



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE
MANABÍ**

EXTENSIÓN CHONE

CARRERA: AGROPECUARIA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, MODALIDAD
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

TÍTULO:

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE HUMEDECIMIENTO DE
TRES TIPOS DE SUELO CON EL USO DE HIDROGEL**

AUTORES:

CARLOS AUGUSTO MORA MUECKAY

MARIUXI UBALDINA SOLORZANO FALCONES

TUTOR

ING. RUBÉN DARÍO RIVERA FERNÁNDEZ, M.Sc.

CHONE-MANABÍ-ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Rubén Darío Rivera Fernández, Docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí Extensión Chone, en calidad de Director del Trabajo de Titulación.

CERTIFICO:

Que el presente TRABAJO DE TITULACIÓN titulado: **“Determinación del volumen de humedecimiento de tres tipo de suelo con el uso de hidrogel”** ha sido exhaustivamente revisado en varias sesiones de trabajo, se encuentra listo para su presentación y apto para su defensa.

Las opiniones y conceptos vertidos en este trabajo de titulación son fruto del trabajo, perseverancia y originalidad de sus autores: **Carlos Augusto Mora Mueckay y Mariuxi Ubaldina Solórzano Falcones**, siendo de su exclusiva responsabilidad.

Chone, diciembre de 2017

Ing. Ruben Rivera Fernandez M.Sc

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La responsabilidad de las opiniones, investigaciones, resultados, conclusiones y recomendaciones presentados en este trabajo de titulación, es exclusividad de sus autores.

Chone, diciembre de 2017

Carlos Augusto Mora Mueckay

AUTOR

Mariuxi Ubaldina Solórzano Falcones

AUTOR

APROBACION DEL TRABAJO

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE HUMEDECIMIENTO DE TRES TIPO DE SUELO CON EL USO DE HIDROGEL**” elaborado por los egresados **Carlos Augusto Mora Mueckay y Mariuxi Ubaldina Solórzano Falcones** de la carrera de Ingeniería Agropecuaria.

Chone, diciembre de 2017

Ing. Odilón Schnabel Delgado

DECANO

Ing. Rubén Darío Rivera Fernández

TUTOR

Ing. Juan Moreira Saltos M.Sc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Xavier Muñoz Conforme M.Sc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

SECRETARIA

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a personas que siempre han estado junto a mí brindando su incondicional apoyo y dando lo mejor de sí para que siga progresando personal y profesionalmente.

A **Guadalupe de Jesus Jara**, mi adorada y por siempre recordada Abuelita, que desde siempre me dio fuerza y valor para seguir adelante.

A **Margarita Lorena Mueckay**, mi mami que ha salido adelante con nosotros sin importar las dificultades, eres ejemplo de lucha y dedicación. Todos los días le pido a Dios que estés con nosotros muchos años. Te amo.

A **Rodolfo Antonio Basurto**, que ha sido un padre para mí, brindándome consejos y su amistad incondicional.

A **Martha Beatriz Andrade**, mi segunda madre, por sus consejos y cuidados.

A mis apreciadas hermanas **Catherin Andrea** y **Eleanara Guadalupe**, por estar ahí cuando más lo necesito.

A **María Belén Romero**, mi compañera de vida y amorosa madre.

A **Carlos Daniel** y **Anahí Guadalupe**, mis preciados hijos, por ser mi motor para seguir adelante, por ellos y para ellos van dedicados mis logros.

Finalmente, a todos y cada una de las personas que han sido parte en mi formación en todos estos años.

“Con todo mi afecto, los quiero”

Carlos

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

Dios todopoderoso, por ser mi apoyo, mi sustento, el que me ha dado la valentía, capacidad y la fortaleza para hacer este sueño realidad. Gracias porque en ti todo es posible, mis sueños, anhelos y todo lo que tengo te pertenece a ti.

A mis padres, José y Gladys por su apoyo incondicional brindado a lo largo de todos estos años, por sus esfuerzos y sacrificios que han hecho por mí; para que este sueño se haga realidad.

A mis hijos, Francis y Axel, porque por ellos es este deseo de superación y han sido mi motor que cada día me impulsa a seguir luchando; nada es imposible mis niños, sigan adelante y les daré mi apoyo y todo lo que necesiten para que cumplan con sus sueños, fueron motivo de inspiración para mí.

A todos y cada uno de las personas en mi vida que de alguna manera me ayudaron en esta etapa de mi vida.

Mariuxi

RECONOCIMIENTO

Primeramente a Dios por permitirnos seguir vivos y luchando para poder alcanzar nuestro gran ansiado sueño.

A la Universidad Eloy Alfaro de Manabí Extensión Chone, institución de prestigio que han dejado una gran huella en nuestra formación no solo profesional sino humanística.

Nuestros más sinceros agradecimiento al Ing. Rubén Darío Rivera Fernández quien fue nuestro tutor, que siempre estuvo presente en la realización de este trabajo.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar el volumen de humedecimiento (bulbo húmedo) del hidrogel aplicado en tres tipos de suelo. Se utilizó suelos con característica arenosa, franco y arcilloso, a los cuales se aplicó hidrogel al 1% de potasio. La aplicación se realizó con hidrogel previamente hidratado, en tres diámetros que fueron: 4.7, 7 y 10.5 cm y una longitud de 10 cm con lo cual se obtuvo los siguientes volúmenes iniciales que ocupaba el hidrogel. Se midió el volumen de humedecimiento (cm^3), porcentaje de humedecimiento y además la hidratación del hidrogel en el suelo. Los resultados indican que el volumen de humedecimiento depende del volumen inicial de manera que a mayor volumen inicial se tendrá mayor volumen de humedecimiento independiente del tipo de suelo, sin embargo, en el suelo arenoso presenta un mayor volumen de humedecimiento. El volumen humedecido se incrementa un 14% más de su inicial. La hidratación del hidrogel en el suelo solo llega a un 42% con respecto al hidratarlo fuera del suelo (en agua libre). La determinación del volumen de humedecimiento permite estimar la cantidad y ubicación de hidrogel que se debe aplicar en un cultivo en función del bulbo que se requiere formar en el suelo.

Palabras clave: bulbo húmedo, hidratación, humedad.

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the wetting volume (wet bulb) of the hydrogel applied in three types of soil. Soils with sandy, loamy and clayey characteristics were used, to which 1% potassium hydrogel was applied. The application of the hydrogel was previously hydrated, in three diameters that were: 4.7, 7 and 10.5 cm and a length of 10 cm, which obtained the following initial volume occupied by the hydrogel. The volume of wetting (cm³), percentage of wetting and also the hydration of the hydrogel in the soil were measured. The results indicate that the volume of wetting depends on the initial volume so that the higher the initial volume, the greater the volume of wetting regardless of the type of soil will be, however, in the sandy soil it presents a greater volume of wetting. The moistened volume increases 14% more than its initial. The hydration of the hydrogel in the soil only reaches 42% with respect to hydrating it outside the soil (in free water). The determination of the volume of wetting allows estimating the amount and location of hydrogel that should be applied in a crop depending on the bulb that is required to form in the soil.

