

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

**COMPORTAMIENTO DE POLÍMEROS HIDROABSORBENTES (Poliacrilato de Potasio y Poliacrilato de Sodio) EN SUELOS ARCILLOSOS DE ORDEN ULTISOL Y VERTISOL EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DEL CULTIVO DE FRIJOL (*Vigna unguiculata*) EN INVERNADERO.**

**Anelis Y. Medina P.**

**4 – 770 – 0213**

**DAVID, CHIRIQUÍ  
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2020**

**COMPORTAMIENTO DE POLÍMEROS HIDROABSORBENTES (Poliacrilato de Potasio y Poliacrilato de Sodio) EN SUELOS ARCILLOSOS DE ORDEN ULTISOL Y VERTISOL EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DEL CULTIVO DE FRIJOL (*Vigna unguiculata*) EN INVERNADERO.**

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

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

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

**APROBADO:**

**Prof. Alexis Samudio. MSc.**

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

**Prof.** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**COMITÉ**

**Prof.** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**COMITÉ**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

Gracias a mis padres Anel Medina y Kelsy Prado por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar en mí, sin ustedes este sueño no sería posible.

A mi querida hija Lía Norato por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más, el mayor regalo que me ha dado la Dios es poder ser tu mamá.

A mi esposo José Norato por ser el apoyo incondicional en mi vida, que, con su amor y respaldo, me ayuda alcanzar mis objetivos.

A mis hermanos Anel Jr. y Kelsy Anelis les agradezco no solo por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida, sino por los grandes momentos de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado.

Agradezco a mi director el profesor Alexis Samudio, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis, gracias por compartir sus conocimientos conmigo.

## DEDICATORIA

Este trabajo de tesis de grado está dedicado con mucho cariño a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias papá y mamá, por creer en mí, por todos los sacrificios que hicieron a lo largo de mi carrera y la de mis hermanos, sé que fueron momentos difíciles pero gracias a sus deseos de heredarnos una buena educación salimos adelante. Gracias por toda su comprensión y paciencia y por brindarme todo su amor de manera incondicional, por todo esto les agradezco de todo corazón.

A José Norato, por ese inmenso amor incondicional que me brindas cada momento, por ser tan paciente y bondadoso conmigo, por ser mi esposo, amigo y confidente; eres mi fuente de inspiración y fortaleza, mi refugio en los momentos difíciles de mi vida y, sobre todo, gracias por alentarme a terminar mi carrera.

A mi hija Lía, por ser la razón de mi existencia y el motivo para salir adelante, gracias por todo ese amor que me das y por cada uno de los momentos de felicidad que me has regalado desde el día que naciste.

A tres maravillosas personas que partieron a un mejor lugar a mi abuela Zoila Cerrud quien en vida fue un pilar importante para mi; Enseñándome el amor de Dios, a ser fuerte ante las adversidades y a ser feliz en medio de las tormentas. A mi abuelo José Prado y mi tío Modesto Hernández gracias por el legado de amor que nos dejaron, por sus sabios consejos y por alentarme día a día a dar lo mejor de mí.

## **COMPORTAMIENTO DE POLÍMEROS HIDROABSORBENTES (Poliacrilato de Potasio y Poliacrilato de Sodio) EN SUELOS ARCILLOSOS DE ORDEN ULTISOL Y VERTISOL EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DEL CULTIVO DE FRIJOL (*Vigna unguiculata*) EN INVERNADERO.**

### **RESUMEN**

El poliacrilato de potasio es un polímero hidroabsorbente, utilizado comúnmente en la agricultura, ya que favorece la retención de agua en el suelo; Sin embargo, el poliacrilato de sodio, contenido en los pañales desechables, podría realizar esta misma función y a su vez, sería una alternativa para darle mejor uso a los pañales desechables, los cuales al ser acumulados perjudican al medio ambiente. El objetivo de esta investigación fue conocer el rendimiento en materia seca del cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*) en invernadero, al evaluar el comportamiento de ambos polímeros suministrados al sustrato (suelo), en diferentes dosis en dos tipos de suelos arcillosos. El suelo ultisol se recolectó en la provincia de Chiriquí mientras que el vertisol en la provincia de Los Santos, República de Panamá. Este estudio se realizó en un invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, ubicado en Chiriquí a 82 msnm, temperatura promedio de 27.1° C y humedad relativa de 75.7%. Se utilizaron dos kilogramos de suelo por cada maceta, 32 macetas para cada suelo; Las semillas de frijol fueron pregerminadas en una bandeja con sustrato que contenía turba, siete días después fueron transplantadas a las macetas; los riegos fueron semanales de acuerdo con la dosis de hidrogel utilizada, la fertilización se realizó cada 15 días hasta el corte de la plántula en la maceta a los 60 días. Se empleó un diseño bifactorial en bloques completamente al azar. Los parámetros objeto de análisis fueron: un factor A, dos poliacrilatos, un factor B con 4 niveles de dosificaciones y un factor C de dos tipos de suelos, con 4 repeticiones, el factor A1 corresponde al poliacrilato de potasio (hidrogel comercial) y el factor A2 al poliacrilato de sodio (pañales desechables), el factor B hace énfasis a las dosis que se utilizaran las cuales son: 0 (testigo), 1 gramo, 2 gramos y 3 gramos para el caso del poliacrilato de potasio y 0 (testigo), 0.5 pañal, 1.0 pañal y 1.5 pañal para el poliacrilato de sodio; haciendo un total de 16 tratamientos y 4 repeticiones obteniendo un total de 64 unidades experimentales, el factor C son ambos suelos arcillosos vertisol y ultisol. Se obtuvo, el mayor rendimiento de materia seca (29%) en la dosificación de 3 gramos de poliacrilato de potasio a diferencia del que contenía 1.5 pañal desechable (24%), no obstante, al comparar los dos tipos de suelos, obtuvimos mayor rendimiento del promedio de materia seca en el suelo ultisol (21.6%) en comparación al vertisol (18.9%), sin embargo, al comparar los dos polímeros hidroabsorbentes, obtuvimos mayor producción de materia seca en el poliacrilato de potasio (23.0%) en comparación a los pañales desechables (17.6%), podemos decir que hubo mejor respuesta en la producción de materia seca al utilizar hidrogel comercial ya que al incrementar la dosis, también incrementa el desarrollo foliar y radicular de la planta, no obstante, el pañal desechable obtuvo resultados inferiores pero no deja de ser una alternativa económica y no tóxica para la planta, además de que al reutilizarlos, contribuimos con el medio ambiente.

**Palabras clave:** Poliacrilato, Ultisol, Vertisol, Materia Seca, Polímeros.

## **BEHAVIOR OF HYDROABSORBENT POLYMERS (Potassium Polyacrylate and Sodium Polyacrylate) IN CLAY SOILS OF ULTISOL AND VERTISOL ORDER IN THE PRODUCTION OF DRY MATERIAL FROM BEAN CROPS (*Vigna unguiculata*) IN GREENHOUSE.**

### **ABSTRACT**

Potassium polyacrylate is a hydro-absorbent polymer, commonly used in agriculture since it favors water retention in the soil; however, sodium polyacrylate, contained in disposable diapers, could perform this same function and at the same time, would be an alternative to give better use to disposable diapers, which when accumulated, harm the environment. The objective of this research was to know the performance in dry matter of the bean (*Vigna unguiculata*) cultivation in greenhouses, by evaluating the behavior of both polymers supplied to the substrate (soil), in different doses in two types of clay soils. The ultisol soil was collected in the province of Chiriqui while the vertisol was collected in the province of Los Santos, Republic of Panama. This study was carried out in a greenhouse of the Facultad de Ciencias Agropecuarias, located in Chiriqui at 82 meters above sea level, the temperature of 27.1° C and relative humidity of 75.7%. Two kilograms of soil were used for each pot, 32 pots for each soil; the bean seeds were pre-germinated in a tray with the substrate that contained peat, seven days later they were transplanted to the pots; the irrigations were weekly according to the dose of hydrogel used, the fertilization was done every 15 days until the cutting of the seedling in the pot at 60 days. A bifactorial design in blocks was used completely at random. The parameters under analysis were: a factor A, two polyacrylates, a factor B with 4 dosage levels and a factor C from two types of soils, with 4 repetitions, the factor A1 corresponds to potassium polyacrylate (commercial hydrogel) and the factor A2 to sodium polyacrylate (disposable diapers), the factor B emphasizes the doses that were used which are: 0 (control), 1 gram, 2 grams and 3 grams for the case of potassium polyacrylate and 0 (control), 0.5 diapers, 1.0 diapers and 1.5 diapers for sodium polyacrylate; making a total of 16 treatments and 4 repetitions obtaining a total of 64 experimental units, factor C is both vertisol and ultisol clay soils. It was obtained, the highest dry matter yield (29%) in the dosage of 3 grams of potassium polyacrylate as opposed to the one containing 1.5 disposable diapers (24%), however, when comparing the two types of soils, we obtained a higher average dry matter yield in the soil ultisol (21.6%) compared to vertisol (18.9%), when comparing the two hydro absorbent polymers, we obtained higher dry matter production in the potassium polyacrylate (23.0%) in comparison to disposable diapers (17.6%), we can say that there was a better response in the production of dry matter when using commercial hydrogel since by increasing the dose, it also increases the foliar and root development of the plant. Nevertheless, the disposable diaper obtained lower results, but it is still an economic and non-toxic alternative for the plant, besides that by reusing them, we contribute to the environment.

