

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**EVALUACIÓN DE UN HIDROGEL EN LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN  
DE HUMEDAD EN EL SUELO**

**MARCELA PAZ SANTIBAÑEZ SALINAS**

PROYECTO DE TÍTULO  
PRESENTADO A LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL AGRÍCOLA.

**CHILLÁN-CHILE**

**2025**

## EVALUACIÓN DE UN HIDROGEL EN LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO

Aprobado por:

Luis Octavio Lagos Roa.  
Ingeniero Civil Agrícola, Ph. D.  
Profesor Asociado.

---

Profesor Guía

Nicole Uslar Valle.  
Ingeniero Civil Agrícola, Ph. D.  
Profesora Asistente.

---

Profesor Asesor

Camilo Souto Escalona  
Ingeniero Civil Agrícola, Dr.  
Profesor Asociado.

---

Profesor Asesor

Bruno Felipe Urbano Cantillana  
Químico Industrial, Dr.  
Profesor Asociado.

---

Profesor Asesor

José Luis Arumí Ribera  
Ingeniero Civil, Ph. D.  
Profesor Titular.

---

Director de Departamento

María González Rodríguez  
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.  
Profesora Asociada.

---

Decana

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi agradecimiento al Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF), al Centro de Recursos Hídricos para la agricultura y la Minería (CRHIAM) y al Consorcio Tecnológico del Agua (CoTH20) por su apoyo y financiamiento para la realización de este proyecto, así como por su compromiso con el desarrollo de soluciones innovadoras y sustentables.

Además, agradecer a mi profesor guía, Dr. Octavio Lagos por su orientación en la redacción de este proyecto. A la Facultad de Ingeniería Agrícola y a cada persona que es parte de ella por sus enseñanzas y apoyo durante la carrera.

A mi madre Marcela Salinas, hermanas y mis sobrinos por su paciencia, el constante apoyo en la toma de mis decisiones, por su confianza y por sobre todo su amor.

Y a quien siempre quiso lo mejor para mí, abrazos al cielo.

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. HIPÓTESIS.....	7
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. Objetivo general.....	7
3.2. Objetivos específicos.....	7
4. ANTECEDENTES GENERALES.....	8
4.1 Hidrogeles.....	10
5. METODOLOGÍA.....	12
5.1 Selección de suelos.....	12
5.2 Tratamientos.....	14
5.3 Capacidad de Retención de Humedad.....	15
5.4 Humedad aprovechable.....	18
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
6.1 Efecto del hidrogel en la curva de retención de humedad.....	19
6.2 Efecto del hidrogel en la humedad aprovechable.....	24
6.3 Comparación del Hidrogel con producto comercial de AgroBiogel .....	27
7. CONCLUSIONES.....	34
8. LITERATURA CITADA.....	36
9. APÉNDICE.....	39

## ÍNDICE DE TABLAS

En el texto	Página
Tabla 1. Propiedades físico-hídricas de los suelos utilizados en la evaluación.....	14
En el Apéndice	
Tabla A-1. Tratamientos llevados al Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Campus Chillán .....	39
Tabla A-2. Densidad aparente de los tratamientos con superabsorbente (SAH) en evaluación. ....	40
Tabla A-3. Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo arenoso y cuatro dosis de aplicación del hidrogel. ....	40
Tabla A-4. Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo areno francoso y cuatro dosis de aplicación del hidrogel.....	41
Tabla A-5. Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo franco arenoso y cuatro dosis de aplicación del hidrogel.....	41
Tabla A-6. Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo franco limoso y cuatro dosis de aplicación del hidrogel.....	41
Tabla A-7. Densidad aparente de los tratamientos con superabsorbente (SAH) comercial .....	42
Tabla A-8. Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo arenoso y cuatro dosis de aplicación del SAH AgroBiogel. ....	42

Tabla A-9. Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo areno francoso y cuatro dosis de aplicación del AgroBiogel.....	43
Tabla A-10. Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo franco arenoso y cuatro dosis de aplicación del AgroBiogel.....	43
Tabla A-11. Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo franco limoso y cuatro dosis de aplicación del AgroBiogel.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema representativo del SAH como enmienda de suelo	9
Figura 2. Hidrogel superabsorbente en evaluación.....	11
Figura 3. Hidrogel superabsorbente comercial AgroBiogel.....	12
Figura 4. Ubicación de los puntos de recolección de los suelos utilizados. arenoso (a), areno francoso (aF), franco arenoso (Fa) y franco limoso (FL).....	13
Figura 5. Muestras llevadas a laboratorio.....	15
Figura 6. Olla de presión y muestras de suelo en plato de succión.....	16
Figura 7. Curvas de retención de humedad del suelo arenoso (a) y los tratamientos con el SAH en evaluación.....	19
Figura 8. Curvas de retención de humedad del suelo areno francoso (aF) y los tratamientos con el SAH en evaluación.....	20
Figura 9. Curvas de retención de humedad del suelo franco arenoso (Fa) y los tratamientos con el SAH en evaluación.....	22
Figura 10. Curvas de retención de humedad del suelo franco limoso (FL) y los tratamientos con el SAH en evaluación.....	23
Figura 11. Contenido de humedad a capacidad de campo ( $\Theta_{CC}$ ), punto de marchitez permanente ( $\Theta_{PMP}$ ), correspondiente a energías de retención de 10kPa y 1500kPa respectivamente y humedad aprovechable (HA) resultante en suelo arenoso y en los cuatro tratamientos con SAH en evaluación.....	24
Figura 12. Contenido de humedad a capacidad de campo ( $\Theta_{CC}$ ), punto de marchitez permanente ( $\Theta_{PMP}$ ), correspondiente a energías de retención de 10kPa y 1500kPa respectivamente y humedad aprovechable (HA) resultante en suelo areno	

francoso y los cuatro tratamientos con SAH en evaluación.....	25
Figura 13. Contenido de humedad a capacidad de campo ( $\Theta_{CC}$ ), punto de marchitez permanente ( $\Theta_{PMP}$ ), correspondiente a energías de retención de 10kPa y 1500kPa respectivamente y humedad aprovechable (HA) resultante en suelo franco arenoso y en los cuatro tratamientos con SAH en evaluación.....	26
Figura 14. Contenido de humedad a capacidad de campo ( $\Theta_{CC}$ ), punto de marchitez permanente ( $\Theta_{PMP}$ ), correspondiente a energías de retención de 33kPa y 1500kPa respectivamente y humedad aprovechable (HA) resultante en suelo franco limoso y en los cuatro tratamientos con SAH en evaluación...	27
Figura 15. Curvas de retención de humedad del suelo arenoso (a) y los tratamientos con el SAH comercial (AgroBiogel).....	28
Figura 16. Comparación de la humedad aprovechable (HA) entre los tratamientos del hidrogel en evaluación y el AgroBiogel en suelo arenoso.....	28
Figura 17. Curvas de retención de humedad del suelo areno francoso (aF) y los tratamientos con el SAH comercial de AgroBiogel..	29
Figura 18. Comparación de la humedad aprovechable (HA) entre los tratamientos del hidrogel en evaluación y el AgroBiogel en suelo areno francoso.....	30
Figura 19. Curvas de retención de humedad del suelo franco arenoso (Fa) y los tratamientos con el SAH comercial de AgroBiogel..	30
Figura 20. Comparación de la humedad aprovechable (HA) entre los tratamientos del hidrogel en evaluación y el AgroBiogel en suelo franco arenoso.....	31
Figura 21. Curvas de retención de humedad del suelo franco limoso (FL) y los tratamientos con el SAH comercial de AgroBiogel..	32

Figura 22. Comparación de la humedad aprovechable (HA) entre los  
tratamientos del hidrogel en evaluación y el AgroBiogel en  
suelo franco limoso..... 33

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

	Página
Ecuación 1. Contenido de Humedad Gravimétrico.....	16
Ecuación 2. Densidad Aparente.....	17
Ecuación 3. Contenido de Humedad Volumétrico.....	17
Ecuación 4. Humedad Aprovechable.....	18

## **EVALUACIÓN DE UN HIDROGEL EN LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO**

### **EVALUATION OF A HYDROGEL IN SOIL MOISTURE RETENTION CAPACITY**

**Palabras claves:** Hidrogel biodegradable, superabsorbente, humedad aprovechable, texturas de suelo.

#### **RESUMEN**

En este trabajo se investigaron los efectos de un hidrogel biodegradable en la capacidad de retención de humedad en cuatro texturas de suelo diferentes (arenoso, areno franco, franco arenoso y franco limoso). Los suelos se mezclaron con cuatro dosis de aplicación del hidrogel (0,3%, 0,5%, 0,8% y 1,0%). Los análisis fueron obtenidos desde el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción campus Chillan. Los resultados mostraron un incremento en la capacidad de retención de humedad en los suelos de textura gruesa, especialmente en el suelo arenoso, donde se obtuvo un aumento de hasta diez veces en la capacidad de retención de agua cuando se compara con el suelo sin tratamiento. En suelos de textura intermedia, el efecto del hidrogel fue menos importante, destacando la relevancia de ajustar la dosis de aplicación según la textura del suelo. La humedad aprovechable también incrementó con la adición del hidrogel, alcanzando el mayor aumento en el suelo con una dosis de 1% en suelo arenoso. Al comparar el hidrogel biodegradable en evaluación con un hidrogel comercial existente, se observaron similares resultados. En conclusión,

el hidrogel evaluado podría ser una alternativa para mejorar la retención de agua en suelos agrícolas, particularmente en suelos con baja capacidad de retención. Sin embargo, mayores estudios son necesarios para determinar la vida útil del hidrogel y su evaluación en condiciones de campo.

## EVALUATION OF A HYDROGEL IN SOIL MOISTURE RETENTION CAPACITY

**Keywords:** Biodegradable hydrogel, superabsorbent, available water content, soil textures.

### SUMMARY

This study investigated the effects of a biodegradable hydrogel on the moisture retention capacity of four different soil textures (sandy, sandy loam, loamy sand, and silty loam). The soils were mixed with four application rates of the hydrogel (0.3%, 0.5%, 0.8%, and 1.0%). The analyses of samples were obtained from the Soil and Plant Analysis Laboratory at the Faculty of Agronomy, University of Concepción, Chillan campus. The results showed an increase in moisture retention capacity in coarse-textured soils, particularly in sandy soil, where up to a tenfold increase in water retention capacity was observed compared to untreated soil. In medium-textured soils, the effect of the hydrogel was less significant, highlighting the importance of adjusting the application rate according to soil texture. Available water capacity (AWC) also increased with the addition of the hydrogel, reaching the highest increase in sandy soil with a 1% dose. When comparing the evaluated hydrogel with an existing commercial hydrogel, similar results were observed. In conclusion, the evaluated hydrogel could be an alternative to improve water retention in agricultural soils, particularly in soils with low retention capacity. However, further studies are needed to determine the hydrogel's lifespan and its performance under field conditions.