Keywords: hydration, moisture, wet bulb.

ÍNDICE

CARATULA	i
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iii
APROBACION DEL TRABAJO	iv
DEDICATORIA	v
RECONOCIMIENTO	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Generalidades	3
1.1 Definición	3
1.2 Importancia	4
1.3 Suelo	5
1.4 Humedad del suelo	5
1.5 Factores que influyen en la humedad del suelo	6
CAPITULO II DIAGNÓSTICO O ESTUDIO DE CAMPO	9
2.1 Ubicación.....	9
2.2 Material experimental	9
2.3 Manejo del experimento.....	9
2.4 Variables analizadas.....	9
2.4.1 Volumen de humedecimiento	9
2.4.2 Porcentaje de humedecimiento	10
2.4.3 Hidratación del hidrogel en el suelo	10
2.5 Análisis estadístico	10
2.5 Resultados.....	10
2.5.1 Volumen de humedecimiento	10
2.5.2 Porcentaje de humedad.....	17
2.53 Hidratación del hidrogel en el suelo	18

CAPÍTULO III PROPUESTA	20
3.1 Aplicación de hidrogel.....	20
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21
4.1 Conclusiones	21
4.2 Recomendaciones	21
BIBLIOGRAFÍA.....	22
ANEXOS.....	25

INTRODUCCIÓN

Los hidrogeles han sido propuestos ampliamente en los últimos 60 años para uso Agrícola con el objetivo de mejorar la disponibilidad de agua para plantas, incrementando las propiedades de retención de agua en 20 a 40 veces (Wofford, 1990).

La capacidad del hidrogel de absorber agua y proporcionarla lentamente a las raíces de las plantas mejora algunas características del suelo, tales como retención y disponibilidad del agua, aireación y disminución de compactación. Es utilizado en diversos sectores, como la agricultura y la arquitectura paisajista, logrando reducir el consumo de agua hasta en un 50% (Plaza, 2006 citado por Idrobo *et al.*, 2010).

El impacto de esta técnica radica en el ahorro de agua del cultivo y evitando la muerte a causas de la sequía en zonas donde el agua es poco accesible. Por ejemplo Santelices (2005), aplicó hidrogel en el establecimiento de plantación de *Eucalyptus globulus*. Arbona *et al* (2005), encontraron un aumento en la retención de humedad del suelo en un 30%. Aunque en sus inicios la principal aplicación del hidrogel fue en ámbito forestal (Johnson y Leah, 1990; Nissen, 1995) hoy en día se utiliza en un sinnúmero de cultivos y tipos de suelo, Rojas *et al* (2004) lo utilizaron en suelos áridos de Venezuela e Idrobo *et al* (2010) en suelos arenosos, en ambos casos debido que estos suelos son de baja retención de humedad, por tanto se hace imprescindible evaluar otros tipos de suelos y analizar su comportamiento. En este sentido Rivera y Mesías (2017) presentaron sus primeros indicios al encontrar diferencia en la absorción del agua del hidrogel en tres diferentes tipos de suelos.

Con estos antecedentes se tiene factibilidad el evaluar su área de humedecimientos lo que permitirá poder tener la certeza de la ubicación correcta hidrogel en el suelo y de esta manera se más eficiente en el cultivo. Por tanto en este trabajo se identificará la relación entre la profundidad, cantidad y en función de la granulometría del tipo de suelo en el que se aplica,

con el volumen de humedecimiento que se va a formar en el suelo lo cual permitirá tener un uso más eficiente del hidrogel.

Problema de investigación

El principal problema que surge al no conocer el volumen de humedecimiento del hidrogel en el suelo, es la ubicación del producto en el suelo tanto en cantidad, profundidad y diámetro del orificio de aplicación, provocando el uso ineficiente del producto. Esta problemática se debe a la escasa investigación en nuestro medio sobre este tipo de producto en los suelos de uso agrícola de la zona norte de la provincia.

Objeto de investigación

Suelo con hidrogel

Campo de acción

El campo de acción de la investigación será el manejo de riego y suelo

Objetivo general

Determinar el volumen de humedecimiento de tres tipos de suelo con la aplicación de hidrogel.

Tareas de investigación

- Determinar volumen de humedecimiento de tres tipos de suelo en función de la cantidad de hidrogel aplicada.
- Determinar volumen de humedecimiento de tres tipos de suelo con la aplicación de hidrogel en diferentes diámetros del orificio en el suelo.
- Determinar la hidratación del hidrogel aplicado en el suelo sin previa hidratación.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades

El uso racional y eficiente del agua en riego de cultivos es un factor que cada día toma mayor importancia. En este sentido emplear polímeros que permitan incrementar la capacidad de retención de agua del suelo, aprovechar mejor el agua de lluvia o riego y, paralelamente, disminuir las pérdidas por filtración, contribuye a mejorar la eficiencia en el manejo del agua, minimizar los costos y proteger de los ecosistemas (Rojas *et al.*, 2004).

Los inicios de las poliacrilamida que es el nombre químico o la composición química de los conocidos comúnmente como hidrogeles, vienen desde los años 50 principalmente por industrias agrícolas de EEUU. Los primeros intentos de la síntesis de estos compuestos no aumentaban tanto la retención de agua en el mejor de los casos podía llegar veinte veces su masa con la utilización de agua desionizada. Después en los años siguientes (70s) los británicos aumentan exponencialmente la retención de agua de los hidrogeles pudiendo llegar hasta 400 veces su peso (Wofford, 1990).

En los 80s con la intención de conocer la acción que produce los hidrogeles en los suelos agrícolas como sustratos de los cultivos agrícolas se llevó a cabo una serie de investigaciones principalmente por autores como Willingham *et al.* (1981); Wallace, (1987); Sayed *et al.* (1991) los mismos que evaluaron influencia del hidrogel en diversos suelos y cultivos.

1.1 Definición

Según Ahmad (1994) citado por Alvarado *et al.*, (2011) Un gel es una red tridimensional de cadenas flexibles de elementos conectados de una determinada manera e hinchada por un líquido. Un hidrogel es un gel que contiene agua, los hidrogeles son polímeros que poseen unas características particulares. Son hidrófilos, insolubles en el agua, blandos, elásticos, que en presencia de agua se hinchan, aumentando considerablemente su volumen,

pero manteniendo su forma hasta alcanzar un equilibrio físico químico. Son sistemas en estado coloidal con apariencia sólida.

