

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**EVALUACIÓN DE POLIACRILATOS DE DIFERENTES  
GRANULOMETRIAS EN SUELOS ARCILLOSOS Y ARENOSOS.**

**JOSELYN E. HERNÁNDEZ H.**

**4-789-1395**

**DAVID CHIRIQUÍ**  
**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2022**

**EVALUACIÓN DE POLIACRILATOS DE DIFERENTES GRANULOMETRIAS  
EN SUELOS ARCILLOSOS Y ARENOSOS.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERÍA EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU APROBACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL  
DEBE SER OBTENIDO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APROBADO POR:**

**MSc. ING. ALEXIS SAMUDIO**

\_\_\_\_\_  
**DIRECTOR**

**MSc. ING. CAROLINA GUERRA**

\_\_\_\_\_  
**ASESOR**

**D.Sc. ING LUZ LORIA**

\_\_\_\_\_  
**ASESOR**

**DAVID, CHIRIQUÍ  
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2022**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a **Dios** por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. Por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres **Emiliano Hernández** y **Mitzi Hernández**, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado. Gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A, mis hermanas **Grettel** y **Kimberly** por estar siempre presente, por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A todas las personas que me apoyaron, en especial a mis amigas aquellas que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

De igual forma, agradezco a mi **director de Tesis, Mgter. Alexis Samudio**, que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. A los Profesores que me han visto crecer como persona gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichosa y contenta.

## DEDICATORIA

A mi hija **Emily Sofia**, por ser la razón de mi existencia y el motivo para salir adelante.

A mis padres **Emiliano Hernández** y **Mitzi Hernández** quienes lucharon por mi bienestar, mi salud y mi educación. Ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida. No conozco a nadie más en este mundo a quienes les deba tanto amor y agradecimiento.

## **EVALUACIÓN DE POLIACRILATOS DE DIFERENTES GRANULOMETRIAS EN SUELOS ARCILLOSOS Y ARENOSOS.**

**Hernández H. Joselyn E. 2022. EVALUACIÓN DE POLIACRILATOS DE DIFERENTES GRANULOMETRIAS EN SUELOS ARCILLOSOS Y ARENOSOS.**

Tesis Ing. Manejo de cuencas y ambiente. Chiriquí, Panamá. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 54 páginas.

### **RESUMEN**

El presente estudio de dos presentaciones granulométricas de poliacrilatos de potasio (1.7 y 4 milímetros) se llevó a cabo con la finalidad de evaluar el uso de polímeros hidrogel en suelos arcilloso y arenoso utilizando como cultivo indicador el frijol chiricano (*Vigna unguiculata*). Para este estudio se tomaron en cuenta las variables materia seca y peso radicular. Para lograr los objetivos planteados el diseño experimental que se empleó fue en bloques al azar y los datos obtenidos fueron procesados a través de un análisis de varianza en donde se empleó el programa Statistical Analysis Software (SAS). Los parámetros de análisis fueron: el factor A corresponde a los poliacrilatos de potasio, el factor B a las dosificaciones las cuales son: 0 (testigo), 1, 2 y 3 gramos; siendo un total de 13 tratamientos y 4 repeticiones, dando como resultado 52 unidades experimentales en totalidad. El factor C los suelos arenoso y arcilloso.

Al comparar los dos tipos de suelos se obtuvo mayor rendimiento de producción de materia seca en el suelo arenoso 18.19% en comparación al suelo arcilloso que obtuvo 14.01%. En cuanto a la materia seca por tratamiento, el T<sub>4</sub> (3 gramos) con granulometría de 1.7 mm presentó mayor rendimiento con 24% en el cultivo, presentando menor pérdida de humedad, señalando que la mayor cantidad de dosis de hidrogel en el suelo incrementa la eficiencia en la retención de la humedad de un suelo arenoso.

**Palabras claves:** Almacenamiento de agua, polímeros hidroabsorbentes, *Vigna unguiculata*

## **Evaluation of polyacrylates of different granulometry in clay and sandy soils.**

Hernández H. Joselyn E.2022. Evaluation of polyacrylates of different granulometry in clay and sandy soils. Thesis Ing. Watershed management and environment. Chiriquí, Panama. Panama university. Faculty of agricultural sciences. 54 pages.

### **ABSTRACT**

The present study of two particle size presentations of potassium polyacrylates (1.7 and 4 millimeters) was carried out to evaluate the use of hydrogel polymers in clay and sandy soils using chiricano beans (*Vigna unguiculata*) as an indicator crop. The dry matter and root weight variables were taken into account for this study. To achieve the proposed objectives, the experimental design used was a randomized block design and the data obtained were processed through an analysis of variance using Statistical Analysis Software (SAS). The analysis parameters were: factor A corresponds to the potassium polyacrylates, factor B to the dosages which are: 0 (control), 1, 2 and 3 grams; being a total of 16 treatments and 4 replications, resulting in 64 experimental units in total. Factor C was the sandy and clayey soils.

When comparing the two types of soils, a higher yield of dry matter production was obtained in the sandy soil, 18.19%, compared to the clay soil, which obtained 14.01%. In terms of dry matter per treatment, T4 (3 grams) Storbock 660 M had a higher yield of 24% in the crop, with less moisture loss, indicating that the higher dose of hydrogel in the soil increases the efficiency of moisture retention in a sandy soil.

Key words: Water storage, hydroabsorbent polymers, *Vigna unguiculata*.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE CUADRO.....	ix
ÍNDICE DE FIGURA.....	x
ÍNDICE DE ANEXO.....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2. Antecedentes .....	3
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos .....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Hipótesis .....	7
1.6. Alcances y Limitaciones.....	7
1.6.1. Alcances .....	7
1.6.2. Limitaciones.....	8
2. MARCO TEÓRICO .....	9
2.1. Definición y composición de un hidrogel .....	9
2.2. Propiedades características del hidrogel.....	10
2.3. Cristales del Hidrogel y el desarrollo de las plantas.....	13
2.4. Ventajas generales .....	14
2.5. Beneficio del Polímero Hidrogel sobre el sistema radicular.....	15
2.6. <i>Vigna unguiculata</i> (Frijol chiricano).....	15
2.7. Características morfológicas.....	16
2.8. Características agronómicas .....	17
2.9. Tipos de suelo.....	18
2.9.1. Suelo Arenoso .....	18
2.9.2. Suelo Arcilloso .....	19

3. MARCO METODOLÓGICO .....	20
3.1. Ubicación y descripción del área de estudio .....	20
3.1.1. Recolección de información en laboratorio de suelos.....	20
3.1.2. Recolección de datos en el invernadero .....	21
3.2. Parámetros para evaluar .....	22
3.3. Variables para evaluar .....	22
3.4. Recolección de información en el laboratorio .....	22
3.5. Fertilización .....	24
3.6. Medición de la capacidad de campo .....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4. 1. Frecuencia de riego con la aplicación de hidrogel .....	25
4.2. Determinación de la medición de la humedad a capacidad de campo en suelos arcillosos y arenoso.....	26
4.3. Análisis de varianza .....	29
4.3.1. Análisis de la materia seca.....	29
4.3.2. Análisis de Varianza del Sistema radicular. ....	30
4.3.3. Comparación de medias para la variable Materia Seca y Sistema radicular con relación a tratamiento y poliacrilato. ....	31
4.3.4 Prueba de comparación el rango múltiple de Duncan de la Materia seca vs Suelos.....	33
4.3.5. Prueba de comparación con el rango múltiple de Duncan Sistema radicular vs Suelo. ....	35
4.3.6. Comparación el rango múltiple de Duncan Materia Seca vs dosis Tratamiento.....	36
4.3.7. Prueba del rango múltiple de Duncan para Sistema radicular vs dosis de tratamientos para cultivo de frijol ( <i>Vigna unguiculata</i> ).....	38
5. CONCLUSIONES.....	40
6. RECOMENDACIONES .....	41
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	42
8. ANEXOS.....	51

## ÍNDICE DE CUADRO

<b>CUADRO</b>	<b>Pág.</b>
I. Frecuencia de riego realizado en los diversos tratamientos en suelo arenoso y arcilloso de la Provincia de Chiriquí.....	26
II. Análisis de varianza de suelo arcillosos y arenoso para evaluar el porcentaje de materia seca (%) en frijol <i>Vigna unguiculata</i> . ....	30
III. Análisis de varianza para la variable dependiente sistema radicular. ....	31

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Figuras</b>	<b>Pág.</b>
1. Diagrama de copolimerización del Hidrogel. ....	9
2. El Hidrogel absorbe el agua y los nutrimentos proporcionándolos a las plantas. .....	10
3. Morfología de la planta de frijol. ....	15
4. Arreglo en bloques completos al azar del estudio en invernadero, Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuaria. ....	23
5. Porcentaje de humedad a capacidad de campo en suelo arcilloso en la FCA. .....	27
6. Humedad a capacidad de campo el suelo arenoso de Alanje.....	28
7. Comparación de media más alta de materia seca y sistema radicular con relación a los tratamientos. ....	33
8. El suelo de Alanje mejor porcentaje de materia seca con relación al suelo de FCA. ....	35
9. El suelo de Alanje mejor desarrollo del sistema radicular con relación al suelo de FCA. ....	36
10. Prueba de Duncan Materia seca vs tratamientos. ....	37
11. Prueba de Duncan sistema radicular vs tratamiento. ....	39

## ÍNDICE DE ANEXO

<b>Anexo</b>	<b>Pág.</b>
<b>1. FASE DE LABORATORIO, ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA. ....</b>	<b>51</b>
<b>2. PRUEBAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD Y VOLUMEN DE LA MEZCLA EN LABORATORIO. ....</b>	<b>53</b>
<b>3. GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS Y TRANSPLANTE DE PLANTONES. ....</b>	<b>54</b>
<b>4. ESTABLECIMIENTO DEL ENSAYO EN INVERNADERO .....</b>	<b>55</b>

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

El agua como recurso natural renovable, fundamental para la vida humana y para los procesos de producción, ante la contaminación y la sobre explotación por encima de su capacidad de recarga, se convierte en un recurso escaso. De ahí la importancia de identificar, validar y difundir aquellas formas de captación, almacenamiento, distribución y conservación del agua que contribuyen a su uso racional y que son un factor clave en los procesos de desarrollo rural y manejo de los recursos naturales en los ecosistemas.

En la producción agrícola, la disponibilidad de agua para las raíces constituye uno de los factores limitantes de mayor importancia para el crecimiento de las plantas y la productividad de los cultivos, especialmente en regiones donde la sequía es un factor de estrés muy importante para el cultivo. (Evonik Industries AG, 2008).