**Keywords:** Polyacrylate, Ultisol, Vertisol, Dry Matter, Polymers

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>RESUMEN</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	xiii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 Planteamiento del problema:</b> .....	2
<b>1.2 Antecedentes:</b> .....	5
<b>1.3 Justificación:</b> .....	8
<b>1.4 OBJETIVOS:</b> .....	9
<b>1.4.1. General:</b> .....	9
<b>1.4.2. Específicos:</b> .....	9
<b>1.5. Hipótesis de la investigación:</b> .....	10
<b>1.6 Alcances y limitaciones</b> .....	10
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	12
<b>2.1 Estimación de las demandas del consumo de agua</b> .....	12
<b>2.2 Cultivo de frijol (<i>Vigna unguiculata</i>)</b> .....	13
<b>2.2.1 Clasificación taxonómica del frijol (<i>Vigna unguiculata</i>)</b> .....	13
<b>2.2.2 Condiciones climáticas óptimas para la producción de granos básicos</b> .....	14
<b>2.2.3 Impactos y efectos del cambio climático sobre la producción del frijol</b> .....	14
<b>2.2.4 Ecología de la planta del frijol en Panamá</b> .....	15
<b>2.3 Factores que regulan la distribución de materia seca</b> .....	16
<b>2.3.1 Estado de desarrollo de la planta:</b> .....	16
<b>2.3.2 Reglas para la distribución de materia seca</b> .....	18
<b>2.4 Polímeros hidroabsorbentes</b> .....	18
<b>2.4.1 Tipos de Polímeros</b> .....	19

2.4.2 Usos de los polímeros .....	21
2.4.3 Polímeros utilizados en la agricultura .....	21
2.4.4 Poliacrilato de sodio (Na) .....	22
2.4.5 Poliacrilato de potasio (K) .....	23
2.4.6 Mejoramiento del suelo y humedad con el uso de hidrogel .....	24
2.4.7 Ventajas del hidrogel .....	24
2.4.8 Compatibilidad de hidrogel con fertilizantes .....	25
2.5 Pañales desechables e impacto ambiental .....	25
2.5.1 Capacidad de absorción de pañales desechables .....	27
2.6 Retención de humedad en el suelo según la textura .....	28
2.6.1 Características de los órdenes de los suelos ultisol y vertisol. ....	30
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	32
3.1 Características del área de estudio .....	32
3.1.1 Zonas de vida de Holdridge y precipitación. ....	33
3.2 Recolección de información en laboratorio de suelos .....	34
3.2.1 Recolección de datos en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias .....	34
4. RESULTADOS .....	37
4.1 Análisis granulométrico. ....	37
4.2 Germinación .....	38
4.3 Fertilización .....	38
4.4 Corte de plántulas .....	39
4.5 Medición de la producción de materia seca .....	39
4.6 Peso radicular de la planta .....	40
4.7 Determinación de la medición de la humedad a capacidad de campo. .....	40
4.8 Materia Seca .....	44
4.9 Sistema radicular .....	46
4.10 Resultados de los análisis de la media para el porcentaje de materia seca y sistema radicular. ....	47
4.11 Resultados de la prueba de rangos múltiples de Duncan, análisis de las variables medidas .....	48
4.11.1 Prueba del rango múltiple de Duncan para Materia seca vs Suelo de la FCA, Chiriquí y suelo del Bongo, La Villa de Los Santos. ....	49

4.11.2 Prueba del rango múltiple de Duncan para Sistema radicular vs suelo de la FCA, Chiriquí y suelo del Bongo, La Villa de Los Santos....	50
4.11.3 Prueba del rango múltiple de Duncan para Materia seca vs tratamientos.....	51
4.11.4 Prueba del rango múltiple de Duncan para Sistema radicular vs tratamientos.....	52
4.11.5 Prueba del rango múltiple de Duncan para Materia seca vs poliacrilatos para cultivo de frijol ( <i>Vigna unguiculata</i> ).....	53
4.11.6 Prueba del rango múltiple de Duncan para Sistema radicular vs poliacrilatos para cultivo de frijol ( <i>Vigna unguiculata</i> ).....	54
5. CONCLUSIONES .....	55
6. RECOMENDACIONES.....	56
7. BIBILOGRAFÍA .....	57
8. ANEXOS .....	68

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO I. ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DEL SUELO ARCILLOSO ULTISOL DE LA PROVINCIA DE CHIRIQUÍ Y DEL SUELO VERTISOL , LA VILLA DE LOS SANTOS. 2019.....	37
CUADRO II. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA MATERIA SECA (%) EN EL CULTIVO DE FRIJOL <i>VIGNA UNGUICULATA</i> , CHIRIQUÍ. 2019. ....	47
CUADRO III. ANÁLISIS DE VARIANZA DE EL PESO DEL SISTEMA RADICULAR EN EL CULTIVO DE FRIJOL <i>VIGNA UNGUICULATA</i> , CHIRIQUÍ. 2019. .....	48
CUADRO IV. MEDIA DEL PORCENTAJE DE MATERIA SECA Y SISTEMA RADICULAR.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio. Fuente: Google Earth Pro, 2018.....	33
Figura 2. Fertilizante Nutrex, utilizado como fuente de fertilización para el cultivo de frijol <i>Vigna unguiculata</i> .....	40
Figura 3. Corte de raíz y tallo de frijol <i>Vigna unguiculata</i> .....	41
Figura 4. Estimación de peso verde y peso seco del cultivo <i>Vigna unguiculata</i> .....	42
Figura 5. <i>Comparación de los</i> porcentajes de humedad a capacidad de campo durante la primera y segunda semana en suelo arcilloso no expandible y expandible.....	42
Figura 6. <i>Comparación de los</i> porcentajes de humedad a capacidad de campo durante la tercera y cuarta semana en suelo arcilloso no expandible y expandible.....	43
Figura 7. Comparación Medias de suelo arcilloso no expandible vs media de suelo arcilloso expandible con Prueba Duncan para % de Materia Seca.....	51
Figura 8. Medias de suelo arcilloso no expandible vs media de suelo arcilloso expandible con Prueba Duncan para crecimiento de Sistema radicular.....	52

Figura 9. Media de los tratamientos (dosis) con Prueba Duncan para % de materia seca.....	53
Figura 10. Media de los tratamientos (dosis) con Prueba Duncan para % de sistema radicular.....	54
Figura 11. Medias de los poliacrilatos (potasio y sodio) con Prueba Duncan para porcentaje de materia seca.....	53
Figura 12. Medias de los poliacrilatos (potasio y sodio) con Prueba Duncan para crecimiento del sistema radicular.....	54

## ÍNDICE DE ANEXOS

1. Pruebas en laboratorio.....	68
2. Establecimiento de ensayos en invernadero.....	69
3. Programación de riegos y fertilización.....	69
4. Fertilización.....	70
5. Determinación de humedad a capacidad de campo.....	71
6. Toma de datos de variables de investigación.....	72
7. Desarrollo fenológico del cultivo de frijol <i>Vigna unguiculata</i> .....	72

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural esencial para la vida humana; ya que, es utilizada en diversas actividades mayormente en la producción agrícola; sin embargo, durante los últimos 40 años la sequía ha degradado el recurso agua trayendo consigo fuertes pérdidas en el sector agropecuario y el deterioro del modo de vida de los pobladores en comunidades rurales.

Muchas naciones han experimentado una angustia considerable como resultado de las sequías: mayor inanición (extrema debilidad y desnutrición), el cese de la actividad económica, especialmente en áreas en donde el desarrollo esta intrínsecamente ligado a la agricultura.

Es por ello que mediante la aplicación de polímeros absorbentes o hidrogeles como son los reticulados de poliacrilamida (poliacrilato de potasio y poliacrilato de sodio) se pueden aminorar las consecuencias que provocan la sequía. Con el uso de estos productos se logra un uso más eficiente del agua para el riego y por lo tanto ahorro de agua y de costos; ya que, se evita evaporación del agua al ambiente o su filtración a través del suelo (García, 2013).

Los hidroreguladores al disminuir la evaporación y reducir las pérdidas de agua por filtración, mejoran la actividad biológica y aumentan la producción agrícola, es por esto que el uso de este tipo de polímeros permite la recuperación de zonas

semiáridas o terrenos de cultivos abandonados y poco fértiles (Estrada *et. al*, 2010).

En este caso como práctica agrícola potencial de adaptación a la amenaza de sequía, se evaluará el uso de poliacrilatos de potasio y sodio, en el cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*), que es uno de los principales alimentos de la población panameña y en la actualidad está presentando limitaciones en la producción, tales son: practicas agronómicas deficientes, la escasa fertilidad del suelo, estrés por agua, la falta de cultivares mejorados y daños causados por plagas y enfermedades.

Se recolectarán pañales desechables que contengan residuos líquidos (orina), para obtener el gel del poliacrilato super absorbente y la celulosa; el propósito de este estudio es de explorar la posible aplicación del poliacrilato de sodio de los pañales desechables para ser utilizado como reservorio de agua en la agricultura como una alternativa para valorar el uso de los desechos de los pañales los cuales son, la celulosa junto al material absorbente.

### **1.1 Planteamiento del problema:**

El 60% de la producción mundial de frijol (*Vigna unguiculata*) se obtiene en condiciones de déficit hídrico, por lo que este factor es el que más contribuye en

la reducción del rendimiento después de las enfermedades. El estrés por sequía, es causado por la baja disponibilidad de agua en el suelo, modificando negativamente la productividad del frijol. El frijol es extremadamente sensible al estrés hídrico y al calor presente con frecuencia en forma simultánea en las etapas fenológicas más sensibles de la planta: para la formación del rendimiento en el inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano en las áreas de secano; este tipo de estrés disminuye el rendimiento y calidad de la producción.

Miranda y Belmar (1977), realizaron un estudio del déficit y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) encontraron que hubo un efecto significativo sobre el rendimiento en la disminución de grano, el número de vainas por planta debido al déficit de humedad del suelo durante los estados de crecimiento, floración y formación de grano. Además observaron una disminución rápida en el índice del área foliar, presentando una reducción en el inicio de la floración que fue menor en un 65% en comparación al testigo, así mismo, la conductancia estomática y la fotosíntesis se redujeron bajo estrés hídrico.

Es por ello que es necesario encontrar alternativas que reduzcan el daño de los cultivos o las pérdidas de alimentos generadas por estas amenazas climáticas, en el caso de la sequía es necesario el desarrollo o la evaluación de alternativas o tecnologías que ayuden al uso óptimo y racional del agua; ya que, el efecto de esta amenaza es la reducción de la disponibilidad del agua.

A lo largo de los años el uso de pañales desechables, se ha convertido en un problema ambiental pues no se le ha dado ningún otro uso; se propone utilizar su capacidad de retener agua para fines agrícolas y de paso disminuir el efecto adverso al ambiente.

