de inspiración y fortaleza en los tiempos difíciles, a su enorme esfuerzo realizado y haberme brindado su confianza, así como su comprensión y hacer de mí una persona de bien.

A MIS ADORADOS HERMANOS

Sergio German, Victoria Cruz, Mayra Karina, Erika Daniela, Adalberto Galileo y mi hermanito más pequeño Leonardo Daniel, Por su compañía, apoyo incondicional, por todos los momentos felices que pasamos y por todo su cariño que me dieron. En especial a mis hermanos M.C Sergio German Gómez Pérez, Ing. Victoria Cruz Gómez Pérez y Lic. Mayra Karina Gómez Pérez, estoy muy agradecida por el tiempo que me ayudaron económicamente en la universidad y por haberme brindado sus sabios consejos.

A MIS TIOS Y PRIMOS

Por sus consejos que me guiaron por el buen camino y por todos sus consejos que me inspiraron a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la dicha de ser parte de este mundo, el cual me ha permitido tener triunfos y levantarme de derrotas que han dejado huellas, y por la gracia de sabiduría en mi camino, por su amor bondadoso y paciencia que me ha tenido durante todo el tiempo, me ha guiado encontrar el camino correcto logrando mi sueño anhelado.

A mi universidad *Alma Terra Mater* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por su hospitalidad que me hizo sentir como en casa y darme la oportunidad de capacitarme dentro de la carrera de Ingeniero Forestal.

Al Ing. Sergio Braham Sabag por su valioso apoyo incondicional, por tenerme paciencia, por su disponibilidad del tiempo en su asesoría, y por compartir conmigo sus conocimientos en esta monografía.

Al M.C. Melchor García Valdez por su valioso tiempo y disposición en la realización de este trabajo en la revisión de literatura y comentarios de esta monografía y por compartir conmigo sus valiosos conocimientos.

Al ing. José Antonio Ramírez Díaz por su amabilidad, disponibilidad, consejos, apoyo incondicional y por compartir conmigo sus conocimientos en esta monografía.

A mis queridas amigas “Las lobas” Leydi, Normita, Paola, Marlene, Gemita, Olguita, Candy por haberme ayudado y brindado su amistad y apoyo incondicional durante mi carrera.

A mi amigo Carlos Alejandro por dedicarme tiempo y tenerme paciencia durante este semestre de titulación, por motivarme espiritualmente para salir adelante.

Por mis amigos José, Abraham y Osiel Rico, por brindarme su apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento en las buenas y en las malas, por

compartirme su valioso tiempo y darme sabios consejos que me han motivado ser mejor persona.

Por mis amigos Milesio de León, Ronaid de Jesús Fermín Raya, Gerardo Cerón, Jorge Olmedo, Antonio García, Fernando Luna, Nancy Herrera, Nico Avendaño, Juan Francisco, Juan Fernando, con los que he platicado y me han brindado su amistad durante el tiempo que los he tratado.

A mis amigos de la generación Sintia, Leydi, Alba Pantoja, Filiberto, Yesica, Pamela, Sergio, Evelio, Néstor, Hernán, Maximiliano, Víctor Rivas, Erik, Emanuel Domínguez, Ángeles y a mis demás compañeros de la generación.

Al M.C Sergio Sánchez Martínez por darme la oportunidad de compartir su conocimiento, su amistad y todos los momentos alegres que pasamos dentro la universidad.

A los profesores del Departamento forestal por compartir sus conocimientos y habilidades de estudios y formación académica.

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
I INTRODUCCION	1
1.1 Importancia del estudio.....	1
1.2 Justificación del estudio monográfico	2
1.3 Objetivos generales	2
1.4 Antecedentes.....	3
II REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Definición del hidrogel.....	4
2.2 ¿De qué está compuesto el hidrogel?	4
2.3 Propiedad característica del hidrogel.....	5
2.3.1 ¿Qué son los polímeros?	9
2.3.2 ¿Cómo se obtiene el hidrogel?	10
2.3.3 ¿Cómo se le conoce el hidrogel?	11
2.3.4 Capacidad de retención de agua del hidrogel	12
2.3.5 Propiedades de los Cristales de hidrogel	13
2.4 Cristales del hidrogel mejora las características del suelo para el desarrollo de las plantas	15
2.4.1 Tipos de hidrogel para forestería y agricultura en general	16
2.5 Ventajas generales del hidrogel.....	19
2.6 Aplicación del hidrogel en cultivos agrícolas, cítricos y frutícolas	20
2.6.1 Método húmedo	20
2.6.2 Método seco.....	20
2.6.3 Aplicación de hidrogel en el establecimiento de plantaciones forestales	21
2.6.4 Dosificación Aplicación producto Seco.....	21
2.6.5 Dosificación Aplicación producto hidratado.....	22
2.6.6 Método húmedo	22
2.6.7 Método seco.....	22
2.7 Utilización de los polímeros para mejorar la producción del país	22
2.7.1 Propiedades de un sustrato para el desarrollo de plantas	23
2.8 Aplicación del hidrogel en la agroforestería	23

2.8.1 El hidrogel en la producción agrícola	24
2.8.1.2 Estudio del hidrogel en Bouteloua eriopoda	25
2.8.2 El hidrogel en el manejo de plantación.....	26
2.8.3 Estudios de hidrogel en el desarrollo de plantas forestales	26
2.8.4 Estudios de hidrogel en la producción agrícola y hortalizas.....	31
2.8.4.1 Estudio de Terra-Sorb en el cultivo de papa.....	32
2.8.4.2 El hidrogel en estudios de germinación de tomates	32
2.8.4.3 El hidrogel en un estudio de rábano	33
2.9 El hidrogel aprovecha los recursos del suelo.....	34
III CONCLUSIÓN	36
IV RECOMENDACIONES	37
V LITERATURA CITADA.....	38

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estructuras químicas de los componentes de la polimerización: monómeros, iniciador y agente entrecruzante (Rojas <i>et al.</i> , 2007).....	7
Tabla 2. Aplicaciones del hidrogel en el campo (Acua-gel 2010).....	20

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama decopolimerización del hidrogel (Tornado, 2012).	5
Figura 2. Fórmula general	5
Figura 3. Hidrogel WATER SABER. Imagen http://www.infoagro.com/	6
Figura 4. Hinchamiento de distintos hidrogeles en agua como función del tiempo y la cantidad de agentesentrecruzante: a) grupo A y b) grupo B (Katime <i>et al.</i> , 2004).	6
Figura 5. Imagen del hidrogel seco y con agua.....	7
Figura 6. El hidrogel absorbe el agua y los nutrientes proporcionándolos a las raíces de la planta (Estrada, 2012)	8
Figura 7. Polímeros por su capacidad y absorción de humedad. Disponible en la página web: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/medicina/principal.htm	9
Figura 8. El hidrogel tiene la propiedad de hincharse. Disponible en: http://red-crucero.com/2011/06/la-magia-del-agua-en-gel-un-diputado-lleva-el-experimento-a-la-tierra-agobiada/	10
Figura 9. Favorece el crecimiento de las plantas. Fotografía por MF Rural. Disponible en la página web: http://comprar-vender.mfrural.com.br/detalhe/gel-hidrogel-condicionador-de-solo-e-absorvente-de-agua-143776.aspx	11
Figura 10. Fotografía por Anuncios. Disponible en la página web: http://monterrey.anunciosya.com.mx/hidrogel-barato-en-monterrey-TB26	12
Figura 11. Diagrama de polímeros. Terminología relacionada con la electroforesis. Disponible en: http://biomodel.uah.es/lab/sds-page/electro_def.html	14
Figura 12. Crecimiento de la raíz en la etapa de germinación (INFOJARDIN, 2004).Disponible en la Página: http://foroantiguo.infojardin.com/showthread.php?t=144544&page=2	14
Figura 13. DISTECNOWEB.COM (2014), muestra cómo se debe aplicar el hidrogel en el suelo, para disminuir la frecuencia de riego.	17
Figura 14. Tipo de hidrogeles para forestales y agricultura general (Agrogel Chile, 2009).	18
Figura 15. Imágenes retenedores de agua (Agrogel Chile, 2009).	18
Figura 16. Hidrogel absorbe los nutrientes de las plantas, para la agricultura, invernaderos y viveros del sector forestal y la arquitectura paisajista y maceta. Disponible en la página web: http://www.hidrogel.com.mx/	19

Figura 17. Lanza de inyección y compresor. Revista Actualidad del Campo Agropecuario 2013. Disponible en la página web: http://issuu.com/adca/docs/campo_149_noviembre13	21
Figura 18. Ensayos con tubos PVC (Lucero <i>et al.</i> , 2012).....	25

RESUMEN

El objetivo de esta monografía fue recopilar la información necesaria para aplicar la tecnología encontrada del hidrogel en los ámbitos forestales y agrícolas, sobre todo porque los suelos de México del territorio nacional presenta algún tipo de degradación, principalmente por el cambio de uso del suelo destinados a actividades como la agricultura, la ganadería y la deforestación (SEMARNAT, 2004). A partir de la problemática el Gobierno Federal desarrolla e impulsa estrategias y líneas de acción orientadas a favorecer las actividades de protección, conservación, restauración y aprovechamientos sustentables de los recursos forestales a través del establecimiento de plantaciones forestales en las zonas con mayor potencial agroecológico y viabilidad económica y social (CONAFOR, 2013). Es por eso, que surge la necesidad de producir plantas, pero la disposición del recurso hídrico en los procesos de producción son considerados como críticos por la baja precipitación de lluvias (Doane, 1984). Sin embargo la tecnología moderna y el desarrollo de la tecnología agrícola que demandan un sustrato adecuado y acorde al sistema de producción seleccionado hidropónica o viverística (Pastor, 1999). Siendo la hidroponía una alternativa para la agroindustria mexicana (Rodríguez, 2012). En la actualidad está cobrando interés el empleo de hidrogeles poliméricos en el campo de la agroforestal, debido a que esos materiales de hidrogel al mezclar con el suelo se logra aprovechar mejor el agua de lluvia o riego, estos factores son suficientes para mejorar la actividad biológica del suelo (Ramos *et al.*, 2009). El hidrogel por ser polímero sintético y por su capacidad de absorción de agua, minimiza costos relacionados con el riego y maximiza el potencial productivo de las plantas (Terra-sorb, 1998). Su aplicación en la agricultura, invernaderos y viveros, el sector forestal y la arquitectura paisajista puede reducir el uso de agua hasta más del 50% (Plantamejor, 2013).

Palabras clave: Monografía, hidrogel, viverística, plantaciones, sector forestal y agricultura.

I INTRODUCCION

1.1 Importancia del estudio

En México existen 25 de las 28 unidades de suelo reconocidas por la FAO, la UNESCO la ISRIC en 1988 (GEO México 2004), Sin embargo, muchos de los suelos de México son poco adecuados para la explotación y muy proclives a la erosión. Según cifras de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales a través del inventario nacional de suelos se estima que el 45 % (89 millones de hectáreas) del territorio nacional presenta algún tipo de degradación, principalmente por el cambio de uso del suelo destinados a actividades como la agricultura, la ganadería y la deforestación (SEMARNAT, 2004).