El recurso hídrico es de suma importancia para el sector agrícola, tanto por el gran potencial que tiene el agua para contribuir a los procesos de producción agroalimentaria, como por su aporte al desarrollo agroindustrial, a la generación de fuentes alternas de energía y a una amplia diversidad de servicios ambientales. (Global Water Partnership, 2013).

El constante e incesante crecimiento de la demanda global de agua, unido al impacto que actualmente genera el cambio climático, están potenciando a este recurso como un factor limitante para el desarrollo de la producción agrícola en distintos puntos a nivel mundial; ya que, la mayoría de los campos necesitan siempre un grado de humedad para mejorar los suelos destinados a la siembra de diversos cultivos. (Global Wáter Partnership, 2013).

Siendo el agua uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés. (Moreno, 2009).

En Panamá existe una problemática que va en crecimiento, en cuanto a la disponibilidad y suministro de agua para los cultivos, especialmente en la época seca en donde obviamente las lluvias son escasas, los suelos se han degradado y se dificulta la producción agrícola, es por lo que se hace necesario el estudio de nuevas tecnologías que ayuden a hacer frente a esta problemática.

## 1.2. Antecedentes

Desde hace más de 20 años se han realizado ensayos que demuestran que el uso de polímeros hidro absorbentes mejora la capacidad de retención de agua en el suelo, favoreciendo el crecimiento de las plantas, al mezclar el polímero con el suelo se consigue aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por filtración, también se consigue disminuir la evaporación de la misma. Estrada, *et al.* (2010).

La aplicación de estos polímeros hidro-absorbentes en cultivos agrícolas, se conoció por primera vez, por un estudio que llevo a cabo el Ingeniero Agrónomo Sergio Rico en México, quien a través del polímero se dio cuenta que, si se le agregaba agua, este polvo era capaz de absorber hasta 200 veces su peso, el cual se convertía en gel y podría ser depositado al lado de la raíz de las plantas, proporcionándole el agua que necesita para su desarrollo (Semillas de Agua, 2013).

Según Rodríguez *et al.*, (2010), el hidrogel tiene la capacidad 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. El mismo es utilizado en la agricultura logrando reducir el consumo de agua hasta en un 50%.

Estudios realizados por Barón *et al.*, (2007) reportaron que la aplicación de hidrogel modifica positivamente la dinámica hidráulica del suelo (retención y liberación del agua), lo que permite que las plantas resistan y retrasen el marchitamiento además de poder crecer bajo condiciones de estrés. Un punto importante de este trabajo realizado en instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia es el hecho de que hablan de la necesidad de definir las pautas que permitan elegir un hidrogel de acuerdo con las condiciones en las que se va a usar, es decir, dependiendo del tipo de suelo, las condiciones climáticas y el tipo de planta que se va a utilizar, es necesario elegir el tipo de polímero a utilizar.

### **1.3. Justificación**

El cambio climático produce modificaciones tanto en la temperatura como en la precipitación. Para la agricultura ambas variables desempeñan un papel determinante, ya que el crecimiento y desarrollo de los cultivos depende fundamentalmente de estos factores.

Panamá, según el Ministerio de Desarrollo Agropecuario se declaró estado de emergencia en el año 2015, con el propósito de darle frente a los efectos de la sequía ocasionada por el fenómeno del niño y ordenó medidas inmediatas de ahorro de agua. El tema ambiental, especialmente la sequía y cambio climático son de vital importancia, cobrando cada vez más relevancia y posición nacional, internacional y globalmente.

Esta situación nos obliga a implementar nuevas tecnologías, que den resultados eficientes, para de esta manera mitigar los efectos devastadores de la sequía en la agricultura, donde el desarrollo de los cultivos es notoriamente afectado. Debido a esta problemática actualmente, se están utilizando hidrogeles en algunos cultivos, para proporcionar a las plantas el agua necesaria para su desarrollo durante las temporadas de sequía, reducir hasta en un 75% del agua

destinada para el riego y obtener otros beneficios, como el aumento de la productividad de los cultivos y su calidad (Agronomía Para Todos, 2012).

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Evaluar la variación de la retención y suministro de agua en diferentes tipos de suelo (arcilloso y arenoso), al utilizar polímeros hidro-absorbentes de diferentes granulometrías (1.7 y 4 milímetros).

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar el comportamiento de dos tipos de suelos en cuanto a retención de humedad en relación a la granulometría del polímero hidro-absorbente.
- Evaluar la producción de materia seca de follaje y raíces en plantas de *Vigna unguiculata*.
- Estimar el porcentaje de agua disponible en los suelos de estudio.

## **1.5. Hipótesis**

Ha. La granulometría del hidrogel influye en el suministro de agua al suelo potencialmente aprovechable para el cultivo de *Vigna unguiculata*, en relación con la textura del suelo.

Ho. La granulometría del hidrogel no influye en el suministro de agua al suelo potencialmente aprovechable para el cultivo de *Vigna unguiculata*, en relación con la textura del suelo.

## **1.6. Alcances y Limitaciones**

### **1.6.1. Alcances**

El presente estudio, comprende la evaluación de polímeros hidro-absorbentes, con partículas de 1.7 milímetros y 4.0 milímetros en potes con suelos arcilloso y arenoso, los cuales, añadidos al suelo actúan como una reserva de agua para lograr una producción eficiente, conservando y restaurando la estructura. Con los resultados obtenidos se podrá determinar cuál granulometría del hidrogel es más eficiente en el suministro de agua a la planta.

Este trabajo proporciona información sobre una estrategia para reducir el efecto del cambio climático en la producción agrícola, así como también referencia futuros estudios sobre esta tecnología.

### **1.6.2. Limitaciones**

Una limitante que se presentó al realizar la investigación fue determinar la capacidad de absorción de los polímeros, que está determinada por la calidad del agua y el tipo de suelo a utilizar, debido a que el comportamiento de estos está ligado a la capacidad de absorción del polímero mezclado con una proporción de suelo, que depende de su textura.

Otra condición adversa, fue la disponibilidad del invernadero con una instalación lo suficientemente adecuada, que permitiera trabajar a todas horas del día para que de esta manera se evite el acceso de plagas para las plantas del estudio.

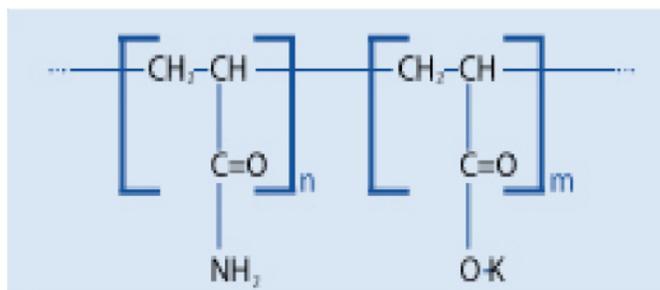
## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Definición y composición de un hidrogel

Katime *et al.*, (2004), indica que el hidrogel es una red tridimensional de cadenas flexibles de polimeros, constituida por segmentos conectados de una determinada manera e hinchada por un líquido. Si el líquido que solvata las cadenas es orgánico recibe el nombre de organogel, mientras que, si el responsable de la solvatación es el agua, entonces se denominan hidrogeles. Existen dos tipos de geles, en función de la naturaleza de las uniones de la red tridimensional que los constituyen, físicos y químicos.

Cerdeira *et al.*, (2000), Mencionan que los hidrogeles son sustancias en estado coloidal con apariencia sólida como la albúmina (presente, por ejemplo, en la clara de huevo) coagulada por el calor o el colágeno gelificado por enfriamiento.

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

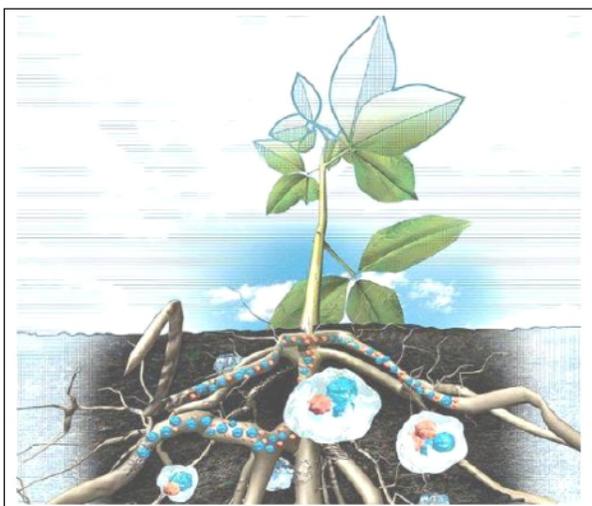


**Figuras 1. Diagrama de copolimerización del Hidrogel.**

## **2.2. Propiedades características del hidrogel**

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

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



**Figura 2. El Hidrogel absorbe el agua y los nutrientes proporcionándolos a las plantas.**

Hidrogel es un retenedor de agua que cuando se incorpora en un suelo o un sustrato, absorbe y retiene grandes cantidades de agua y nutrientes si estos son solubles. A diferencia de la mayoría de los productos a los que se hidratan,

hidrogel tiene la propiedad de liberar fácilmente el agua absorbida y nutrientes, lo que permite que la planta contenga agua y nutrientes disponibles a voluntad en función de los ciclos de absorción-liberación. (Tornado 2012)

Ramos (2009), indica que los hidrogeles se utilizan para aumentar la capacidad de retención de agua del suelo y para espaciar las frecuencias de riego. Los hidrogeles no tienen efectos sobre las características físicas del agua, ni sobre la porosidad total del suelo, pero sí sobre la retención de agua (aumentándola) y la capacidad de aireación (disminuyéndola). Absorben agua durante el riego y la liberan a medida que el suelo se seca alrededor del polímero, constituyendo una reserva de agua que permite aprovechar mejor el agua de lluvia.

El hidrogel al entrar en contacto con el agua comienza su absorción hasta 200 veces su peso es decir hasta 200 litros de agua por cada kilogramo de hidrogel (dependiendo la pureza de esta). Cuando en el suelo empieza a perder agua y humedad, el hidrogel comienza a liberar agua, de acuerdo con las necesidades de la raíz, manteniéndola siempre hidratada, esto sucede en todo tipo de plantas, permitiendo un importante ahorro de agua y una menor frecuencia de riego (Tornado, 2012).

Estrada (2010), menciona que 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 con el grado de polimerización del material. La rápida multiplicación tanto de la variedad de compuestos utilizados, como de los mecanismos de síntesis ha permitido la obtención de hidrogeles con mayor capacidad de absorción de agua

y con diversas características fisicoquímicas, estas últimas condicionan el hinchamiento del gel y por lo tanto, su desempeño.