Los pañales desechables contienen un polímero súper absorbente que es el poliacrilato de sodio el cual, es un retenedor de humedad, similar al poliacrilato de potasio (hidrogel) utilizado en la agricultura; el uso del gel súper absorbente obtenido de los pañales desechables no solo favorecería en reducir el consumo del agua a los cultivos sino que también, al medio ambiente; ya que, la acumulación de estos residuos sólidos (plástico polietileno y polipropileno, la celulosa y el poliacrilato súper absorbente) generan contaminación lo cual trae consigo impactos que colaboran al cambio climático; ya que, al momento de fabricar los pañales el SAP (poliacrilato súper absorbente) es considerado como el proceso más contaminante debido a que requieren grandes cantidades de agua, gas natural y petróleo, por otra parte, liberan emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.

## 1.2 Antecedentes:

Los primeros estudios reportados con utilización de polímeros absorbentes considerados como mitigadores del estrés hídrico y catalizadores del crecimiento y germinación de semillas se registran a finales de los años 70, la mayoría de estos ensayos demostraron efectividad (Anónimo, 1984).

En Elmbridge, Inglaterra, se realizó un experimento en 1984 por el Ayuntamiento local, en el cual el polímero se utilizó de varias maneras, entre estas en macetas con geranios y árboles ornamentales durante la replantación.

En geranios tratados con el polímero, se obtuvo un 12% de ahorro en el riego y florecieron dos semanas antes que el testigo. Los resultados obtenidos con arboles tratados con el polímero durante la replantación fueron alentadores, ya que no hubo pérdidas por mortalidad, mientras que en los testigos se perdió un 20% por sequía (Anónimo, 1984).

Armitage y Vines (1985), observaron que el hidrogel incrementaba satisfactoriamente la capacidad de retención de agua del suelo y por tanto disminuía la necesidad del riego en plantas del género *Cineraria*.

En África también se experimentó con el polímero para ayudar a los árboles a resistir la sequía dicho experimento presentó resultados satisfactorios; ya que, hubo un 40% de sobrevivencia de los plántones (Anónimo, 1988).

En Vine Street, California, se plantaron 60 *Amarantus caudatus* con el polímero y 65 plantas se establecieron sin el producto, ambos grupos fueron regados semanalmente. El 99% de las plantas tratadas sobrevivieron al trasplante, mientras que el 50% de plantas no tratadas murieron. Además, las plantas tratadas mostraron un crecimiento mayor y un área foliar más desarrollada; los riegos se suspendieron al tercer mes, pasado un mes del último riego las plantas tratadas tuvieron un crecimiento constante y demostraron que pueden sobrevivir con 40% menos de agua, aun en temporadas de sequía (Anónimo, 1990).

Fonteno y Bilderback (1993), realizaron un estudio en el cual afirmaron que la efectividad del hidrogel se ve altamente influenciado por las restricciones físicas que presente el suelo, es decir, entre más espacio poroso tenga, más fácil es para el hidrogel expandirse o liberar el agua almacenada, en cambio se infiere que entre más arcilloso sea el suelo su desempeño no favorecerá al cultivo.

En 1993 se inició en la Universidad Americana (UAM), una línea de investigación acerca de alternativas de tratamiento para los pañales desechables y aprovechamiento de estos residuos. Entre los resultados obtenidos puede destacarse que se demostró que el hongo *P. ostreatus* podía desarrollarse y fructificar en el pañal desechable, con una degradación de entre 50 y 90% del residuo (Nava, 1993).

Apaseo y Pérez (1995), realizaron una investigación que evaluaba el papel que desempeñaba el pañal desechable en la retención y distribución de humedad en suelo, obteniéndose como resultado que había hasta un 70% de retención de humedad en comparación con 40% para el mismo suelo sin tratamiento.

Dorrají *et al.* (2010), concluyeron en su trabajo que al aplicar 225 kg ha<sup>-1</sup> de hidrogel en plantas de *Zea mays*, no solo se mitigaba los efectos del estrés hídrico; pero también, afectaba positivamente al incremento de biomasa y optimizaba el uso del agua en el cultivo en dos tipos de suelo diferente (franco arenoso y limoso).

Islam *et al.* (2011), también utilizaron plantas de *Zea mays* en su ensayo, encontrando que usar una concentración de 15 kg ha<sup>-1</sup> y solo la mitad de la dosis de fertilizante recomendada es capaz de mantener una producción similar a una con dosis completa, por lo que este estudio da pauta a continuar estudiando la relación entre el efecto del hidrogel y la cantidad de fertilizante en otras especies de interés agrícola.

Los poliacrilatos llevan años utilizándose para reforestación, cultivos y en jardinería, mezclados con suelo, para optimizar la retención de agua y los nutrientes, permitiendo disminuir la frecuencia y cantidad de riego (Civantos, 2011).

### 1.3 Justificación:

Este estudio busca evaluar el uso del hidrogel (poliacrilato de potasio) y el uso del gel de los pañales desechables (poliacrilato de sodio) como práctica potencial ante la amenaza de la sequía, utilizando el cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*), ya que desde el punto de vista agronómico, este cultivo es una de las principales fuentes de alimento para las familias panameñas y por su fácil manejo en potes. Por lo que deben implementarse prácticas de adaptación a estas variantes climáticas y lograr mejorar la producción del cultivo de este rubro en las provincias de Chiriquí y Los Santos.

El presente proyecto estudia la posibilidad de aprovechar la propiedad súper absorbente de los pañales desechables transmitiendo al suelo la capacidad de absorción de agua, logrando así la recuperación de suelos potencialmente fértiles. La presencia en el suelo de estos polímeros resistentes es un aspecto que debe considerarse, pues si bien no representan un riesgo de toxicidad para los cultivos. El uso de poliacrilatos resulta ser una tecnología agrícola que actúa como reservorio de agua en las épocas secas del año, brindando el suministro de agua a la planta en la etapa fenológica que la necesite, puesto que desde el punto de vista de prueba tecnológica, este material según fabricantes, permanece por un lapso de tiempo de cinco a siete años en el suelo, por lo que se espera tenga una respuesta aceptable ante la escasez de agua en períodos de sequía.

## **1.4 OBJETIVOS:**

### **1.4.1. General:**

- Evaluar el efecto del poliacrilato de potasio (hidrogel) y poliacrilato de sodio (pañales desechables), en la retención de humedad de dos tipos de suelos arcillosos (ultisol y vertisol) y su influencia en el desarrollo y crecimiento del cultivo de frijol chiricano (*Vigna unguiculata*) bajo condiciones de invernadero.

### **1.4.2. Específicos:**

- Demostrar que el poliacrilato de sodio (pañales desechables) es una sustancia eficiente para absorber agua en la agricultura.
- Comparar si existe diferencia en la retención de agua en cultivo de frijol entre el poliacrilato de potasio (hidrogel) y el poliacrilato de sodio.
- Evaluar la producción de materia seca (biomasa) aérea y radicular en cultivo de frijol.

### 1.5. Hipótesis de la investigación:

- Ha: El uso del poliacrilato de potasio y sodio produce incremento en la disponibilidad de agua para el cultivo de frijol chiricano (*Vigna unguiculata*) en potes.
- Ho: El uso del poliacrilato de potasio y sodio no produce incremento en la disponibilidad de agua para el cultivo de frijol chiricano (*Vigna unguiculata*) en potes.

### 1.6 Alcances y limitaciones

#### ALCANCES

La presente investigación nos permitió comprobar si el uso de poliacrilatos en la agricultura es viable; ya que, estos productos mejoran la capacidad de retención de humedad de los suelos en época de sequía reduciendo la frecuencia de riego, por lo que se implementaría como una alternativa en la agricultura y se le daría un mejor uso a los pañales desechables los cuales al ser acumulados perjudican al medio ambiente. Los resultados se podrían aplicar en huertos caseros, jardinería, en reforestación, en viveros e inclusive en cultivos extensivos, por ende, será útil para productores, como también para estudiantes que deseen trabajar en esta línea de investigación.

## LIMITACIONES

En esta investigación se presentaron limitaciones con el uso del poliacrilato de sodio al compararlo con el hidrogel agrícola (poliacrilato de potasio), ya que puede reemplazar el calcio y el magnesio, los cuales dan estructura al suelo y podría degradar y disminuir la porosidad de los suelos impidiendo la infiltración de agua y la germinación de semillas. Otro factor limitante para esta investigación fue el manejo y manipulación de los pañales desechables, debido a que estos fueron colectados y solo se seleccionaron aquellos que contenían residuos líquidos (orina); ya que, se buscaba separar el gel (poliacrilato de potasio y celulosa) de la cubierta del pañal.

También, el diseño de la estructura del invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias cuyas características no cuenta con regulación de temperatura; debido a que, su temperatura es superior que las condiciones ambientales normales, ocasionando que el agua se evapore con mayor facilidad y por ende los resultados de capacidad de retención del suelo varíen.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Estimación de las demandas del consumo de agua**

La agricultura emplea más del 70% del agua utilizada en el mundo. Esta baja eficiencia, convierte a la agricultura en el sector donde se pueden adoptar los mayores cambios tecnológicos que permitan compensar las mermas per cápita (SAGARPA, 2012).

Panamá cuenta con abundantes recursos hídricos en donde la precipitación juega un rol importante. Para el año 2015 se registró un volumen de precipitación total en el país estimado en 233.8 mil millones de m<sup>3</sup>/ año estimándose un promedio anual nacional de 2,924 L/m<sup>2</sup>, siendo el mayor valor registrado para Centroamérica. En cuanto a los usos consuntivos del agua, el consumo humano demanda el 1.3 por ciento del total de agua dulce utilizada, el sector agropecuario el 1.7 por ciento, para uso industrial el 0.02 por ciento y sector turístico recreacional el 0.01 por ciento. En cuanto a usos no consuntivos, el sector hidroeléctrico demanda el 89.6 por ciento del uso total, la operación del Canal de Panamá utiliza el 7.4 por ciento para el tránsito de buques y mercaderías, y el 0.01 por ciento es demandado para belleza escénica (Conagua, 2017).

## **2.2 Cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*)**

El frijol (*Vigna unguiculata*) pertenece a la familia de las leguminosas. Se cultiva en muchos lugares del mundo y es uno de los principales componentes de la dieta humana en África y América Latina por su alto contenido de proteínas y micronutrientes como el hierro y el ácido fólico. Es uno de los cultivos económicamente más importantes de América Latina y es una fuente de ingreso para los pequeños agricultores (ICTA, 2010).