## 1. INTRODUCCIÓN

La retención de humedad en el suelo es un factor clave para la eficiencia del uso de los recursos hídricos en entornos agrícolas, especialmente en un contexto de cambio climático, escasez hídrica y crecimiento de la demanda de alimentos (FAO, 2022). La capacidad de retención de la humedad de un suelo está directamente relacionada con su textura que está compuesta por partículas de diferente tamaño, la estructura y la cantidad de materia orgánica, aspectos que influyen significativamente en el crecimiento y productividad de las plantas. Una buena capacidad de retención de humedad permite que el agua de riego o de lluvia se utilice de manera más eficiente y pueda contribuir a la reducción de la necesidad de riegos frecuentes (Lawrence & Hornberger, 2007).

El sector agrícola demanda el 70% del agua dulce mundial, por lo que, se ha intensificado la presión respecto a la optimización de los recursos. Tanto la variabilidad climática, como sequías más frecuentes o lluvias intensas y la condición de escasez hídrica hace que sea difícil gestionar adecuadamente los niveles de humedad del suelo y las prácticas agrícolas no sostenibles, como la sobreexplotación y la deforestación, pueden llevar a la degradación del suelo, generando una disminución en la capacidad para retener la humedad (UNESCO, 2021).

Al abordar estos desafíos, es necesario investigar soluciones que logren mitigar las condiciones de escasez hídrica usando el agua de una manera más eficiente, donde se promueva la sostenibilidad y productividad en las regiones agrícolas. En este sentido, los hidrogeles como acondicionadores de suelos son una herramienta atractiva dentro de la agricultura.

Los hidrogeles son polímeros hidrofílicos y pueden absorber, retener y ceder soluciones acuosas. Son clasificados como sintéticos o naturales, según su origen. Existen hidrogeles definidos como “superabsorbentes” que son capaces de absorber mayores cantidades de agua (>100g de agua por gramo de hidrogel) y han sido aplicados en diversos campos, como Ingeniería biomédica, medicina, industria, horticultura, etc. (Spagnol et al., 2012).

En la agricultura, los hidrogeles han demostrado su eficacia en mejorar la retención de humedad en el suelo y el suministro de agua a las plantas durante periodos de sequía, convirtiéndose en reservorios de agua lluvia lo que lleva a ahorros en recursos hídricos (Saha et al., 2020).

Los hidrogeles sintéticos pueden ser eficientes en la conservación de la humedad del suelo, sin embargo, estos presentan desafíos ambientales debido a su biodegradabilidad lenta que puede generar alteraciones en otras características del suelo como en la salinización, pH y a la generación de contaminantes debido a los polímeros mayormente utilizados en su formulación como el poliacrilato de sodio y la poliacrilamida respectivamente (Chang, et al., 2020; Dai et al., 2014 y Singh, 2016).

Estos aspectos destacan la importancia de considerar la alternativa de base biológica como una solución para la producción y formulación de una agricultura sustentable, por lo que la síntesis de hidrogeles provenientes de fuentes naturales es una propuesta atractiva a desarrollar.

En este estudio, se observa el efecto de un hidrogel superabsorbente (SAH) denominado Tannigel, sintetizado en el Laboratorio de Interacciones Macromoleculares de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción, en cuatro texturas de suelo, el hidrogel posee la ventaja de estar compuesto de materiales 100% biodegradables, posicionándose como una solución potencial para la enmienda de suelos. El objetivo principal es evaluar la influencia de este hidrogel en la capacidad de retención humedad de cuatro texturas de suelos principalmente de texturas gruesas e intermedias, específicamente arenoso, areno francoso, franco arenoso y franco limoso.

## **2. HIPÓTESIS**

La adición del hidrogel llamado “TanniGel” en suelos de texturas gruesas e intermedias, es una herramienta sustentable que favorece la capacidad de retención de humedad y aumenta el agua aprovechable aportando a la optimización del uso de recursos hídricos en la agricultura.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de un hidrogel en la capacidad de retención de humedad en cuatro texturas de suelo y cuatro dosis de aplicación.

### **3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto de diferentes dosis de aplicación del hidrogel (0,3%, 0,5%, 0,8% y 1%) en la curva de retención de humedad de cuatro texturas de suelo (arenoso, areno francoso, franco arenoso y franco limoso).
- Valorar el efecto de las dosis de aplicación del hidrogel (0,3%, 0,5%, 0,8% y 1%) en la humedad aprovechable de cuatro texturas de suelo (arenoso, areno francoso, franco arenoso y franco limoso).
- Comparar el hidrogel con un producto comercial para las mismas dosis de aplicación y texturas de suelo previamente analizadas.

#### 4. ANTECEDENTES GENERALES

Los hidrogeles han emergido como una herramienta atractiva en el contexto de escasez hídrica por su impacto en la agricultura para evitar el estrés hídrico en las plantas, reducir la frecuencia de riego al mantener el suelo húmedo por más tiempo y mejorar la retención de nutrientes.

En la década de 1970, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) desarrolló un material capaz de absorber más de 400 veces su propio peso y lo denominó hidrogel superabsorbente (SAH, del inglés *superabsorbent hydrogels*) (Saha et al.,2020). Actualmente, existen SAH comercialmente disponibles que poseen una capacidad de absorción entre 100 y 500 g de H<sub>2</sub>O/g de absorbente (Saha et al., 2020b).

Los SAH son polímeros que están formulados por materiales que poseen una fuerte afinidad con el agua (hidrofílicos) y forman una estructura tridimensional que les permite expandirse e interactuar con el agua absorbiéndola, además reteniéndola. En la Figura 1 se presenta un diagrama del hidrogel mezclado con el suelo para visualizar el impacto como enmienda del suelo.



**Figura 1.** Esquema representativo del SAH como enmienda de suelo. Fuente: elaboración propia.

La formulación de hidrogeles de origen natural a través de la combinación de componentes como el almidón, la celulosa, el quitosano, entre otros, resultan ser ambientalmente amigables por la biocompatibilidad de la biomasa degradada, además de no ser tóxicos y tener un bajo costo de producción.

Por ejemplo, el almidón que está presente en diversas fuentes vegetales además de demostrar una buena absorción de agua (Singh et al., 2015), en un estudio se destacó su renovabilidad, alta elasticidad y características como acondicionador del suelo modificando la actividad microbiana (Lin et al., 2021). Por otro lado, el polímero carboximetilcelulosa (CMC), derivado de la celulosa, se ha destacado brindando propiedades higroscópicas que proporciona una liberación de agua más controlada y lo cual es esencial para la eficiencia de estos absorbentes (Demitri et al., 2013).

Estudios de SAH interactuando con el suelo mostraron su eficacia en la optimización de la capacidad de retención de humedad (Saha et al., 2020). La retención de humedad es una característica directamente relacionada con la textura de suelo y principalmente afectada por la disponibilidad de agua en un contexto de escasez hídrica.

La textura del suelo se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla que lo conforman. Los suelos de textura gruesa como los arenosos, areno franco y franco arenoso se clasifican como suelos no cohesivos, se caracterizan por poseer una baja capacidad de retención de humedad y un drenaje excesivo, lo que afecta en la eficiencia del uso del agua y puede restringir el crecimiento de las plantas. Los SAH parecen una alternativa práctica para el manejo de este tipo de suelos en la agricultura (Andry et al., 2009 y Patil et al., 2011). Por otro lado, los suelos con partículas más finas y cohesivas como los francos limosos poseen fuerzas de atracción significativas, lo que implica que pueden retener más agua y son menos permeables.

#### **4.1 Hidrogeles**

El hidrogel evaluado en este estudio (Tannigel), presentado en la Figura 2, es denominado como un hidrogel superabsorbente (SAH) ya que tiene una capacidad promedio de absorción de agua de 160 g H<sub>2</sub>O/g hidrogel. Fue sintetizado en el Laboratorio de Interacciones Macromoleculares de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción. Se ha formulado con materiales biodegradables y costo-efectivos, con la finalidad de optimizar el uso

de los recursos en la agricultura. Su matriz principal está compuesta por carboximetilcelulosa (CMC) y es reticulado para proporcionar estabilidad estructural utilizando dos agentes: El ácido tánico (TA) que proporciona tenacidad y elasticidad a la red como reticulante físico y el ácido cítrico (CA) que actúa como un reticulante covalente para la estructura necesaria.



**Figura 2.** Hidrogel superabsorbente en evaluación.

El SAH en evaluación se compara con un SAH comercial (Figura 3) que es proporcionado por AgroBiogel GmbH (Austria). Se describe en su ficha técnica como un acondicionador de suelo 100% orgánico, basado en lignosulfonatos.



**Figura 3.** Hidrogel superabsorbente comercial AgroBiogel.

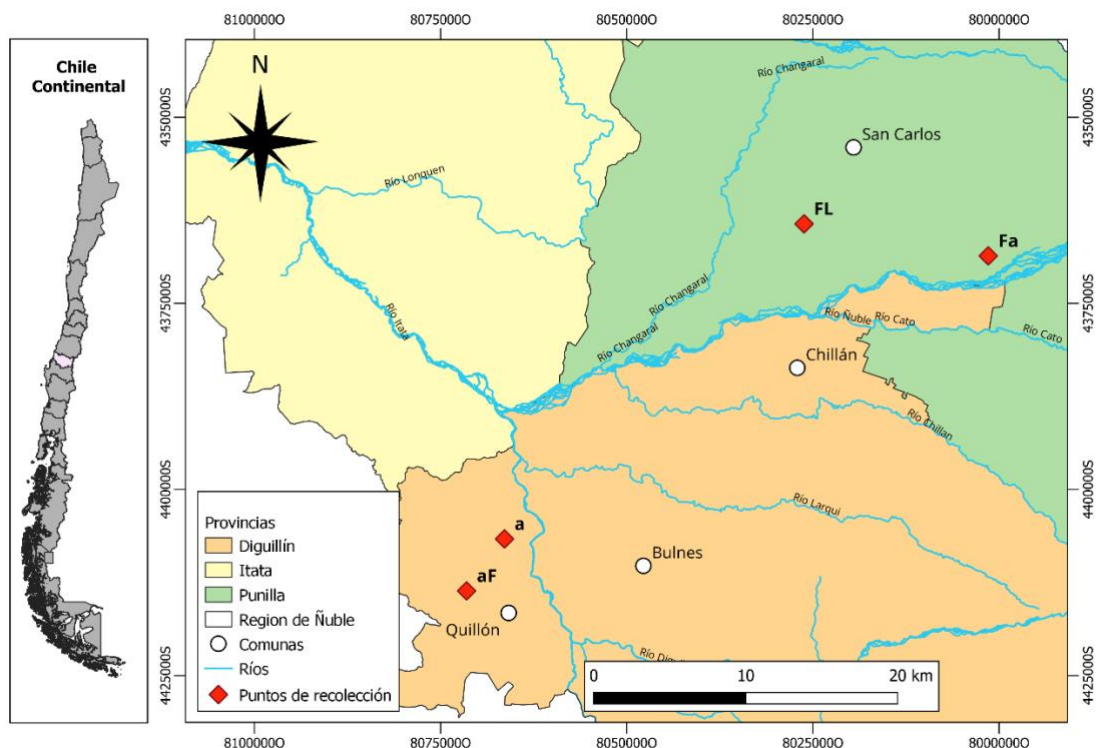
## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 Selección de suelos**