México ocupa uno de los primeros lugares en tasas de deforestación en el mundo. A partir de la problemática el Gobierno Federal desarrolla e impulsa estrategias y líneas de acción orientadas a favorecer las actividades de protección, conservación, restauración y aprovechamientos sustentables de los recursos forestales a través del establecimiento de plantaciones forestales en las zonas con mayor potencial agroecológico y viabilidad económica y social (CONAFOR, 2013).

La disponibilidad del recurso hídrico en los procesos de producción agroforestales (Agricultura y plantaciones forestales) debe ser considerado como crítico ya que, durante el mismo las plantas, para rendir cosechas altas u óptimas, o para que se establezcan en las plantaciones forestales, necesitan una aportación constante de agua, fácilmente disponible en la rizófora (UNAD, 2009)

Para disminuir los efectos negativos que podrían causar la escasa disponibilidad del agua en zonas con baja precipitación y/o las sequias que se presentan a veces muy prolongadas, la utilización de los retenedores de agua (hidrogel) en las plantaciones y en las prácticas agrícolas se considera una herramienta muy útil que en los últimos años se está intensificando (Doane, 1984).

La hidroponía es una alternativa para la agroindustria mexicana. Permite obtener altos rendimientos con 60% menos agua en comparación con el esquema a cielo abierto (Rodríguez, 2012)

El desarrollo de la tecnología agrícola, basada primordialmente en el uso eficiente de los recursos naturales, investiga y propone las mejores alternativas viables para la producción de cultivos. Tal es el caso de los productores agrícolas, forestales y ornamentales que demandan un sustrato adecuado y acorde al sistema de producción seleccionado (hidropónica o viverística). En consecuencia, el mercado actual ofrece una diversidad de estos materiales de hidrogeles como Acuagel, Agrogel, WATER SAVER™, *Hidrokkeper*, Agrogel agrícola, Súper Absorbent Polymer (SAP), hidrogel STOCKOSORB, los cuales presentan propiedades físicas, químicas y biológicas propias para un buen desarrollo de las plantas (Pastor, 1999).

1.2 Justificación del estudio monográfico

La recopilación de la información de los usos que se le han dado al hidrogel y de los trabajos de investigación que han derivado en la aplicación de este, en los ámbitos forestales, agrícolas y otros, ayudaría a crear un banco de datos que serviría de guía al público, para que pueda reconocer el uso del hidrogel en la reserva de humedad que ayudaría al crecimiento y desarrollo exitoso de las plantas.

1.3 Objetivos generales

Disponer de la información de los diferentes resultados de investigación necesaria para aplicar la tecnología encontrada del hidrogel en los ámbitos forestales y agrícolas.

1.4 Antecedentes

Doane (1984) y sus colegas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos inventaron la familia de productos químicos en la década de 1970 y DAEU tiene la patente básica de los súper absorbentes. Menciona también, que los súper absorbentes más utilizados son polímeros del ácido acrílico entrecruzado y copolímeros de este ácido con almidón, en forma de sales sódicas (poliacrilato de sodio), que han demostrado ser eficaces y beneficiosas para las plantas y deben ser considerados para su uso en la agricultura.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Definición del hidrogel

Katime et al (2004), define a un gel como una red tridimensional de cadenas flexibles, constituidas por segmentos conectados de una determinada manera e hinchada por un líquido. También menciona que si el líquido que solvata las cadenas es orgánico recibe el nombre de organogel, mientras que si el responsable de la solvatación es el agua, entonces se denomina hidrogel. En la actualidad existen dos tipos de geles, en función de la naturaleza de las uniones de la red tridimensional que los constituyen físicos y químicos.

El término hidrogel se utiliza para denominar a un tipo de material de base polimérica caracterizado por su extraordinaria capacidad para absorber agua y diferentes fluidos (Escobar *et al.*, 2002).

Los materiales denominados como hidrogeles son polímeros hidroabsorbentes que tienen la capacidad de absorber y ceder grandes cantidades de agua y otras disoluciones acuosas sin disolverse. Dicho proceso ocurre a distintas velocidades de acuerdo al grado de polimerización del monómero constituyente (Estrada, 2012).

2.2 ¿De qué está compuesto el hidrogel?

Cerdeira et al (2000), señalan que el hidrogel es un polímero que está compuesto por sustancias en estado coloidal con apariencia sólida como la albúmina, coagulada por el calor o el colágeno gelificado por enfriamiento.

Escobar et al (2002), menciona que la hidrofilia de estos geles es debido a grupos como: -OH, -COOH, -CONH₂, y -SO₃H.

Wichterle O., (1960) menciona que los hidrogeles son materiales poliméricos que se hinchan con el agua y mantienen una estructura tridimensional distinta.

Tornado (2012), menciona que el Hidrogel está compuesto por una gama de polímeros aniónicos de poliacrilamida súper absorbentes. Son copolímeros reticulados de acrilato de potasio y acrilamida, que son insolubles en agua.

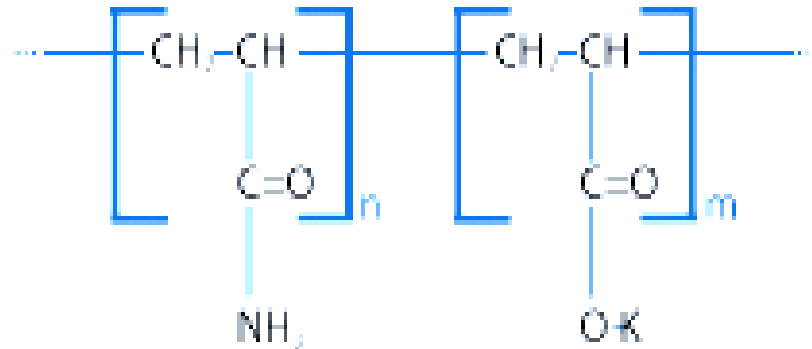


Figura 1. Diagrama de copolimerización del hidrogel (Tornado, 2012).

Sánchez et al (2012) mencionan que el hidrogel con características estructurales y de viscoelasticidad, son adecuados como sistemas para aplicaciones tanto biomédicas como no biomédicas. En una realización particular, el agente reticulante es una amina de fórmula general:



Figura 2. Fórmula general

2.3 Propiedad característica del hidrogel

Una propiedad característica del hidrogel es la capacidad de hincharse y aumentar su volumen por absorción de agua y sustancias disueltas en ella, cuando entra en contacto con el agua, forma polímeros entrecruzados con una estructura 3D (Cerqueira *et al.*, 2000).



Figura 3. Hidrogel WATER SABER. Imagen <http://www.infoagro.com/>

En la siguiente figura, se observa que el hinchamiento máximo se alcanza en todos los casos alrededor de las 30 horas y que en ambas series al aumentar la cantidad de agente entrecruzante, la capacidad de hinchamiento disminuye, lo cual es de esperarse ya que se forma una red más cerrada (Katime *et al.*, 2004).

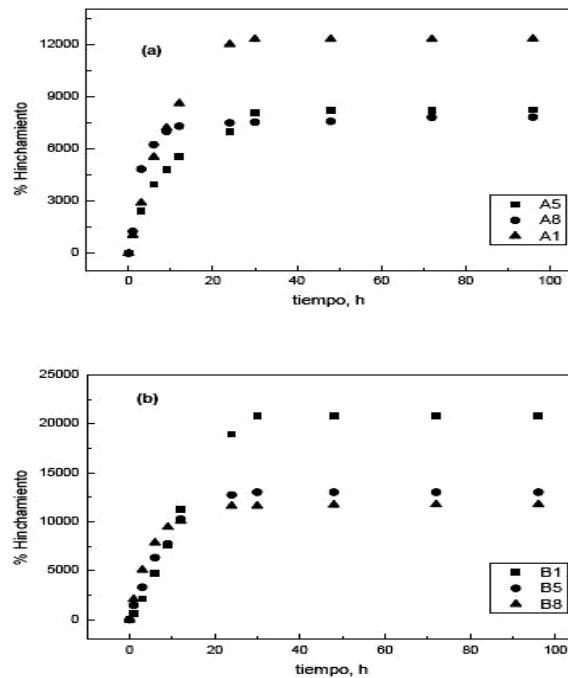


Figura 4. Hinchamiento de distintos hidrogel en agua como función del tiempo y la cantidad de agentes entrecruzante: a) grupo A y b) grupo B (Katime *et al.*, 2004).

Soler y Rodríguez (2010), Mencionan que el Hinchamiento del hidrogel se manifiesta debido a las estructuras reticuladas en agua o en fluidos biológicos que contienen agua.

Tabla 1. Estructuras químicas de los componentes de la polimerización: monómeros, iniciador y agente entrecruzante (Rojas *et al.*, 2007).

	Componente	Fórmula	Abreviatura
Monómeros	Acrilamida	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CONH}_2$	AAm
	Ácido maleico	$\text{COOHCH}=\text{CHCOOH}$	AM
	Ácido acrílico	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$	AAc
	Octiléster del ácido 2-metilenbutanodioico (monoitaconato de octilo)	$\begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2=\text{C} \\ \\ \text{CH}_2-\text{COO}(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3 \end{array}$	MI-8
Iniciador	Persulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2 \text{S}_2 \text{O}_8$	PSA
Agente entrecruzante	N,N'-metilenbisacrilamida	$\begin{array}{c} \text{O} \qquad \qquad \text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{HC}-\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{C}-\text{CH} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \\ \text{CH}_2 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{CH}_2 \end{array}$	MBAAm

El hidrogel son polímeros hidrófilos, reticulados, insolubles y tienen la capacidad para retener el agua, muchas veces el doble de su propio peso en función de su estructura, también tienen la capacidad de liberar el agua absorbida en el medio ambiente (Akelah, 2013).

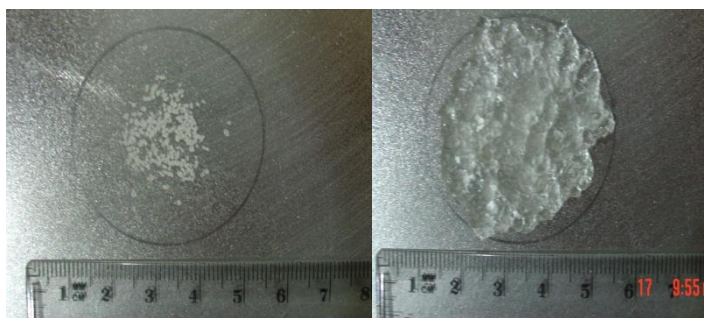


Figura 5. Imagen del hidrogel seco y con agua.

El hidrogel es un retenedor de agua que, cuando se incorpora en un suelo o un sustrato, absorbe y retiene grandes cantidades de agua y nutrientes si estos son solubles. A diferencia de la mayoría de los productos a los que se hidratan, el hidrogel tiene la propiedad de absorber el agua y nutrientes, que permite que la planta disponga de estos a voluntad, en función de los ciclos de absorción-liberación (Tornado, 2012).