Los hidrogeles son polímeros que tienen la capacidad de absorber y ceder grandes cantidades de agua y otras soluciones acuosas sin disolverse. Dicho proceso ocurre a distintas velocidades de acuerdo al grado de polimerización del material (Guerrero *et al.*, 2010). Es un complemento esencial para los suelos con niveles de drenaje naturales altos y pobres en nutrientes. El hidrogel tiene una capacidad alta para retener la humedad del suelo por lo que puede ser aprovechado para hacer un uso más eficiente del agua en el sector agrícola (Idrobo *et al.*, 2010).

El hidrogel se compone de polímeros biodegradables que duran bajo tierra de siete a 10 años, absorben agua de lluvia o de pozos y canales, y la libera de 30 a 60 días dependiendo de la textura, temperatura ambiental y cantidad de residuo que tenga la tierra, lo que permite que en temporal, el agua de la última lluvia quede atrapada (Granados, 2013).

1.2 Importancia

Uno de sus principales beneficios es mejorar la aireación y estructura del suelo principalmente en suelos desérticos aumentando la fertilidad y retención de humedad sin duda algún la característica más beneficiosa en la de absorber agua y luego cederla a las plantas lentamente o mejor dicho la libera en función de las necesidades de la planta, el poder de retención en los capilares es inferior a la fuerza que realiza las raíces para absorber agua (Katime *et al.*, 2004).

Absorber y retener grandes cantidades de humedad y nutrientes del suelo, y mantenerlos disponibles para la planta. Los hidrogeles comerciales son granulados, tienen un contenido de materia seca de 85 a 90 %, densidad aparente de 0.85 g mL⁻¹, peso específico de 1.10 g cm⁻³, y pH de 8.1. Los hidrogeles absorben hasta 150 veces su propio volumen, con una capacidad de retención de 980 mL de agua (Pedroza *et al.*, 2015).

1.3 Suelo

Según González *et al.* (2009) el suelo constituye un recurso esencial para el desarrollo económico-social y es el sostén físico y químico de todos los ecosistemas terrestres.

Food and Agriculture Organization (FAO) (2014) expone que el suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo.

Desde el punto de vista físico o de la textura del suelo, que tiene que ver con el tamaño de la partícula de suelo podemos decir que se encuentran tres principales partículas de suelo y son: limo, arcilla y arena. Y en función de la cantidad que posea un suelo se la clasifica en suelos: limosos, arcillosos y arenoso. Si bien es cierto que es la más antigua forma de clasificación hoy en día se clasifican a los suelos en función de otras variables, principalmente de la formación u origen (Fernández, 2008).

Como otras palabras comunes la palabra suelo tiene varios significados. Su significado tradicional se define como el medio natural para el crecimiento de las plantas. También se ha definido como un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua (FAO, 2015).

1.4 Humedad del suelo

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (2013) sintetiza que el contenido de humedad del suelo es un indicador complementario y necesario en numerosos análisis pedológicos. Este contenido ha sido expresado tradicionalmente como la proporción de la masa

de humedad con respecto a la masa de la muestra de suelo después de que ha sido secada a un peso constante, o como el volumen de humedad presente respecto al volumen total de la muestra de suelo.

La determinación de la humedad natural del suelo es primordial para resolver problemas vinculados a las necesidades de agua de riego, consideraciones ambientales y determinación de los excedentes hídricos (Reyna et al., 2012).

La FAO (2014), expone que el incremento de la humedad del suelo da como resultado suelo da como resultado:

- Altos rendimientos gracias a la máxima utilización del agua
- Recarga del agua subterránea y, por lo tanto, mejoramiento del nivel de agua en los pozos y la continuidad de los ríos y del flujo de las corrientes
- Riesgo reducido de pérdida de rendimientos debido a las sequías.

1.5 Factores que influyen en la humedad del suelo

Sin duda alguna el principal factor influyente es el clima y de él la precipitación. El clima es el más importante condicionando la formación del suelo debido principalmente a la temperatura y humedad. A mayor temperatura y humedad mayor es la meteorización y la actividad de los seres vivos. Ambos influyen en la formación del suelo al alterar la roca madre. En climas húmedos y cálidos la meteorización química es muy intensa dando suelos profundos, pero en climas fríos y secos la meteorización es tan escasa que tarda mucho tiempo en formarse el suelo, que además suele ser poco profundo; además los climas húmedos y cálidos también provocan una gran densidad de seres vivos que favorecen también la meteorización. La mayor o menor precipitación influirá también en la formación de los horizontes al ser responsable del lavado o lixiviación de partículas del horizonte A al horizonte B, y en caso de fuerte evaporación y escasez de agua, se produce un ascenso de agua por capilaridad, pudiendo originar el ascenso de sales disueltas en el agua que al evaporarse precipitan formando costras de sal en la superficie del suelo (Alcaraz, 2012).

El interés por comprender los efectos del clima sobre la agricultura es tan antiguo como la agricultura. A gran escala el clima es el factor de estado que más fuertemente determina los procesos ecosistémicos, también afecta al resto del ciclo de carbono terrestre regulando las tasas de las reacciones químicas y por lo tanto las tasas metabólicas de los organismos y la descomposición de los compuestos orgánicos. Por lo tanto, toma un rol preponderante en Página determinar el balance de carbono en el suelo y en el ecosistema, es ampliamente aceptado que las variables climáticas radiación solar, temperatura y precipitación interaccionan para afectar el crecimiento vegetal (García, 2012).

El clima es tan importante que dos suelos que parten de rocas muy distintas pero con el mismo clima, con el tiempo producen el mismo tipo de suelo. Por último, el clima determina la intensidad de la erosión (pérdida de suelo), por ejemplo un clima con escasas lluvias como el nuestro, pero que cuando llueve lo hace con gran intensidad (lluvias torrenciales) erosiona fácilmente nuestro suelo con escasa vegetación (Alcaraz, 2012).

Otro factor a tomar en cuenta al momento de evaluar el contenido de agua en el suelo es la evaporación que si bien es que está en función de la insolación también tiene que ver con la cantidad de agua disponible o susceptible de ser evaporada, así, entonces en cuando mayor se ala precipitación mayor cantidad de agua en el suelo habrá y por tanto mayor cantidad de agua disponible de evaporarse (Nadeo y Leoni, 1980).

Pero sin duda alguna son los factores del suelo los que determinan el contenido de agua en él. Las propiedades del suelo determinan la velocidad con que el agua entre en el suelo y además que se mueva fácilmente o con dificultad y la cantidad de agua que puede retener un suelo. Así con ligeros cambios en su estructura se pueden ocasionar grandes aumentos en la retención de agua de un suelo determinado (Nadeo y Leoni, 1980).