Cerdeira (2000), señala que los cristales de hidrogel absorben agua cientos de veces su peso; tiene la capacidad de retenerla y presentarse en forma de cristales o gránulos sólidos cuando están secos, que al momento de ser mojados se hinchan y adquieren un aspecto gelatinoso. Hay que tener en cuenta que el tamaño de esas moléculas influirá en la liberación del agua (Flor de Planta, 2014)

Otros autores definen el hidrogel con propiedad de absorber grandes cantidades de disolventes causando cambios macroscópicos en las dimensiones del polímero. La propiedad más importante que presentan los hidrogeles es su grado de hinchamiento, además de su capacidad de absorción, su permeabilidad para disolver diferentes solutos entre otros. Otra propiedad es que absorbe con mayor facilidad los fertilizantes solubles, los libera paulatinamente, y mejora el drenaje (González, 2011)

El mismo autor menciona que un hidrogel que absorbe agua que contiene fertilizantes, libera estos fertilizantes paulatinamente con el agua, lo mismo sucede con otros componentes solubles en agua. Esta propiedad de geles súper absorbentes puede resultar en grandes ahorros de costos para el agricultor, y los hidrogeles son mucho más económicos que otros sistemas tradicionales de liberación lenta de fertilizantes.

### **2.3. Cristales del Hidrogel y el desarrollo de las plantas.**

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

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

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

## 2.4. Ventajas generales

Projar (2016), señala las ventajas generales del hidrogel como siguiente:

- Prolonga el ciclo de vida de la planta.
- Permite un óptimo desarrollo de la planta.
- Reduce la frecuencia de riego hasta en un 50%.
- 1 kg de producto absorbe y libera hasta 250 litros de agua.
- Rápida capacidad de humedecimiento que garantiza el crecimiento de las plantas tras sequía.
- La formulación de hidrogel en forma de homo-polímero permite que esté libre de acrilamida.
- Ambientalmente seguro y biodegradable.
- No contamina los acuíferos.
- Permite ahorrar fertilizante.
- Mejora la supervivencia en el trasplante.
- Permite sembrar fuera de época.

## 2.5. Beneficio del Polímero Hidrogel sobre el sistema radicular.

Projar, (2015), indica que en el caso de la aplicación del polímero gel hidratante sobre el sistema radicular tras el arranque en vivero o campo de todo tipo de plantas y árboles, protege sus raíces al descubierto durante el transporte y almacenamiento, evitando que se des sequen, además de intensificar la nueva formación de raíces después de la plantación gracias al óptimo aporte de agua. Esta rápida nueva formación de finas raíces capilares hace que los resultados de arraigamiento sean sensiblemente mejores, reduciéndose así las pérdidas de plantas.

## 2.6. *Vigna unguiculata* (Frijol chiricano)

El frijol (*Vigna unguiculata*) es una planta dicotiledónea que pertenece a la familia fabaceae y a las subfamilias Faboideae, del orden de la Leguminosae clase Angiospermae es considerada una planta autógama, arbustiva, herbácea. La planta presenta una morfología donde se identifican órganos vegetativos como (Raíz, Tallos y Ramas, Hojas) y órganos reproductivos (Inflorescencias, Flores, Frutos y semillas) (Arias-Restrepo, 2007).

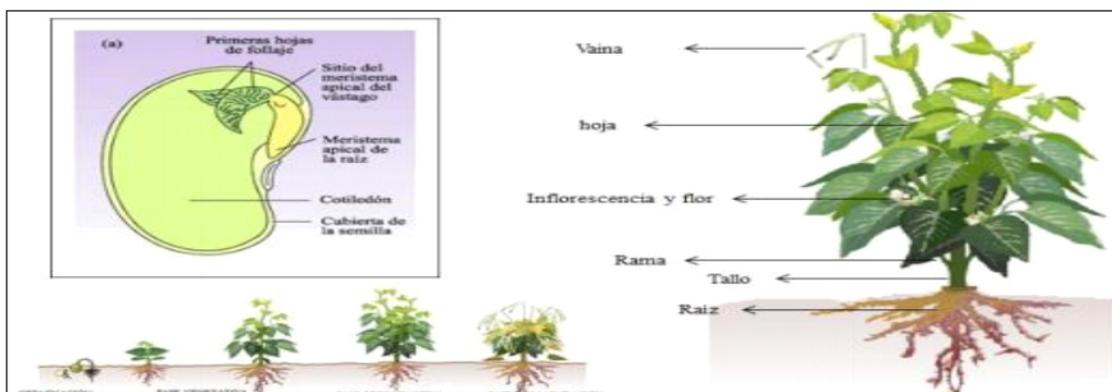


Figura 3. Morfología de la planta de frijol.

## 2.7. Características morfológicas

Morfológicamente, la planta tiene aspecto semiarbuscivo con ramificación bien desarrollada, presenta un hábito de crecimiento tanto determinado como indeterminado y alcanza entre 15 y 80 cm de altura (Tropical Forages, 2008).

Se caracteriza por sus tallos y hojas glabros, los primeros son cilíndricos o fuertemente angulares y las hojas son pinnaticompuestas trifoliadas, cada foliolo puede medir entre 5-11 x 1,5-5 cm, unidas a un peciolo con longitud entre 6,7 y 8,7 cm; además posee estipulas de 7 a 16 mm de longitud que se prolongan en dos aurículas oblongas hasta 5 mm por debajo del punto de inserción; inflorescencia de 7-30 cm de longitud, subumbelada, pauciflora con las flores agrupadas en el ápice, nudos florales 1-3; las flores miden cerca de 20 mm de longitud y poseen corola blanca con máculas moradas y un estilo que se extiende por encima del estigma formando un gancho, La vaina mide alrededor de 10 -23 cm de largo con 10 a 17 semillas por vaina, las cuales son variables en tamaño y forma que puede ser desde oblonga hasta reniforme, los colores de las semillas pueden ser blanco, marrón crema, marrón y verde (Beyra y Reyes, 2004).

## 2.8. Características agronómicas

En primer lugar, el frijol *Vigna unguiculata* puede sembrarse en cualquier época del año, disponiendo de mínima humedad en el suelo. De este modo se podrían obtener hasta cuatro cosechas al año. Además, es posible su siembra tanto solo como intercalado con otros cultivos como maíz, plátano, yuca entre otros (Díaz y López, 1997).

Tiene facilidad de adaptarse a una amplia gama de suelos, desde los arenosos hasta los arcillosos pesados con buen drenaje, presentando preferencia por aquellos suelos ligeros que permitan el crecimiento radicular. Posee capacidad de crecer en suelos de baja fertilidad debido a la facultad de hacer una simbiosis efectiva con micorrizas, a su capacidad para resistir tanto en suelos con condiciones acidas como alcalinas y a sus altas tasas de fijación de nitrógeno (Elowad y Hall, 1987).

Cabe decir que esta última característica es debido a que bacterias del suelo como son las *Rhizobium* crean nódulos en las raíces de las plantas que pueden llegar a captar entre 70 y 150 kg de nitrógeno por hectárea, presentándose una mayor fijación de este elemento durante la etapa de floración (Sánchez, 2001).

La planta tiene una considerable adaptación a la sequía, creciendo en regímenes climáticos que van desde los 650 mm hasta los 2000 mm (Tropical Forages, 2008).

Serrud, (2019), señala las siguientes ventajas agronómicas

- Revierte nitrógeno al suelo.
- Alternativa agronómica para el verano.
- Reduce la incidencia de malezas en los campos arroceros.
- Cubre el suelo, evitando la erosión del suelo en el verano.

## **2.9. Tipos de suelo**

### **2.9.1. Suelo Arenoso**

Estos suelos presentan una textura gruesa, con predominio de arenas (75 % arenas, 5 % de arcillas y 20 % de limo), lo cual permite una gran aireación, al contener macro poros, que le permiten absorber rápidamente el agua, sin embargo, no tienen capacidad para retenerla y, por tanto, tampoco logran conservar los nutrimentos necesarios para el crecimiento del cultivo (Martínez, 2015).

Su tamaño de partícula es la más grande, partículas individuales con formas dentadas irregulares o redondas y planas. El suelo arenoso es muy bueno para la producción de hortalizas debido a que el aire y agua tienen buen movimiento, sin compactarse. Sin embargo, el manejo del agua y fertilizantes es muy importante. Esto debido a con riego pesados se lixivia el agua y los nutrimentos a una profundidad que la planta no puede aprovechar. Se recomiendan riegos frecuentes pero ligeros (Martínez, 2015).

### **2.9.2. Suelo Arcilloso**

Cabe mencionar que este tipo de suelos presentan una textura fina, con un alto predominio de arcillas (45 % de arcillas, 30 % de limo y 25 % de arena). Esta composición le permite una elevada retención de agua y nutrientes. No obstante, posee una baja porosidad y, por lo tanto, la consecuencia lógica es que son suelos que carecen de buenas posibilidades de aireación (Besoain, 1985).

Por este motivo se dice que son terrenos difíciles de trabajar; ya que, poseen una elevada viscosidad que ofrece una gran resistencia a la penetración de raíces. Un aspecto peor aún que las dificultades de penetración de las raíces, es el hecho de que este tipo de suelo impide una correcta aireación de las mismas y por tanto, tarde o temprano terminan pudriéndose. Las partículas de arcilla son muy pequeñas, este tamaño tan pequeño provoca que las partículas se unan en forma compacta. Además, estas partículas tienen forma plana y se unen en forma de placas lo que hace que el suelo sea impermeable. Los huecos pequeños y la superficie de las placas absorben el agua a las partículas (Besoain, 1985).

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Ubicación y descripción del área de estudio**

La investigación, se realizó en el invernadero del Departamento de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá-sede de Chiriquí, ubicado a 92°79'74.99" Latitud Norte y 35°35'01.27" Longitud Este.

La metodología empleada para llevar a cabo la investigación contempló dos fases;

una en laboratorio y otra en invernadero.

##### **3.1.1. Recolección de información en laboratorio de suelos**

Para evaluar la capacidad de absorción de cada hidrogel se utilizó un gramo de poliacrilato en cada prueba, en el caso del hidrogel con granulometría de 4.0 mm y capacidad de absorción en un gramo fue de 190 ml y en el de 1.7 mm fue de 300 ml.