### **2.2.1 Clasificación taxonómica del frijol (*Vigna unguiculata*)**

Según Duke (1981) la clasificación del frijol *Vigna unguiculata* es la siguiente:

- Reino: Plantae
- Subreino: Eubryobiontha
- División: magnoliophyta
- Clase: dicotiledónea
- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Genero: *Vigna*
- Especie: *unguiculata*

### **2.2.2 Condiciones climáticas óptimas para la producción de granos básicos**

Los granos básicos son originarios de zonas intertropicales, sin embargo, debido a sus amplios rangos de requerimientos climáticos, se encuentran ampliamente distribuidos en varias regiones del mundo. El frijol puede prosperar entre los 18°C Y 40°C debido a que esta leguminosa, es tolerante al calor.

Se desarrollan mejor en suelos profundos y ligeros con texturas franco arcillosa y franco arenosa con pH entre 5.5 a 6.5. Es resistente a la sequía, sin embargo, una excesiva humedad ambiental favorece la proliferación de enfermedades. En cuanto a la luminosidad es importante para el desarrollo de los frutos. Su período de crecimiento se da entre los 50 a 270 días (CATIE, 2017).

### **2.2.3 Impactos y efectos del cambio climático sobre la producción del frijol**

Los factores como la lluvia y la temperatura son determinantes en el rendimiento del frijol en Centro América. Los cambios en estacionalidad, intensidad, frecuencia y duración de los eventos climáticos y las condiciones ambientales podrían ocasionar pérdidas importantes en la producción de este grano básico. Entre los principales efectos del cambio climático sobre el ciclo productivo se encuentran:

- Pérdida de eficiencia, producción prematura y disminución del rendimiento con temperaturas superiores a los 30-34°C.
- Aceleración de la evapotranspiración que provoca estrés hídrico por sequía en los granos básicos.

- Incremento de la afección de enfermedades y estrés húmedo durante la floración, polinización y fructificación, a causa de los eventos hidrometeorológicos extremos como son las tormentas tropicales.

Según el CATIE, 2017, debido a los fenómenos que están ocurriendo por el cambio climático se estima que para el año 2050 la producción de frijol se reduzca en toda la región centroamericana. Los modelos muestran que las áreas aptas con excelente aptitud en las condiciones actuales van a disminuir en 14%, principalmente en Panamá (41%,) Costa Rica (21%) y El Salvador (20%).

#### **2.2.4 Ecología de la planta del frijol en Panamá**

En Panamá el frijol, se puede cultivar en áreas que van desde los 400 msnm hasta los 1,100 msnm, con temperatura media entre 18 y 25°C para que el desarrollo del cultivo sea adecuado (MIDA, 2013).

Los suelos deben ser livianos con un pH entre 5.5 – 6.0, buena permeabilidad y buen drenaje (Rodríguez, 1990).

De acuerdo a cifras recientes de la Contraloría General de la República en el período 2014-2015, la producción de frijoles alcanzó las 10,820 hectáreas, ya que el frijol es uno de los principales rubros de cultivo en la región de Panamá (Rodríguez, 2016). En cuanto a los requerimientos de nutrimentos del cultivo de frijol, este absorbe grandes cantidades de nitrógeno (N), potasio (K) y calcio (Ca) y en menores cantidades azufre (S), magnesio (Mg) y fósforo (P).

## **2.3 Factores que regulan la distribución de materia seca**

Aunque el tema de análisis y medición del desarrollo de la planta de frijol es muy amplio y muy poco conocido, existen varios criterios y herramientas que permiten algún entendimiento de lo que sucede con los asimilados durante las diferentes fases de la planta de desarrollo de la planta.

### **2.3.1 Estado de desarrollo de la planta:**

El ciclo biológico de la planta de frijol se divide en dos fases sucesivas: la fase vegetativa y la fase reproductiva. A su vez, estas dos fases se dividen en 10 etapas de desarrollo.

La fase vegetativa se inicia cuando a las semillas se le brindan las condiciones adecuadas para iniciar la germinación, y termina cuando aparecen los primeros botones florales en las variedades de crecimiento determinado o los primeros racimos florales en las variedades de crecimiento indeterminado.

Durante la germinación y la emergencia hay absorción de agua y los tejidos llegan a tener la cantidad de agua necesaria para iniciar las actividades metabólicas. Cuando se alcanza este nivel, se presenta un aumento en la respiración de la semilla debido a la removilización de nutrimentos y al inicio de la formación de nuevos tejidos. Durante esta etapa el peso seco declina, aunque los tejidos aumentan en volumen debido a la gran absorción de agua (CIAT, 2000).

Después de la germinación y emergencia (etapa de crecimiento  $V_1$ ), la planta empieza a acumular peso principalmente en los tejidos vegetativos. Aunque la

fase vegetativa dura hasta la aparición de los primeros botones florales, los cuales empiezan a notarse a los 10 a 15 días de crecimiento de la planta (CIAT, 2000). Durante el crecimiento de las plántulas, la planta invierte los productos de la fotosíntesis en la producción de hojas, tallos y raíces. La tasa de crecimiento de una planta joven se puede aumentar por el incremento en el peso de las hojas, tan rápido como se aumenta el área foliar así aumentaría el área de intercepción y por lo tanto la fotosíntesis. Cuando la raíz crece aumenta su penetración y por consiguientes, aumenta la capacidad de toma de nutrimentos y agua (CIAT, 2000).

La fase reproductiva está comprendida entre el momento de la aparición de los primeros botones florales ( $R_4$ ) y la madurez de cosecha ( $R_9$ ).

Con el inicio de la floración ( $R_5$ ) y pocos días después con la formación de las vainas, la planta empieza a utilizar mayor cantidad de sus recursos en la formación de las vainas y luego de las semillas. Este cambio en las prioridades de crecimiento empieza a frenar el crecimiento vegetativo, aunque la rapidez con que esto ocurre varía mucho entre variedades de frijol con diferentes hábitos de crecimiento. En las variedades de crecimiento determinado esta transición es muy rápida, mientras que en el crecimiento indeterminado el cambio se presenta de una manera gradual debido a que los crecimientos vegetativo y reproductivo ocurren simultáneamente. Aunque la planta continúa realizando fotosíntesis, parece ser que la demanda por nitrógeno llega a ser tan grande que algunas hojas

empiezan a morir, permitiendo que su contenido de nitrógeno sea traslocado a las vainas; esto es lo que marca el comienzo de la maduración (CIAT, 2000).

### **2.3.2 Reglas para la distribución de materia seca**

La distribución de la materia seca en la planta es un problema de repartición por lo que se sustentan cuatro reglas:

- ⇒ Existe competencia entre las diferentes partes de la planta por recursos que están en cantidades ilimitadas.
- ⇒ Los diferentes órganos compiten por los recursos según sus prioridades: los tejidos reproductivos (flores y vainas), luego las hojas, las raíces y los tallos.
- ⇒ Las prioridades también dependen de los pesos relativos de los diferentes tejidos. Si un cultivo tiene desarrollo foliar demasiado abundante, esto puede ocasionar una demanda de nutrimentos lo suficientemente alta como para inhibir el crecimiento de los órganos reproductivos.
- ⇒ Bajo condiciones de demanda muy alta, ocurre movilización de recursos de un órgano hacia otro.

### **2.4 Polímeros hidroabsorbentes**

El término polímero se originó en 1833 por el químico sueco Jöns Jacob Berzelius y se deriva de la antigua palabra griega πολύς (polus, que significa "muchos") y μέρος (meros, que significa "partes"). Billmeyer, (2004) indica que un polímero es

una gran molécula construida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples, llamados monómeros.

### 2.4.1 Tipos de Polímeros

Ríos (2010), explica que los polímeros se pueden categorizar según su origen en:

- ❖ **Naturales:** proceden directamente del reino vegetal o animal como lo es el ácido nucleico, algodón, almidón, celulosa, proteínas, entre otros.
- ❖ **Semi-sintéticos:** se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo, la nitrocelulosa, caucho, llantas de automóviles o el caucho vulcanizado.
- ❖ **Sintéticos:** Son los transformados o “creados” por el hombre. Están aquí todos los plásticos, los más conocidos en la vida cotidiana son los nylon, el polietileno, el poli cloruro de vinilo (PVC), etc.

Los polímeros también se pueden clasificar según su origen, según su composición y estructura química y según su proceso de polimerización.

Los polímeros según su composición y estructura química son:

- ❖ **Polímeros inorgánicos:** son los que su cadena principal está constituida por elementos distintos a carbono como el silicio, germanio, estaño, fósforo, o azufre (Ojeda, 2013).
- ❖ **Polímeros orgánicos:** son los que presentan en su cadena principal átomos de carbono. A su vez estos pueden ser clasificados en vinílicos y no vinílicos.

- ⇒ No vinílicos: además de carbono, tienen átomos de oxígeno o nitrógeno en su cadena principal (Ojeda, 2013).
- ⇒ Vinílicos: la cadena principal de sus moléculas está formada exclusivamente por átomos de carbono. Contienen dos átomos de carbono unidos por una doble ligadura. Dentro de ellos se pueden distinguir: las poliolefinas, formados mediante la polimerización de olefinas (polietileno y polipropileno) y los polímeros acrílicos, que derivan de monómeros acrilatos o poliacrilatos (Ojeda, 2013).

Los acrilatos tienen la capacidad de absorber enormes cantidades de agua. Los polímeros como éstos se denominan superabsorbentes, esto se debe a su capacidad de absorber y retener cantidades extremadamente grandes de un líquido en relación con su propia masa. Los polímeros absorbentes de agua, que se clasifican como hidrogeles cuando se reticulan, absorben soluciones acuosas mediante enlaces de hidrógeno con moléculas de agua. La capacidad de un polímero superabsorbentes varía entre 300 a 500 veces su peso es decir, 30 a 60 veces su propio volumen (AquaSafePro, s.f).

### **2.4.2 Usos de los polímeros**

Según Rengifo (2006), los polímeros al hidratarse forman una gelatina conocida como hidrogel, específicamente diseñado para la aplicación en el campo:

- En la agricultura se puede emplear para hortalizas, cítricos, fruticultura, cultivos en surcos. Reduce los problemas de fertilidad del suelo, escasez de agua, ausencia de fertilizante, formación de costras de sal y erosión del suelo. Sus propiedades de retención de agua ayudan al almacenamiento de aguas de lluvia y de riego, que normalmente se perderían por efecto de la gravedad.
- En el sector Forestal se utiliza en viveros, transporte y protección, trasplantes.