Otro factor a considerar es la porosidad del suelo de acuerdo a la FAO (2015) El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50%

materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas.

La materia orgánica del suelo (MOS) como un continuo de compuestos heterogéneos con base de carbono, que están formados por la acumulación de materiales de origen animal y vegetal parcial o completamente descompuestos en continuo estado de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente, del conjunto de microorganismos vivos y muertos y de animales pequeños que aún faltan descomponer (Meléndez y Soto, 2003).

La descomposición de residuos de plantas y animales en el suelo constituye un proceso biológico básico en el que el carbono (C) es recirculado hacia la atmósfera como dióxido de carbono (CO_2), el nitrógeno (N) es hecho disponible como amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) y otros elementos asociados (P, S, y varios micronutrientes) aparecen en la forma requerida por las plantas superiores. En este proceso algo del C es asimilado dentro del tejido microbiano (la biomasa del suelo) y parte es convertido en Humus. Parte del humus nativo es mineralizado simultáneamente, en consecuencia el contenido total de materia orgánica es mantenido a un nivel estable característico del suelo y del manejo del sistema (Silva, 1998).

CAPITULO II DIAGNÓSTICO O ESTUDIO DE CAMPO

2.1 Ubicación

El desarrollo de la presente investigación se la realizó en los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí Extensión.

2.2 Material experimental

Se utilizó como material experimental al hidrogel tipo agrícola el mismo que presenta la siguiente composición: Polímero de Acrilamina de potasio al 99,9% y de potasio 0.01%. Además, se utilizó tres tipos de suelo los mismos que presentaron la siguientes características texturales: 1) arcilla 52%; limo 32%; arena 16% (clase textural arcilloso), 2) arcilla 36%; limo 56%; arena 6% (clase textural franco arcilloso limo), 3) arcilla 12%; limo 32%; arena 56% (clase textural franco arenoso).

2.3 Manejo del experimento

Para la ejecución del experimento se tuvo que utilizar un recipiente transparente (vidrio) que permitió visualizar la humedad que provocaba el hidrogel en el suelo. Este mismo tuvo una capacidad de 0.027 m³ con dimensiones de 30 cm en todos sus lados. En el cual se colocó las muestras de los diferentes tipos de suelo. Las muestras de suelo fueron tomadas y secadas previa la colocación en los recipientes.

2.4 Variables analizadas

2.4.1 Volumen de humedecimiento

Para medir esta variable se utilizó hidrogel previamente hidratado y se colocó en tres diámetro diferentes los mismos que fueron dos, tres y cuatro pulgadas, tomando como base una profundidad de 15 cm de los cuales 10 cm ocupaba el hidrogel dejando 5 cm de suelo que cubrían al producto. Posteriormente se

dejó por 24 h al ambiente sin protección de los rayos solares. Se midió la distancia del humedecimiento desde los bordes del producto hasta los cambios de tonalidad oscura provocada por el hidrogel en el suelo. Este procedimiento se lo realizó en cada tipo de suelo por triplicado.

2.4.2 Porcentaje de humedecimiento

Esta variable se midió tomando en cuenta el suelo que fue humedecido por acción del hidrogel. Para obtener el porcentaje de humedecimiento determinó la humedad del suelo seco y se la comparó con la muestra humedecida por el hidrogel, de manera poder calcular el incremento de humedad que provoca el hidrogel en los diferentes suelos.

2.4.3 Hidratación del hidrogel en el suelo

Se estimó la hidratación del hidrogel en el suelo colocando 2 g de hidrogel sin hidratar en un recipiente que con agujeros en la parte inferior para el paso libre del agua. El producto fue colocado en tamiz N° 60 el mismo que permitió que el producto no se escape y su hidratación fuese más precisa. Además, durante la hidratación en el suelo se simuló riego por goteo y superficie.

2.5 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, con uso de medidas de tendencia central y dispersión. Además, se realizaron análisis de regresión para las variables que se requirió. Los datos fueron presentados en tablas y gráficos.

2.5 Resultados

2.5.1 Volumen de humedecimiento

El cuadro 1, se puede apreciar los parámetros iniciales y finales del orificio en el suelo arenoso, donde se aplicó el hidrogel, se observa que diámetro final de humedecimiento está en función del diámetro inicial con cierta tendencia a

aumentar entre mayor sea el diámetro inicial. La longitud varió debido a una aumento del humedecimiento de la parte inferior del bulbo inicial, en la parte superior no presento un aumento considerable, el mismo que fue depreciable. El aumento en la parte inferior tuvo menor variación con respecto al diámetro, aumentando entre 3.2 y 4.7 cm. Por otro lado, el volumen final tuvo un aumento considerablemente y el mismo estuvo en función del volumen inicial, siendo mayor a menor volumen inicial.

Cuadro 1. Parámetros iniciales y finales del orificio donde se colocó el hidrogel

Suelo Arenoso			
Diámetro inicial (cm)	4.7	7	10.5
Diámetro final (cm)	9.3	12.8	17.5
Longitud inicial (cm)	10	10	10
Longitud final (cm)	13.2	13.7	14.7
Volumen inicial (cm ³)	173.5	384.8	865.9
Volumen final (cm ³)	723.16	902	1539.4

A diferencia del suelo arenoso, en el suelo franco se tuvo un menor aumento de los parámetros evaluados, en el mayor diámetro inicial se tuvo apenas 3.72 cm de incremento, y en la parte inferior tuvo como máximo 3 cm. En el volumen final, aunque mantuvo la tendencia de aumentar con el incremento del volumen inicial, este fue inferior al del suelo arenoso llegando a 1937.5 cm³. Lo cual sugiere la influencia del tipo de suelo en la formación del bulbo húmedo que forme la aplicación de hidrogel.

Cuadro 2. Parámetros iniciales y finales del orificio donde se colocó el hidrogel

Suelo franco			
Diámetro inicial (cm)	4.7	7	10.5
Diámetro final (cm)	9.02	13	14.22
Longitud inicial (cm)	10	10	10
Longitud final (cm)	13	12.3	12.2
Volumen inicial (cm ³)	173.5	384.8	865.9
Volumen final (cm ³)	830.7	1632.6	1937.5

El suelo arcilloso es el que menor incremento presento de los tres suelos, llegando a un diámetro final de 14.22 cm, con un aumento de apenas 3.56 cm, y en la parte inferior alrededor de 2.5 cm de incremento. Lo cual es consistente al decir que el tipo de suelo influye en el la formación del bulbo húmedo. Se conoce que el agua en el suelo se mueve tanto vertical como horizontal, y este movimiento está directamente relacionado con la características textural del suelo lo cual fue evidente al evaluar esta variable en los diferentes suelos.