Posteriormente se evaluaron dos formas de aplicación de los polímeros a los suelos. Se aplicó el producto pre hidratado, utilizando 250 gramos de suelo mezclado con 0.25 g de polímero disuelto en 75 mililitros de agua, para el caso del producto con granulometría de 1.7 milímetros y 47.5 mililitros para el de 4.0 milímetros en los dos tipos de suelo, también se aplicó el producto granulado agregando el producto mezclado con suelo en seco y posteriormente hidratado. La forma más eficiente fue la aplicación del producto prehidratado.

La capacidad de absorción del polímero hidrogel está determinada por la calidad del agua y el tipo de suelo, en este sustrato la capacidad de almacenamiento varía en torno a 70 – 120 veces su peso.

### **3.1.2. Recolección de datos en el invernadero**

El estudio se llevó a cabo en macetas con capacidad de 2 kilogramos, se utilizó hidrogel con diferente granulometría, 1.7 y 4.0 milímetros, mediante el diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial.

Se emplearon cuatro tratamientos: Testigo sin hidrogel (A), Dosificación de 1 gramo de hidrogel (B), Dosificación de 2 gramo de hidrogel (C), Dosificación de 3 gramos de hidrogel (D). De Cada tratamiento se realizaron cuatro repeticiones, en excepción de los testigos que se realizarán dos repeticiones, lo que representa un total de 52 unidades experimentales.

Tratamientos: A, B, C, D,

- Bloque I: A D C B
- Bloque II: D B A C
- Bloque III: C B D A
- Bloque IV: B C A D

### 3.2. Parámetros para evaluar

- Factor A: Aplicación y no aplicación de poliacrilato de potasio.
- Factor B: Aplicación de poliacrilatos en diferentes dosificaciones.
- Factor C: Suelos

### 3.3. Variables para evaluar

- Materia seca de las plántulas (*Vigna unguiculata*.)
- Peso radicular

### 3.4. Recolección de información en el laboratorio

Se extrajeron 20 kilos de suelo a una profundidad de 30 cm en la parcela ubicada a 8°23'34" N y 82°19'49" W de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (Suelo arcilloso), de igual manera se extrajeron 20 kilos de suelo a una profundidad de 30 cm en la comunidad de la Nobleza, distrito de Alanje ubicada a 8°21'42" N y 82°31'15" W (Suelo arenoso).

El suelo extraído fue sometido al proceso de secado al aire en el invernadero. Para este fin, el suelo estuvo dispuesto en sacos sobre mesas, durante tres semanas. Al finalizar el proceso de secado, se adicionaron dos kilogramos de suelo por cada maceta, (52 macetas), de acuerdo con el diseño experimental. Antes se colocó sarán en el fondo de las macetas para impedir que el suelo saliera por los orificios de drenaje.

Se procedió a ordenar las macetas en las mesas del invernadero, de acuerdo con el diseño experimental por bloque (repetición).

MESA 1												
FCA	FCA	FCA	FCA	FCA	FCA	ALANJE	ALANJE	ALANJE	ALANJE	T1	ALANJE	T1
T2	T3	T4	T4	T4	T4	T2	T2	T4	T4		T3	
XL	M	XL	M	XL	XL	XL	M	XL	XL		M	
FCA	FCA	FCA	FCA	ALANJE	ALANJE	ALANJE	ALANJE	ALANJE	ALANJE	FCA	FCA	FCA
T3	T3	T3	T3	T2	T2	T2	T3	T3	T2	T2	T3	T4
M	XL	XL	XL	M	M	XL	XL	XL	XL	XL	M	XL

MESA 2												
FCA	ALANJE	ALANJE	FCA	FCA	ALANJE	ALANJE	FCA	ALANJE	FCA	ALANJE	FCA	ALANJE
T2	T4	T4	T4	T2	T3	T4	T2	T3	T4	T4	T2	T2
M	M	M	M	M	M	XL	M	M	M	XL	XL	XL
FCA		FCA	ALANJE	ALANJE	ALANJE	ALANJE	FCA	FCA		ALANJE	ALANJE	FCA
T4	T1	T2	T4	T4	T2	T3	T3	T2	T1	T3	T3	T3
M		M	M	M	M	M	M	XL		XL	XL	XL

Figura 4. Arreglo en bloques completos al azar del estudio en invernadero, Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuaria.

Una vez colocadas las macetas al azar, se llevó el suelo a capacidad de campo y se trasplantaron las plantas en las 52 macetas de los tratamientos con planta. Debajo de cada maceta se colocó un plato de aluminio, para mantener una lámina de agua permanente y de este modo permitir a las plantas absorber agua, de igual manera se regaron las plantas de forma manual cada semana con el fin de mantener el suelo húmedo.

### 3.5. Fertilización

Se preparó una solución madre estándar en cuatro litros de agua; aplicando 5 gramos de fertilizante granulado utilizado como abono foliar Nutrex 20-20-20 (N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – K<sub>2</sub>O) La fertilización se inició a los siete días después del trasplante de los plántones de *Vigna unguiculata*, luego se siguió aplicando una dosis de fertilizante cada 15 días, hasta finalizar el ensayo.

### 3.6. Medición de la capacidad de campo

Se denomina capacidad de campo a la cantidad de humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente (EcuRed, 2010).

Se tomó una muestra representativa por maceta, 48 horas después de humedecido a capacidad de campo. Luego fue llevada al horno por un periodo de 24 horas a una temperatura de 105°C, luego de registrado el peso seco se empleó el uso de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Ø g} = \frac{\text{P.S.H.} - \text{P.S.S}}{\text{P.S.S}} \times 100$$

P.S.H. = Peso de suelo húmedo

P.S.S.= Peso de suelo seco

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4. 1. Frecuencia de riego con la aplicación de hidrogel**

El Cuadro I., describe la frecuencia de riego utilizada durante el periodo de estudio, la cual, fue diseñada acorde a la capacidad absorbente del poliacrilato de potasio y en base a la cantidad de hidrogel suministrada en cada tratamiento.

Los tratamientos comparan dos tipos de suelo, a los cuales, se les aplicó diferentes dosis de hidrogel comercial, subdividiéndolas en dos tipos de granulometría diferente (1.7 y 4.0 mm), En base a pruebas realizadas en laboratorio se obtuvo que un gramo de poliacrilato de 1.7 mm tiene la capacidad de absorber 300 ml de agua, mientras que, un gramo de poliacrilato de 4.0 mm tiene la capacidad de absorber 190ml de agua, por lo tanto, al incrementar la cantidad de hidrogel a 2.0 g y 3.0 g, de igual forma, incrementaron proporcionalmente las dosis de agua suministradas.

Ambos suelos utilizados (arcilloso y arenoso) recibieron igual dosis de hidrogel comercial y frecuencia de riego, como se ilustra posteriormente en el Cuadro I.

CUADRO I. Frecuencia de riego realizado en los diversos tratamientos en suelo arenoso y arcilloso de la Provincia de Chiriquí.

TRATAMIENTOS	CANTIDAD DE AGUA EN ml	FRECUENCIA DE RIEGO EN DÍAS
<b>Suelo arcilloso FCA</b>		
T	300	3
1g 1.7 mm	300	7
2g 1.7 mm	600	7
3g 1.7 mm	900	7
T	190	3
1g 4 mm	190	3
2g 4 mm	380	7
3g 4 mm	570	7
<b>Suelo arenoso ALANJE</b>		
T	300	3
1g 1.7 mm	300	7
2g 1.7 mm	600	7
3g 1.7 mm	900	7
T	190	3
1g 4 mm	190	3
2g 4 mm	380	7
3g 4 mm	570	7

#### 4.2. Determinación de la medición de la humedad a capacidad de campo en suelo arcilloso y arenoso.

La textura del suelo juega un papel fundamental en cuanto a la fuerza de retención de agua y al drenaje (Martínez, 2015), por lo tanto, en suelos con macro poros (arenoso) tienden a drenar el agua con mayor rapidez, en comparación, al suelo arcillosos que contiene microporos.

Los suelos arcillosos por su textura tienen una capacidad de retención de humedad entre 30-70 por ciento, en ellos las lluvias finas y duraderas aportan más agua al suelo que las intensas y rápidas. Según, Mata (1991), esto ocurre también en la mayoría de los suelos, con mayor frecuencia e impacto en suelo arcillosos porque son impermeables y presentan mal aireación. La figura 5, mostró que la humedad retenida, en el suelo arcilloso, fue limitada durante la primera semana de estudio, no obstante, la tercera semana obtuvo mayor retención de humedad con el tratamiento de tres gramos de poliacrilato de 1.7 mm, por lo tanto, hubo retención de agua, en el suelo arcilloso al incrementar la dosificación de poliacrilato de potasio, observado en la tercera semana. (Ver Figura 5.)

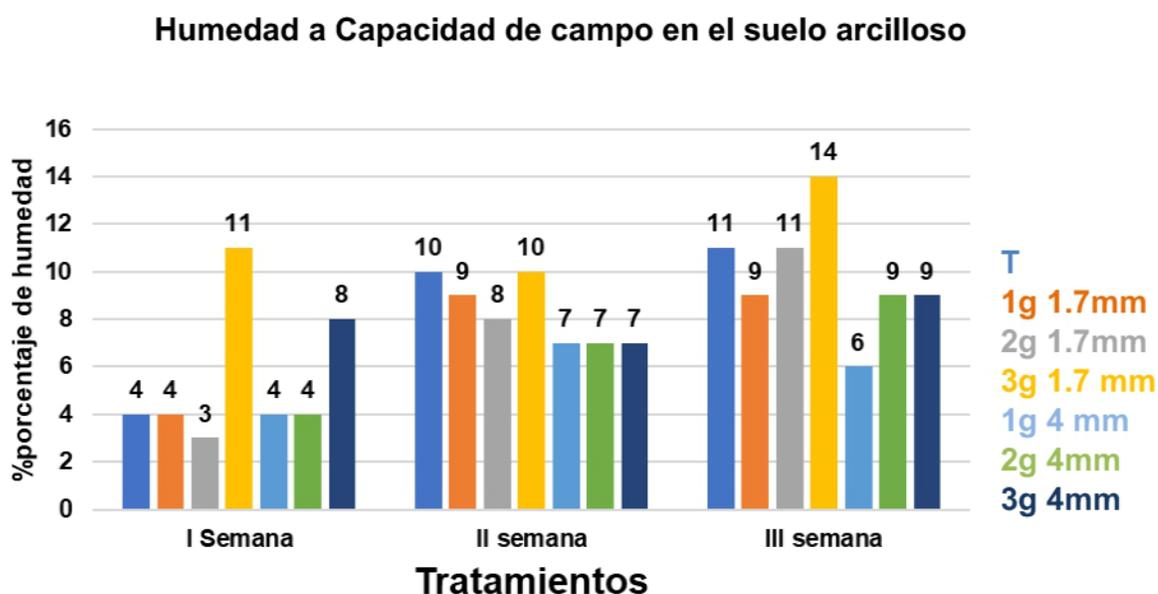


Figura 5. Porcentaje de humedad a capacidad de campo en suelo arcilloso en la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

El suelo arenoso, mostró mejor capacidad de retención de agua o capacidad de campo acorde con lo encontrado por Evonik (2008), en donde señala que el

suelo arenoso por sí solo posee baja capacidad de retención de humedad, sin embargo, al ser tratado con polímeros hidro-absorbentes tiene, un mayor potencial de retención de agua; por lo que, en la Figura 6, se observa que la aplicación de los polímeros hidro-absorbentes aumento a humedad a capacidad de campo en el suelo arenoso al compararlo con el testigo, y se observó mejor efectividad de los polímeros absorbentes en el suelo arenoso con relación al suelo arcillosos.