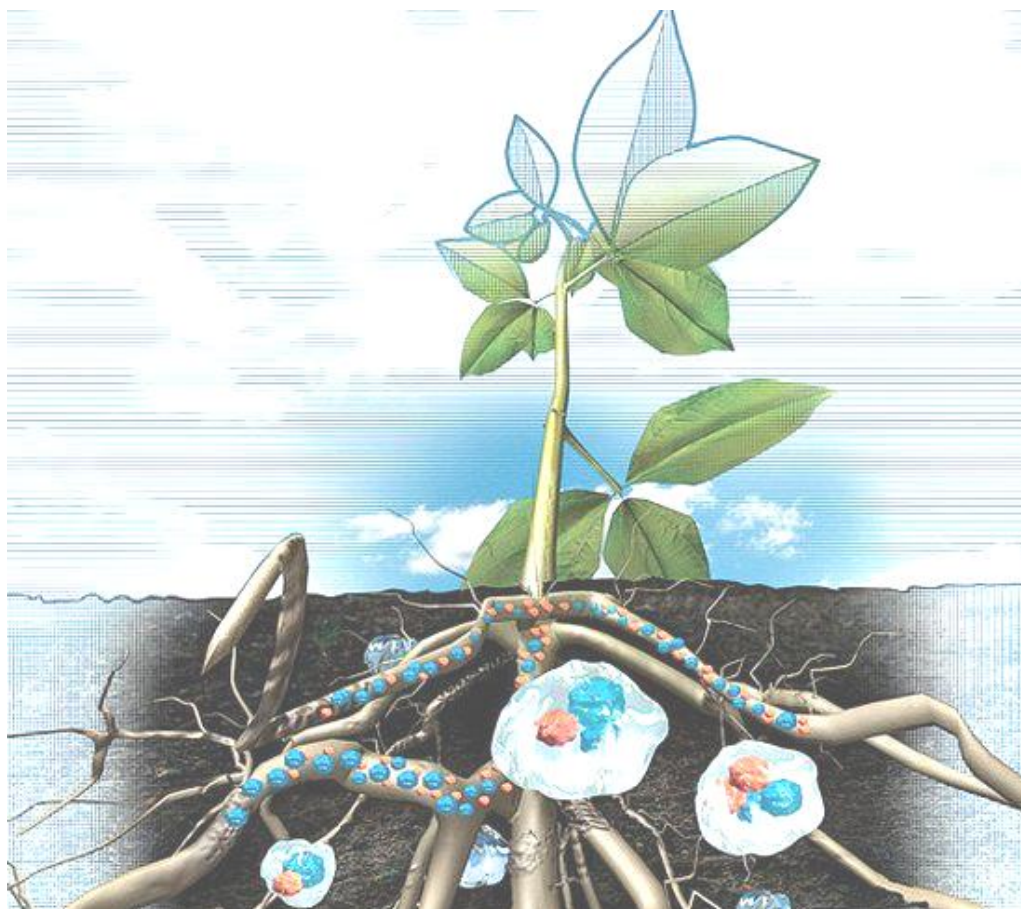


Figura 6. El hidrogel absorbe el agua y los nutrientes proporcionándolos a las raíces de la planta (Estrada, 2012)

Ramos *et al* (2009), mencionan que el hidrogel se utiliza para aumentar la capacidad de retención de agua del suelo y para espaciar las frecuencias de riego. El hidrogel no tiene efectos sobre las características físicas del agua ni sobre la porosidad total del suelo, pero sí sobre la retención de agua (aumentándola) y la capacidad de aireación (disminuyéndola). Absorben agua durante el riego y la liberan a medida que el suelo se seca alrededor del polímero, constituyendo una reserva hídrica que permite aprovechar mejor el agua de lluvia y disminuir las frecuencias de riego.

2.3.1 ¿Qué son los polímeros?

Los polímeros son moléculas compuestas de unidades ligadas para formar largas cadenas. Un polímero simple se compone solamente de un tipo de unidades estructurales se llama homopolímero. A medida que más unidades estructurales, los monómeros están involucrados en la formación de la cadena, el polímero se vuelve más complejo y se forma un copolímero (Acuagel, 2011).

Palencia (2013), señala que el almidón, la celulosa, la seda y el ADN son ejemplos de polímeros naturales y entre los polímeros sintéticos encontramos el nailon, el polietileno y la baquelita.

Los organismos vivos sintetizan algunas de estas macromoléculas, por ejemplo: el colágeno es una proteína presente en los cartílagos y la albúmina está en la clara de huevo; en la familia de los glúcidos, se encuentra el almidón, presente en muchos vegetales como la papa, otro ejemplo de un polímero súper absorbente es el Poliacrilato de Sodio (Cerdeira *et al.*, 2000).

Ramos et al (2009) mencionan que los distintos polímeros se distinguen por su capacidad de absorción de agua (que puede llegar a 1.500 veces su peso), tamaño y su distribución de partículas (suelen variar entre 75 micras y 4 mm). La interacción entre la matriz sólida y el líquido determina las propiedades del gel, estas se ven modificadas por una serie de factores, como son: temperatura, alteraciones de la composición, pH (intensidad iónica del solvente) o por un campo eléctrico.

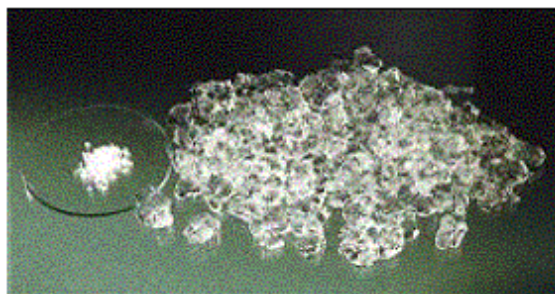


Figura 7. Polímeros por su capacidad y absorción de humedad. Disponible en la página web: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/medicina/principal.htm>

2.3.2 ¿Cómo se obtiene el hidrogel?

El hidrogel se obtiene mediante polimerización y entrecruzamiento simultáneo de uno o varios monómeros mono o polifuncionales. Las características de estos monómeros y del agente entrecruzante, así como el grado de entrecruzamiento, determinan las propiedades mecánicas y de hinchamiento del gel y por lo tanto, su aplicabilidad (Machín, 2010).

Un gel se define como una red tridimensional de cadenas flexibles, constituida por segmentos conectados de una determinada, se hinchan en contacto con el agua formando materiales blandos y elásticos, y que retienen una fracción significativa de la misma en su estructura sin disolverse (Palencia, 2013).

Akelah (2013), menciona que el gel químico es una estructura de red formado por covalente vínculos entre las cadenas de polímeros, materiales químicamente reticulados se forman por copolimerización y tienen la propiedad de hincharse con algún líquido.



Figura 8. El hidrogel tiene la propiedad de hincharse. Disponible en: <http://red-crucero.com/2011/06/magia-del-agua-en-gel-un-diputado-lleva-el-experimento-a-la-tierra-agobiada/>

Rodríguez (2012), habla sobre un estudio por Rodolfo Estrada, investigador del Departamento de Física y Matemáticas de la Universidad Iberoamericana menciona que el hidrogel que está hecho a base de gretina natural y ácido poliacrílico biodegradable, ya que está hecho a base de gretina natural (que es una proteína) en vez de polímeros.

2.3.3 ¿Cómo se le conoce el hidrogel?

Gonzales (2011), menciona que el hidrogel también es llamado, suelo cristalino, perlas de gel o gel para plantas.

Tornado (2012), también menciona que el hidrogel es conocido como silos de agua, es un retenedor de humedad que cuando se incorpora en un suelo o un sustrato, absorbe y retiene grandes cantidades de humedad y nutrientes si estos son solubles.

El hidrogel, también se les conoce con el nombre de “retenedor de agua” o “hidroretenedor”, son polímeros que tienen la capacidad de absorber y ceder grandes cantidades de agua y otras soluciones acuosas sin disolverse, cuyo uso extensivo en huertos, jardines y contenedores ayuda a mejorar la capacidad de retención de agua en el suelo, favoreciendo el crecimiento de las plantas (Flor de planta, 2014).



Figura 9. Favorece el crecimiento de las plantas. Fotografía por MF Rural. Disponible en la página web: <http://comprar-vender.mfrural.com.br/detalhe/gel-hidrogel-condicionador-de-solo-e-absorvente-de-agua-143776.aspx>

Agrogel Chile (2009) menciona que el hidrogel son polímeros sintéticos, comúnmente llamados superabsorbentes, por su alta capacidad de retención hídrica. También menciona que el hidrogel es conocido como Crystal Soil y en español cristal del suelo. Además se le conoce como Súper Absorbente (SAP: abreviatura de sus siglas en inglés, Súper Absorbent Polymer).

2.3.4 Capacidad de retención de agua del hidrogel

Se dice que un kilo de hidrogel puede contener entre "330 y 440" litros de agua (Gonzales, 2011).



Figura 10. Fotografía por Anuncios. Disponible en la página web:
<http://monterrey.anunciosya.com.mx/hidrogel-barato-en-monterrey-TB26>

Tornado (2012), menciona que el hidrogel al entrar en contacto con el agua comienza su absorción del vital líquido hasta 200 litros de agua por cada kilo (dependiendo la pureza de esta). Cuando en la tierra se empieza a perder humedad, el hidrogel comienza a liberar agua, de acuerdo a las necesidades de la raíz, manteniéndola siempre hidratada, esto sucede en todo tipo de plantas, permitiendo un importante ahorro de agua y una menor frecuencia de riego.

Los polímeros de hidrogel son capaces de absorber el equivalente a 100% de su peso de agua. Cuando los hidrogeles se modifican con nanotubos de carbono presentan mayor capacidad de absorción de agua comparados con los hidrogeles a los que no se les incorporó nanotubos de carbono este obtuvo un peso equivalente de hasta un 300% de su peso seco. El hidrogel sin nanotubos de carbono pierden agua de manera proporcional al tiempo de secado, en cambio, los hidrogeles modificados con nanotubos de carbono pierden agua de acuerdo a una función cuadrática del tiempo de secado (Estrada *et al.*, 2010).

Rodríguez (2012), menciona que un hidrogel es capaz de absorber lo doble de su peso en agua puede ayudar a los agricultores mexicanos a mantener la humedad de sus cosechas y a hacer más eficiente el consumo de agua, Cada árbol requiere un kilo de producto.

El hidrogel tiene aplicación en la agricultura, invernaderos y viveros, el sector forestal y la arquitectura paisajista puede reducir el uso de agua hasta en más del 50% (Planta mejor, 2013).

2.3.5 Propiedades de los Cristales de hidrogel

Cerdeira *et al* (2000), señalan que los cristales de hidrogel absorbe agua cientos de veces su peso. Tiene la capacidad de retener agua (Soler y Rodríguez, 2010). Y mantiene la forma de hinchamiento (Felinto, 2007).

El hidrogel tiene la propiedad de presentarse en forma de cristales o gránulos sólidos cuando están secos, que al momento de ser mojados se hinchan y adquieren un aspecto gelatinoso. Hay que tener en cuenta que el tamaño de esas moléculas influirá en la liberación del agua (Flor de Planta, 2014).