En suelos arenosos se tiene una mayor facilidad para la infiltración del agua que en un suelos pesado o arcilloso, de manera que se puede deducir que el agua contenida en la capsula de hidrogel, cuando pasa al suelo este tiene un comportamiento similar al aplicar agua de riego, con la diferencia que las cantidades de agua contenidas en el hidrogel son pequeñas comparadas al riego tradicional. Por otro lado, se puede tener en cuenta que esta entrega de agua al suelo se da cuando el suelo ejerce una alta presión matricial y esto es cuando el suelo tiene menor humedad, porque es posible esta formación del bulbo sea diferente en función de la humedad del suelo, esta conjetura debe ser corroborar en experimento diseñados para este fin, dado que no fue considerado en esta investigación.

Es necesario tener en claro que la determinación del bulbo húmedo que forme el hidrogel es importante que poder tener una base de donde se debe colocar el producto en el suelo, sabiendo la formación radicular, así se podría estimas la cantidad de hidrogel a aplicar y el diámetro y profundidad del orificio donde se pretende colocar el hidrogel que haga que las raíces puedan captar agua para su desarrollo.

El incremento tanto del diámetro como de la longitud tuvo variación, en el cuadro 3 y 4, se observa el promedio y la desviación estándar de los valores observados, y para los cálculos del volumen se tomó en cuenta los valores promedio.

Cuadro 3. Parámetros iniciales y finales del orificio donde se colocó el hidrogel

	Suelo Arcilloso		
Diámetro inicial (cm)	4.7	7	10,5
Diámetro final (cm)	7.1	10.6	14.06
Longitud inicial (cm)	10	10	10
Longitud final (cm)	12.4	12.3	12.5
Volumen inicial (cm ³)	173.5	384.8	865.9
Volumen final (cm ³)	490.9	1085.4	1940.7

En el suelo arenoso se presenta una mayor variación de los datos los cual, indica que la estimación del bulbo húmedo puede ser diferente a lo estimado, esto pudiera estar relacionado a que los suelos no son homogéneos y por tanto, las diferencias del tamaño de la partícula de suelo es determinante.

Cuadro 3. Incremento lateral en tres diámetros del orificio

Tipo de suelo	Incremento lateral (cm)		
Arenoso	2.3±0.3	2.9±1.2	3.5±0.5
Franco	2.16±0.2	3±0.2	1.86±0.35
Arcilloso	1.2±0.15	1.8±0.25	1.78±0.12

En lo correspondiente al incremento en la parte inferior también presento variación y al igual que en incremento lateral, el suelo fue el que alcanzo mayor variabilidad. En el suelo arenoso el incremento estuvo entre 3.2 y 4.7 cm en promedio, siendo el de mayor incremento al compáralo con los demás tipos de suelo, siendo para el suelo franco entre 2.2 y 3 cm, y para el arcilloso entre 2.3 y 2.5 cm. En función de estos dato se puede deducir que el incremento es relativamente similar tanto horizontal como vertical.

Cuadro 4. Incremento inferior en tres diámetros del orificio

Tipo de suelo	Incremento inferior (cm)		
Arenoso	3.2±0.3	3.7±1.5	4.7±0.25
Franco	3.0±0.5	2.3±0.2	2.2±0.1
Arcilloso	2.4±0.15	2.3±0.05	2.5±0.3

Al realizar un ajuste de regresión de las variables volumen inicial y final en los diferentes tipos de suelo, se obtuvo que el suelo arenoso presenta un ajuste exponencial con un grado de correlación alto ($r^2=0.99$) (gráfico 1) con lo cual puede estimarse el volumen de final en diferentes volumen inicial

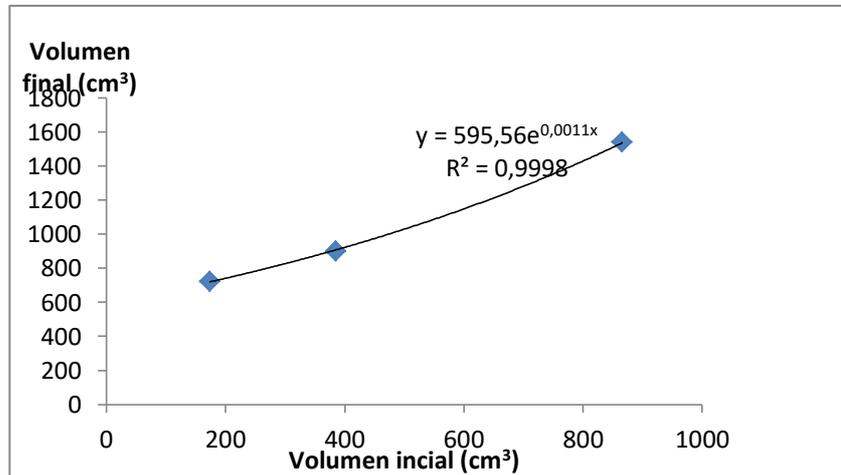


Gráfico 1. Ecuación de regresión del volumen inicial y final en el suelo arenoso.

Esto sería importante al momento de realizar el orificio en el suelo de manera que se puede estimar el volumen inicial con la cantidad de hidrogel y las dimensiones del orificio y así proyectar el volumen final y también el bulbo de humedecimiento

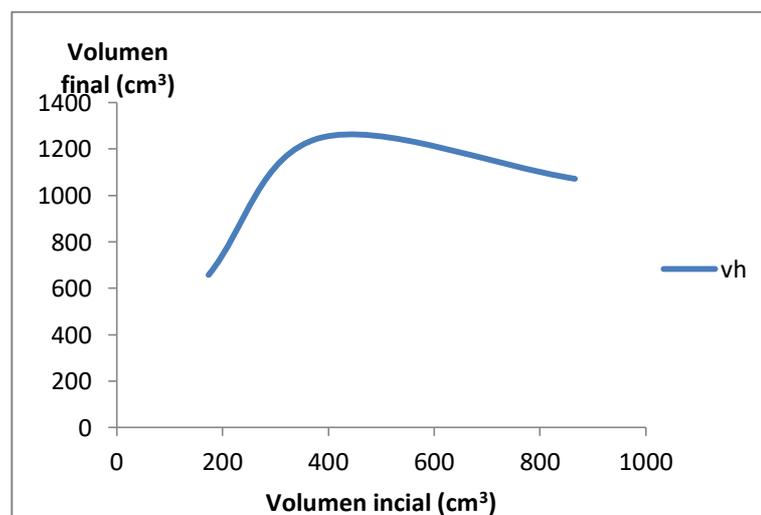


Gráfico 2. Tendencia del volumen inicial y final en el suelo franco

El suelo franco no presentó una tendencia clara como en los demás suelos, teniendo variación en los volúmenes final y con un aumento progresivo de los volúmenes iniciales por tal razón no se pudo realizar un ajuste de regresión

En el suelo arcilloso se obtuvo un ajuste lineal a diferencia del exponencial que se encontró en el suelo arenoso, con una correlación alta ($r^2=0,99$) lo cual indica que la arcilla tiende a ser más estable es relación al movimiento del agua en el suelo.