### Humedad a capacidad de campo en suelo arenoso

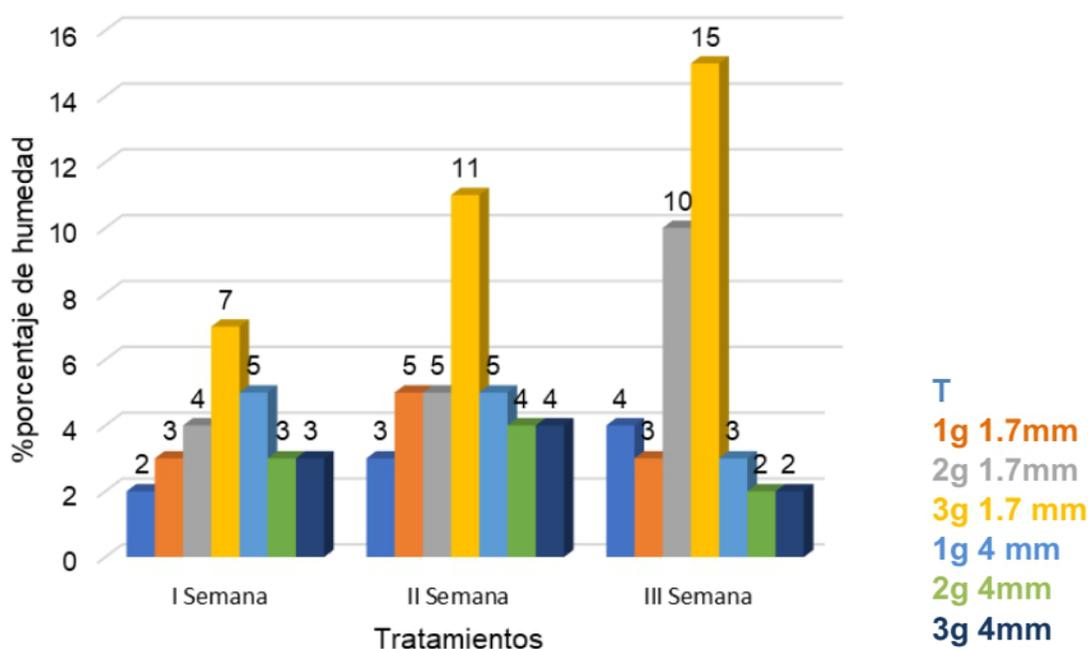


Figura 6. Humedad a capacidad de campo el suelo arenoso de Alajuela.

En la comparación de humedad a capacidad de campo, es importante indicar que, durante las tres semanas, el tratamiento de tres gramos de hidrogel

comercial con granulometría de 1.7mm (poliacrilato de potasio) fue mejor para ambos suelos con relación al hidrogel comercial con granulometría de 4mm.

Estos porcentajes de retención de agua coinciden con lo encontrado por Ramos (2009) que indica que los hidrogeles no tienen efectos sobre las características físicas del agua, ni sobre la porosidad total del suelo, pero sí sobre la retención de agua (aumentándola) y la capacidad de aireación (disminuyéndola). Es por tanto que el suelo arenoso por su textura y porosidad permitió el humedecimiento del hidrogel con más éxito que el suelo arcilloso que su textura compacta tomó más tiempo para absorberla.

### **4.3. Análisis de varianza**

#### **4.3.1. Análisis de la materia seca**

El frijol *Vigna unguiculata*, según Díaz y López (1997) puede sembrarse disponiendo de mínima humedad en el suelo. Lo que indica que un suelo que presenta un buen drenaje y con una capacidad de retención de humedad a través de tratamiento favoreció una gran acumulación de materia seca en tallo y hojas.

El análisis de comparación de medias para el porcentaje de materia seca en frijol *Vigna unguiculata*. se observó que no existen diferencias estadísticas significativas en relación de las variables. (ver Cuadro II.)

**CUADRO II.** Análisis de varianza de suelo arcilloso y arenoso para evaluar el porcentaje de materia seca (%) en frijol *Vigna unguiculata*.

Fuente	DF	F-Valor	Pr > F
<b>S</b>	1	1.77	0.1894
<b>T</b>	3	0.97	0.4151
<b>S*T</b>	3	2.43	0.0764
<b>P</b>	1	0.64	0.4261
<b>S*P</b>	1	2.59	0.1140
<b>T*P</b>	3	1.88	0.1463
<b>S*T*P</b>	3	1.31	0.2812

\*S, Suelos. \*T, Tratamientos. \* P, Poliacrilato

#### 4.3.2. Análisis de Varianza del Sistema radicular

El frijol *Vigna unguiculata* según (Carvalho et al., 1998; Davis et al., 1991; Ehlers y Hall, 1997), se adapta a una amplia gama de suelos arenosos y arcillosos, bien drenados, con una preferencia por suelos ligeros que permiten un buen enraizamiento; crece también en suelos de textura pesada fuertemente alcalinos. Presenta una raíz profunda y pivotante (hasta 1.95 m.), tiene abundantes ramificaciones laterales, pudiendo alcanzar una longitud de 1.40 m., por lo que las plantas pueden absorber mayor cantidad de agua y nutrientes en comparación a los frijoles comunes.

El sistema radicular es una variable de suma importancia en este estudio y en el cuadro siguiente mostró que los tratamientos, en diferentes dosis de hidrogel, obtuvieron diferencias altamente significativas ( $P < .0018$ ) para el sistema radicular del cultivo. Según Tornado (2012), el hidrogel comienza a liberar agua,

de acuerdo con las necesidades de la raíz, manteniéndola siempre hidratada, lo que nos indica que a mayor cantidad de poliacrilatos de 1.7 mm incrementó la eficiencia de agua almacenada en la zona de las raíces, evitando así las pérdidas por percolación y la lixiviación de nutrimentos y obteniendo mejor peso. También se observa que en las demás variables no se obtuvo diferencias estadísticas significativas.

**CUADRO III.** Análisis de varianza para la variable dependiente sistema radicular.

<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>S</b>	1	0.88	0.3541
<b>T</b>	3	5.78	0.0018
<b>S*T</b>	3	0.45	0.7177
<b>P</b>	1	1.96	0.1685
<b>S*P</b>	1	0.12	0.7305
<b>T*P</b>	3	1.20	0.3210
<b>S*T*P</b>	3	0.61	0.6087

\*S, Suelos. \*T, Tratamientos. \* P, Poliacrilato

#### **4.3.3. Comparación de medias para la variable Materia Seca y Sistema radicular con relación a tratamiento y poliacrilato.**

En el análisis sobre el efecto de las diferentes dosis de hidrogel comercial (poliacrilato de potasio 1.7 y 4.0 mm), sobre el comportamiento de la materia seca procedente del frijol *Vigna unguiculata* (Figura 7), muestra que los mayores valores se obtuvieron en el tratamiento cuatro en el que se aplicaron tres gramos

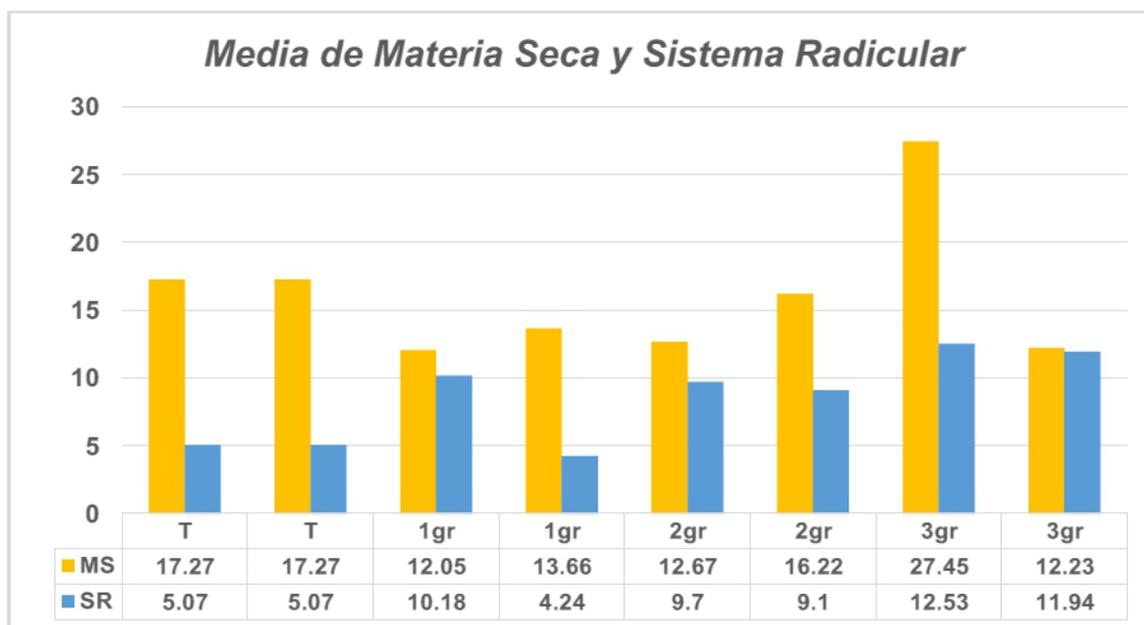
de hidrogel comercial de 1.7 mm , donde los aportes de materia seca fueron de 27 % siendo altamente significativo con el resto de los tratamientos, esta diferencia se dio principalmente por una mayor acumulación de peso seco en el tallo principal, ramas y lámina foliar.

En cuanto a la media del porcentaje (%) del sistema radicular también se destacó el tratamiento cuatro el cual contenía tres gramos de hidrogel comercial con granulometría de 1.7mm (poliacrilato de potasio) con un 12 por ciento; presentó mejor desarrollo radicular.