Ortiz *et al* (2006) definen el hidrogel con propiedad de absorber grandes cantidades de disolvente causando cambios macroscópicos en las dimensiones del polímero. La propiedad más importante que presentan los hidrogeles es su grado de hinchamiento, además de su capacidad de absorción, su permeabilidad para disolver

diferentes solutos, entre otras. El hidrogel está formada por una red de polímeros constituyente como se muestra en la siguiente imagen:

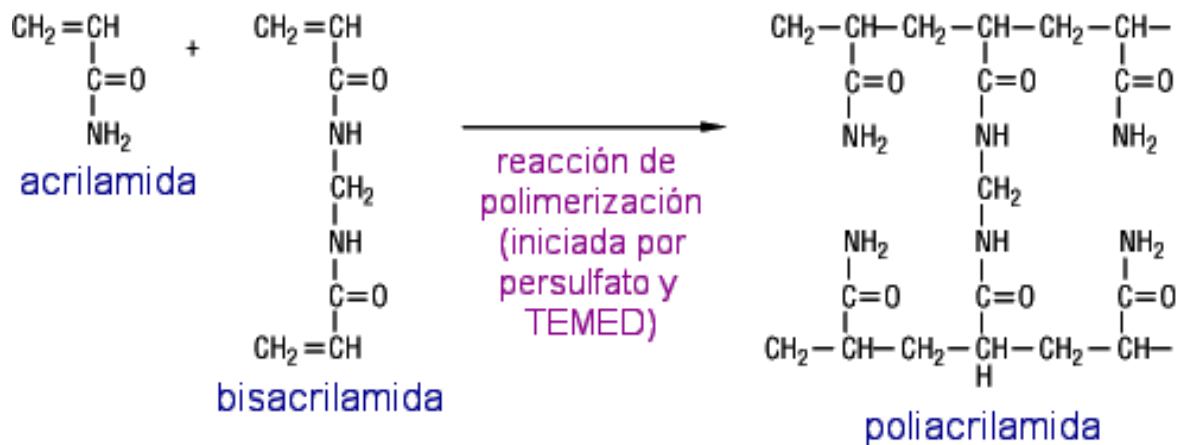


Figura 11. Diagrama de polímeros. Terminología relacionada con la electroforesis. Disponible en: http://biomodel.uah.es/lab/sds-page/electro_def.html

El hidrogel puede usarse como único sustrato para el crecimiento de las raíces en la etapa de germinación (Rubira, 2013).



Figura 12. Crecimiento de la raíz en la etapa de germinación (INFOJARDIN, 2004). Disponible en la Página: <http://foroantiguo.infojardin.com/showthread.php?t=144544&page=2>

Algunas otra propiedades es que absorbe con mayor facilidad los fertilizantes solubles y los libera paulatinamente, y mejora el drenaje (González, 2011).

2.4 Cristales del hidrogel mejora las características del suelo para el desarrollo de las plantas

Los cristales del hidrogel mejoran la retención y disponibilidad de agua, la infiltración, aireación, reduce la compactación y mejora la calidad del sustrato (Cerdeira *et al* 2000).

El Hidrogel mejora las características del suelo, como son la retención y la disponibilidad del agua, la aireación y la descompactación (Plantamejor, 2013).

Una mezcla de hidrogel con suelo logra aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por filtración, y también se consigue disminuir su evaporación, estos factores son suficientes para mejorar la actividad biológica y aumentar la producción del suelo. Además, la utilización de polímeros mejora la estructura del suelo y de la aireación del mismo (Ramos *et al.*, 2009).

Se establece la opción de los hidrogeles como alternativa válida para la conservación de recursos hídricos del suelo y disminuye el consumo de agua (Barón *et al.*, 2007).

Un Hidrogel tiene la propiedad de absorber agua cientos de veces su peso y la proporciona paulatinamente a las raíces de todo tipo de plantas además mejora las características del suelo, reduce la falta de hierro, mejora el contenido bacteriano y de microflora del suelo, adecuando las condiciones del desarrollo de las plantas (Acuagel, 2011).

Los hidroabsorbentes tienen la capacidad de absorber agua y la va liberando paulatinamente a las raíces de todo tipo de plantas a medida que la humedad del sustrato va disminuyendo. De esta forma, los hidrogeles no sólo contribuyen a reducir el uso del agua de riego hasta la mitad de lo habitual, sino que también ayudan a mejorar las características del suelo, como son la retención y disponibilidad de humedad, la aireación, y la descompactación, son capaces de retener los nutrientes que se encuentran en el sustrato y que de otra forma se perderían al ser arrastrados por el agua de riego sobrante (Flor de Planta, 2014).

El hidrogel tiene mejores aplicaciones es en la agricultura ya que más de 90 % de la humedad es absorbida por este material dejándola disponible para la planta. El agua se va proporcionando lentamente a la planta, el hidrogel separa las partículas del suelo, abriendo y des compactando el suelo o materia nutritiva en la que crece la planta, el tamaño de las partículas del suelo determina la cantidad de agua que se retiene: las partículas más pequeñas tienen mayor capacidad de atracción y retención de agua, por lo tanto mientras más pequeño sea el tamaño de las partículas más fuerte será la retención de agua y en consecuencia ésta se vuelve menos disponible para la planta (SACSA, 2014)

Akelah (2013), menciona que los materiales poliméricos se añaden a los suelos para la recuperación y mejora en cuanto a su composición y estructura, reduce la demanda de agua, especialmente en suelos arenosos, también evita la erosión mediante la alteración de la estructura mecánica, y mejora la friabilidad, reduce el estrés hídrico en la planta y aumentan los rendimientos de los cultivos.

El hidrogel no es tóxico para las plantas y es compatible a la presencia de elementos sólidos y solubles aplicados al suelo, reteniéndolos, además que son eficientes a la absorción agua sin desaprovechar nutrientes que se lixivian gradualmente con la aplicación de riegos. Asimismo, por tener efecto de constante expansión, airea y drena la rizófora evitando ser vehículo de patógenos, por lo que se considera un excelente mejorador de suelos (Terra-sorb, 1998).

2.4.1 Tipos de hidrogel para forestería y agricultura en general

Info-Agro (2013), menciona que existen diferentes tipos de hidrogel los más utilizados para forestales y agricultura general son:

WATER SAVER™ es un polímero retenedor y regulador que cuando se incorpora a un suelo o sustrato, absorbe “cientos de veces” su peso en agua y nutrientes es altamente eficiente en el tratamiento de semillas. Disminuye los tiempos de germinación y aumenta la viabilidad de las semillas. Tiene la propiedad de liberar fácil y gradualmente el agua y los nutrientes absorbidos, de acuerdo con los requerimientos de la planta tienen un mejor desarrollo radicular.

Distecnoweb (2014), menciona un retenedor muy eficiente en el uso de plantaciones, tienen varios nombres comerciales, se destaca *Hidrokkeper* como el más usado en este medio. Estos retenedores son compuestos que absorben y retienen grandes cantidades de agua y nutrientes cuando se aplican al suelo, además son buenos para disminuir la frecuencia de riego.



Figura 13. DISTECNOWEB.COM (2014), muestra cómo se debe aplicar el hidrogel en el suelo, para disminuir la frecuencia de riego.

Agrogel Chile (2009), menciona los siguientes tipos de hidrogel:

Súper Absorbent Polymer (SAP) es un producto que está diseñado para ser utilizado en el suelo, ya sea para diferentes cultivos, viveros, frutales, almácigos, jardines y maceteros, este hidrogel es utilizado también para la decoración y para cultivo de planta. Se usa especialmente en agricultura, forestación y jardinería.

El hidrogel STOCKOSORB es un hidrogel que se aplica para la retención de agua y nutrientes en suelos, mejorando la gestión de humedad del suelo y el crecimiento de las plantas, actuando como reservorio de agua y liberándola según las necesidades de las plantas, evita la compactación del suelo, aumenta la uniformidad del suministro de agua a la planta, lo que incrementa su calidad y la Seguridad de la producción. Tienen uno especial en hidrosiembra, agricultura, horticultura, reforestaciones; mejora la supervivencia durante el trasplante (Agrogel Chile, 2009).



Figura 14. Tipo de hidrogel para forestales y agricultura general (Agrogel Chile, 2009).

El Agrogel Agrícola, es un polímero que es capaz de absorber cientos de veces su peso en agua.



Figura 15. Imágenes retenedores de agua (Agrogel Chile, 2009).

Los cristales Acua-gel® son un Hidrogel que absorbe agua cientos de veces su peso y la proporciona paulatinamente a las raíces de todo tipo de plantas. El producto mejora las características del suelo, como son la retención y disponibilidad del agua, la aireación y la descompactación. Su aplicación en la agricultura, invernaderos, viveros, del sector forestal y la arquitectura paisajista puede reducir el uso de agua hasta en más del 50% (Acuagel, 2011).



Figura 16. Hidrogel absorbe los nutrientes de las plantas, para la agricultura, invernaderos y viveros del sector forestal y la arquitectura paisajista y maceta. Disponible en la página web:

<http://www.hidrogel.com.mx/>

2.5 Ventajas generales del hidrogel

Cerdeira et al., 2000; Acuagel 2010; González 2011; Rubira 2013, Señalan las ventajas generales del hidrogel:

- Aumenta la capacidad de retención de agua durante un largo tiempo
- Reduce la necesidad de riego hasta de un 50 %
- Proporciona un suministro de humedad a la planta
- Permite un rápido y mejor desarrollo de las raíces
- Disminuye el lixiviado de los nutrientes hasta el agua subterránea. Captura momentáneamente para luego liberar a las plantas.
- Reduce el costo de riego y optimiza la fertilización.
- Reduce la tensión de las plantas por falta de agua
- Mejor calidad de las plantas
- Germinación acelerada
- No son tóxicos
- Mejora la tasa de supervivencia de las plantas y la germinación de las semillas.
- Reduce el choque debido al trasplante y el estrés debido a la falta de humedad.
- Mejora la aireación y la porosidad del suelo.
- Mantiene la humedad uniforme.

- Ayuda obtener un mejor drenaje y aireación de la raíz.
- Promueve sistemas radicales más fuertes y vigorosos.
- Optimiza insumos forestales, agrícolas y agua.

Tabla 2. Aplicaciones del hidrogel en el campo (Acua-gel 2010)

Forestal	Viveros, transporte y protección, trasplantes
Jardinería	Árboles y arbustos, césped, flores.
Viveros / Invernaderos	Suplemento para sustrato, plantas en el interior de la casa, raíces desnudas
Agricultura	Hortalizas, cítricos, fruticultura (incl. nueces), cultivos en surcos.
Usos No-Agrícolas	Decorativo, Control de derrames, envoltura de hielo, geles para refrescar el cuerpo en accesorios, combate de incendios

2.6 Aplicación del hidrogel en cultivos agrícolas, cítricos y frutícolas

Rubira (2013), menciona los siguientes métodos de aplicación:

2.6.1 Método húmedo

- Pre hidrate 1 kg de gel agrícola en 200 litros de agua en un tambor limpio
- Permita que expanda por 60 minutos para asegurar la máxima absorción.
- Con una mezcla de 200 a 400 litros de gel hidratado por metro cubico de tierra.

2.6.2 Método seco

Una mezcla de 2 a 4 kg de cristales por metro cubico de tierra. Preparación de bolsas o recipientes de manera normal. Este mismo autor menciona los siguientes métodos de aplicación para árboles frutales, ornamentales o forestales de 2 o más años

- Protección prolongada de las sequias (30 días).
- Abrir de 4 a 8 hoyos alrededor del árbol, hasta 40 cm de profundidad.
- Dosifique 40 a 80 gramos de producto por árbol
- Llenado del hoyo con agua para hidratar el polímero.

- Puede utilizarse una lanza de inyección como se muestra en la siguiente fotografía:



Figura 17. Lanza de inyección y compresor. Revista Actualidad del Campo Agropecuario 2013.
 Disponible en la página web: http://issuu.com/adca/docs/campo_149_noviembre13

Sin gel agrícola hay pérdida de agua y nutrientes y con gel agrícola rentabiliza agua y nutrientes.