Está demostrado que las reforestaciones son más efectivas, al reducir el shock de trasplante y minimizar el secado del sistema radicular, tanto durante el transporte como en la plantación.

- En lo ornamental, fomenta la capacidad de almacenar agua en el suelo y en sustratos de cultivo, a la vez que aumenta la aireación del medio de cultivo.

### **2.4.3 Polímeros utilizados en la agricultura**

En la agricultura los poliacrilatos utilizados comúnmente son el poliacrilato de sodio y el poliacrilato de potasio conocido como hidrogel, y esto se debe a las

características que posee de aumentar la capacidad de retención de agua del suelo, favoreciendo el desarrollo de las plantas. Al mezclar los poliacrilatos con el suelo se logra, por un lado, aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por filtración, y por otro lado, también se consigue disminuir la evaporación de la misma. Estos factores son suficientes para mejorar la actividad biológica y aumentar la producción del suelo (Rengifo, 2006).

#### **2.4.4 Poliacrilato de sodio (Na)**

Es un polímero formado por monómeros  $\text{—CH}_2\text{CH}(\text{CO}_2\text{Na})\text{—}$  inventado por Robert Niles Bashaw, Bobby Leroy Atkins y Billy Gene Harper en el Basic Research Laboratory de la Dow Chemical Company. Es un polvo blanco y sin olor y no es un producto calificado como tóxico. Debido a sus cualidades es utilizado en pañales, toallas higiénicas o procesos químicos que requieran la absorción de agua (Ojeda, 2013).

Este polímero al entrar en contacto con el agua desprende el sodio, dejando libres iones negativos de carboxilo. Los iones negativos se repelen, estirando la cadena principal y provocando el aumento de volumen.

Al añadirle agua al poliacrilato de sodio se forma una gel cristalina ya que posee alta masa molecular (Ojeda, 2013).

Mayorga y col. (2017), en su artículo, describen que el poliacrilato de sodio en la agricultura es utilizado por su capacidad retenedora de agua, y se debe a que dicha sustancia se añade a las plantas en macetas y suelos para almacenar agua y también porque permite el mantenimiento de las plantas durante largos períodos de tiempo. Es utilizado también en floristerías con el mismo fin. Como retenedor de agua, se utiliza también habitualmente el hidrogel, cuyo componente principal no es poliacrilato de sodio, sino el poliacrilato de potasio.

#### **2.4.5 Poliacrilato de potasio (K)**

El poliacrilato de potasio también conocido como “*hidroge*l” es un material polimérico entrecruzado en forma de red tridimensional de origen sintético. Se expande en contacto con el agua formando materiales blandos y elásticos, y que retienen una fracción significativa de la misma en su estructura sin disolverse (Rojas, 2006).

Este producto es eficaz en la plantación de árboles, arbustos y plantas jóvenes. Permite la reducción de la tasa de mortalidad debida al trasplante e incrementa el desarrollo de las raíces, lo cual genera un crecimiento y establecimiento mayor (Aqua-Gel, s.f).

#### **2.4.6 Mejoramiento del suelo y humedad con el uso de hidrogel**

El agua (solución de suelo) retenida por el polímero (hidrogel) es fácilmente disponible para las raíces de las plantas manteniéndolas húmedas por algunos meses y se rehidrata mediante precipitaciones o riego, permitiendo que las mismas accedan a ella a medida que la necesitan. Aumenta la capacidad de absorción y almacenaje de agua de la tierra, que naturalmente se pierde por evaporación y escurrimiento (Aqua-Gel, s.f).

#### **2.4.7 Ventajas del hidrogel**

- Permite un mejor crecimiento de la planta en regiones de escasas lluvias.
- Incrementa las reservas de agua de los suelos por muchos años.
- Reduce los ciclos de irrigación y las cantidades de agua.
- Mejora la ventilación de aquellos suelos compactos.
- El productor reduce sus costos al ahorrar hasta el 70% en fertilizantes.
- Mejora la germinación y etapa de desarrollo de las plantas.
- Absorbe fertilizantes solubles y los libera lentamente.
- Economiza agua.
- Incremento de la tasa de supervivencia.
- Mejor y más rápido desarrollo radicular de la planta.
- Incrementa la actividad microbiológica.

#### **2.4.8 Compatibilidad de hidrogel con fertilizantes**

Según Peter (1999), los fertilizantes solubles pueden funcionar en combinación con el hidrogel, para proveer una liberación lenta a la planta. Absorbe, almacena y libera los fertilizantes solubles y nutrimentos casi tan rápidamente como lo hace el agua. De esta manera reducen las pérdidas por lixiviación de los fertilizantes. Sin embargo, la presencia de sales reduce la capacidad de retención del polímero retenedor de humedad. Los principales elementos que afectan la retención son el Hierro, los fosfatos y la cal.

Estudios recientes han demostrado que el uso de un polímero retenedor de humedad en mezcla con fertilizantes ha permitido un mayor desarrollo de la planta, tanto en su parte aérea como radicular, frente a testigos con adición de las mismas cantidades de fertilizante regado (Zuñiga, 2007).

#### **2.5 Pañales desechables e impacto ambiental**

El tiempo de producción de los pañales desechable según la organización mundial del ambiente se tardan aproximadamente unos 50 segundos en la producción por cada uno y se tardan aproximadamente 300 años para degradarse.

Para fabricarlos es necesaria mucha energía y materias primas, como derivados del petróleo para los plásticos y árboles para obtener el papel, pero generalmente el uso que les damos es muy breve. Tomando en cuenta que la mayoría son prácticamente imposibles de reciclar en forma masiva, casi todos estos productos

terminan en los vertederos, en el mejor de los casos, pues muchas veces los vemos tirados en ríos, terrenos baldíos, lagos, etc. Siendo contaminantes del medio ambiente, ya que, contienen químicos y componentes tóxicos para nuestra salud. (Brito, 2007)

Los pañales desechables están compuestos por 3 capas: la central que tiene el material absorbente y está hecha mayormente de pulpa celulosa (madera blanqueada con cloro) el uso de este material favorece la deforestación de pinos y eucaliptos. La exterior, que previene derrames y contacto con la ropa, está hecha de polietileno, un plástico de económica y rápida producción pero muy lenta degradación; y por último la tela interior, que tiene contacto con la piel y es fabricada de polipropileno, otro plástico con alta resistencia a la degradación. En algunos se utilizan también el poliéster y poliacrilato. (Brito, 2007)

El plástico es uno de los materiales que tarda más en degradarse y aunque en algunos casos se puede reciclar, cuando hablamos de pañales es un proceso sumamente costoso que las empresas no desean realizar. Adicionalmente la revista francesa 60 millions de Consommateurs publicó un estudio realizado en doce marcas diferentes de pañales en el que se demostró que contenían sustancias tóxicas. (Brito, 2007)

Entre esas sustancias encontradas tenemos: pesticidas (incluyendo glifosato), hexaclorobenceno o HCB, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), dioxinas y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Todos estos químicos entran en

contacto con la delicada piel de los bebés poniendo en riesgo su salud. (ConSentidoVerde, 2019)

Además, se encontró en una investigación de National Geographic, que durante el tiempo que un infante debe de utilizar pañales se gastan 898 litros de petróleo crudo, 715 libras de plástico y 4,15 árboles para producir todos los pañales que un infante utilizará durante ese tiempo (0 meses hasta los 3 años). (Geographic, 2010)

Un niño de 0 meses hasta los 3 años de edad utiliza aproximadamente 6.700 en pañales desechables en promedio, por lo que, del 1% al 2% de los residuos que terminan en los vertederos del mundo son pañales desechables. Si son incinerados emiten productos de combustión incompleta (PCI), especialmente dioxinas (10.000 veces más tóxico que el cianuro) y furanos por el cloro que contienen, que son muy contaminantes y perjudiciales para la salud. (ConSentidoVerde, 2019)

### **2.5.1 Capacidad de absorción de pañales desechables**

En un estudio de calidad de pañales desechables realizado para conocer la absorción de pañales desechables, utilizando dos marcas diferentes de los pañales comercializados (Huggies y Dodot). En la investigación que realizaron,

comprobaron que la capacidad de absorción es excelente obteniendo una absorción de 370 ml. (Vasconcelos, 2016)

## **2.6 Retención de humedad en el suelo según la textura**

La retención de agua es la propiedad hidrofísica del suelo que puede ser descrita por la dependencia entre el contenido de agua del suelo y el potencial del agua del suelo. La capacidad de retención de agua depende de la porosidad del suelo, siendo los microporos los que la determinan la retención. (García, 2011)

La propiedad del suelo directamente relacionada con el área superficial de las partículas es la textura o distribución de las partículas minerales según su tamaño, es decir, que una vez se conoce la textura de suelo se pueden conocer muchas de las propiedades hídricas de los suelos.

Se puede generalizar afirmando que: 1) cuanto mayor es el tamaño de las partículas más rápida es la infiltración y menor es el agua retenida por los suelos (los suelos arenosos son más permeables y retienen menos agua que los arcillosos; 2) los suelos con buena estructura tienen mayor velocidad de infiltración que los compactados; 3) el mayor contenido en materia orgánica aumenta el agua retenida por el suelo y 4) a mayor espesor del suelo mayor capacidad de retener agua. (Ibáñez, 2006)

Retención de agua según los tipos de suelos:

- **Suelos arcillosos:** En ellos predominan las arcillas o partículas menores de 0.002 milímetros. Son muy impermeables (fácilmente encharcables) y mal aireados, pues en ellos predominan los microporos. Son difíciles de trabajar pues son muy plásticos cuando están húmedos y compactos cuando están secos. Son suelos que retienen mayor cantidad de agua y aunque una gran parte de ella es retenida con mucha fuerza no está disponible para las plantas (presentan un punto de marchitamiento más alto), presentan una gran cantidad de agua disponible o agua útil.

- **Suelos arenosos:** En ellos predominan las arenas o partículas minerales mayores de 0,02 mm de diámetro (se denominan gravas). Son suelos muy permeables, pues en ellos predominan los macroporos.

Su capacidad de retención de agua o capacidad de campo es baja, y también lo es el agua disponible por las plantas o agua útil, pues presentan una baja microporosidad. Deben ser regados, por tanto, frecuentemente.