En cuanto a materia seca y sistema radicular los resultados indican que no hay diferencia significativa, sin embargo, se observa que tienen mayor porcentaje son las plantas del tratamiento con granulometría de 1.7mm en comparación a las plantas del tratamiento con granulometría de 4mm.

El uso de ambos poliacrilatos de diferentes granulometrías favoreció al cultivo del frijol, ya que, a pesar de las condiciones climáticas que presenta el invernadero de la Facultad ambos hidrogeles mostraron mayor almacenamiento de agua para obtener un mejor porcentaje de materia seca y desarrollo del sistema radicular con relación al grupo testigo. Por tal razón el poliacrilato da un mayor rendimiento en la materia seca porque sirve de reserva de agua, cuando la tierra va secando el poliacrilato libera el agua reservada de forma gradual humedeciendo el entorno, entonces cuando este vuelve a estar en contacto con el agua se hidrata nuevamente y reinicia el proceso lo cual favorece la materia seca, esto da como consecuencia que le poliacrilato ahorre agua y mantenga la salud de las raíces del frijol.

A continuación, en la Figura 7, se mostraron los resultados obtenidos de la prueba de Duncan luego de comparar las medias de materia seca, sistema radicular vs tratamiento y polímeros.



**Figura 7. Comparación de media más alta de materia seca y sistema radicular con relación a los tratamientos.**

#### **4.3.4 Prueba de comparación el rango múltiple de Duncan de la Materia seca vs Suelos**

Cabe señalar que la aplicación del método de Duncan nos mostró los promedios poblacionales de tratamientos dentro de los grupos, no son diferentes ( $P > .05$ ). En la figura 8, el suelo (S) arenoso de Alanje obtuvo una media de 18.19 por ciento mientras que el suelo arcilloso, de la Facultad de Ciencias

Agropecuarias obtuvo una diferencia porcentual de 4 por ciento menos de materia seca. No obstante, el frijol *Vigna unguiculata* según, Elowad y Hall (1987), tiene facilidad de adaptarse a una amplia gama de suelos, el suelo arenoso de Alanje a pesar de poseer una textura que no le favorece en la capacidad de retener agua, pero si un buen drenaje con la aplicación de hidrogeles permitió mayor absorción de agua, dando como resultado mejor volumen de humedecimiento, por lo que incrementó la retención del agua originando mejor porcentaje de materia seca.

Esta entrega de agua al parecer tiene relación directa con el tipo de suelo o sustrato, puesto que no sería lo mismo proveer de agua en un suelo arenoso que un suelo arcilloso y con cualquier otro tipo de suelo, debido a las diferencias de las propiedades físicas. En este sentido Martyn y Szot (2001), presentan valores diferentes al aplicar hidrogel en diferentes sustratos, muestran que con turba la retención de agua es superior que, al ser aplicada en sustrato de mezcla de turba, con corteza de árboles o perlita.

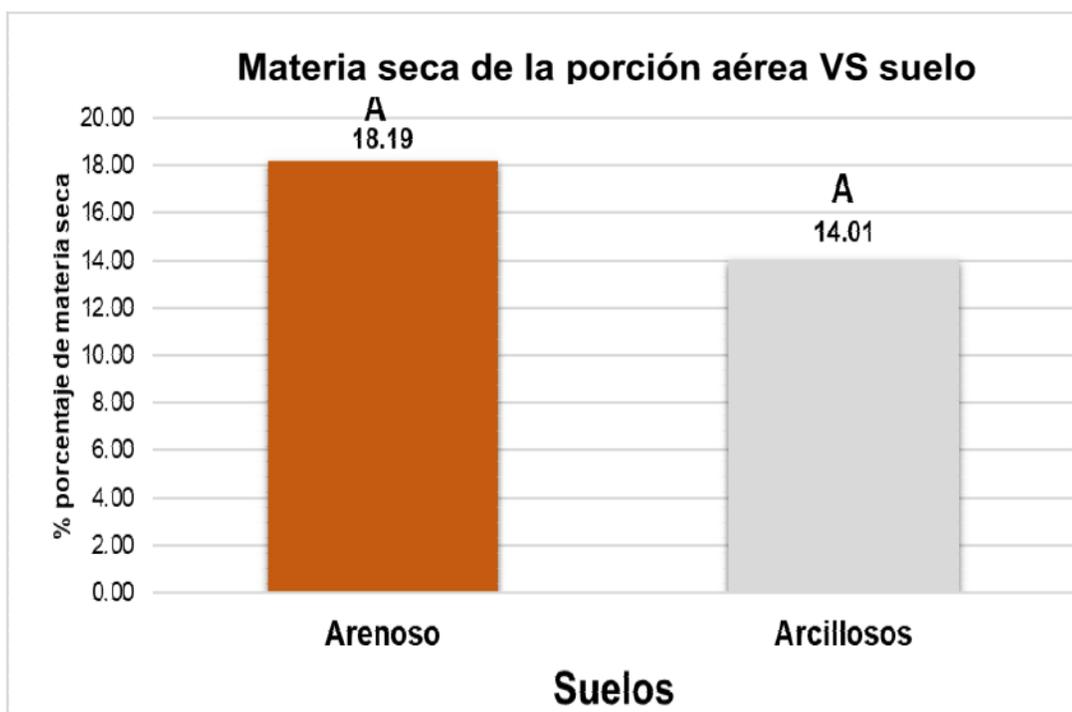


Figura 8. El suelo de Alanje mejor porcentaje de materia seca con relación al suelo de Facultad de Ciencias Agropecuarias.

#### 4.3.5. Prueba de comparación con el rango múltiple de Duncan Sistema radicular vs suelo.

En la comparación con el rango múltiple de Duncan, obtuvo los promedios poblacionales de tratamientos dentro de los grupos entre ellos no son diferentes ( $P > .05$ ). Se aprecia que no se presentó diferencia estadística significativa, sin embargo, el suelo arenoso de Alanje presentó un mejor desarrollo del sistema radicular con relación al suelo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en Chiriquí. Se observa en la figura 9, el suelo ligero permitió el desarrollo las plantas con el tratamiento polímero hidrogel de 1.7 mm lograron un mejor porcentaje de raíces desarrolladas en comparación a las plantas de los demás

tratamientos. Zapeta (2012), describe a estos suelos toscos (arena y grava) permiten mayor infiltración de raíces, sin embargo, este tipo de suelo tiene muy poca capacidad de retención de agua, lo que concuerda con Zúñiga (2007), que describe que el uso de hidro-retenedor ayuda en la capacidad de retención de humedad de este tipo de suelos.

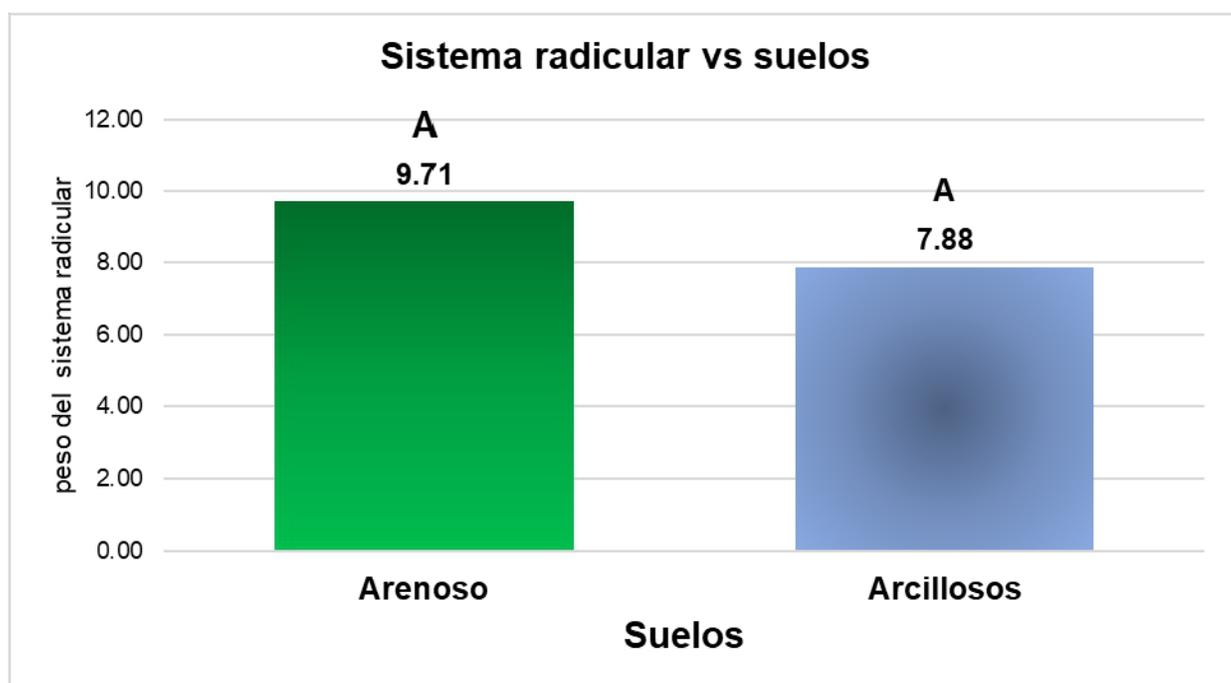


Figura 9. El suelo de Alanje mejor desarrollo del sistema radicular con relación al suelo de Facultad de Ciencias Agropecuarias.

#### 4.3.6. Comparación el rango múltiple de Duncan Materia Seca vs Tratamiento

En el Método de Duncan (figura 10) se forma un grupo de tratamientos. Los promedios poblacionales de tratamientos dentro de los grupos entre ellos no son diferentes, no se presentó diferencia estadística significativa, sin embargo, en el

tratamiento (T) cuatro que contenía 3 gramos de poliacrilato obtuvo una media de 19.84 por ciento siendo el mejor porcentaje de Materia Seca, en relación con los tratamientos que le siguieron testigo, dos gramos poliacrilato y un gramo poliacrilato. Lo que indica, una menor pérdida de humedad y señalando que la mayor cantidad de gramos hidrogel de 1.7 mm con una partícula pequeña en mm es favorable porque incrementa la eficiencia en la retención de la humedad de un suelo arenoso. Monet (2002) indica que los beneficios para el suelo con la incorporación de un polímero retenedor de humedad, entre otros, mejora su estructura y capacidad de retención de humedad, lo cual reduce la lixiviación y mejora la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas.