2.6.3 Aplicación de hidrogel en el establecimiento de plantaciones forestales

Villarreal (2011), describe el manejo y beneficios de la aplicación del Hidrogel, puede ser aplicado mezclándolo con fertilizante. Al momento de la siembra, se coloca la mezcla de hidrogel con fertilizante en el fondo del hoyo; el producto puede aplicarse seco o hidratado. Las siembras se pueden realizar en diferentes tipos de suelo (desde arcillosos hasta arenosos). Los beneficios que se obtienen en esta aplicación son:

- Incremento de supervivencia
- Reducción de resiembra
- Sembrar en época de sequía.

2.6.4 Dosificación Aplicación producto Seco

- En pinos: 4 gr de hidrogel seco por planta.
- Eucalyptus: 2 gr de hidrogel seco por planta.
- Otras Especies: 4-12 gr de hidrogel seco por planta.

2.6.5 Dosificación Aplicación producto hidratado

- Otras especies: 800 a 2000 ml de gel por planta.
- Pinos: 600 a 800 ml de gel por planta.
- Eucalyptus: 200-400 ml de gel por planta

Existen otro método de aplicación para arboles de mayor tamaño para trasplante y protección de raíces, son los siguientes:

2.6.6 Método húmedo

- Prehidratar 1 kg de hidrogel en 200 litros de agua en un tambo limpio, dejar expandir por 30 minutos para que tenga la máxima absorción.
- Impregnar el hidrogel hidratado en las raíces.

2.6.7 Método seco

Se espolvorea el hidrogel sobre las raíces hasta cubrirlas y con riego abundante para hidratar el producto.

2.7 Utilización de los polímeros para mejorar la producción del país

En México, aproximadamente 78% del agua que se extrae, se emplea para la agricultura, 11% para consumo residencial y 8% para la industria, según datos de la Academia Mexicana de las Ciencias. Actualmente, la agricultura enfrenta una de las sequías más crudas en las últimas siete décadas. Hasta el momento, Sinaloa, Chihuahua y Durango son los estados más afectados del país (Rodríguez, 2012).

Gutiérrez (2012), Catedrático de la licenciatura en Agronomía en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), consideró urgente encontrar soluciones integrales para mantener la producción en condiciones adversas, en el cual propone la utilización de polímeros para mejorar la producción del país.

2.7.1 Propiedades de un sustrato para el desarrollo de plantas

Los sustratos mantienen sus propiedades físicas, químicas y biológicas. En la actualidad los sustratos representan un componente en la diversidad de materiales que pueden utilizarse como sustratos agrícolas, por lo que se debe considerar los requerimientos de las plantas que se ajusten en lo posible a las características ideales de un sustrato y del efecto del medio ambiente (Cruz *et al.*, 2012).

La existencia de diferencias significativas en los sustratos sobre el proceso germinativo de las especies, reafirma la necesidad de emplear sustratos como tierra de monte, para lograr un óptimo en la propagación de las especies en vivero (Aparicio, 1999).

La calidad de las plantas depende fundamentalmente del tipo de sustrato que se utilice para cultivarlas y de sus características físico-químicas que influirá en el desarrollo y funcionamiento de las raíces que están directamente ligados a las condiciones de aireación y contenido de agua (García, *et al.*, 2001).

2.8 Aplicación del hidrogel en la agroforestería

Una aplicación que está cobrando interés en la actualidad es el empleo de hidrogel polimérico en el campo de la agricultura para aumentar la capacidad de retención de agua del suelo, favoreciendo por tanto el desarrollo de las plantas. Al mezclar el hidrogel con el suelo se logra aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por filtración, y también se consigue disminuir su evaporación. Así la utilización de polímeros permitirá la recuperación de zonas semiáridas o terrenos de cultivos abandonados y poco fértiles, cuando se emplean de forma extensiva (Ramos *et al.*, 2009).

Su aplicación es en suelos arenosos, taludes, pendientes, jardines en terrazas revegetación, recuperación de suelos degradados y contaminados, agricultura, horticultura, fruticultura, plantaciones forestales, la arquitectura paisajista, en césped y mezclas de sustrato para macetas (Tornado, 2012).

Estrada (2012), comentó que el hidrogel es apto para cultivos estáticos como árboles frutales y no para agricultura de rotación, ya que la intromisión del tractor destruye las bolitas de gel.

Rubira (2013) menciona que los cristales del gel es un producto de tecnología renovada aplicada a la agricultura, frutales, huertas, plantaciones forestales, para las condiciones donde el agua de la lluvia está mal distribuida durante el año o existe irregularidad por motivos climáticos, es un producto a considerar sus innumerables aplicaciones donde el problema sea la falta de agua en ciertos periodos productivos.

El Hidrogel mezclado con sustrato, incrementa el rendimiento, el crecimiento y la sobrevivencia de las plantas, se usa ampliamente en la agricultura, horticultura, fruticultura y el sector forestal, en césped y mezclas de sustrato para macetas. Es especialmente conveniente en la técnica de cultivo denominada hidroponía. Se usa también en la decoración de plantas en casas, oficinas y comercios (Plantamejor, 2013).

Los materiales de hidrogel funcionan para retener y disponer del agua, la aireación y la des compactación. Su aplicación en la agricultura, invernaderos, viveros y el sector forestal (Acuagel, 2011).

2.8.1 El hidrogel en la producción agrícola

Se ha llegado a concluir que el hidrogel aumenta la producción agrícola, reduce las pérdidas del cultivo, conserva el agua, reduce los costos laborales y beneficia a los agricultores, silvicultores, operadores del invernadero, los conservacionistas y otras personas interesadas en el cultivo de plantas (Doane, 1984).

El Hidrogel también ha demostrado su eficacia en la agricultura a gran escala, especialmente en el momento de la germinación y el desarrollo de la red de raíces, debido a una buena aireación del suelo (Tornado, 2012).

Freitas *et al* (2002) mencionan que el uso de hidrogel en el campo de la agricultura pone de manifiesto el beneficio de este polímero como acondicionador del suelo, mejora las propiedades físicas e hidráulicas, es un buen retenedor de agua en el suelo, ayuda a la disminuir la lixiviación de nutrientes, aumenta la capacidad de intercambio cambio catiónico, mejora la disponibilidad de agua para las plantas y se obtiene un efecto positivo en el cultivo.

El hidrogel es un polímero que reduce significativamente los costos relacionados con el riego, así como el mantenimiento de cultivo, maximiza el potencial productivo de las plantas y acorta el tiempo de maduración del fruto para una cosecha continua. Una sola aplicación permanece de forma efectiva para los siguientes ciclos productivos, requiriendo reponer únicamente 20% en el siguiente ciclo (Terra-sorb, 1998).

2.8.1.2 Estudio del hidrogel en *Bouteloua eriopoda*

Lucero et al (2012), han utilizado tubos de PVC llenos de hidrogel enterrados al lado de las raíces de las plantas, ayudan a restaurar pastos nativos en las tierras áridas, los resultados demostraron que 1 litro de agua en hidrogel es suficiente para sustentar los trasplantes de *Bouteloua eriopoda* hasta la madurez obteniendo un resultado del 80 % de supervivencia. La utilización de tubos PVC llenos de hidrogeles enterrados al lado de las raíces de las plantas, se muestra en la siguiente imagen:



Figura 18. Ensayos con tubos PVC (Lucero *et al.*, 2012)

2.8.2 El hidrogel en el manejo de plantación

Doane (1984), menciona que la masa de la raíz de la plántula se puede sumergir en una suspensión de súper absorbente, que actuaría como un aglutinante y mantener las raíces húmedas durante el transporte antes de ser plantada.

Stockhausen (1994), menciona que el hidrogel puede ser utilizado para proteger a las raíces, y pueden disminuir el efecto de deshidratación durante su transporte y almacenamiento.

El hidrogel por ser polímeros sintéticos se ha utilizado como auxiliar en el manejo de la plantación y para proteger las raíces cuya principal característica es su alta capacidad de retención de agua (Nissen, 1995), lo que disminuye la frecuencia de irrigación y las pérdidas de productos químicos por lixiviación y lavado (Save *et al.*, 1995).

El hidrogel es un producto sintético con una alta capacidad de absorción de agua, que puede ser utilizado para evitar el estrés hídrico al colocarlo en el sitio de plantación, pero también puede ser aplicado hidratado directamente a las raíces previas al trasplante (Nissen y Ovando 1999).

2.8.3 Estudios de hidrogel en el desarrollo de plantas forestales

El hidrogel puede usarse como único sustrato para el crecimiento de las raíces en hidroponía, mejora las características de los suelos y condiciona el sustrato para el desarrollo de las plantas (González, 2011).

Al mezclar el hidrogel con el suelo se logra aprovechar mejor el agua de lluvia o riego. Para contribuir al aprovechamiento de la humedad se evaluó el efecto de un polímero sintético, mezclado con sustrato en la germinación y desarrollo de *Pinus gregii* Engel. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno, se evaluaron las variables de retención de humedad cada

7 y 4 días con riegos, germinación, sobrevivencia, altura y diámetro de la planta. Los resultados fueron que para retención de humedad cada 7 y 4 días muestran diferencias significativas en el mejor tratamiento T3 en cuanto a retención de humedad, en germinación el mejor tratamiento fue el T2 y T3 con el 97 %. En sobrevivencia el mejor tratamiento fue el T4, lo cual el uso de hidrogel con altas dosis provoca la muerte de la planta. En altura el tratamiento que presentó mayor incremento fue el T3 en promedio 11.2 cm (Martínez, 2014).

En otro estudio, con el fin de optimizar el uso de agua en viveros, se ha utilizado el hidrogel como almacenador de agua para producir plantas en el invernadero. Mediante la evaluación de diferentes dosis de hidrogel y así mismo evaluar su efecto en la germinación, desarrollo y sobrevivencia de las plantas de *Abies vejari* Martínez. Utilizo un diseño completamente al azar, donde probaron 4 tratamientos con 3 repeticiones, cada uno de los tratamientos utilizados fueron 18.75 gr/1.2 kg de sustrato, 37.50 gr/1.2 kg sustrato, 56.25 gr/1.2 kg de sustrato y 0gr/ 1.2 kg de sustrato. En el estudio se evaluó el porcentaje de sobrevivencia, altura y diámetro de la planta. Los resultados de retención de humedad fueron favorables al utilizar dosis altas de hidrogel con 56.25 gr/1.2 kg de sustrato, en cuanto a la germinación, desarrollo y sobrevivencia se encontraron mejores resultados al utilizar dosis bajas de hidrogel fueron 18.75 gr/1.2kg de sustrato (Estrada, 2014).

En este estudio se realizó con la finalidad de saber si el hidrogel optimiza el agua para la producción en *Taxodium mucronatum*. Con un experimento completamente al azar usando cuatro tratamientos con hidrogel y el testigo sin hidrogel. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar, usando cuatro tratamientos con tres repeticiones 1, 2 y 3 18.5, 37.50 y 56.25 gr respectivamente y el testigo sin hidrogel, dichos tratamientos contienen 1200 gramos de sustrato base (Peat-Moss+Vermiculita+Agrolita+Osmocotecada). Para analizar el efecto del hidrogel se evaluó, retención de humedad a cuatro días y 7 días, porcentaje de germinación, crecimiento en altura, diámetro de la plántula y porcentaje de germinación. Obtenidos en este estudio hacen referencia significativas al tratamiento en el cual el T3 es el que retiene hasta el 68.3 % de su peso húmedo por 7 días sin embargo el que tuvo mejor

germinación es el T3, fue el mejor con 97.33% de germinación, y T3 también presentó mayor altura con promedio de 19.33 cm y también presentó mayor sobrevivencia con 95.9 % (López, 2014).