Los suelos para la evaluación son seleccionados bajo el criterio de evaluar el impacto del hidrogel en texturas gruesas e intermedias, por lo que se incluyeron suelo arenoso (a), areno franco (aF), franco arenoso (Fa) y franco limoso (FL). Los suelos seleccionados fueron recolectados en diferentes sectores de la Región de Ñuble, Chile. La recolección se realizó tras la ubicación de los suelos de interés mediante el Sistema de Información Territorial Rural (SIT Rural) del Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) gracias a su visualizador de mapas e información descriptiva y cartográfica.

Las muestras de suelo areno franco y arenoso fueron recolectadas en la zona de Quillón (Provincia del Itata), la muestra de suelo franco limoso fue recolectada en el sector de San Pedro de Lillahue en San Nicolás, (Provincia del

Punilla) y la muestra de suelo franco arenoso se obtuvo en el sector de San Carlos (Provincia del Punilla), la ubicación geográfica de estos puntos se representa en la Figura 4.



**Figura 4.** Ubicación de los puntos de recolección de los suelos utilizados: arenoso (a), areno francoso (aF), franco arenoso (Fa) y franco limoso (FL).

Los suelos recolectados fueron extraídos a una profundidad de 10 cm y sus propiedades físico-hídricas de interés como la densidad aparente y la distribución del tamaño de sus partículas (granulometría) que es detallada en la Tabla 1, fueron categorizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Campus Chillán.

**Tabla 1.** Propiedades físico-hídricas de los suelos utilizados en la evaluación.

Textura	a	aF	Fa	FL	
Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	1,48	1,29	1,35	1,26	
3,35-2,0 mm	17,42	0,77	0,32	0,19	
2,0 – 1,0 mm	30,57	0,63	22,13	12,39	
1,0 – 0,5 mm	31,00	4,95	25,71	10,88	
Granulometría (%)	0,5 – 0,25 mm	14,23	29,00	22,71	15,73
	0,25 – 0,10 mm	5,49	52,67	17,78	37,77
	0,10 – 0,05 mm	0,79	9,87	8,48	19,35
	< 0,05 mm	0,50	2,11	2,87	3,69

Donde a: arenoso, aF: areno francoso, Fa: franco arenoso y FL: franco limoso.

## 5.2 Tratamientos

Se realizaron cuatro tratamientos y un control (suelo sin adición de SAH), replicados tres veces por cada tipo de suelo. Los tratamientos se formularon combinando 100 gramos de cada tipo de suelo previamente tamizado en una malla de 2mm y cuatro dosis específicas de SAH (0,3%, 0,5%, 0,8% y 1%). Esto es tanto para el hidrogel en evaluación (Tannigel) y para el hidrogel comercial de AgroBiogel. En apéndice (Tabla 1-A) se presenta el listado con detalle de los tratamientos llevados al laboratorio de suelo de Análisis de Suelos y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción.

De cada tratamiento definido, se realizaron tres muestras, buscando así resultados representativos y certeros, utilizando la media. En total se evaluaron 36 tratamientos considerando el grupo de control (suelo sin SAH). En la Figura 5 se muestra el formato en el cual fueron llevadas a laboratorio.



**Figura 5.** Muestras llevadas a laboratorio.

### **5.3 Capacidad de Retención de Humedad**

Para la visualización del efecto del SAH en esta característica se construyó la curva de retención de humedad de cada tratamiento a partir la variabilidad del contenido de humedad respecto a las fuerzas de succión, datos entregados por el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, campus Chillán, donde se realizó la evaluación por medio del método de la olla de presión (Richards, 1948).

Este método consiste en la aplicar diferentes niveles de presión a las muestras del suelo para medir el contenido de humedad existente. Las muestras se colocaron sobre platos de succión en pequeños cilindros de PVC de volumen conocido (Figura 6), luego se saturaron para llevarlas dentro de la olla de presión y sellarla. Mediante un compresor se selecciona la presión específica de 10, 33, 300, 500 y 1500 kPa.



**Figura 6.** Olla de presión y muestras de suelo en plato de succión.

Cuando se logra llegar al equilibrio, es decir, ya no sale más agua por la tubería de salida de la olla, las muestras son extraídas para medir su contenido de humedad. El tiempo para obtener el equilibrio depende la presión aplicada, por ejemplo, para energías de retención de 33kPa tardó 24 horas y para 1500kPa tardó aproximadamente 4 días.

El contenido de humedad gravimétrico ( $\Theta_g$ ) se obtiene utilizando la masa del suelo húmedo resultante después de aplicar las presiones y la masa del suelo seco de la muestra que es obtenida después de ser secada en un horno a 105°C durante 24 horas. El contenido de humedad gravimétrico ( $\Theta_g$ ) se puede obtener con la ecuación 1.

$$\theta_g = \frac{M_{sh} - M_{ss}}{M_{ss}} \quad [1]$$

Donde:

$M_{ss}$ : Masa suelo seco (g)

$M_{sh}$ : Masa de suelo húmedo (g)

$\theta_g$ : Contenido de humedad gravimétrico ( $g\ g^{-1}$ )

Con el volumen y la masa del suelo seco de cada muestra se obtiene la densidad aparente ( $D_{ap}$ ) considerando la ecuación 2.

$$D_{ap} = \frac{M_{ss}}{V_{ss}} \quad [2]$$

Donde:

$M_{ss}$ : Masa suelo seco (g)

$V_{ss}$ : Volumen de suelo seco ( $\text{cm}^3$ )

$D_{ap}$ : Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

El contenido de humedad volumétrico ( $\theta_v$ ) es la fracción del volumen total del suelo ocupada por agua. Se determinó en relación con el contenido de humedad gravimétrico de la succión específica y la densidad aparente, mediante la ecuación 3:

$$\theta_v = \theta_g \times D_{ap} \quad [3]$$

Donde:

$\theta_g$  = Contenido de humedad gravimétrico ( $\text{g g}^{-1}$ )

$D_{ap}$  = Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$\theta_v$  = Contenido de humedad volumétrico ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

#### 5.4 Humedad aprovechable

Esta medida indica la fracción del volumen total del suelo que está ocupada por agua y que puede ser absorbida por las raíces de las plantas (FAO, 2024) y se obtiene mediante la ecuación 4:

$$HA = \theta_{CC} - \theta_{PMP} \quad [4]$$

Donde:

$\theta_{CC}$  = Contenido de humedad a capacidad de campo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )

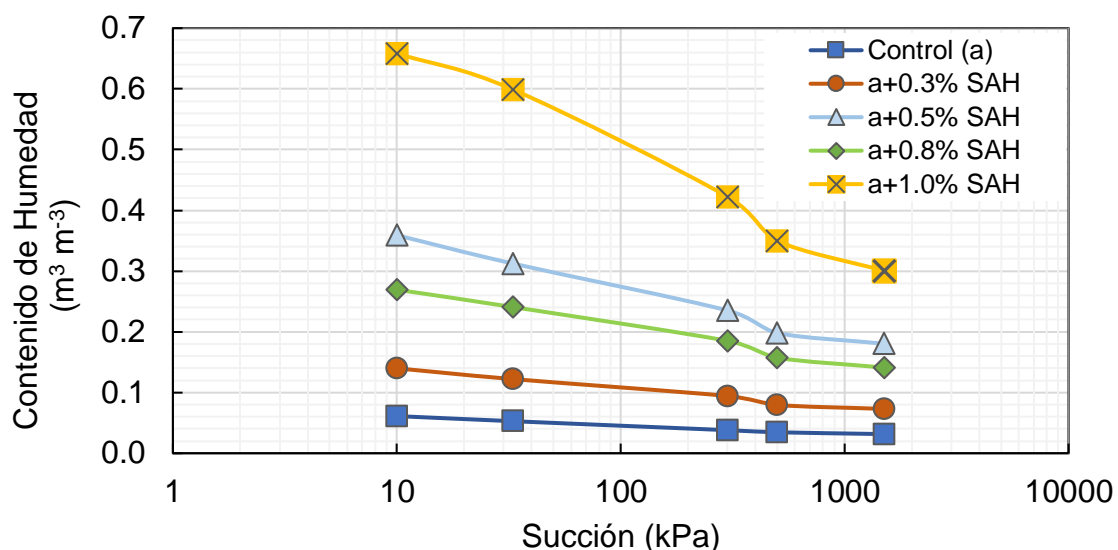
$\theta_{PMP}$  = Contenido de humedad en punto de marchitez permanente ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ).