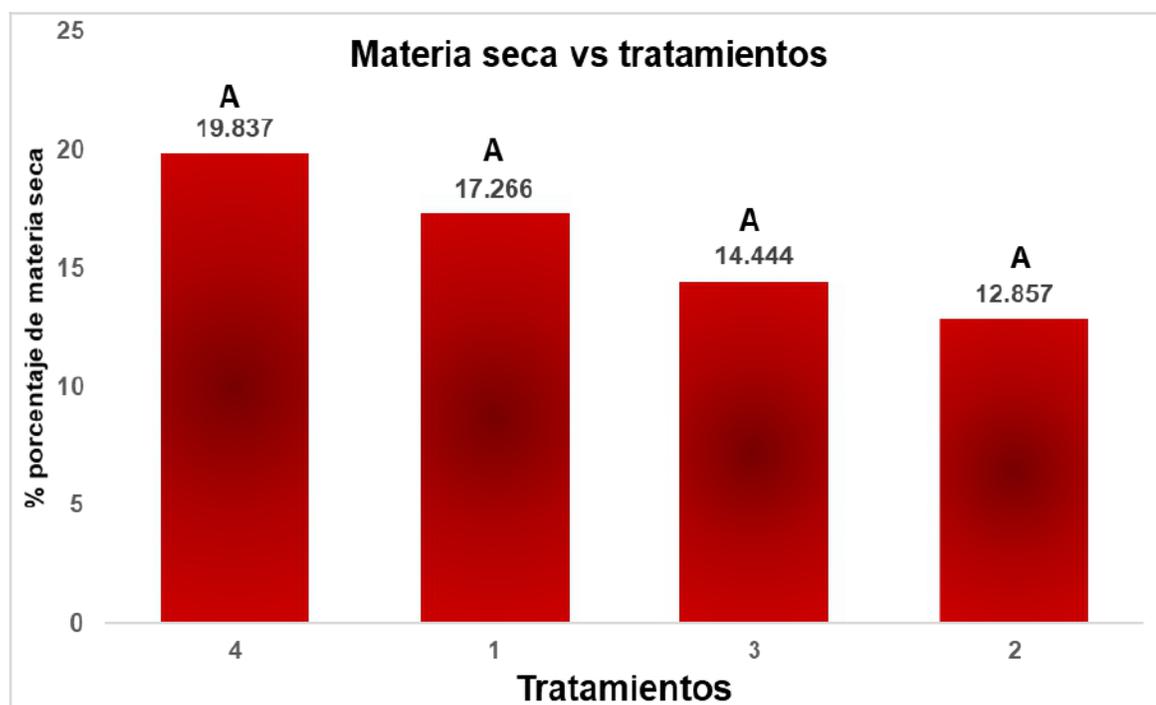


Figura 10. Prueba de Duncan Materia seca vs tratamientos.

#### **4.3.7. Prueba del rango múltiple de Duncan para Sistema radicular vs tratamientos para cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*).**

En la figura 11. Se aprecia que, si se presentó diferencia significativa, pero la media más alta es el tratamiento (T) cuatro con una media de 12.23 por ciento indica que la dosis de tratamiento tres gramos de poliacrilato de potasio obtuvieron un porcentaje mejor en el Sistema radicular con relación a los otros tratamientos, Según Peter (1999) dice que este polímero está diseñado para ayudar al manejo del recurso hídrico, mejorando las propiedades retentivas de todos los tipos de medios de cultivo.

El suelo arenoso posee textura ligera (Zapeta, 2012), cuando se le aplicó hidrogel de 1.7 mm resulto beneficioso obtuvo mejor porcentaje de agua del suelo, mejor humedad lo que permitió un mejor desarrollo sistema radicular. Según Martínez *et al.*, (1997), algunas propiedades del hidrogel son relacionadas con la capacidad de retención del agua, que si lo comparamos con los promedios presentados en la figura 14. Que con la aplicación de polímeros se logra un mayor crecimiento del sistema radicular

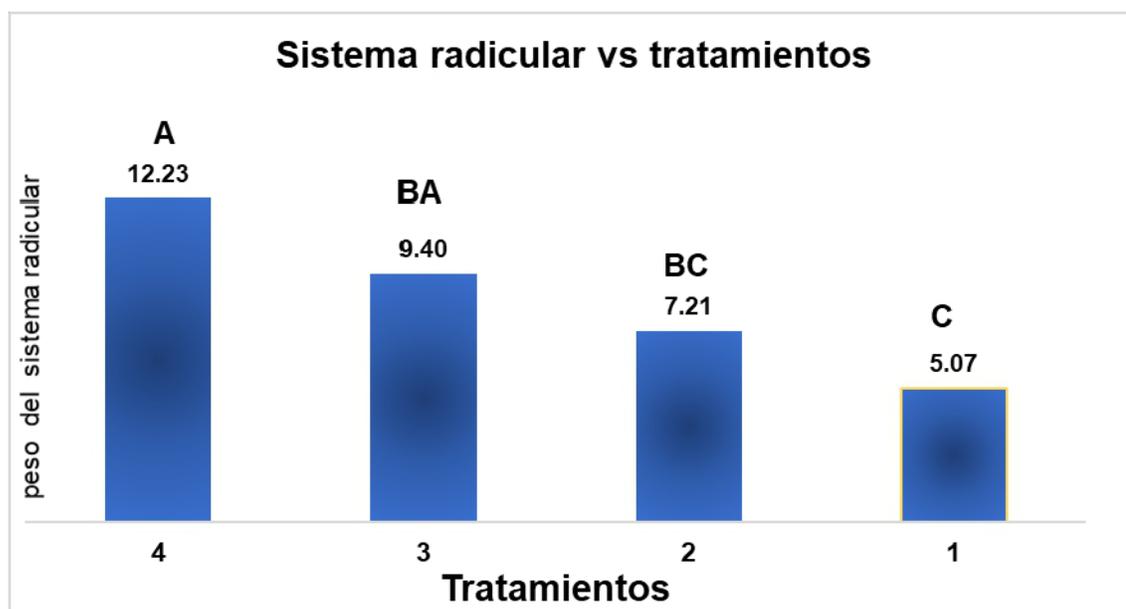


Figura 11. Prueba de Duncan sistema radicular vs tratamiento.

## 5. CONCLUSIONES

Se pudo demostrar que hubo mayor capacidad de retención de humedad en los dos tipos de suelos con la aplicación de polímeros. El suelo arenoso a diferencia del suelo arcilloso por su textura absorbió el hidrogel con granulometría de 1.7 más rápido lo que permitió mayor almacenamiento de agua a medida que la cantidad de hidrogel incrementó, la eficiencia en la retención del agua se mantuvo por más tiempo.

En el ensayo se pudo demostrar que el porcentaje de tasa de sobrevivencia que tuvieron las plantas de *Vigna unguiculata*, en ambos suelos fue del 100%. Lo que indica que el empleo de hidrogel permitió un mejor aprovechamiento de las plantas para la captación de los nutrimentos disponibles en el suelo, donde el aporte de la materia seca y el sistema radicular fue significativo.

Se obtuvo un aumento en el porcentaje de agua disponible al 15 por ciento para el suelo arcilloso que varió según semana y desarrollo de las plantas, esta agua se fue liberando paulatinamente a las raíces a medida que la humedad fue disminuyendo también ayudó a mejorar las características de aireación y descompactación del suelo. De esta forma, para el suelo arenoso, el polímero no sólo contribuyó a mejorar la retención de agua, mayor porcentaje de humedad, y reduce la frecuencia de riego.



## 6. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio más concreto en campo, en donde se pueda validar el producto y determinar las dosis acordes a las características de los suelos, y sobre todos los suelos arenoso por su textura ligera y fácil drenaje necesita mejor análisis.

Utilizar el polímero como una alternativa para área que presenta dificultades de agua y para cultivos que realmente requiere la utilización de este producto.

Que se brinde información del producto para realizar estudios en áreas que el suelo requiere una gran cantidad de agua para los cultivos.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agrogel Chile 2009. Agrogel agrícola y su aplicación (En línea). Consultado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <http://agrogel.blogspot.com/>

Agronomía para todos, (2012). Los sistemas de riego de la agricultura orgánica (En línea). Consultado el 2 de marzo de 2019. Disponible en: <http://agricultura101.com/sistemas-de-riego/>

ANAM 2011. Atlas Ambiental de la República de Panamá (en línea). Panamá. Consultado: 21 de marzo de 2019. Disponible en: <http://goo.gl/bprfSj>

Arias Restrepo, J. F., Rengifo Martínez, T., Jaramillo Carmona, M., & de Seguridad, G. D. A. C. G. (2007). Buenas prácticas agrícolas en la producción de frijol voluble (En línea). Consultado el 22 de marzo de 2019. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016026011>

Aspromor, 2012 Cadena productiva de frijol caupi (En línea). Consultado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <http://roa.ult.edu.cu/bitstream/123456789/2286/1/Capacitacion%20manejo%20agronomico%20frijol.pdf>

Barón et al. (2007) Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales (En línea) Consultado el 28 de febrero de 2019. Disponible en:

<https://www.researchgate.net/publication/237038364> Evaluacion de hidrogeles para aplicaciones agroforestales

Besoain, E. 1985. Mineralogía de Arcillas de Suelos. (En línea). Consultado el 21 de marzo de 2019. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9804E/A9804E.PDF>

Beyra, Á. & Reyes Artilles, G. (2004). Revisión taxonómica de los géneros Phaseolus y Vigna (Leguminosae-Papilionoideae) en Cuba. (En línea) Consultado el 21 de marzo de 2019: Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/26523576> Revision taxonomica de los generos Phaseolus y Vigna Leguminosae-Papilionoideae en Cuba

Caahmro, 2015. BOLSA STOCKOSORB® 660 XL (En línea). Consultado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <https://translate.google.com/translate?hl=es&sl=fr&u=https://www.caahmro.fr/article/stockosorb-660-xl-sac-de-20-kg.html&prev=search>

Carvalho, M., Sgarbieri, V. (1998). Relative importance of phytohemagglutinin (lectin) and trypsin-chymotrypsin inhibitor on bean (*Vigna unguiculata*) protein absorption and utilization by the rat. J. Nutr. Sci. Vitaminol. 44(5): 685-696. Consultado el 21 de marzo de 2019: Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/9601/1/Montenegro%20Sánchez%20Yissela%20Yomaira.pdf>

Cerdeira S. Ceretti., H. y Reciuilshi., E 2000. Polímeros II\_ hidrogeles. (En línea).