El estrés hídrico limita significativamente el crecimiento de la planta y el rendimiento del cultivo, por lo tanto, la gestión eficiente de la humedad del suelo y el estudio de los cambios metabólicos que se producen en respuesta a la sequía son importantes para la agricultura. En este estudio se realizó, se evaluó el efecto de seis oleaginosas (*Brassicinapus L.*) genotipos (Rgs003, Sarigol, Option500, Hyola401, Hyola330 y Hyola420), con y sin el estrés por sequía, y con y sin el uso de súper absorbente polímero, en la calidad del aceite y contenido. Un diseño de bloques completos al azar, con un arreglo de parcelas divididas, en un esquema factorial 2x2x6 (estrés por sequía x polímero x genotipos), con tres repeticiones. El uso del polímero súper absorbente incrementó el contenido de ácido linoleico, pero disminuyó otros componentes. En este estudio fue posible concluir que, bajo condiciones de estrés de sequía, la aplicación del polímero súper absorbente absorbe gran cantidad de agua y la mantiene como reserva y aumenta la capacidad del suelo para almacenar agua, lo que aumenta el período vegetativo de las plantas y por consiguiente, obtiene mayor calidad del aceite por la disminución de saturar ácidos grasos y el aumento de los ácidos grasos insaturados (Tohidi, 2011).

Una investigación del concepto de calidad de planta se determinaron por las características estructurales y fisiológicas que deben presentar las plántulas en vivero, para determinar dicho efecto, se evaluó el efecto de un polímero sintético en mezclas de sustrato alternativo y el efecto de riego para la producción de *Pinus greggii* Engelm en vivero. Se utilizó un diseño de parcelas divididas con un tratamiento adicional, donde se estudiaron 10 mezclas de sustrato compuestas por aserrín, corteza de pino, turba, agrolita y vermiculita. A los 5 meses después de aplicar los diferentes niveles de riego, las plantas desarrolladas en 20 % corteza + 80 % aserrín y 4g L⁻¹ de hidrogel presentaron el mayor incremento para las variables altura (21.8 cm) y diámetro (3 mm). En los tratamientos sin restricción de humedad las tasas de crecimiento fueron mayores en altura (32.8cm), diámetro del cuello (3.3 mm) y relación parte aérea/ raíz (2.13). La

supervivencia más alta fue de 79 % en campo, con riego cada tres días. Los tratamientos con dosis altas de hidrogel pueden tener éxito como medio de crecimiento. La adición de hidrogel en el sustrato podría tener posibilidades para producir especies forestales utilizando el sistema de producción tecnificado (Maldonado, 2011).

Patricio (2014), estudió el efecto de tres dosis de hidrogel en la supervivencia y desarrollo de *Pinus arizonica* Engelm. variedad *stormiae* Martinez plantados bajo condiciones de sequía extrema. El diseño de la plantación fue en marco real con espaciamiento entre planta y planta 2x2 metros; utilizo un diseño experimental completamente al azar en donde se evaluaron 55 plantas, los tratamientos aplicados fueron 2.5 gramos de hidrogel (T1), 5 gr (T2), 7.5 ge (T3) y el testigo (T4), para tratamientos T1, T2, T3 se utilizaron 15 plantas por tratamiento mientras que para el testigo (T4) se utilizaron 10 plantas. En este estudio se evaluó la mortalidad y crecimiento de la planta (diámetro y altura). Con un análisis de varianza mediante el paquete estadístico SAS (Statiscal Analysis System), donde mostro que en los años de ser establecida la plantación no hubo diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. En donde se aplicó más hidrogel hubo más supervivencia de la especie y el incremento del testigo fue menor.

En un estudio con hidrogel sintetizado se realizaron cultivos de acacia en suelos acondicionados en fase de vivero, en el cultivo se evaluó el retraso en la marchitez de la especie. En este estudio se estableció un modelo para predecir el comportamiento del hidrogel en el suelo, con el conocimiento de sus propiedades básicas en el estado libre. Los resultados muestran la mayor retención de agua en el suelo por el condicionamiento del hidrogel, que permite sobrevivir a las especies forestales cultivadas ante condiciones de sequía, el primer indicio de marchitamiento retrasa en un 400% para especies forestales y para sequias prolongadas la cantidad de plantas marchitas desciende en un 250% (Barón *et al* 2007).

En otro estudio, El hidrogel se aplicó hidratado, sumergiendo las raíces en un recipiente con el producto. En consecuencia, se obtuvieron 20 tratamientos. Se trabajó con diseño estadístico en tres bloques completos aleatorizados con arreglo factorial.

Nothofagus obliqua no presentó diferencias estadísticas significativas ni entre los momentos de plantación, ni en el uso de hidrogel al previo trasplante. El porcentaje mínimo de sobrevivencia al cabo del segundo año de la plantación para *Nothofagus obliqua* fue de 93,3%. La sobrevivencia en *Nothofagus dombeyi* igualmente fue alta y varió de 66,7 a 100% al cabo del segundo año. Esto demuestra que el uso de hidrogel no mostró efectos significativos en *Nothofagus obliqua*, pero sí en *Nothofagus dombeyi* dado su carácter que esta especie perennifolia y el efecto del hidrogel se manifestó sólo en los tiempos de plantación más tardíos (Nissen y Ovando, 1999).

Doane (1984), quien trabajo con súper absorbentes en varias pruebas en una de ellas conducida en Luisiana en trasplante de plántulas, el rango de sobrevivencia fue de hasta un 84% cuando esta se sumergieron en súper absorbentes (hidrogel), mientras que las que se sumergieron en suelos arcillosos acuosos tuvieron un 49 % de sobrevivencia. En otra prueba, en la Universidad de Auburn, encuentra que los súper absorbentes con mezcla de tierra combinada con hidrogel agregado se forma directa en un agujero sin fin y tienen un efecto significativo en la reducción del estrés hídrico y el aumentala retención de nutrientes hasta de un 90%.

Barreto (2011), estableció un diseño experimental de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones, utilizó un total de 504 plantas de *Juniperus fláccida Schlechtendal* y aplico siete tratamientos con retenedores de agua y riegos de auxilio: plantación normal sin producto y sin aplicación de riegos de auxilio (Testigo), Terra Sorb Hidrogel, sin aplicación de riegos de auxilio (TSH), Gel Humert, sin aplicación de riegos de auxilio (GH), Hidrogel (Acuagel), sin aplicación de riegos de auxilio (HA), Terra Sorb Hidrogel con aplicación de riegos de auxilio (TSH+R), Gel Humert con aplicación de riegos de auxilio (GH+R) e Hidrogel (Acuagel) con aplicación de riegos de auxilio (HA+R), los riegos de auxilio consistieron en aplicaciones de 10 l/planta en el periodo de sequía. En este estudio evaluó la sobrevivencia entre tratamientos y las variables morfológicas de altura y diámetro de las planta y realizó un análisis de normalidad, análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Duncan para las variables estudiadas. Para ninguna de las variables estudiadas no se presentó estadísticamente alguna diferencia significativa durante las dos evaluaciones realizadas. Pero el uso de

retenedores de agua combinados con riegos de auxilio, aunque estadísticamente no muestran diferencias significativas en altura de las plantas de *Juniperus flaccida*, presentó un incremento del 4.5 % superior, con respecto al testigo.

2.8.4 Estudios de hidrogel en la producción agrícola y hortalizas

Gutiérrez (2012), en un estudio al comparar los rendimientos promedio en la producción de fresas en hidroponía contra los rendimientos por hectárea en áreas de cultivo a cielo abierto, surge diferencias notables. Utilizando el hidrogel para producir una hectárea de fresa se necesitan 40 metros cúbicos de agua, mientras que hacerlo bajo un esquema a cielo abierto requeriría 100 metros cúbicos, Para cultivar bajo un esquema hidropónico se requiere una inversión aproximada de 270 pesos por metro cuadrado.

En el Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California se realizó un estudio del efecto que tiene el hidrogel con *Capsicum annuum L.* este estudio consistió en la utilización de riego por goteo en invernadero. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cinco repeticiones. Los parámetros evaluados fueron: frutos por planta, peso, rendimiento, tamaño (longitud y diámetro) del fruto, volumen de agua aplicada, eficiencia en el uso de agua (EUA) y contenido de clorofila. Con el polímero se obtuvo un rendimiento de 1.5 kg m⁻², 24.9 frutos m⁻², peso por fruto de 59.2 g, longitud de 16.2 cm, diámetro de 3.9 cm y EUA de 5 kg m⁻³; mientras que el testigo obtuvo un rendimiento de 1.7 kg m⁻², 26.7 frutos m⁻², peso por fruto de 62.1 g, longitud de 16.3 cm, diámetro de 4 cm y EUA de 4.9 kg m⁻³. Con el polímero se tuvo un incremento del 1.5% en contenido de humedad en el suelo, que representó una reducción del 12%, por lo que el uso del polímero hidrófilo puede ser una práctica importante para productores que deseen aplicar riegos menos frecuentes, además de reducir el tiempo de riego (López *et al.*, 2013).

2.8.4.1 Estudio de Terra-Sorb en el cultivo de papa

Una aplicación correcta de Terra-Sorb (16-25 kg/ha) repercute en mejores condiciones para la planta, haciendo que se aprovechen mejor los recursos disponibles la calidad de la papa fue de un 90% incrementó el rendimiento de papa 6.5 ton/ha respecto al testigo sin hidrogel, redujo los requerimientos de agua de riego hasta un 40% e Incrementó la eficiencia en el uso de fertilizantes disminuyendo los costos de producción hasta de un 50 % (Terra-Sorb, 1989).

2.8.4.2 El hidrogel en estudios de germinación de tomates

La aplicación del hidrogel a una dosis de 12 kg/ha en el cultivo de tomate, incrementó el rendimiento total y la calidad de fruto un 20% respecto al testigo (25% y 14% en el primer y segundo cortes, respectivamente). Además de incrementar el rendimiento, Terra-Sorb acortó el número de días de maduración del fruto y redujo los requerimientos de agua de riego ahorra agua de riego y minimiza la lixiviación de fertilizantes. En este ensayo con la aplicación del hidrogel incrementó el rendimiento de tomate hasta 9 ton/ha (Terra-sorb 1989).

Un estudio con germinación de semillas de tomate en suelos áridos, mezclados con hidrogel, el cual se mezcló con el suelo utilizando dos diseños experimentales, aplicados en dos etapas. El primer diseño fue de tres variables a dos niveles: la primera variable fue la cantidad de hidrogeles mezclada con el suelo. La segunda fue el hinchamiento de los hidrogeles en agua antes de mezclarlos. La tercera fue el tiempo de riego: 3 y 15 días. En estas condiciones se sembraron 40 semillas certificadas de tomate en cada condición manteniendo el riego durante cuarenta días. La utilización de una mayor cantidad de hidrogeles en la tierra favoreció la germinación de un mayor número de plantas, hasta en un 100% más que cuando se usó una menor proporción. Estos resultados evidenciaron que la utilización de una mayor cantidad de hidrogeles facilita la absorción por parte de las semillas de mayores cantidades de agua, la cual se libera posteriormente hacia la semilla a medida que el suelo se seca alrededor del polímero, constituyendo una reserva de agua que permite aprovechar mejor el agua de riego y aumentar la capacidad de reserva en las plantas (Rojas *et al.*, 2004).