HA = Humedad aprovechable ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Efecto del hidrogel en la curva de retención de humedad

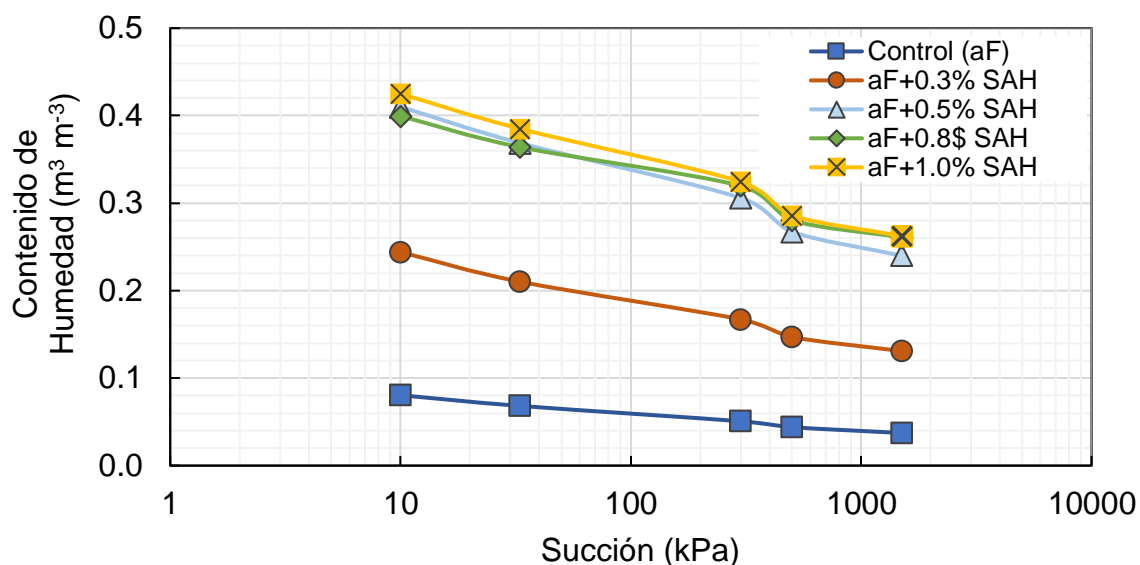
En la Figura 7 se muestra las curvas de retención de humedad de los tratamientos con el SAH en evaluación en suelo arenoso. El suelo arenoso muestra una baja capacidad de retención de la humedad (Mohawesh & Durner, 2019). Los contenidos de humedad para el control (suelo sin adición de SAH) fluctúan entre  $0.061 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10 kPa y  $0.032 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa.



**Figura 7.** Curvas de retención de humedad del suelo arenoso (a) y los tratamientos con el SAH en evaluación.

En el tratamiento con 0,3% de SAH, se observa una curva con un contenido de humedad mayor en comparación con el control, sin embargo, la mejora no es tan significativa como en las concentraciones más altas. La dosis de 0.5% muestra un incremento notable, superior y cercano al tratamiento con 0.8% de SAH. En cuanto al tratamiento de 1% de SAH, pudo retener aproximadamente

10 veces más humedad que el suelo sin hidrogel en condiciones de baja succión, obteniendo valores de  $0.658 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10 kPa y  $0.300 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa. Las curvas de retención de humedad de los tratamientos con el SAH en evaluación en suelo areno francoso se muestran en la Figura 8. El “control” (suelo sin tratamiento) muestra una baja retención de humedad variando entre  $0.080 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10 kPa a  $0.037 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa. La Figura 8 muestra que al igual que en el suelo arenoso sucede un incremento en la capacidad de retención de humedad con sólo adicionar el SAH.



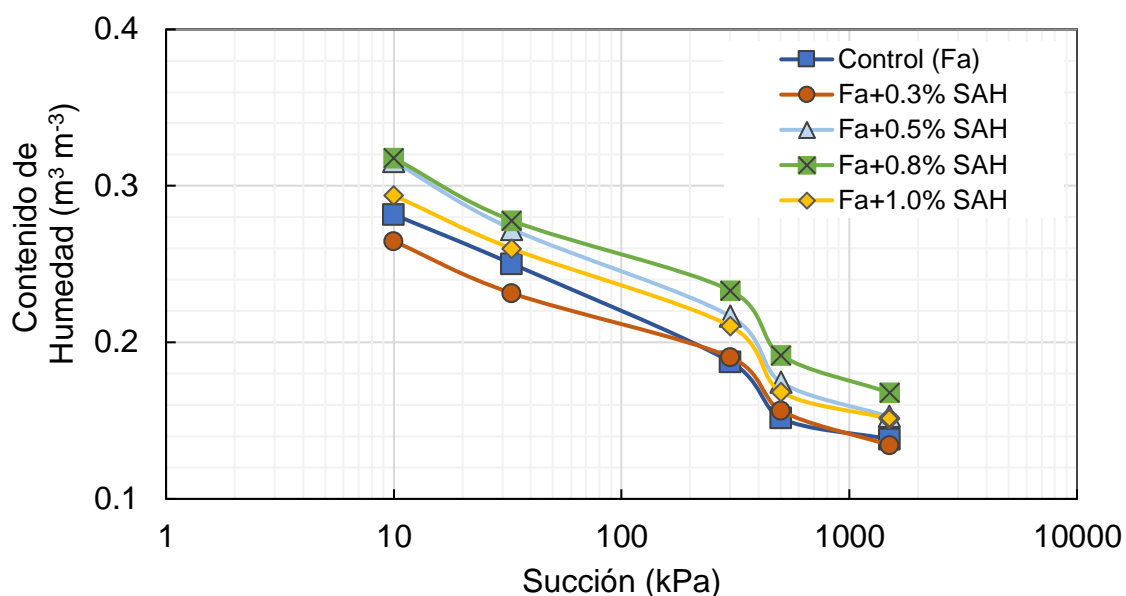
**Figura 8.** Curvas de retención de humedad del suelo areno francoso (aF) y los tratamientos con el SAH en evaluación.

La dosis del 0.3% presenta un incremento respecto al control con valores que varían de  $0.244 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10 kPa a  $0.131 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa, seguido por el tratamiento con 0.5% de SAH que presenta una mejora notable con valores desde  $0.410 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10 kPa a  $0.240 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa y con valores muy cercanos al tratamiento con 0.8% que varía entre valores de  $0.339 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10

kPa y  $0.261 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa. La aplicación de 1 % de SAH presenta la mayor retención de humedad a diferentes niveles de succión, pero con un incremento muy cercano al del tratamiento con 0.8% de SAH, con valores entre de  $0,425 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10kPa y  $0,262 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500kPa.

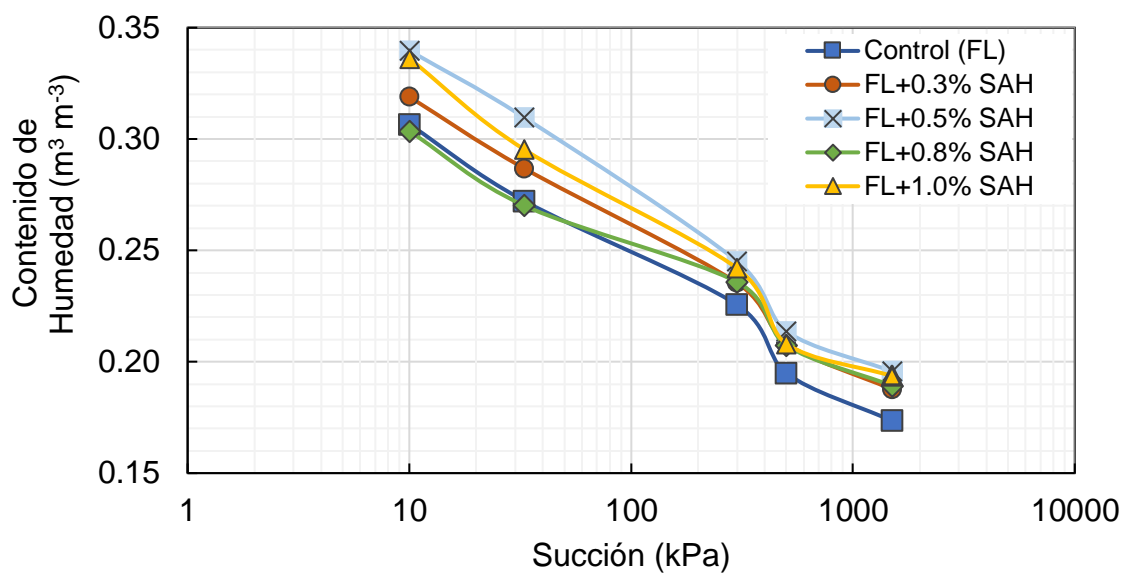
En general, la Figura 7 y Figura 8 muestran que la incorporación del SAH tiene un efecto significativo en la capacidad de retención de humedad de los suelos de textura gruesa, en este caso suelo arenoso y areno francoso. Se podría destacar que a medida que aumenta la dosis de aplicación aumenta el incremento, exceptuando el tratamiento con 0.8% del SAH en el suelo arenoso. Como indica otros estudios donde se aplicaron biopolímeros como acondicionador en suelos de textura gruesa, esto puede deberse a la disminución de macroporos y al aumento significativo de los microporos (Patil et al., 2011).

En la Figura 9, la curva de retención de humedad del suelo franco arenoso sin tratamiento (“control”) muestra una retención de humedad moderada, que varía entre  $0.282 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10 kPa a  $0.138 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa.



**Figura 9.** Curvas de retención de humedad del suelo franco arenoso (Fa) y los tratamientos con el SAH en evaluación.

De la Figura 9, se observó que el mayor incremento en la capacidad de retención del suelo franco arenoso fue con la dosis del 0.8% del SAH con valores que varían de  $0.318 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10 kPa a  $0.168 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa. La dosis del 0.5% presenta la curva de retención más cercana a la del 0.8% con valores que varían de  $0.316 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10 kPa hasta  $0.152 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa. La dosis del 1% presenta una curva que varía entre  $0.294 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10 kPa y  $0.151 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa. Finalmente, la retención de humedad de la dosis del 0.3% es comparable a la del control, con una leve mejora en algunas presiones (300kPa y 500kPa), pero disminuye en los puntos de baja succión. En este caso el incremento no es proporcional a la dosis de aplicación del SAH en evaluación como lo fue en las texturas de arenas más gruesas.