Consultado el 19 de marzo de 2019. Disponible en:  
<https://es.scribd.com/document/56580471/Polimeros-II-hidrogeles>

Díaz, C. A. & López, S. (1997). El Cultivo de Frijol *Vigna Unguiculata* en el Bajo

Cauca. (En línea). Consultado el 21 de marzo de 2019. Disponible en:  
[http://agris.fao.org/agrissearch/search.do;jsessionid=9890DF3511EE5E2DF6BB695405C0DA0D?request\\_locale=es&recordID=CO2001000173&sourceQuery=&query=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=&centerString=&enableField=](http://agris.fao.org/agrissearch/search.do;jsessionid=9890DF3511EE5E2DF6BB695405C0DA0D?request_locale=es&recordID=CO2001000173&sourceQuery=&query=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=&centerString=&enableField=)

Elowad & Hall, 1987 Influencias de la fertilización temprana y tardía con nitrógeno

en el rendimiento y la fijación de nitrógeno de *Vigna Unguiculata* en condiciones de campo bien regado y seco. (En línea). Consultado el 21 de marzo de 2019. Disponible en  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378429087900128>

Evonik Industries AG, 2008. Su clave para el manejo eficiente del agua y el suelo.

(En línea) Consultado el 26 de febrero de 2019. Disponible en:  
[http://www.peatmoss.es/catalogos/stockosorb/Folleto\\_GENERAL\\_STOCKOSORB.pdf](http://www.peatmoss.es/catalogos/stockosorb/Folleto_GENERAL_STOCKOSORB.pdf)

Estrada, R. 2010. Hidrogeles biopoliméricos potencialmente aplicables en agricultura (En línea) Consultado el 27 de febrero de 2019. Disponible en <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/MAR11/estrada.pdf>

Estrada, 2012. Hidrogeles biopoliméricos aplicados en agricultura (En línea) Consultado el 19 de marzo de 2019. Disponible en : <https://www.slideshare.net/IberoPosgrados/hidrogeles-biopolimricos-aplicados-en-agricultura>

Flor de planta 2014, Hidrogeles: El Uso De Retentores De Agua Para Mejorar La Calidad Del Suelo (En línea). Consultado el 19 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.flordeplanta.com.ar/mantenimiento-jardin/hidrogeles-el-uso-de-retentores-de-agua-para-mejorar-la-calidad-del-suelo/>

Global wáter partnership 2013. Tecnologías para el uso sostenible del agua (en línea). Consultado él 26 de febrero de 2019. Disponible en: [http://www.gwp.org/Global/GWPCAm\\_Files/Tecnologias%20para%20el%20uso%20sostenible%20del%20agua.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWPCAm_Files/Tecnologias%20para%20el%20uso%20sostenible%20del%20agua.pdf)

González, 2011. Hidroponía Uso del hidrogel y sus ventajas generales en las plantas (En línea). Consultado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <http://hidroponiamex.blogspot.com/2011/07/hidrogel.html>

Idrobo, H. J., Rodríguez, A. M. & Díaz Ortiz, J. E. (2010). Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos (En línea). Consultado el 27 de febrero de 2019.

Disponible en: Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente,  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434004>.

Katime I., A. Katime., O Katime D. 2004. Materiales Inteligentes: Hidrogeles Macromoleculares. Algunas Aplicaciones Biomédicas. (En Línea). Consultado el 19 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/28204926> Materiales inteligentes Hidrogeles macromoleculares Algunas aplicaciones biomedicas

Loría, LI. 2010. Evaluación Estructural de un Bosque Secundario en la Finca Experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, Sede Chiriquí. Tesis Ing. Manejo de Cuencas y Ambiente. Chiriquí, Panamá, UP. 64 p.

Martínez de la Cerda, J. 2015. Aspectos del suelo para la producción de hortalizas. (En línea). Consultado el 21 de marzo de 2019. Disponible en: <http://www.agronuevoleon.gob.mx/oeidrus/hortalizas/3suelo.pdf>

Martyn, W.; Szot, P. 2001. Influence of super absorbents on the physical properties of horticultural substrates. Int. Agrophysics. 15: 87-94. Consultado el 20 de septiembre de 2019. Disponible en: [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/11587/cp-02-rivera-absorcin.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/11587/cp-02-rivera-absorcin.pdf)

Monet. R. (2002). Aplicación de poliacrilamida (pam) sobre un suelo con riego suplementario. Consultado el 20 de septiembre de 2019. Disponible en: [http://www.inta.gov.ar/suelos/info/documentos/informes/aplicacion\\_PAM.htm](http://www.inta.gov.ar/suelos/info/documentos/informes/aplicacion_PAM.htm)

Moreno, 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. (En línea) Consultado el 26 de febrero de 2019. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/img/revistas/agc/v27n2/v27n2a06.pdf>

Ortiz L E. Cruz R., A. Cruz G., J. Mendoza A., M. Martínez. Beatriz M., C.2006 Síntesis y caracterización de hidrogeles obtenidos a partir de acrilamida y metilcelulosa (En línea) Consultado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/DIC06/ortiz.pdf>

Peter. H. (1999) Estudio comparativo de dosis de un polímero retenedor de humedad y frecuencia de riego, en almácigos de hule (*hevea brasiliensis*), Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla, Universidad Rafael Landivar. Tesis Ing. Agr. 46 p.

PRESA, S.A (Proyectos, Estudios y Asesorías S.A. P.A). 1980. Estudios agrologicos: Tierras patrimoniales de la Facultad de Agronomía en la Provincia de Chiriquí. Panamá. 150 p.

Projar, 2016. Hidrogel retenedor de agua Stockosorb (En línea). Consultado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.projar.es/productos/productos-hortofruticultura-jardineria/fertilizantes/retenedor-agua/hidrogel-retenedor-de-agua-stockosorb/>

Ramos G, R. Velázquez, M.K. De la Rosa L., Segura C., E. P. 2009. Atrapamiento de sustancias húmicas en hidrogeles de gelatina con aplicación en agricultura. (En línea). Consultado el 19 de marzo de 2019. Disponible en: <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/CienciaCierta/CC20/CC20hidrogeles.html>

SACSA, 2015 Características del suelo arcilloso (En línea). Consultado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <http://www.gruposacsa.com.mx/caracteristicas-del-suelo-arcilloso/>

Semillas de agua, (2013) Polímeros Hidro absorbentes (En línea) Consultado el 26 de febrero de 2019. Disponible en <http://semillasdeagua.com/antecedentes.html>

Sánchez Santana, Nora 2001. El Cultivo de Frijol Caupí: Producción Almacenamiento y Utilización. (En línea) Consultado el 21 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/Paginas/inicio.aspx>

Serrud 2019. Análisis Preliminar de La Comercialización Del Frijol "Chiricano"(En línea). Consultado del 20 de marzo de 2019. Disponible en: <http://baisa.com/html/index.php?id=82>

Soler y Rodríguez (2010) Metodología para caracterizar membranas de hidrogel (En línea). Consultado el 18 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/metodologia-caracterizar-membranas-hidrogel/metodologia-caracterizar-membranas-hidrogel.pdf>

Tornado Distribuidora comercializadora, 2012. Usos del hidrogel (En línea) Consultado el 19 de marzo de 2019. Disponible en: [http://hidrogelmex.com/usos de hidrogel.html](http://hidrogelmex.com/usos_de_hidrogel.html)

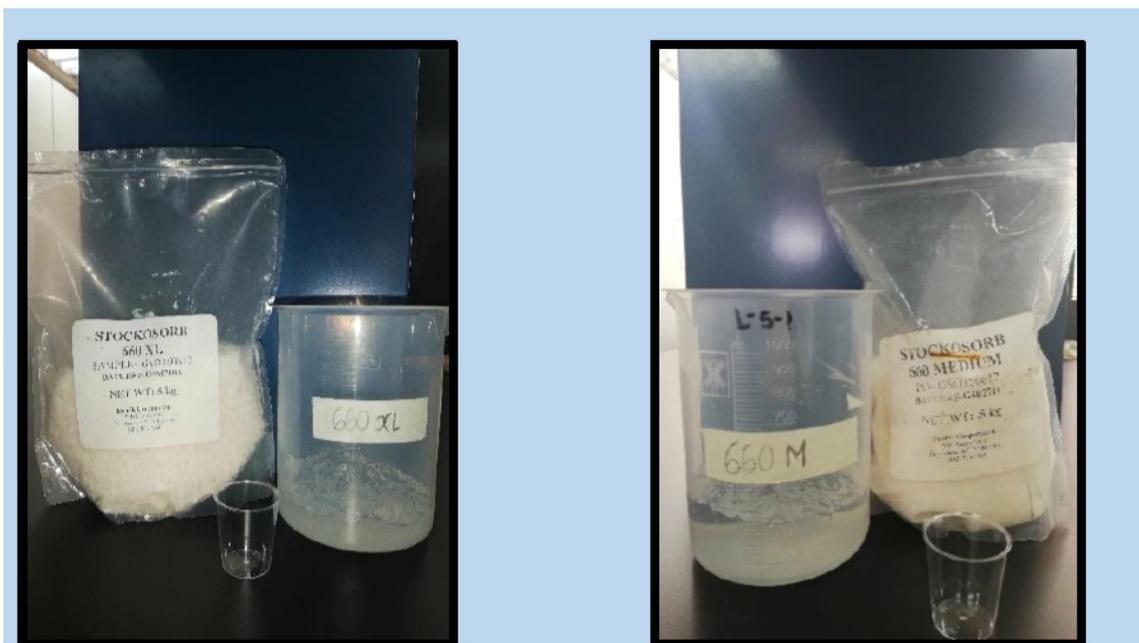
Tropical Forages 2008. Vigna Unguiculata. (En línea) Consultado el 21 de marzo de 2019. Disponible en: [http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Vigna\\_unguiculata.htm](http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Vigna_unguiculata.htm)

Zuñiga, F. 2007 Hidrorretenedores solución alternativa a problemas de escasez de agua en cultivos frutales, agrícolas y forestales, Bogotá (Colombia).50 p.

Zapeta, C. 2012. Efecto de cinco dosis de un polímero retenedor de humedad y cuatro frecuencias de riego en almacigo de Rambután (*Nephelium lappaceum* L, Sapindaceae) en Coatepeque, Quetzaltenango, Tesis (en línea), consultado el: 28 de octubre 2019. Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2012/06/17/Zapeta-Carlos.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO 1. FASE DE LABORATORIO, ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA.





## ANEXO 2. PRUEBAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD Y VOLUMEN DE LA MEZCLA EN LABORATORIO.



### ANEXO 3. GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS Y TRANSPLANTE DE PLANTONES.



#### ANEXO 4. ESTABLECIMIENTO DEL ENSAYO EN INVERNADERO