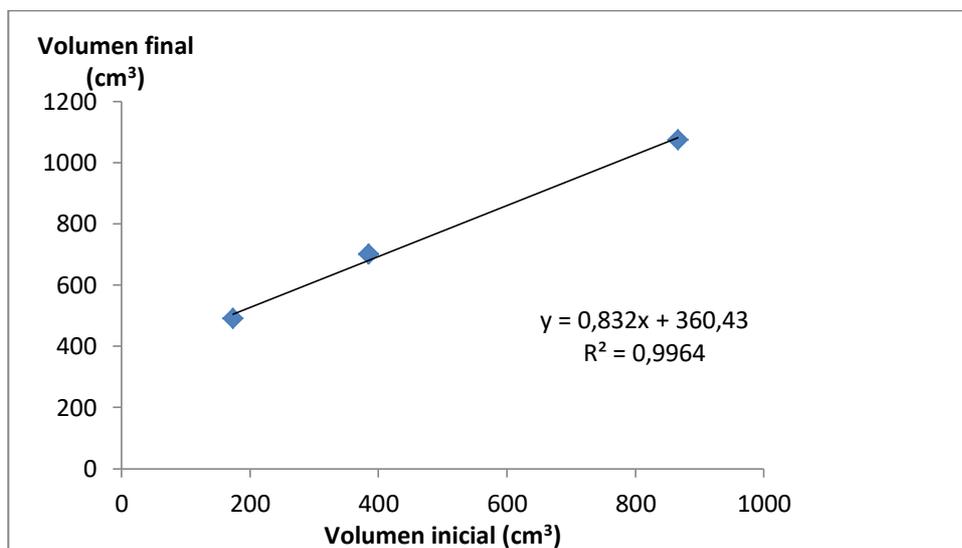


Gráfico 3. Ecuación de regresión del volumen inicial y final en el suelo arcilloso

Con los datos de volumen inicial y final se representó una ecuación para determinar el volumen final del bulbo húmedo o volumen de humedecimiento. Tomando como relación V_f/V_i , siendo V_h el volumen final y V_i el volumen inicial se obtiene un factor adimensional el cual responde al cálculo del volumen de humedecimiento en función del volumen inicial, quedando de la siguiente manera:

$V_h = V_i * F_c$ siendo,

V_h = volumen de humedecimiento

Vi= volumen inicial

Fc= factor adimensional

Se debe tener en cuenta que el valor del Factor está en función del tipo de suelo y del volumen inicial así se obtienen los siguientes factores:

Cuadro 5. Valores del Factor adimensional (Fc) para los distintos suelos y con diversos volúmenes iniciales

Tipo de suelo	Volumen inicial (cm ³)		
	173.5	384.6	865.9
Arenoso	4.16	2.34	1.77
Franco	2.83	1.82	1.24
Arcilloso	3.78	3.24	1.23

Sin embargo, para volúmenes iniciales distintos a los del cuadro 5, se puede calcular el Fc se puede estimar en función de los ajuste de las ecuaciones de los gráficos 4, 5 y 6. En los suelos arenoso y franco se obtuvo un ajuste potencial y en el suelo arcilloso un ajuste lineal, consistente con los ajustes de las variables antes analizadas.

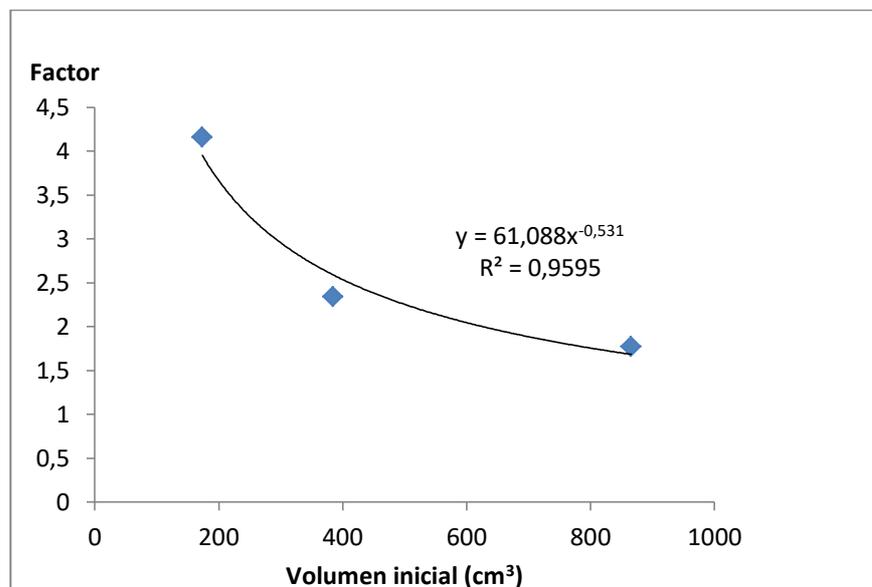


Gráfico 4. Ecuación de regresión del volumen inicial y el factor en suelo arenoso.

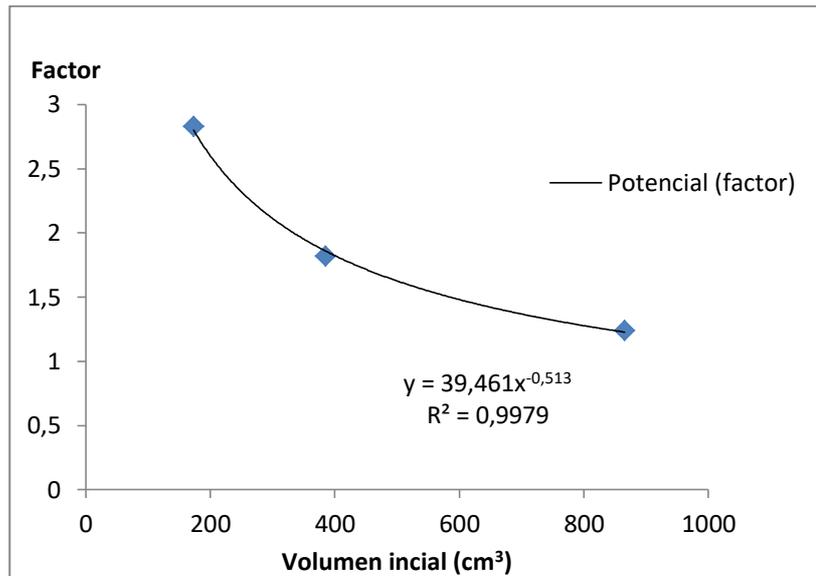


Gráfico 5. Ecuación de regresión del volumen inicial y el factor suelo franco.