**Figura 10.** Curvas de retención de humedad del suelo franco limoso (FL) y los tratamientos con el SAH en evaluación.

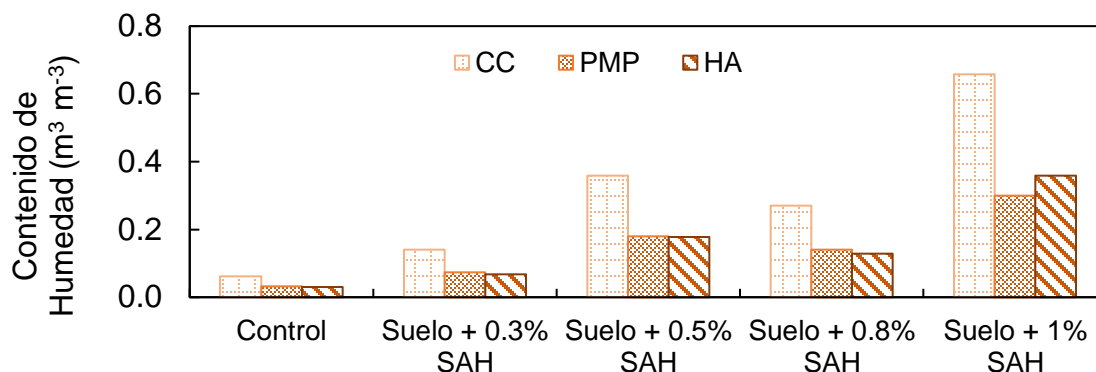
En la Figura 10 se presentan las curvas de retención de humedad con los tratamientos del SAH evaluado. El suelo franco limoso sin tratamiento (“control”) muestra una capacidad de retención de humedad significativa y gradual a diferentes presiones, variando de  $0.307 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10 kPa a  $0.173 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa. El suelo con el 0.5% del SAH presentó el mayor incremento del contenido de humedad en comparación al control en el suelo franco limoso, con valores que varían de  $0.340 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 10 kPa a  $0.196 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a 1500 kPa. Seguida es la curva del 1% que está muy cercana a la dosis de 0.8% y 0.3%, especialmente en energías de succión mayores a los 300kPa donde presentaron un incremento similar entre los tres tratamientos.

El incremento presentado en este suelo es mínimo en comparación a los tratamientos de suelos de textura más gruesas donde se puede visualizar un

incremento en todo el rango de succión, similar a los resultados que se han encontrado en otras evaluaciones donde en suelos de textura xxx (Saha et al., 2020).

## 6.2 Efecto del hidrogel en la humedad aprovechable

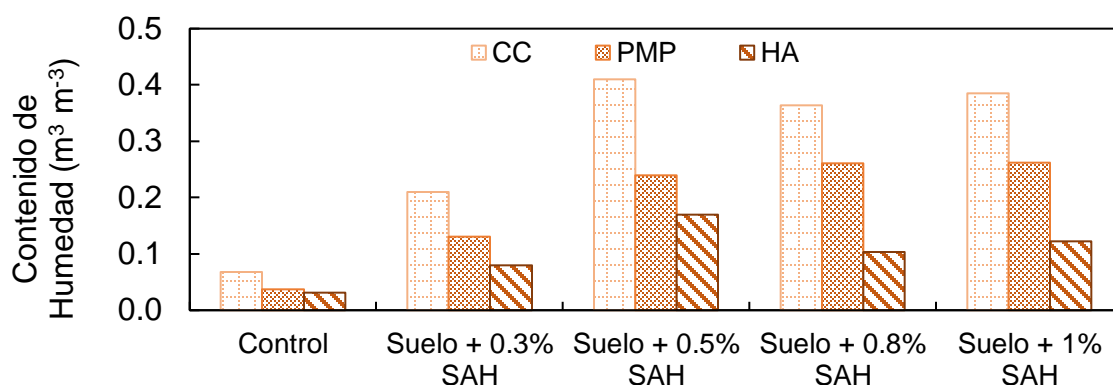
La humedad aprovechable (HA) resultante en el suelo arenoso y sus tratamientos es presentada en la Figura 11, donde se muestra que existe un incremento notable al adicionar el hidrogel de prueba en todas las dosis de aplicación.



**Figura 11.** Contenido de humedad a capacidad de campo ( $\Theta_{CC}$ ), punto de marchitez permanente ( $\Theta_{PMP}$ ), correspondiente a energías de retención de 10kPa y 1500kPa respectivamente y humedad aprovechable (HA) resultante en suelo arenoso y en los cuatro tratamientos con SAH en evaluación.

El tratamiento con 0.3% aumentó el doble en comparación al control y a partir de la dosis de 0.5% existe un incremento más notable de casi seis veces más que el control. La dosis de 0.8% presenta una menor HA que con 0.5%, aun así, es significativamente mayor que el control. Y se destaca la muestra con 1% de hidrogel que aumenta el agua disponible hasta aproximadamente 12 veces en comparación al control.

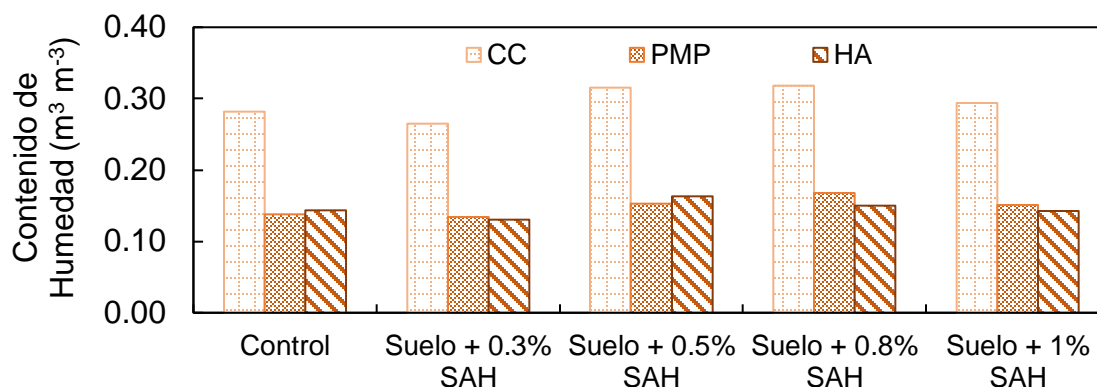
En cuanto a la humedad aprovechable en el suelo areno francoso, también aumenta con la aplicación del hidrogel a prueba. Según los valores obtenidos, presentados en la Figura 12, la aplicación de 0.5% de SAH resultó con la mayor HA ( $0,170 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ), superando por más de cinco veces al control y a las dosis de 0,3, 0,8 y 1,0%



**Figura 12.** Contenido de humedad a capacidad de campo ( $\Theta_{CC}$ ), punto de marchitez permanente ( $\Theta_{PMP}$ ), correspondiente a energías de retención de 10kPa y 1500kPa respectivamente y humedad aprovechable (HA) resultante en suelo areno francoso y los cuatro tratamientos con SAH en evaluación.

Sin embargo, al aumentar la dosis a 0,8% y 1% existe un incremento de más de tres veces y cuatro veces el control, respectivamente. Esto sugiere que una dosis intermedia de hidrogel puede ser más eficiente en términos de aumentar la cantidad de agua disponible para las plantas.

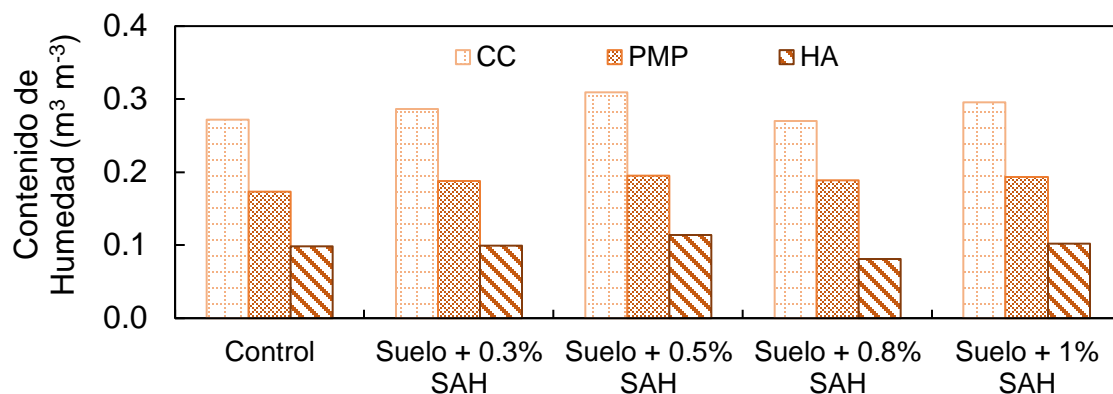
En el suelo franco arenoso, el efecto del hidrogel a prueba en la HA fue menos pronunciado en comparación con los suelos de textura más gruesa. En la Figura 13 se observa que la dosis de 0,3% presenta un volumen de humedad aprovechable ligeramente menor a la del control, esto refleja que no en todos los casos el acondicionador incrementa el contenido de humedad disponible.



**Figura 13.** Contenido de humedad a capacidad de campo ( $\Theta_{CC}$ ), punto de marchitez permanente ( $\Theta_{PMP}$ ), correspondiente a energías de retención de 10kPa y 1500kPa respectivamente y humedad aprovechable (HA) resultante en suelo franco arenoso y en los cuatro tratamientos con SAH en evaluación.

Sin embargo, con la aplicación del 0.5%, tanto el  $\Theta_{CC}$  como el  $\Theta_{PMP}$  aumenta y se presenta la mayor humedad aprovechable en comparación al control y las dosis de 0.8% y 1%. Los resultados sugieren que el efecto del hidrogel evaluado puede variar en suelos de textura intermedia.

En cuanto a la HA en el suelo franco limoso, se puede observar de la Figura 14 que la dosis del 0.3% muestra una ligera mejora en el  $\Theta_{CC}$  y en el  $\Theta_{PMP}$ , sin embargo, la HA es igual a la del control. En el tratamiento con el 0.5% se muestra el mayor incremento respecto al control ( $0.114 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ) y con la dosis de 0.8% se muestra una HA menor que el control ( $0.081 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ).

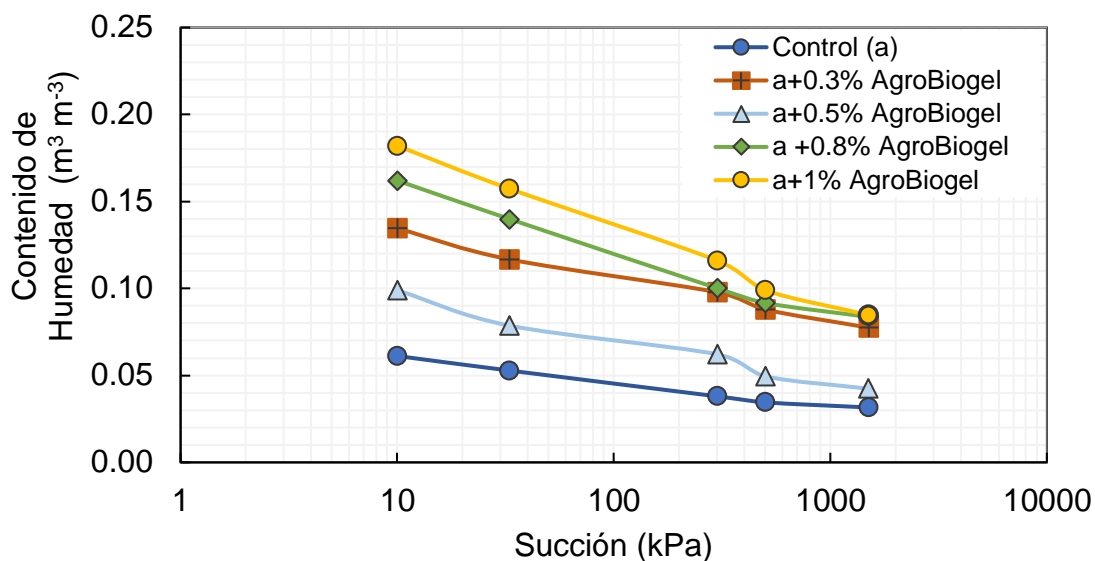


**Figura 14.** Contenido de humedad a capacidad de campo ( $\Theta_{CC}$ ), punto de marchitez permanente ( $\Theta_{PMP}$ ), correspondiente a energías de retención de 10kPa y 1500kPa respectivamente y humedad aprovechable (HA) resultante en suelo franco limoso y en los cuatro tratamientos con SAH en evaluación.