- **Suelos limosos:** En ellos predominan los limos o partículas entre 0,02 y 0,002 milímetros. En ellos la permeabilidad varía mucho según sea su estructura. Puede ser muy lenta cuando la estructura es masiva (sin formar agregados) o bastante rápida cuando la estructura es grumosa.

Sin embargo, suelen presentar una buena cantidad de agua disponible para las plantas, pues retienen mucha más agua que los suelos arenosos a capacidad de campo, aunque su punto de marchitamiento también es mayor.

- **Suelos francos:** En ellos no predomina claramente ninguno de los tres tipos de partículas. Presentan una mezcla de arenas, limo y arcillas en proporciones equilibradas. Estos suelos son los mejores para el crecimiento de la mayoría de las plantas (aunque hay plantas adaptadas y que prefieren los suelos arenosos muy permeables y otras los suelos arcillosos encharcables). Presentan las ventajas de los distintos tipos de partículas, eliminándose sus desventajas. Así son ligeros, aireados y permeables (pero no tanto como los arenosos) y de media-alta capacidad de retención de agua (aunque no retienen tanta como los arcillosos).

#### **2.6.1 Características de los órdenes de los suelos ultisol y vertisol.**

La taxonomía de suelos de Soil Taxonomy, desarrollada y coordinada internacionalmente por el Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos da una clasificación de suelos acorde a varios parámetros los cuales comprenden con seis niveles o categorías que van de lo general a lo particular: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie. (INTAGRI, 2017)

- **Suelos de orden vertisol:** corresponde a un grupo de suelos muy homogéneo con alto contenido de arcilla, más de 30%, es decir, son suelos formados de materiales sedimentarios compuestos por arcillas expandibles. Estos se tornan muy plásticos y pegajosos cuando están

húmedos y muy duros cuando se secan, lo que da lugar a cuarteaduras y fisuras de tamaños y profundidades variables.

- **Suelos de orden ultisol:** estos suelos tienen un horizonte B bien expresado a causa de un incremento de la arcilla en relación con el horizonte A, por lo que poseen bajo porcentaje de saturación de base generalmente inferior a 25% dentro de la sección de control del perfil edáfico. Estos suelos son muy lixiviados y por lo tanto tienen bajos niveles de nutrimentos.

### 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### 3.1 Características del área de estudio

Se realizaron dos tomas de muestras de suelos una en la provincia de Chiriquí y en la Provincia de Los Santos para realizar la comparación de suelos arcillosos de orden ultisol y vertisol.

La muestra n°1 se obtuvo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias sede Chiriquí el cual presenta longitud UTM (E) 484463.19 y latitud (N) 9104923.23.

La muestra n° 2 se obtuvo en el poblado El Bongo localizado en La Villa de Los Santos el cual presenta una longitud UTM (E) 461235.94 y Latitud (N) 1117747.83.



Figura 1. Ubicación del área de estudio. Fuente: Google Earth Pro, 2018.

La investigación fue realizada en invernadero en la Facultad de Ciencias Agropecuarias sede Chiriquí, en la república de Panamá, provincia de Chiriquí,

distrito de David, el cual presenta una temperatura promedio de 27.1° C, también presenta una humedad relativa de 75.7% y una radiación solar promedio de 185.0 w/m<sup>2</sup> (etesa, 2018).

Las zonas de estudio pertenecen al clima subecuatorial con estación seca, este tipo de clima se encuentra en las tierras bajas y montañosas hasta 1 000 m de altura en la vertiente del Pacífico en Chiriquí, Veraguas, en sectores montañosos de la península de Azuero y Coclé y en las montañas de Panamá, la comarca de San Blas y Darién. De acuerdo al geógrafo McKay, este clima se caracteriza por ser cálido, con promedios anuales de temperaturas que oscilan entre los 26.5° a 27.5°C en las tierras bajas (< 20 msnm), en tanto para las tierras altas la temperatura puede llegar a 20°C (Antonio, 2016).

### **3.1.1 Zonas de vida de Holdridge y precipitación.**

La Facultad de Ciencias Agropecuarias sede de Chiriquí se encuentra dentro de la zona de vida el cual posee un clima tropical húmedo (bh - T), de acuerdo a Holdridge la precipitación de este clima varía entre 2000 – 4000 mm y el invernadero presenta una precipitación media anual promedio de 2 800 milímetros y por lo general la época lluviosa se presenta de mayo a diciembre y la época seca de enero a abril (Serrano, 2015)

### **3.2 Recolección de información en laboratorio de suelos**

Anterior a realizar los ensayos en el invernadero se llevó a cabo una serie de análisis de pruebas en el laboratorio para conocer el comportamiento de los productos poliacrilato de sodio y poliacrilato de potasio, en cuanto a su capacidad de absorción de agua y también, para obtener el peso volumétrico de ambas muestras de suelos (ultisol y vertisol) de las provincias de Chiriquí y Los Santos.

- **Análisis Granulométrico**

La metodología empleada para determinar los porcentajes de arena, limo y arcilla fue la del hidrómetro de Bouyoucos, ya que es una de las formas más rápidas para analizar el tamaño de las partículas del suelo.

La cantidad de cada tipo de partículas es determinada utilizando la ley de Stokes, que determina la cantidad de cada tipo de partícula presente por la velocidad a la que cada tipo de ellas cae fuera de suspensión, en base a su tamaño.

La lectura del análisis se obtuvo mediante el triángulo de texturas.

#### **3.2.1 Recolección de datos en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.**

- **Preparación de los suelos**

Para la preparación de los suelos se utilizaron potes, los cuales se perforaron en la parte inferior y se colocó un recipiente debajo de los potes con el fin, de facilitar el movimiento del agua y así permitir la entrada del aire y evitar presión.

Se pesaron dos kilogramos de suelo para elaborar las macetas del suelo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y el suelo de La Villa de Los Santos.

- **Trasplante**

Como material genético se utilizó semillas de frijol (*Vigna unguiculata*), el proceso de germinación es un proceso que consiste en la absorción de agua, la reactivación del metabolismo y la iniciación del crecimiento del embrión de una semilla (Bidwell, 1990).

A los siete días de haber sido establecido el experimento con las macetas se procedió a trasplantar las plántulas de frijol.

- **Riegos**

El primer riego se realizó una vez fueron trasplantadas las plántulas de frijol, luego se programó mediante un calendario los riegos de acuerdo a la cantidad de agua que requería cada tratamiento; ya que, estos variaban por la dosificación tanto de los que contenían poliacrilato de potasio, los de poliacrilato de sodio. La programación de los riegos se realizó para determinar las cantidades de agua por aplicar y las fechas de aplicación de cada riego con la intención de minimizar deficiencias o excesos de humedad en el suelo que pudieran causar efectos adversos sobre el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo. (Ver Anexo 3)

- **Fertilización**

La aplicación del fertilizante se realizó una vez se trasplantaron las plántulas en los potes, se utilizó fertilizante foliar Nutrex 20-20-20 (N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – K<sub>2</sub>O), con la finalidad de mejorar el aprovechamiento del agua pues aumenta su resistencia a la sequía, regula su transpiración y permite que las plantas necesiten un menor volumen de agua para formar su materia seca.

- **Modelo estadístico**

Se empleó un diseño doble vía bifactorial en bloques completamente al azar. Los parámetros objeto de análisis son un factor A de 2 variaciones de poliacrilatos, un factor B con 4 niveles de dosificaciones y un factor C de dos tipos de suelos, con 4 repeticiones.

Se describe como aleatoriamente se sortearon las diferentes variables con sus unidades experimentales. El factor A<sub>1</sub> corresponde al poliacrilato de potasio (hidrogel comercial) y el factor A<sub>2</sub> al poliacrilato de sodio (pañales desechables), el factor B hace énfasis a las dosis que se utilizaran las cuales son: 0 (testigo), 1 gramo, 2 gramos y 3 gramos para el caso del poliacrilato de potasio y 0 (testigo), 0.5 pañal, 1.0 pañal y 1.5 pañal para el poliacrilato de sodio; haciendo un total de 16 tratamientos y 4 repeticiones obteniendo un total de 64 unidades experimentales, el factor C son ambos suelos a utilizar el arcilloso expandible y arcilloso no expandible.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Análisis granulométrico.

En el cuadro I, se observan los porcentajes (%) obtenidos del análisis granulométrico aplicando la metodología antes descrita, esto hace referencia las proporciones cuantitativas de cada fracción granulométrica que presentan los suelos. Luego de hacer los cálculos respectivos se procedió a su caracterización mediante el triángulo textural, donde se conoció exactamente el tipo textural del suelo.

De acuerdo a los resultados obtenidos ambos suelos poseen alto contenido de arcilla siendo suelos arcillosos; sin embargo, de acuerdo a la Taxonomía de Los Suelos estos pertenecen a dos órdenes de suelo diferentes, siendo de orden ultisol el suelo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Chiriquí y de orden vertisol el suelo de la comunidad del Bongo, La Villa de Los Santos.

Cuadro I. Analisis del tamaño de las partículas del suelo arcilloso ultisol de la provinica de Chiriquí y del suelo vertisol , La Villa de Los Santos. 2019.

<b>Partículas del Suelo</b>	<b>Suelo arcilloso no expandible: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Chiriquí</b>	<b>Suelo arcilloso expandible: El Bongo, La Villa de Los Santos</b>
<b>% Arena</b>	<b>5</b>	<b>24</b>
<b>% Arcilla</b>	<b>77</b>	<b>52.3</b>
<b>% Limo</b>	<b>18</b>	<b>23.5</b>
<b>Clasificación</b>	<b>Arcilloso</b>	<b>Arcilloso</b>

## 4.2 Germinación

Para la germinación de las semillas de frijol *Vigna unguiculata* se utilizó como sustrato turba, comúnmente conocido como musgo de tubera, para que el frijol pudiera enraizar adecuadamente, ya que cuenta con características que le permite a la planta tener humedad debido a que son retenedores de agua, la temperatura y porosidad adecuada para la producción del cultivo.

## 4.3 Fertilización

La fertilización se realizó 15 días después de germinadas las semillas con el fertilizante granulado Nutrex abono foliar (N 20 – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 20 – K<sub>2</sub>O 20), en cuatro litros de agua (4000 mL) se aplicó cinco gramos de abono, aplicando una dosis de fertilizante cada 15 días, hasta finalizar con el corte de las plántulas de las macetas.