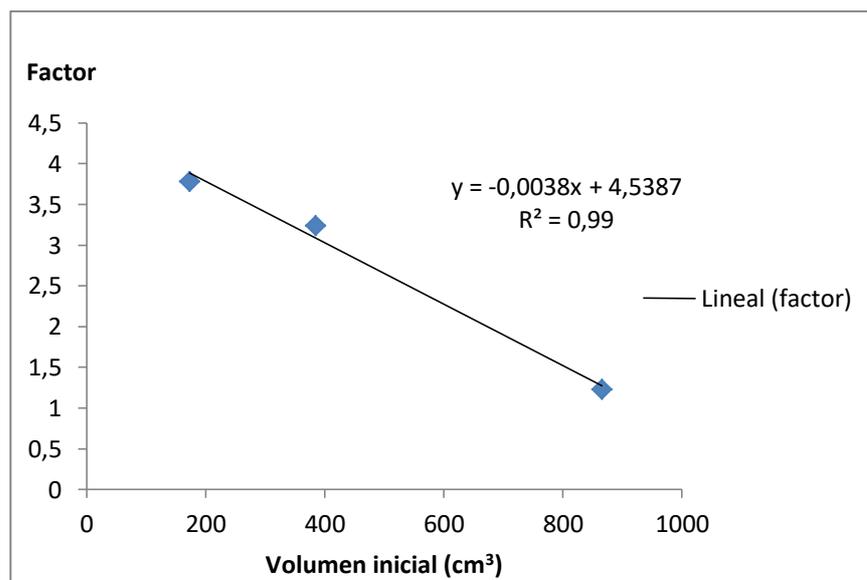


Gráfico 6. Ecuación de regresión del volumen inicial y el factor en el suelo arcilloso.

2.5.2 Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad de la zona de humedecimiento del suelo se expresa en el cuadro 5, donde se observa que el incremento de la humedad es de alrededor de 14%, indiferentemente del tipo de suelo, estos valores son similares a los encontrados por Rivera y Mesías (2017) aunque difieren en el

suelo limoso donde el incremento que encontraron fue de 17.4%. Con esta tendencia se podría sugerir un incremento del 14% de la humedad del suelo, con el condicionante que el suelo este seco. Es posible que el suelo en estado de baja humedad aumente la tensión matricial y ello provoque que ejerza una mayor absorción de agua del hidrogel, por tanto sería importante realizar estudio con diferentes niveles de humedad del suelo.

Cuadro 5. Aumento de la humedad con la aplicación de hidrogel en los tres suelos.

Tipos de suelo	Humedad inicial %(Suelo seco)	Porcentaje de humedecimiento (%)
Arenoso	4.7	18.8
Franco	6.5	20.8
Arcilloso	8.6	22.8

2.5.3 Hidratación del hidrogel en el suelo

La hidratación del hidrogel del suelo es menor del porcentaje de la hidratación en agua, apenas llega al 42% con respecto a la hidratación en agua. De manera que si se pretende colocar el hidrogel en el suelo sin previa hidratación se debe tener en cuenta que su capacidad de hidratar al suelo y por ende a la planta.

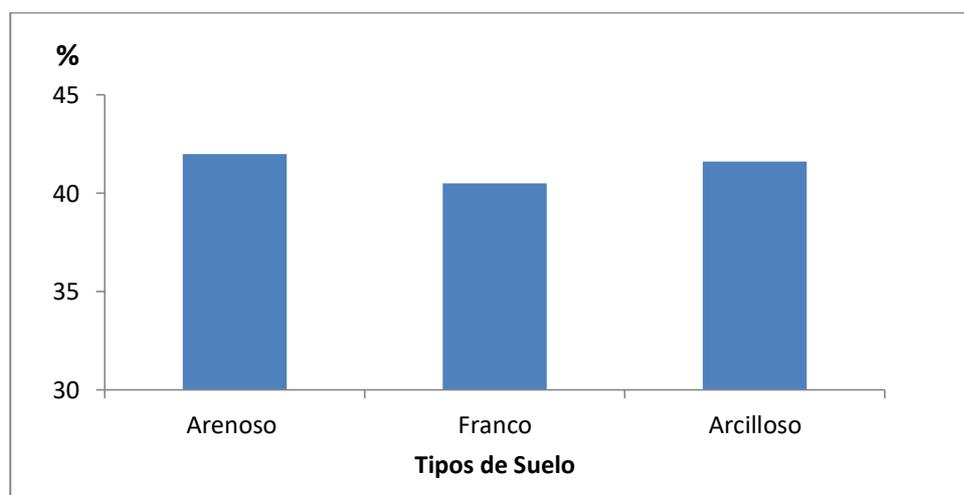


Gráfico 7. Porcentaje de hidratación del hidrogel en el suelo con respecto a la hidratación en agua.

Este porcentaje de hidratación responde independiente del tipo de riego que se realice, sea este por goteo aspersión o inundación. La información referente a esta hidratación del hidrogel en el suelo no está definida en la literatura científica, aunque se la recomienda ampliamente en los cultivo principalmente en los forestales. El hecho que no se hidrate en igual proporción que la hidratación que en agua libre es que el suelo no deja que el hidrogel no se expanda y por ende no absorba el agua.

CAPÍTULO III PROPUESTA

En función de los datos encontrados se puede realizar la siguiente propuesta.

3.1 Aplicación de hidrogel

La aplicación de hidrogel debe hacerse previa hidratación en agua, y su aplicación en el suelo de ser según el tipo cultivo, de manera que para hortalizas se recomienda aplicar 2 gramos hidratados en 200 mL de agua con lo se tendría un volumen final aplicando la ecuación de ajuste de 955 cm^3 para un suelo arenoso y 612 cm^3 para suelo arcilloso, con un diámetro de final de aproximadamente de 9.3 cm y una longitud de 13.2 cm para el suelo arenoso y 7.3 cm de diámetro y 12.5 cm de longitud para un suelo arcilloso.

Para cultivos de mayor profundidad radicular como maderables y frutales se recomienda realizar orificio de mayor tamaños que podrían ser de 10 cm de diámetro y 15 cm de profundidad con lo cual se podría alcanzar un volumen final de 3755.3 cm^3 para un suelo arenoso y 2607 cm^3 para suelos arcillosos.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En base a los hallazgos encontrados podemos concluir los siguientes.