En otros estudios se ha destacado que la fracción total de espacio poroso accesible al agua en el suelo para una textura más fina en particular disminuye exponencialmente con el aumento de la concentración de SAH (Wei & Durian, 2013). Estos resultados indican que, en suelos con mayor cohesión y menor permeabilidad, el efecto del hidrogel evaluado en la HA puede ser moderado e incluso limitado en dosis más altas.

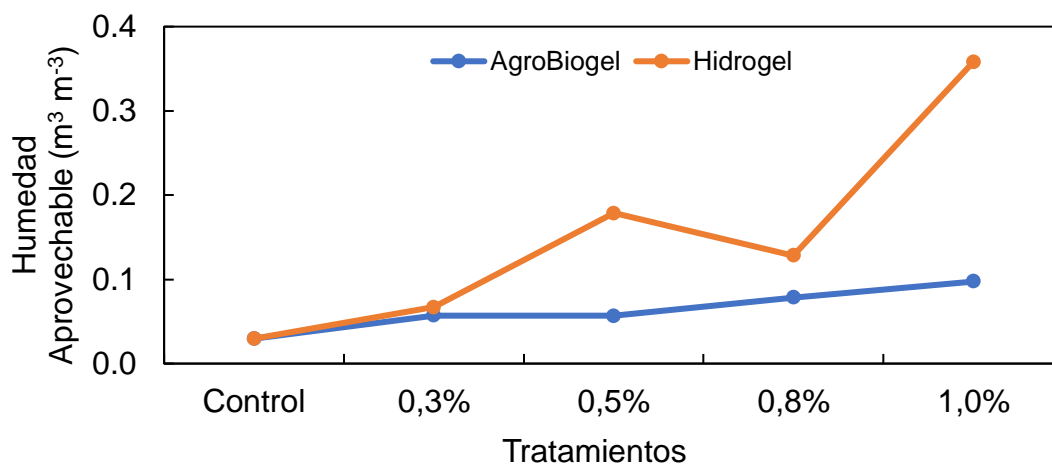
### 6.3 Comparación del Hidrogel con producto comercial de AgroBiogel

El suelo arenoso, caracterizado por su baja capacidad de retención de agua, mostró diferencias notables en las curvas de retención de humedad entre el SAH evaluado y el SAH comercial. Los resultados del efecto del SAH comercial en el suelo arenoso son mostrados en la Figura 15.



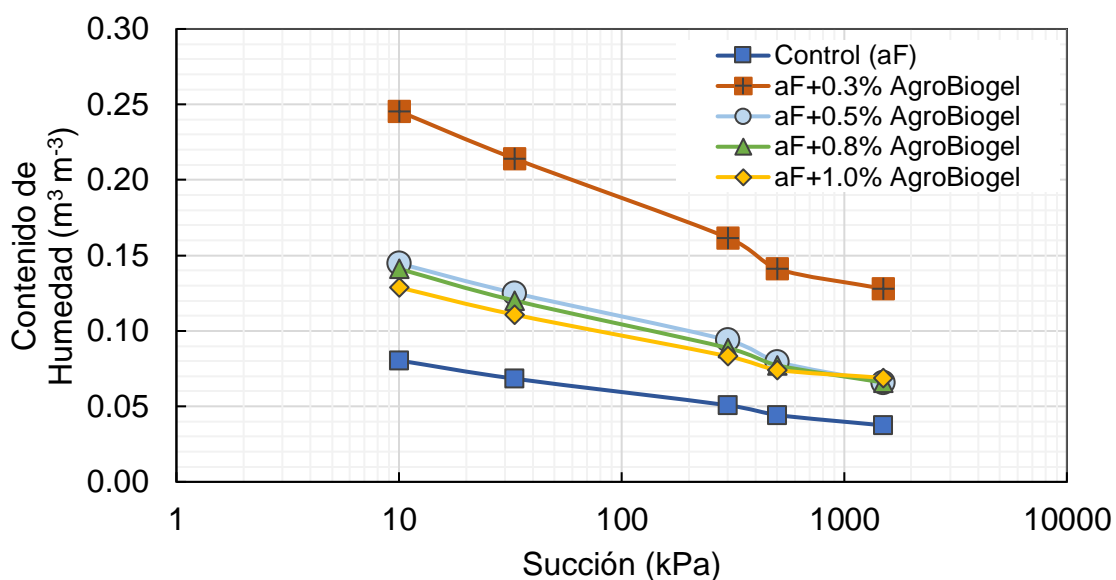
**Figura 15.** Curvas de retención de humedad del suelo arenoso (a) y los tratamientos con el SAH comercial (AgroBiogel).

El SAH evaluado mostró (Figura 7) una mayor capacidad de retención de humedad a energías de succión más bajas (10-300kPa) y eso implica una mayor HA durante los primeros días después de la lluvia o el riego. El incremento de la HA se observa en la Figura 16.



**Figura 16.** Comparación de la humedad aprovechable (HA) entre los tratamientos del hidrogel en evaluación y el AgroBiogel en suelo arenoso.

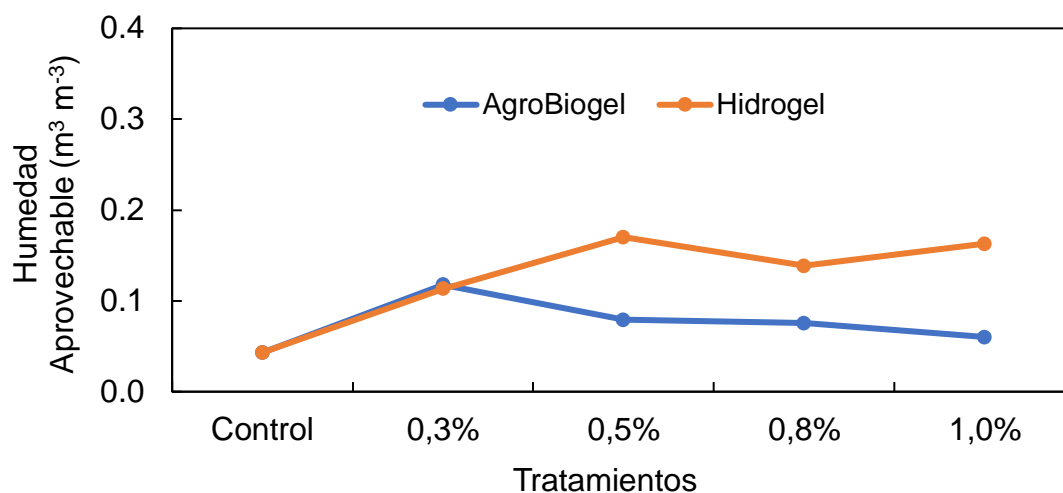
Aunque el SAH comercial mejoró la retención de humedad en el suelo arenoso, el mayor incremento de AgroBiogel ( $0.121 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ) en la capacidad de retención de humedad es menor en comparación con el obtenido por el SAH evaluado ( $0.597 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ) a energías de  $10 \text{ kPa}$  (CC) respectivamente, presentando también menos agua disponible para las plantas (Figura 16).



**Figura 17.** Curvas de retención de humedad del suelo arenoso francoso (aF) y los tratamientos con el SAH comercial de AgroBiogel.

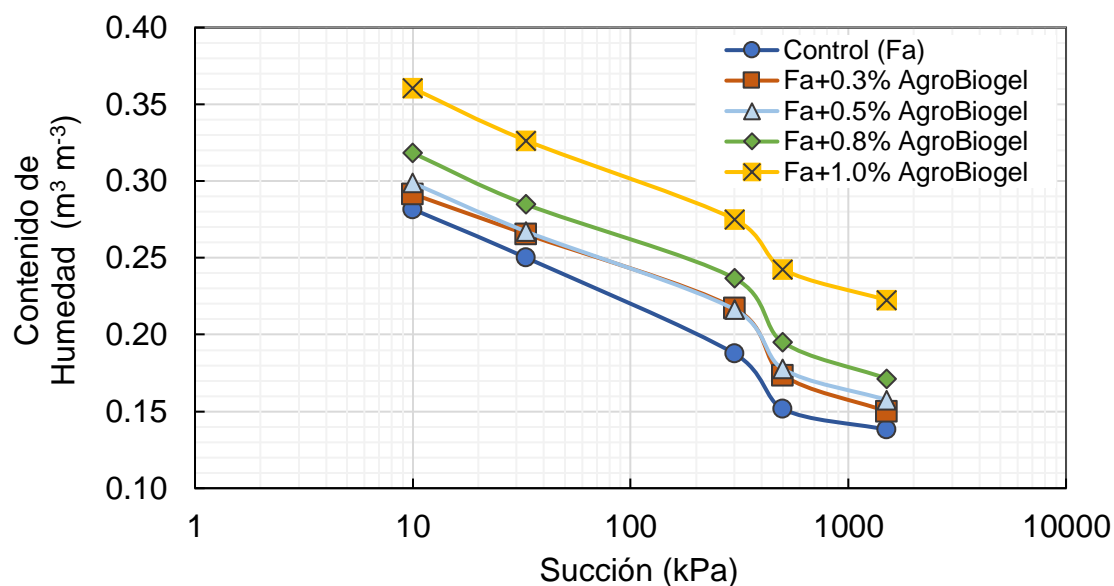
Al comparar las curvas del SAH evaluado (Figura 8) con el SAH comercial de AgroBiogel presentado en la Figura 17, se puede observar que el SAH en evaluado proporciona un incremento significativamente mayor en la capacidad de retención de humedad en suelo arenoso francoso.