Francisco (2012), estudió la inmovilización de *Trichoderma harzianum* en hidrogeles de quitosano y sus efectos en las plantas de tomate *Solanum lycopersicum*, bajo condiciones de invernadero. Esta consistió en la germinación de semillas de tomate en macetas con turba como sustrato. Se establecieron 6 tratamientos, estos fueron: dos tratamientos con el *Trichoderma harzianum* inmovilizado en el hidrogel de quitosano aplicado al sustrato a dos dosis (6 y 3 g por kg de sustrato). Los resultados obtenidos muestran que el crecimiento de los hongos inmovilizados en el primer ciclo fue similar en todos los tratamientos correspondientes. En cuanto a los efectos sobre las plantas de tomate correspondientes a las variables estudiadas, se observó que los tratamientos con el hongo inmovilizado en los hidrogeles producían plantas con menor crecimiento y biomasa vegetal, sin embargo, el contenido mineral de P, Ca y Cu fue mayor en los tratamientos con la presencia del hongo.

Rivera *et al* (2007), estudio los efectos sobre retenedor de agua y dos dosis de fertilizantes foliares sobre la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) Se utilizó un diseño en arreglo factorial de 2*2*2 con dos repeticiones por tratamiento con 145 plantas por repetición, se hicieron muestreos destructivos cada 15 días en los cuales se midió peso seco y peso fresco de raíz, tallo, hojas, flores y fruto; además, se midió producción. El Cosmosorb fue un factor que benefició el incremento del peso seco de raíz y el peso seco de frutos, lo cual se vio reflejado en un aumento de la producción. Se encontró que el plan de fertilización foliar Cosmoagro está bien balanceado y que al doblar las dosis de los fertilizantes en la solución foliar se causa un efecto negativo en la planta, ya que se pierde el balance de la solución. Hay una correlación entre peso fresco de raíz y producción ($r^2= 0,75$) y peso fresco de tallo y producción ($r^2= 0,80$).

2.8.4.3 El hidrogel en un estudio de rábano

En estudio de la eficiencia en la retención de agua de un polímero absorbente (hidrogel) se evaluó la variación de la humedad en un cultivo de rábano (*Raphanus sativus L.*), sembrado en arena clasificada con el tamiz 50. El diseño experimental fue

totalmente al azar, se realizaron tres tratamientos y tres repeticiones, con composiciones variables de polímero, T1 (23%), T2 (30.7%) y T3 (15.38%), con respecto a un peso constante de arena (130 ± 0.1 g). El tratamiento T2 presentó mejores rendimientos en el cultivo, una menor pérdida de humedad y diferencias significativas ($p=0.002$) a favor del mismo tratamiento, señalando que la mayor cantidad de hidrogel en un suelo incrementa la eficiencia en la retención de la humedad de un suelo arenosos (Junior *et al.*, 2010).

2.9 El hidrogel aprovecha los recursos del suelo

La hidroponía ayuda aprovechar los recursos del suelo, para el crecimiento de las plantas que crecen bajo el resguardo de un invernadero y se siembran en un medio inerte como arena lavada, grava o perlita, también ayuda a depositar en una solución mineral. Los nutrientes que normalmente obtienen del suelo, los reciben diluidos en la solución acuosa del gel (Rodríguez, 2012).

Tornado (2012), menciona que el hidrogel es un retenedor, especialmente adecuado para aplicarse en: suelos arenosos, taludes y pendientes, ajardinamiento en terrazas, revegetación y recuperación de suelos degradados y contaminados, recuperación de vertederos y de minas además el hidrogel tiene la capacidad de retener agua de lluvia o riego por hidrogel retrasa el punto de marchitamiento y por lo tanto hace posible que ciertas plantas se conserven mientras se espera para el régimen de agua.

Agrogel (2013) menciona que los superabsorbentes por su alta capacidad de retención hídrica, son aditivos que fueron diseñados para mejorar el establecimiento y el crecimiento vegetal en suelos de ambientes áridos.

El hidrogel absorbe agua y fertilizantes que después las libera paulatinamente proporcionándole a la planta, el uso de estos polímeros son más económicos que otros sistemas tradicionales de liberación lenta de fertilizantes debido que puede disminuir los costos del agricultor (Acuagel, 2011).

Del Campo *et al.*, (2008) mencionan en un estudio que los polímeros hidroabsorbentes son productos muy empleados en restauración forestal y paisajística que pueden tener un efecto variable según la naturaleza textural del suelo sobre el que se aplican. Sin embargo, su uso práctico se suele realizar independientemente de esta propiedad edáfica, lo que impide su optimización. En este estudio evaluaron la relación entre dosis de hidrogel y textura del suelo, en el cual escogieron tres productos comerciales y con un ensayo a dos dosis (0,01% y 0,1%) en tres tipos de suelos forestales de la provincia de Valencia: franco-arcillo-arenoso (franco), franco-arcilloso (arcilloso) y areno-francoso (arenoso) (USDA). Obtuvieron las correspondientes curvas de liberación de agua para los puntos de presión de 0, 10, 30, 100 y 300 kPa. Los resultados de esta investigación indican el diferente comportamiento hidrofísico del suelo en función de los factores ensayados. Los suelos arenoso y franco, muestran una mayor liberación de agua de algunos tratamientos respecto al control para bajas presiones, mientras que en el suelo más arcilloso las diferencias son muy leves, siendo el efecto del hidrogel significativo para mayores tensiones, existe proporcionalidad entre la dosis aplicada y el comportamiento del suelo con hidrogel, siendo aconsejable la dosis mayor, aunque no se han medido los posibles efectos del aumento de volumen.

III CONCLUSIÓN

De acuerdo a la revisión de literatura se puede concluir lo siguiente:

El uso del hidrogel es un material confiable que está tomando auge en la actualidad para combatir el déficit de agua en el desarrollo de las plantas, son muy efectivos en la producción de plantas de calidad, optimiza la fertilización del suelo empobrecido y ayuda obtener un mejor drenaje de este.

En plantaciones forestales, el hidrogel retrasa el punto de marchitamiento de la planta, puede absorber la lluvia en el campo y así continuar con el establecimiento de estas especies, en zonas con baja precipitación y/o las sequias que se presentan a veces muy prolongadas.

El hidrogel hidratado combate con el estrés hídrico y mantiene la humedad adecuada a la planta, debe tener un riego por lo menos dos veces por semana, este polímero es útil durante un largo tiempo.

El hidrogel además de ser un polímero que absorbe agua el doble de su peso, es muy eficiente, utilizando una dosis adecuada en el sustrato, ya que mantiene la humedad uniforme en un largo tiempo, aporta nutrientes a las plantas, disminuyen la compactación del suelo, son aireadores y ahorradores de agua, puede combatir a las sequias, debido a que disminuye el riego en plantaciones forestales, siendo un material muy importante que lucha contra la desertificación forestal y optimiza la producción agrícola.

IV RECOMENDACIONES

Es recomendable buscar más información actualizada sobre el hidrogel, para aplicar tecnología renovada en la en la producción de especies agroforestales en invernadero y vivero, para producir plantas con la ayuda de este polímero.

En las plantaciones forestales es recomendable humedecer el hidrogel antes de plantar, proporcionándolo al suelo para que este polímero sintético permita la humedad uniforme y pueda liberar los nutrientes al sistema radicular de la planta.

Es recomendable mezclar el sustrato con hidrogel en la germinación de semillas para el incipiente crecimiento radicular debido a que absorbe mejor los nutrientes del suelo.

El hidrogel por ser un polímero hidroabsorbente mantiene la humedad del sustrato, por lo que es recomendable la incorporación del fertilizante, para acelerar el desarrollo de las plantas, y por lo tanto, obtener una optimización en la producción de plantas agrícolas y forestales.

V LITERATURA CITADA

- Acuagel 2011. Agua en forma de gel. Idea COM International Consulting. Disponible en:<http://www.ideacominternational.com/hidrogel-agua-en-forma-de-gel/>
- Agrogel Chile 2009. Agrogel agrícola y su aplicación. Disponible en la página web: <http://agrogel.blogspot.mx/2009/10/agrogel-agricola.html>
- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos: Propiedades y caracterización. 1ra. edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Aparicio A. R. Cruz J. H., Alba L. J. 1999. Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch et Cham., *Pinus montezumae* Lamb y *Pinus Pseudostrobus* Lindl. En condiciones de vivero. Forestal veracruzana. Recursos Genéricos Forestales. México. 31-34 pp.
- Akelah A. 2013. Functionalized Polymeric Materials in Agriculture and the Food Industry, Springer Science Business Media New York.65-118 pp. Disponible en: <http://www.springer.com/food+science/book/978-1-4614-7060-1>
- Barreto N., I. 2011. "Evaluación del Efecto de Retenedores de Agua en el Establecimiento y Crecimiento Inicial de *Juniperus fláccida Schlechtendal* en Ixcateopán, Gro." Chapingo, México. 47 p. Disponible en la página web:http://www.chapingo.mx/dicifo/tesislic/2011/barreto_nila_israel_2011.pdf
- Barón C., A. Barrera R., I. Boada E., L.F. Rodríguez N., G. 2007. Evaluación de Hidrogeles para Aplicaciones Agroforestales. Ingeniería de Investigación. Universidad Nacional de Colombia. Colombia 1-20 p.
- Cerdeira S. Ceretti., H. y Reziulski., E. 2000. Polímeros II: hidrogeles. Departamento de Química. Argentina. http://www.educ.ar/dinamico/UnidadHtml__get__5ca690bf-c851-11e0-8274-e7f760fda940/index.htm
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) 2013. Primer Informe de Gobierno de Peña Nieto.
- Cruz. C., E.Can., C., A. Sandoval., V., M.Bugarí., M., R. Robles B., A. Juárez. L. 2012. Sustratos en la Horticultura Biociencias, 17 p. Disponible en la página web:<http://biociencias.uan.edu.mx/publicaciones/03-02/biociencias3-2-2.pdf>
- Del Campo G., A. Aguilera S., A. Lidón C., A. y Segura O., G. 2008. Influencia del Tipo y Dosis de Hidrogel en las Propiedades Hidrofísicas de Tres Suelos Forestales de Distinta Textura. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Valencia. España. 142 p.
- Doane M. 1984. The potential of starch graft polymers, "super slurpers," for forestry and agriculture. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1-60 pp