- El volumen de humedecimiento del hidrogel está en función del tipo de suelo y del volumen inicial del hidrogel en el suelo, el mismo que tiende a aumentar al aumentar el volumen inicial indiferente del tipo de suelo.
- El suelo arenoso tiende a tener un mayor bulbo húmedo a diferencia que de los demás suelos con un comportamiento exponencial a diferencia de los suelos pesados (arcillosos) que tienen una tendencia lineal y con menor formación del bulbo húmedo.
- La zona humedecida por el hidrogel tiene un incremento de alrededor de 14% con respecto al contenido inicial de humedad del suelo, indiferente del tipo de suelo y volumen humedecido.
- El aplicar en el suelo hidrogel sin hidratar este no podrá hidratarse en su plenitud dado que el suelo ejerce presión y no permite su fácil hidratación, y apenas el 42% se llega a hidratar con respecto al hidratado en agua libre.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

- Aplicar hidrogel previamente hidratado en orificio de 5 cm de diámetro y 10 cm de longitud para hortalizas y 10 cm de diámetro y 15 cm de longitud para frutales y forestales.
- Investigar sobre el efecto del nivel de humedecimiento inicial del suelo en el volumen de humedecimiento.
- Investigar sobre el tiempo que hidratación que tiene el hidrogel en el suelo y en un cultivo determinado.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaraz, F. 2012. El factor suelo. Recuperado, 12 de 11 de 2017, de <http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema16.pdf>
- Alvarado, S; Rendón, J; Ramírez, C. 2012. Hidrogel: Potenciador reservorio del agua y sus usos en la agricultura Recuperado, 13 de 11 de 2017, de <http://www.acmor.org.mx/sites/default/files/301.%20Hidrogel....pdf>
- Arbona V; Iglesias D; Jacas J; Primo-Millo E; Talon M y Gómez A. 2005. Hydrogel substrate amendment alleviates drought effects on young citrus Plants. *Plant and Soil*. 270: 73–82
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (CIMMYT). 2013. Contenido de humedad del suelo. Recuperado, 28 de 10 de 2017, de http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc_view/1142-chs
- FAO. (Food and Agriculture Organization). 2013. Humedad del suelo. Recuperado, 23 de 10 de 2017, de http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sm/sm_pres.pdf
- FAO. (Food and Agriculture Organization). 2014. Tema 2: El suelo. Recuperado, 20 de 10 de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s04.htm>
- García, F. 2012. Efectos del clima, el suelo y manejo sobre la productividad de cultivos en un agroecosistema experimental. (Tesis de Maestría). Universidad de la República.
- González, O., Iglesias, C.; Herrera, M. 2009. Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2).
- Granados, D. 2013. Implementación de hidrogel bajo sistema de agricultura de conservación en parcelas de temporal en el ejido Ignacio Zaragoza. Recuperado, 13 de 11 de 2017, de http://www.pa.gob.mx/publica/rev_57/analisis/implementacion%20Denise%20Granados.pdf
- Guerrero, R; Torres, D; Anaya, D; Lugo, V. 2010. Hidrogeles biopoliméricos potencialmente aplicables en agricultura. MX. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(2)

- Idrobo H; Rodríguez A; Díaz J. 2010. Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. Recursos naturales y ambiente. Numero 9: 33-37.
- Johnson, M. S., and R. T. Leah. 1990. Effect of superabsorbent polyacrylamide on efficacy of water use by crop seedlings. J. Sci. Food Agric. 52(3): 431-434
- Katime, I.; Katime, O. y Katime, D. 2004. Los materiales inteligentes de este Milenio: Los Hidrogeles inteligentes. Editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao.
- Nadeo, J y Leoni, A. 1980. Introducción a algunas propiedades fundamentales de los suelos. La Plata Argentina. Grupo de Mecánica de los Suelos y Rocas.
- 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. Agroanálisis. 11(131):19-20.
- Pedroza, A; Yáñez, L; Sánchez, Ignacio; Samaniego, J. 2015. Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. MX. Revista fitotecnia mexicana, 38(4), 375-381
- Reyna, T., Reyna, S., Lábaque, M., Fulginiti, F., Riha, C., Linares, J. (2011). Importancia de la determinación de la humedad en estudios de infiltración y escorrentía superficial para períodos largos. Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 6(2).
- Rivera, R y Mesías, F. 2017. Absorción de agua del hydrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo. Rev. UNCUYO. En Prensa. http://revista.fca.uncu.edu.ar/images/stories/pdfs/En_prensa/Rivera.pdf.
- Rojas B; Aguilar R; Prin J; Cequea H; Cunana J; Rosales E; Ramírez M. 2004. Estudio de la germinación de la semilla de tomate en suelos áridos extraídos de la Península de Araya (Venezuela) al utilizar polímeros del tipo hidrogel. Revista Iberoamericana de Polímeros. 5(1):17-27.
- Santelices R. 2005. Desarrollo de una plantación de Eucaliptulus globulus establecida en primavera con diferentes tratamientos de riego. Bosque. 26(3):105-112.

- Sayed, H; Kirkwood, R; Graham, N; 1991. The effects of a hydrogel polymer on the growth of certain horticultural crops under saline conditions. *Journal of Experimental Botany*.42 (240):891-899,
- Silva, A. 1998. La materia orgánica del suelo. Recuperado, 30 de 10 de 2017, de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/materia%20organica%>
- Wallace, A. 1987. Anionic polyacrylamide treatment of soil improves seedling emergence and growth. *Horticulture Science*, 22,951.
- Willingham, Jr.; Coffey, D. L. 1981. Influence of hydrophilic amended soil on growth of tomato transplants. *Horticulture Science*. 16(3), 289
- Wofford Jr., D.J. 1989. Use of cross-linked polyacrylamide in agriculture for increasing yield or reducing irrigation (on line). Fresno (Calif.) [consultado octubre, 2013]. Disponible en: <http://kimberly.ars.usda.gov>.

ANEXOS

Anexo 1.- Humedecimiento del hidrogel en un suelo arenoso y arcilloso



Anexo 2.- Humedecimiento del hidrogel en un suelo arcilloso



Anexo 3.- Humedecimiento del hidrogel en un suelo franco



Anexo 4.- Hidratación del hidrogel en el suelo



Anexo 5.- Peso del hidrogel para su hidratación en el suelo



Anexo 6.- Humedecimiento del hidrogel en un diámetro de 4,7 cm



Anexo 7.- Humedecimiento del hidrogel en un suelo arenoso y arcilloso



Anexo 8.- Humedecimiento del hidrogel en un suelo arenoso y arcilloso