En la Figura 17 el incremento en la retención de humedad no es tan significativo en concentraciones superiores a 0.3% de SAH. De hecho, la retención de humedad es menor en concentraciones más altas (0,5%, 0,8% y 1.0%).



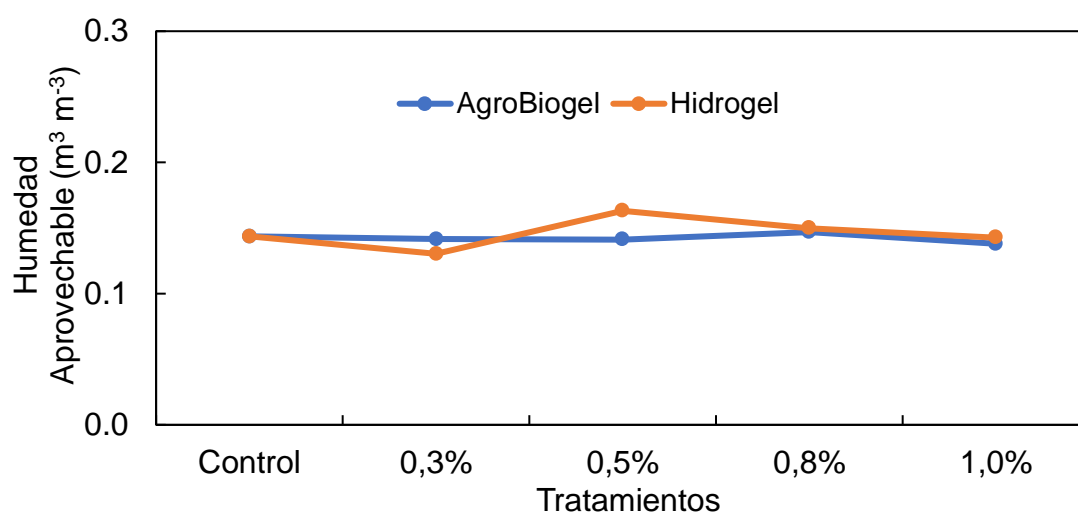
**Figura 18.** Comparación de la humedad aprovechable (HA) entre los tratamientos del hidrogel en evaluación y el AgroBiogel en suelo arenoso francoso.

En cuanto a la HA en el suelo arenoso francoso con el SAH evaluado mostró que una dosis de 0.5% fue la más efectiva. En comparación, el SAH comercial de AgroBiogel (Figura 17) el incremento de la HA resultó muy bajo, especialmente a mayores concentraciones (0,5%, 0,8% y 1,0%).



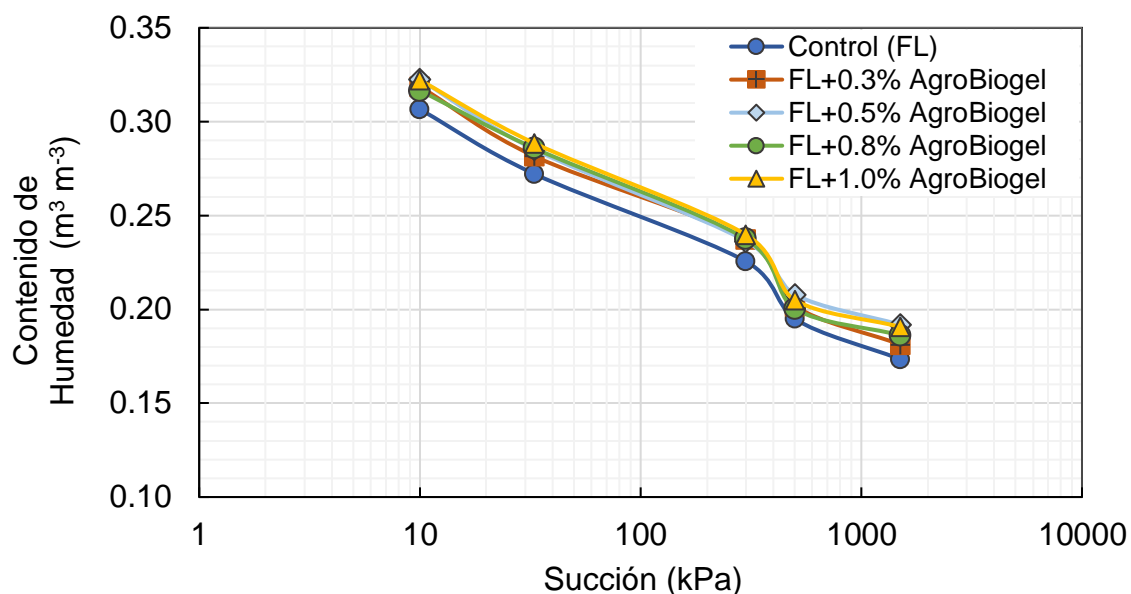
**Figura 19.** Curvas de retención de humedad del suelo franco arenoso (Fa) y los tratamientos con el SAH comercial de AgroBiogel.

En comparación a la curva de retención de humedad del SAH evaluado en suelo franco arenoso (Figura 9), el SAH comercial de AgroBiogel muestra en la Figura 19 un comportamiento proporcional entre la concentración de SAH y el incremento en la capacidad de retención. En las dosis más altas (0,8% y 1,0%) el SAH evaluado no superó el incremento en la capacidad de retención de humedad del SAH de AgroBiogel.



**Figura 20.** Comparación de la humedad aprovechable (HA) entre los tratamientos del hidrogel en evaluación y el AgroBiogel en suelo franco arenoso.

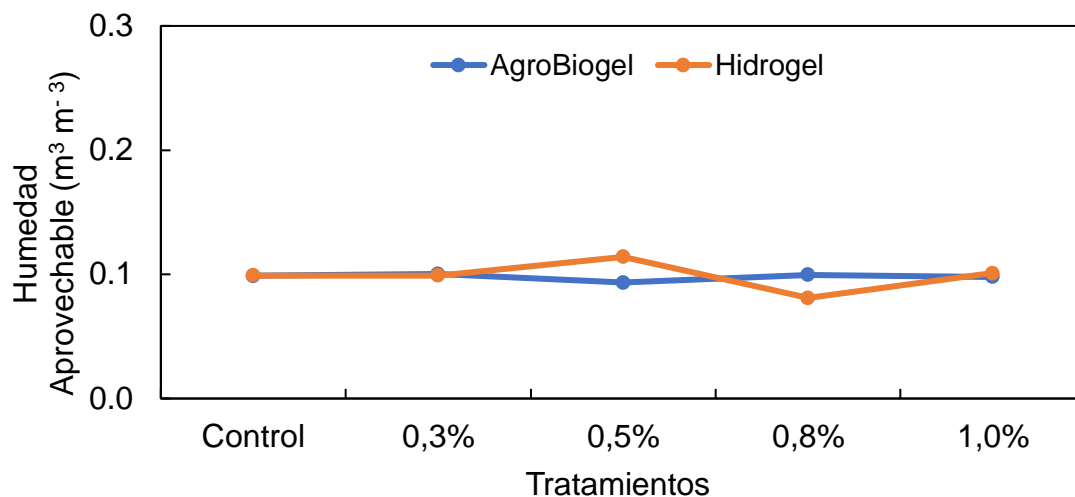
La comparación de la HA del SAH evaluado respecto al SAH de AgroBiogel en el suelo franco arenoso se muestra en la Figura 20. El gráfico muestra que no hay una diferencia significativa, ambos SAH tienen un comportamiento similar sobre todo en las dosis de 0,3% y 1,0%. En cuanto a la dosis de 0,5% del SAH evaluado destacó un incremento en la HA, superando al control y a otras dosis.



**Figura 21.** Curvas de retención de humedad del suelo franco limoso (FL) y los tratamientos con el SAH comercial de AgroBiogel.

En la Figura 21 se muestra las curvas de retención de humedad del SAH de AgroBiogel en el suelo franco limoso que en comparación con el SAH evaluado (Figura 10), muestra una tendencia más consistente en mejorar la retención de humedad con el aumento de la concentración en todas las presiones siendo más destacadas las dosis más altas como el 0.8% y 1%. En el suelo franco limoso el SAH evaluado mostró un incremento superior al del SAH de AgroBiogel con la dosis del 0,5% seguido por la dosis de 1,0% sobre todo a presiones bajas (10 y 33 kPa).

El comportamiento de ambos SAH en la humedad aprovechable se presenta en la Figura 22 donde se observa que al compararlos tuvieron un comportamiento similar en términos de HA en suelo de textura más fina. Se observó que únicamente la dosis de 0,5% del SAH evaluado superó levemente al AgroBiogel, sin embargo, en las otras dosis no existe una mayor diferencia en la HA.



**Figura 22.** Comparación de la humedad aprovechable (HA) entre los tratamientos del hidrogel en evaluación y el AgroBiogel en suelo franco limoso.

En el suelo franco limoso, el SAH comercial de AgroBiogel muestra en la Figura 21 una mejora con muy poca variación entre las diferentes dosis de aplicación, lo que sugiere que podría ser más adecuado para suelos de textura fina y el aumento de dosis no marca una gran diferencia.

## 7. CONCLUSIONES

La evaluación demostró que la adición del hidrogel superabsorbente (SAH) proporcionado por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción denominado Tannigel, mejoró significativamente la capacidad de retención de humedad especialmente en los suelos de textura gruesa como el suelo arenoso y arenoso franco. Las curvas de retención de humedad mostraron que el efecto del SAH varía según la textura del suelo y la dosis aplicada. En suelos de textura gruesa, como el arenoso, las dosis más altas resultaron en un mayor incremento en la retención de humedad. En suelos de textura intermedias como el suelo franco arenoso, el incremento fue menor y menos consistente. En el suelo franco limoso, el efecto del SAH fue moderado.

La humedad aprovechable (HA) aumentó significativamente con la adición del SAH en todos los tipos de suelo. El mayor incremento se observó en el suelo arenoso, donde la HA aumentó hasta doce veces en comparación con el control. En el suelo franco arenoso, las dosis más altas del SAH no mostraron un aumento en la HA, es decir, el SAH no funcionó de manera proporcional, lo que sugiere la necesidad de optimizar la dosis en función del tipo de suelo para maximizar la disponibilidad de agua para las plantas.

Comparando con el SAH comercial de AgroBiogel, el SAH evaluado en este estudio mostró un rendimiento superior en los suelos de textura gruesa. Por otro lado, en los suelos de textura intermedia fue el SAH comercial el que mostró

una mejora más consistente, ligeramente superior o comparable al SAH evaluado.