- Distecnoweb 2014. Uso de Retenedores de Agua en Plantaciones. Guía Básica de la plantación Forestal. Diseño tienda virtual. Colombia. Disponible en la página web: http://elsemillero.net/nuevo/semillas/guia_basica12.html
- Escobar G., D. y Zaldivar D., M. Katime I. 2002. Hidrogeles. Principales Características en el Diseño de Sistemas de Liberación Controlada de Fármacos 1p. <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/publicados/escobar2.pdf>
- Estrada G., J. 2014. Evaluación de Diferencias de Dosis de Hidrogel en la Producción de Plantas de *Abies vejani* Martínez, en Invernadero. Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 1-45 pp.
- Estrada G., Torres L. Mendoza A. Rodríguez L. 2010. Hidrogeles Biopoliméricos Potencialmente Aplicables en Agricultura. Departamento de Física y Matemáticas, Universidad Iberoamericana. México. 76 p.
- Estrada R, 2012. Hidrogel Biopoliméricos Aplicados en la Agricultura. Departamento de Física y Matemáticas. Universidad Iberoamericana 2 p. Disponible en: <http://www.slideshare.net/IberoPosgrados/hidrogeles-biopolimricos-aplicados-en-agricultura>
- Felinto 2007. The swelling behavior of chitosan hydrogels membranes obtained by UV and radiation. Parra DF. 418–424 pp.
- Francisco F, Ortega O., N. Benavides M., H. Ramírez H., A. Lara F., L. Torres R., V. 2012. Inmovilización de *Trichoderma harzianum* Hidrogeles de Quitosano y su Uso en Tomate (*Solanum lycopersicum*). Terra Latinoamericana, vol. 30, núm. 1 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo. México pp. 47-57
- Freitas A., T. L. Bertonha A. Andrade G. A., C. 2002. Uso de Hidrogel en la Agricultura. Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta, v.1, n.1, p.23-31.
- Flor de planta 2014. Página oficial: <http://www.flordeplanta.com.ar>. Disponible en: <http://www.flordeplanta.com.ar/mantenimiento-jardin/hidrogeles-el-uso-de-retentores-de-agua-para-mejorar-la-calidad-del-suelo/>. Citado el 27 de marzo de 2014.
- García C., O. Alcántar G., G. Cabrera., F., R.I. Gavi., R. F. Volke. H. V. 2001. Evaluación de Sustratos para la Producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* Cultivadas en Macetas en Viveros PLANTEC de Amacuzac, Morelos. México. 249p.
- González, J. 2011. Hidroponía. Uso del hidrogel y sus Ventajas Generales en las Plantas. Disponible en: <http://hidroponiamex.blogspot.mx/2011/07/hidrogel.html>

- Gutiérrez, E. V. 2012. Manejo del hidrogel. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Ciudad de México. 1-10 pp.
- Instituto Nacional de ecología, (Geo). 2004. El Suelo. Degradación de los Suelos en los Distintos Niveles de Afectación. México. 120 p.
- Junior I., H. Rodríguez A. M. Díaz O., J., E. 2010. Comportamiento del Hidrogel en Suelos Arenosos. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle, Colombia. 33-37pp.
- Katime I., A. Katime., O. Katime D. 2004. Materiales Inteligentes: Hidrogeles Macromoleculares. Algunas Aplicaciones Biomédicas. Departamento de Químicas Físicas, Facultad de Ciencia y Tecnología, Campus de Lejona. Universidad del país Vazco. Vazco, 1.15 pp
- Lucero M. 2012. Los hidrogeles Ayudan al Crecimiento de Pastos en las Tierras Áridas y Remotas. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1p.
- López S., JA. 2014. Impacto del Hidrogel en la Germinación y Desarrollo de *Taxodium macronatum* Tenore, en Condiciones de invernadero. Departamento forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 1-40 pp.
- López E., J. Huez L., M.A. Rueda P., E. Jiménez L., J. Rodríguez, J. Romero E., L y Dávila C., 2013. Evaluación de un Polímero Hidrófilo en Chile Anaheim (*Capsicum annuum* L.) Cultivado en Invernadero. Evaluation of a Hydrophilic Polymer in Anaheim Pepper (*Capsicum annuum* L.). Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. México 1-23pp.
- Machin L. R. 2010, Síntesis y Caracterización de Polímeros de Ciclodextrina. Aplicación a la liberación de fármacos. Universidad de Navarra. Facultad de Ciencias. 26 p.
- Maldonado B., K., R. Aldrete., A. López., J. Vaquera H., H., Cetina A., M. Producción de *Pinus greggii* Engelm. En Mezclas de Sustrato con Hidrogel y Riego, en Vivero. Colegio de Posgraduado. Instituto de Investigación de Ciencias Agrícolas. México. 1-74 pp.
- Martínez C., JT. 2004. Evaluación del efecto del Hidrogel Mezclado con Sustrato en la Germinación y Desarrollo de *Pinus greggii* Engel en Invernadero. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 1.41pp.
- Nissen J. 1995. Hidrogeles. Análisis comparativo y costo de aplicación de una alternativa no tradicional de abastecimiento de agua a cultivos y frutales del sur de Chile. 11(131):19-20.
- Nissen M. y Ovando C. 1999. Efecto de un Hidrogel Humectado Aplicado a las Raíces de *Nothofagus obliqua* (MIRB.) OERST. Y *Nothofagus dombeyi* (MIRB.) OERST. Durante su Trasplante. Universidad Austral de Chile. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos Casilla, Valdivia, Chile. 1:17 pp.

- Nissen M, J. y San Martin R, K 2004. Uso de Poliacrilamidas y el Riego en el Manejo Hídrico de Lechugas (*Lactuca sativa* L.). Universidad Austral de Chile, Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, casilla 567, Valdivia, Chile. 1-12 p.
- Ortiz L E. Cruz R., A. Cruz G., J. Mendoza A., M. Martínez. Beatriz M., C.2006. Síntesis y Caracterización de Hidrogeles Obtenidos de Acrilamida y Metilcelulosa. División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. J. Rosas Tamaulipas, México. 1.120 pp.
- Palencia G. 2013. Hidrogeles, Características y Aplicaciones. Página virtual. Disponible en: <http://hidrogelesbiodegradables.blogspot.mx/>
- Pastor S.J., N. 1999. Utilización de Sustratos en Viveros. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 231-235 pp.
- Plantamejor 2013. Hidrogel para Agricultura y Jardinería. Jalisco, Guadalajara, México. Disponible en: <http://insumos-agropecuarios.vivanuncios.com.mx/ganaderos-agricolas+guadalajara-y-area-met/hidrogel-para-agricultura-y-jardineria--costal-de-25-kg--/69919952>
- Patricio H., N. 2014. Evaluación de Tres Dosis de Hidrogel en la Sobrevivencia y Desarrollo de *Pinus arizonica* Engelm. Variedad stormiae Martínez Plantados Bajo Condiciones de Sequía Extrema. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 1-34 pp.
- Ramos G, R. Velázquez, M. K. De la Rosa L., P. Segura C., E. P. 2009. Atrapamiento de sustancias húmicas en hidrogeles de gelatina con aplicación en agricultura. Departamento de Polímeros. Facultad de Ciencias Químicas. México. 1p.
- Rivera H., C. A., Baeza A., C.A. y Chavarriaga M., W. 2007. Efecto de un retenedor de agua y dosis crecientes de fertilizantes foliares sobre la producción de tomate chonto y larga vida bajo cubierta plástica agroclear. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. Caldas. 103, 117 y 118 pp.
- Rojas G., B. Aguilera R. Prin J., L. Cequea H. Cumana J. Rosales E. Ramírez M. 2010. Estudio de la Germinación de Semillas de Tomate en Suelos Áridos Extraídos de la Península de Araya (Venezuela) al Utilizar Polímeros de Tipo Hidrogeles. Revista iberoamericana de Polímeros. Venezuela. Vol. 1:5 17p. Disponible en: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/MAR04/Blanca2004.pdf>
- Rubira G. (2013). El Hidrogel en Cultivos Agrícolas, Cítricos y Frutícolas. Actualidad del Campo Agropecuario. Congreso internacional CEA. 53 y 54 p. Disponible en: http://issuu.com/adca/docs/campo_149_noviembre13

- Rodríguez I. 2012. La Aplicación de Hidrogel un Oasis en el Desierto. México. 1p. Disponible en: <http://www.manufactura.mx/tecnologia/2012/01/24/hidrogel-un-oasis-en-el-desierto>
- SACSA, 2014. El Hidrogel y la Agricultura. Noticias y Actividades. Proveedor de los Servicios Web de grupo SACSA. Disponible en la página web: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:a65_diuJ_DYJ:www.gruposacs.com.mx/index.php%3Foption%3Dcom_content%26view%3Darticle%26id%3D193:el-hidrogel-y-la-agricultura%26catid%3D5:noticias+&cd=8&hl=es-419&ct=clnk&gl=us
- Sánchez B., A. Silbaja B., M. Bega B., J y Madrigal C., S. 2012. Síntesis y Caracterización de Hidrogeles de Quitosano. Revista iberoamericana de Polímeros. Costa Rica. 242-265 pp.
- San Martín R., K., M. 2004. Efecto de Diversos Tratamientos Hídricos sobre la Producción de Lechuga (*Lactuca sativa*. L) en la IX Región de Chile <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fas196e/xhtml/sdx/fas196e-TH.6.xhtml>
- SARH (1986) Obras de Control de Erosión Laminar y CONAZA, 1993. Erosión hídrica y eólica
- Save R., M. Pery, O. Marfa, and L. Serrano. 1995. The effect of a hydrophilic polymer on plant water status and survival of transplanted pine seedlings. Hort Technology 5: 141—143.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2004. Degradación de los Suelos 27 p.
- Soler y Rodríguez. 2010. Metodología para Caracterizar Membranas de Hidrogel. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria. San José de las Lajas, La Habana. Cuba 1 p. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/metodologia-caracterizar-membranas-hidrogel/metodologia-caracterizar-membranas-hidrogel.pdf>
- Stockhausen 1994. Rentabilizar las Reservas de Agua con Stockosorb. Folleto técnico. Chemische Fabrik Stockhausen GmbH. Stockhausen. Alemania. 6 p.
- Terra-sorb 1998. Especificaciones Técnicas: PHC-TERRA-SORB. Hidroponía Condesa. México. 1-7 pp. Disponible en la página web: <http://www.agroquimicos-organicosplm.com/phc-terra-sorb-hidrogel-1646-9#inici>
- Terra-sorb 1989. Hidrogel Soluciones Naturales. Incrementa el Rendimiento del Tomate. Resultados en el cultivo de papa. Hipódromo Condesa. México. 1-16 pp. Disponible en: <http://www.phcmexico.com.mx/pdfs/catalogos/terrasorb.pdf>

- Tohidi M., R. H. Zahedi H. Ghooshchi F. 2011. La Calidad del Aceite de Cultivares de Colza en Respuesta a la Escasez de Agua y la Aplicación de Polímero Súper Absorbente. Departamento de of Agronomía, Varamin. Irán. 579 p.
- Tornado Distribuidora Comercializadora 2012. Usos del hidrogel, Cristales inteligentes, Disponible en: http://hidrogelmex.com/usos_de_hidrogel.html
- Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD) 2009. Sequía y Plantaciones Forestales.http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30173/Contenido_en_EXE_30173/MODULO%20CURSO%20SANIDAD%20AGROFORESTAL%2030173/sequia_y_plantaciones_forestales.html
- Velázquez A. 2002. Patrones y Tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica, 62:21-37.
- Villarreal H. 2011. Aplicación de Hidrogel en el Establecimiento de Plantaciones Forestales. Limpiadores Industriales y Petroleros S.A. Disponible en:<http://www.buenastareas.com/ensayos/Hidrogel/3264745.html>
- Wichterle O, Lim D. 1960. Hydrophilic gels for biological use. Nature 1960; 185:117-118.