Figura 2. Fertilizante Nutrex, utilizado como fuente de fertilización para el cultivo de frijol *Vigna unguiculata*.

#### 4.4 Corte de plántulas

A los 60 días de establecer el experimento se procedió a retirar las plantas de frijol de los maceteros para tomar los datos del peso fresco. Se cortaron en dos partes para tomar muestras de raíz y tallo.



Figura 3. Corte de raíz y tallo de frijol *Vigna unguiculata*.

#### 4.5 Medición de la producción de materia seca

La producción de materia seca se estimó una vez las plantas alcanzaron el punto de marchitez permanente, las muestras húmedas se colocaron en bolsas de papel manila y se llevaron al laboratorio para pesar cada uno de los tratamientos en una balanza analítica, luego que las muestras se secaron en el invernadero, se obtuvieron los datos del peso seco de las muestras, las cuales fueron colocadas en el horno durante 24 horas a una temperatura de 65°C para calcular el porcentaje de peso seco.



Figura 4. Estimación de peso verde y peso seco del cultivo *Vigna unguiculata*.

#### 4.6 Peso radicular de la planta

Se observó que los poliacrilatos se habían adherido en algunas raíces de las plantas muestreadas, por lo que se procedió a retirarlo. Luego de eso se pesaron las raíces. La variable se expresó en gramos (g).

#### 4.7 Determinación de la medición de la humedad a capacidad de campo.

Se tomó una muestra representativa de aproximadamente 10 gramos de sustrato por tratamiento. Luego se llevó al horno por un período de 24 horas a una temperatura de 105°C.

$$\text{Humedad gravimétrica (\%)} = \frac{\text{suelo seco al aire} - \text{suelo seco (105}^{\circ}\text{C)}}{\text{suelo seco (105}^{\circ}\text{C)}} * 100$$

Los datos se obtuvieron después de 15 días trasplantados los frijoles y se realizó una vez por semana durante cuatro semanas. Los riegos variaron en cantidad de agua y frecuencia por las dosificaciones de los cuatro tratamientos. (Ver Anexo 3)

De acuerdo con INFOAGRO (2017), el frijol *Vigna unguiculata* es muy exigente en riegos en lo que se refiere a la frecuencia, volumen y momento oportuno del riego que van a depender del estado fenológico de la planta, así como del ambiente en que ésta se desarrolla (tipo de suelo, condiciones climáticas, etc.)

En suelos arcillosos, los riegos deben ser de mayor volumen y menor frecuencia ya que retienen más cantidad de agua.

En la figura 5. se observa que para la primera semana el consumo de agua para el suelo ultisol fue relativamente bajo, liderando el tratamiento con 1.5 poliacrilato de sodio (pañal desechable) con un 94%, en cambio el suelo de orden vertisol (arcillas expandibles) el drenaje del agua fue más bajo siendo el tratamiento de 3 g poliacrilato de potasio (hidrogel) el más alto de ese orden con un 42%. En la segunda semana se observa que la capacidad de retención de agua de ambos suelos fue disminuyendo sobre todo en el suelo de orden vertisol esto, se debe a que el suelo de orden ultisol presenta buena estructuración permitiéndole un drenaje interno bueno (INTA, 2016).

Además, entre los 10 a 15 días aumenta el crecimiento radicular de la planta, por ende, el consumo de agua incrementa (CIAT, 2000).

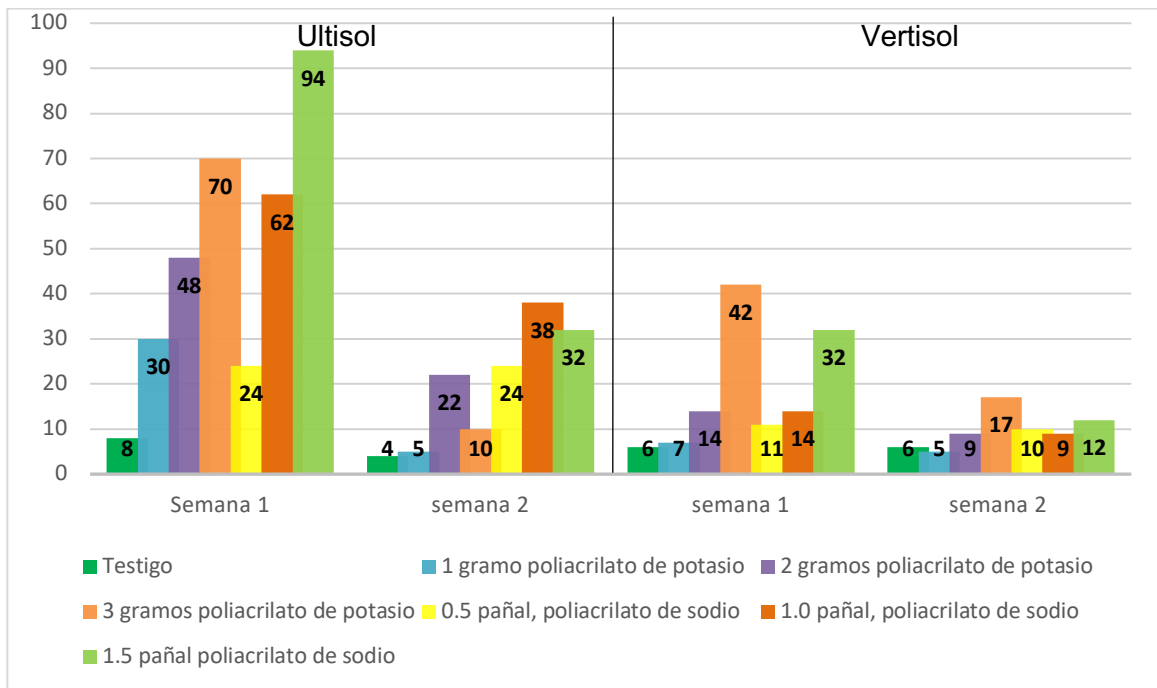


Figura 5. Comparación de los porcentajes de humedad a capacidad de campo durante la primera y segunda semana en suelo arcilloso no expandible y expandible.

En cuanto a la comparación de los porcentajes de la tercera y cuarta semana en la figura 6. se observa que la humedad a capacidad de campo disminuyó considerablemente tanto en el suelo ultisol y el vertisol, debido a la demanda del desarrollo de la planta; ya que, el cultivo del frijol se encontraba en su fase reproductiva (pre-floración, floración, formación de vainas y semillas) y por consiguiente aumentó la capacidad de toma de nutrientes y agua.

Según Salinas (1999), tomando en cuenta los días después de la siembra, las etapas reproductivas de pre floración, floración, formación de vainas y llenado de vainas, es donde el cultivo demanda mayor humedad, haciendo esencial que el cultivo disponga de humedad durante estas etapas, ya que una disminución de la misma puede ocasionar una disminución en el rendimiento del cultivo.

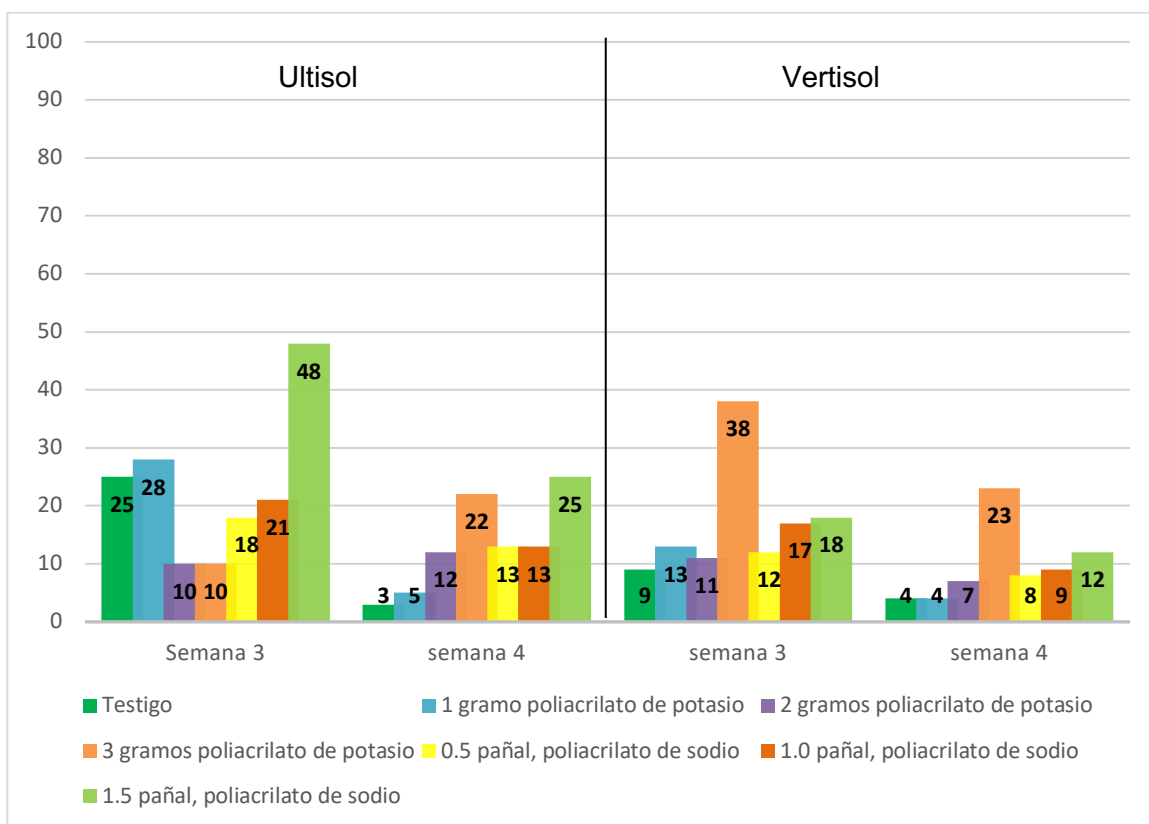


Figura 6. Comparación de los porcentajes de humedad a capacidad de campo durante la tercera y cuarta semana en suelo arcilloso no expandible y expandible.

Es relevante indicar que durante las cuatro semanas el tratamiento que predominó en el suelo ultisol fue el que contenía 1.5 poliacrilato de sodio (pañal desechable) y para el suelo vertisol el que mejor retención de humedad presentó fue el de 3 gramos poliacrilato de potasio (hidrogel).