En resumen, el SAH puede contribuir a una mayor eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, la elección de su dosis óptima debe considerarse en función de la textura del suelo para asegurar que se maximicen los beneficios en términos tanto de retención de humedad y agua disponible para las plantas.

## 8. LITERATURA CITADA

- Andry, H., Yamamoto, T., Irie, T., Moritani, S., Inoue, M., & Fujiyama, H. (2009). Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality. *Journal Of Hydrology*, 373(1-2), 177-183.
- Chang, L., Xu, L., Liu, Y., & Qiu, D. (2021). Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. *Polymer Testing*, 94, 107021.
- Dai, X., Luo, F., Yi, J., He, Q., & Dong, B. (2014). Biodegradation of polyacrylamide by anaerobic digestion under mesophilic condition and its performance in actual dewatered sludge system. *Bioresource Technology*, 153, 55-61.
- Demitri, C., Scalera, F., Madaghiele, M., Sannino, A., & Maffezzoli, A. (2013). Potential of Cellulose-Based Superabsorbent Hydrogels as Water Reservoir in Agriculture. *International Journal of Polymer Science*, 435073.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *The state of food security and nutrition in the world 2022: Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable*. FAO. <https://www.fao.org/publications/sofi/2022/en/>
- Lawrence, J. E., & Hornberger, G. M. (2007). Soil moisture variability across climate zones. *Geophysical Research Letters*, 34(20).
- Lin, Q., Li, H., Ji, N., Dai, L., Xiong, L., & Sun, Q. (2021). Self-healing, stretchable, and freezing-resistant hydroxypropyl starch-based double-

network hydrogels. *Carbohydrate Polymers*, 251, 116982.

Mohawesh, O., & Durner, W. (2019). Effects of Bentonite, Hydrogel and Biochar Amendments on Soil Hydraulic Properties from Saturation to Oven Dryness. *Pedosphere*, 29(5), 598-607.

Naciones Unidas. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: el valor del agua*.

<https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/en>

Patil, SV, Salunke, BK, Patil, CD *et al.* (2011). Estudios sobre la modificación de diferentes biopolímeros en suelos franco-arenosos y su efecto sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de *Gossypium herbaceum* L. *Appl Biochem Biotechnol* 163, 780–791.

Saha, A., Rattan, B., Sekharan, S. y Manna, U. (2020). Quantifying the interactive effect of water absorbing polymer (WAP)-soil texture on plant available water content and irrigation frequency, *Geoderma*, Volume 368.

Saha, A., Sekharan, S., & Manna, U. (2020). Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. *Soil and Tillage Research*, 204,104736.

Singh, K. (2016). Microbial and Enzyme Activities of Saline and Sodic Soils. *Land degradation & development*, 27, 706-718.

Singh, Baljit & Sharma, D. & Negi, Sunil & Dhiman, Abhishek. (2015). Synthesis and characterization of agar-starch based hydrogels for slow

herbicide delivery applications. *International Journal of Plastics Technology*.

Soto, M. (2024). *Obtención de un superabsorbente biodegradable para uso en la agricultura*. (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción.

Spagnol, C., Rodrigues, F. H. A., Neto, A. G., Pereira, A. G., Fajardo, A. R., Radovanovic, E., Rubira, A. F., & Muniz, E. C. (2012). Nanocomposites based on poly(acrylamide-co-acrylate) and cellulose nanowhiskers. *European Polymer Journal*, 48(3), 454-463.

## 9. APÉNDICE

**Tabla A-1.** Tratamientos llevados al Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Campus Chillán.

N	Adherente	Dosis de aplicación SAH (%)	Tipo de suelo	Masa de suelo (g)
1	Hidrogel en evaluación	0,3	Arenoso	100
2			Areno francoso	100
3			Franco Arenoso	100
4			Franco limoso	100
5		0,5	Arenoso	100
6			Areno francoso	100
7			Franco Arenoso	100
8			Areno francoso	100
9		0,8	Arenoso	100
10			Areno francoso	100
11			Franco arenoso	100
12			Franco arenoso	100
13		1,0	Arenoso	100
14			Areno francoso	100
15			Franco Arenoso	100
16			Franco limoso	100
17	Hidrogel De AgroBiogel	0,3	Arenoso	100
18			Areno francoso	100
19			Franco Arenoso	100
20			Franco limoso	100
21		0,5	Arenoso	100
22			Areno francoso	100
23			Franco Arenoso	100
24			Areno francoso	100
25	0,8	Arenoso	100	
26		Areno francoso	100	
27		Franco arenoso	100	
28		Franco arenoso	100	
29	1,0	Arenoso	100	
30		Areno francoso	100	
31		Franco Arenoso	100	
32		Franco limoso	100	

**Tabla A-2.** Densidad aparente de los tratamientos con superabsorbente (SAH) en evaluación.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Dosis aplicación SAH (%)</b>	<b>Densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>)</b>
Arenoso	0,3	1,52
Arenoso	0,5	1,61
Arenoso	0,8	1,43
Arenoso	1,0	1,65
Areno francoso	0,3	1,47
Areno francoso	0,5	1,61
Areno francoso	0,8	1,40
Areno francoso	1,0	1,58
Franco arenoso	0,3	1,33
Franco arenoso	0,5	1,39
Franco arenoso	0,8	1,38
Franco arenoso	1,0	1,40
Franco limoso	0,3	1,34
Franco limoso	0,5	1,29
Franco limoso	0,8	1,27
Franco limoso	1,0	1,32

**Tabla A-3.** Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo arenoso y cuatro dosis de aplicación del hidrogel.

<b>Presión (kPa)</b>	<b>Contenido de humedad volumétrica (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>				
	<b>Control</b>	<b>Suelo + hidrogel</b>			
		<b>0,3%</b>	<b>0,5%</b>	<b>0,8%</b>	<b>1,0%</b>
10	0,061	0,140	0,359	0,269	0,658
33	0,053	0,122	0,312	0,241	0,599
300	0,038	0,094	0,235	0,185	0,422
500	0,035	0,080	0,198	0,157	0,350
1500	0,032	0,073	0,180	0,141	0,300

**Tabla A-4.** Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo areno francoso y cuatro dosis de aplicación del hidrogel.

Presión (kPa)	Contenido de humedad volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ )				
	Control	Suelo + hidrogel			
		0,3%	0,5%	0,8%	1,0%
10	0,080	0,244	0,410	0,399	0,425
33	0,068	0,210	0,369	0,364	0,385
300	0,051	0,167	0,306	0,320	0,324
500	0,044	0,147	0,267	0,280	0,286
1500	0,037	0,131	0,240	0,261	0,262

**Tabla A-5.** Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo franco arenoso y cuatro dosis de aplicación del hidrogel.

Presión (kPa)	Contenido de humedad volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ )				
	Control	Suelo + hidrogel			
		0,3%	0,5%	0,8%	1,0%
10	0,282	0,265	0,316	0,318	0,294
33	0,250	0,231	0,272	0,278	0,260
300	0,188	0,191	0,217	0,233	0,210
500	0,152	0,156	0,175	0,192	0,168
1500	0,138	0,134	0,152	0,168	0,151

**Tabla A-6.** Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo franco limoso y cuatro dosis de aplicación del hidrogel.

Presión (kPa)	Contenido de humedad volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ )				
	Control	Suelo + hidrogel			
		0,3%	0,5%	0,8%	1,0%
10	0,307	0,319	0,340	0,304	0,336
33	0,272	0,287	0,310	0,270	0,295
300	0,226	0,235	0,245	0,236	0,242
500	0,195	0,208	0,214	0,207	0,208
1500	0,173	0,188	0,196	0,189	0,194

**Tabla A-7.** Densidad aparente de los tratamientos con superabsorbente (SAH) comercial.

Tipo de suelo	Dosis aplicación SAH (%)	Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )
Arenoso	0,3	1,49
Arenoso	0,5	1,65
Arenoso	0,8	1,44
Arenoso	1,0	1,65
Areno francoso	0,3	1,47
Areno francoso	0,5	1,59
Areno francoso	0,8	1,43
Areno francoso	1,0	1,59
Franco arenoso	0,3	1,42
Franco arenoso	0,5	1,35
Franco arenoso	0,8	1,39
Franco arenoso	1,0	1,34
Franco limoso	0,3	1,28
Franco limoso	0,5	1,24
Franco limoso	0,8	1,25
Franco limoso	1,0	1,26

**Tabla A-8.** Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo arenoso y cuatro dosis de aplicación del SAH AgroBiogel.

Presión (kPa)	Contenido de humedad volumétrica (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )				
	Control	Suelo + SAH AgroBiogel			
		0,3%	0,5%	0,8%	1,0%
10	0,061	0,135	0,099	0,162	0,182
33	0,053	0,117	0,079	0,140	0,157
300	0,038	0,098	0,062	0,100	0,116
500	0,035	0,088	0,050	0,092	0,099
1500	0,032	0,077	0,042	0,084	0,085

**Tabla A-9.** Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo areno francoso y cuatro dosis de aplicación del AgroBiogel.

Presión (kPa)	Contenido de humedad volumétrica (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )				
	Control	Suelo + SAH AgroBiogel			
		0,3%	0,5%	0,8%	1,0%
10	0,080	0,245	0,145	0,141	0,129
33	0,068	0,214	0,125	0,120	0,111
300	0,051	0,162	0,094	0,089	0,083
500	0,044	0,141	0,080	0,077	0,074
1500	0,037	0,128	0,066	0,066	0,069

**Tabla A-10.** Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo franco arenoso y cuatro dosis de aplicación del AgroBiogel.

Presión (kPa)	Contenido de humedad volumétrica (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )				
	Control	Suelo + SAH AgroBiogel			
		0,3%	0,5%	0,8%	1,0%
10	0,282	0,292	0,299	0,318	0,360
33	0,250	0,266	0,267	0,285	0,327
300	0,188	0,217	0,216	0,237	0,275
500	0,152	0,174	0,178	0,195	0,243
1500	0,138	0,150	0,158	0,171	0,222

**Tabla A-11.** Contenido de humedad volumétrica a presiones específicas en suelo franco limoso y cuatro dosis de aplicación del AgroBiogel.

Presión (kPa)	Contenido de humedad volumétrica (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )				
	Control	Suelo + SAH AgroBiogel			
		0,3%	0,5%	0,8%	1,0%
10	0,307	0,319	0,322	0,317	0,322
33	0,272	0,282	0,285	0,286	0,289
300	0,226	0,237	0,236	0,238	0,240
500	0,195	0,202	0,208	0,200	0,205
1500	0,173	0,181	0,192	0,186	0,191