Estos porcentajes de retención de agua según Martyn y Szot (2001) varían por la composición de los productos y también depende de la textura del suelo. En este caso el suelo vertisol contiene arcillas esmectitas en donde la motmorillonita con estructura 2:1, pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlamina dando lugar al hinchamiento (García, 2011).

Jordán (2005), el suelo ultisol contiene caolinita y en pequeñas cantidades cuarzo con estructura 1:1, su intercambio cátonico es muy bajo, por ende, la fertilidad del suelo es baja, al igual que su capacidad de retención de humedad.

En un estudio realizado por Fonteno y Bilderback (1993), demostraron que entre más espacio poroso tenga, es más fácil para el hidrogel liberar agua, es por ello que en suelos arcillosos (micro poros) su desempeño no favorezca al cultivo.

También está relacionado según menciona (Bahena, 2013), con el uso de poliacrilato de potasio en diferentes sustratos y dosis existe una reducción de riego en consumo hídrico, ya que esto depende del tipo de sustrato y la capacidad de retención de agua de la dosis incorporada y a su vez la cantidad de agua absorbida por la planta.

#### **4.8 Materia Seca**

La planta de frijol produce y distribuye materia seca en diferentes partes y órganos, según la etapa de desarrollo en proceso; los órganos compiten entre sí, por nutrimentos y agua, elementos que casi siempre están en cantidades limitadas (White 1991).

El análisis de comparación de medias para el porcentaje de materia seca en frijol *Vigna unguiculata* (ver cuadro II.) se observó diferencia altamente significativa en la relación suelo por tratamiento y en la relación suelo por tratamiento por poliacrilato, lo cual es corroborado por (Confalone, 2008) que dice que la producción de materia seca total es un resultado de la eficiencia del follaje del

cultivo en la intercepción y utilización de la radiación solar y factores como disponibilidad de nutrientes y humedad disponible durante el ciclo de crecimiento. Sin embargo, esta eficiencia puede ser influenciada por la cantidad de radiación solar, la habilidad de las hojas para fotosintetizar, la arquitectura de la planta, la respiración, entre otros, lo que se resume en factores internos de crecimiento y factores externos relacionados con el ambiente y las prácticas de manejo utilizadas durante el ciclo del cultivo.

*Cuadro II. Análisis de varianza de suelos arcillosos ultisol y vertisol para evaluar la materia seca (%) en Frijol Vigna unguiculata.*

Variable dependiente: Ms		
Fuente	DF	Pr > F
Modelo	15	<.0001
Error	48	
Total correcto	63	
R- cuadrado 0.666531		Coef Var 44.71738
Fuente	DF	Pr > F
S	1	0.2341
T	3	0.0085
S*T	3	0.0002
P	1	0.0215
S*P	1	0.0022
T*P	3	0.5012
S*T*P	3	<.0001

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

#### 4.9 Sistema radicular

El análisis de comparación de medias para evaluar el peso del sistema radicular en frijol *Vigna unguiculata* (cuadro III) se observó diferencia altamente significativa de la fuente tratamiento (Pr <.0001), también de la variable suelo por tratamiento y tratamiento por poliacrilato. Para las fuentes suelo por tratamiento por poliacrilatos no se registraron diferencias significativas.

El cultivo del frijol chiricano presenta una raíz profunda y pivotante con abundantes ramificaciones, permitiendo que las plantas puedan absorber mayor cantidad de agua y nutrimentos en comparación a los frijoles comunes. (ASPROMOR, 2012)

*Cuadro III. Análisis de varianza de suelos arcillosos ultisol y vertisol para evaluar el peso del sistema radicular.*

Procedimiento GLM Variable dependiente: Sr		
Fuente	DF	Pr > F
Modelo	15	<.0001
Error	48	
Total correcto	63	
R- cuadrado 0.780852		Coef Var 51.26682
Fuente	DF	Pr > F
S	1	0.0225
T	3	<.0001
S*T	3	0.0005
P	1	<.0001
S*P	1	0.4944
S*T*P	3	<.0001
T*P	3	0.3926
S*T*P		

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

#### **4.10 Resultados de los análisis de la media para el porcentaje de materia seca y sistema radicular.**

En el análisis sobre el efecto de las diferentes dosis de hidrogel comercial (poliacrilato de potasio) y el gel de los pañales desechables (poliacrilato de sodio), sobre el comportamiento de la materia seca procedente del frijol *Vigna unguiculata* (Cuadro IV) muestra que los mayores valores se obtuvieron en el tratamiento cuatro que se aplicaron tres gramos de hidrogel comercial, donde los aportes de materia seca fueron de 29 % el cual difiere 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 los tratamientos que no se encontraron diferencias significativas fueron el tratamiento cuatro que contenía 1.5 pañal desechable (poliacrilato de sodio) el tratamiento tres y tratamiento dos que contenían hidrogel comercial (poliacrilato de potasio) y el tratamiento 1 (testigos).

Los tratamientos que más bajo contenido porcentual de materia seca fueron aquellos que se le aplicaron 0.5 y 1.0 poliacrilato de sodio (pañal desechable).

En cuanto a la media del porcentaje (%) del sistema radicular se destacó el tratamiento tres el cual contenía dos gramos de hidrogel comercial (poliacrilato de potasio) con un 24%; el tratamiento cuatro con tres gramos de hidrogel comercial obtuvo 22% ambos presentaron mejor desarrollo radicular. En cuanto a los tratamientos testigos y el de un gramo con hidrogel comercial no tuvieron diferencia significativa.

Cuadro IV. *Media del porcentaje de materia seca y sistema radicular.*

T	P	N	-----Ms-----	-----Sr-----
			Media	Media
1	1	8	17.5262500	2.4112500
1	2	8	17.7937500	2.2487500
2	1	8	21.5200000	4.9562500
2	2	8	13.1862500	9.2700000
3	1	8	23.0812500	24.3200000
3	2	8	14.7387500	8.3387500
4	1	8	29.9725000	22.8975000
4	2	8	24.7775000	10.0300000

"P< 0.01, es significativo al 1%, P>0.05 NS= no es significativo al 5%"

Sr= Sistema radicular P 1= Poliacrilato de potasio P 2= Poliacrilato de sodio

#### **4.11 Resultados de la prueba de rangos múltiples de Duncan, análisis de las variables medidas.**

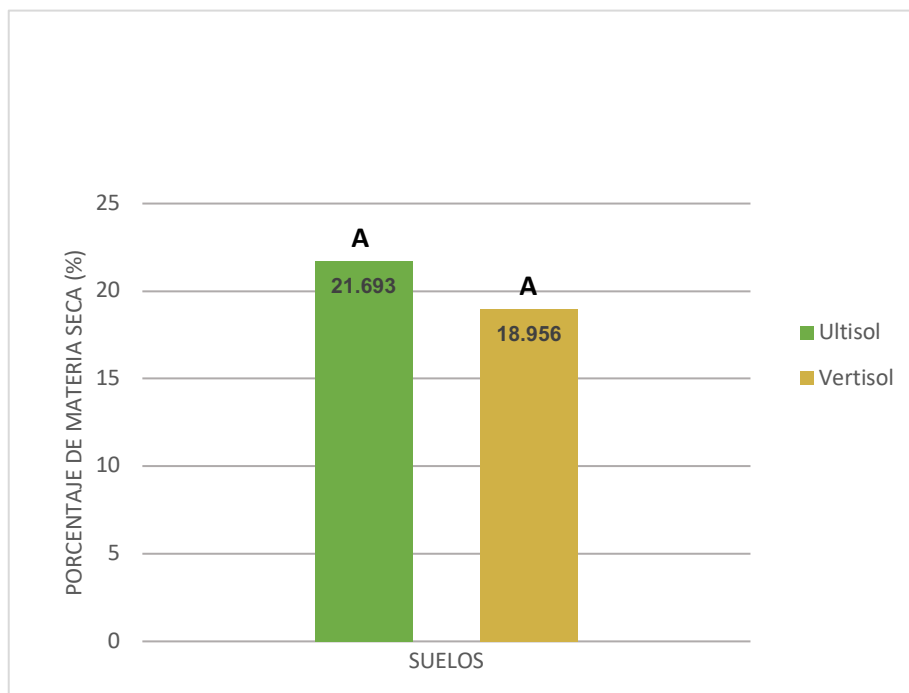
La prueba de Duncan ajusta la diferencia crítica considerando si los dos promedios que se comparan son adyacentes o sí por el contrario existe uno o más medias entre las medias que se están comparando.

A continuación se presentan los resultados obtenidos a través de la prueba del rango múltiple Duncan luego de comparar las medias de las variables materia seca y sistema radicular con los diferentes suelos, dosificaciones y usos de los poliacrilatos

#### 4.11.1 Prueba del rango múltiple de Duncan para Materia seca vs Suelo de la FCA, Chiriquí y suelo del Bongo, La Villa de Los Santos.

En la figura 7. correspondiente a la materia seca no existe diferencia estadística significativa entre la media de los suelos, sin embargo, comparando los porcentajes de ambos suelos se muestra una diferencia porcentual de 2.8.

Para Brutti (2018), el déficit de agua en el suelo altera muchos procesos celulares que intervienen en la acumulación de materia seca. También puntualizó que las plantas requieren que los nutrientes se encuentren disueltos en la solución del suelo para que puedan ser absorbidos y translocados hasta los lugares donde van a ser metabolizados.



*Figura 7. Comparación Media de suelo arcilloso no expandible vs media de suelo arcilloso expandible con Prueba Duncan para % de Materia Seca.*

#### 4.11.2 Prueba del rango múltiple de Duncan para Sistema radicular vs suelo de la FCA, Chiriquí y suelo del Bongo, La Villa de Los Santos.

En este caso la prueba Duncan indica (figura 8) la interacción no se evidencia diferencia significativa.

Castellanos (2000), indica que la condición física de un suelo determina su capacidad de sostenimiento y facilidad para la penetración de raíces.

Según Rucks y col. (2004), el crecimiento de las plantas, está determinado por factores atmosféricos, biológicos y edáficos. Siendo las propiedades químicas y físicas del suelo que determinan el crecimiento radicular y la dinámica del aire y del agua. Estas propiedades del suelo, están determinadas por las características cuantitativas y cualitativas del espacio del suelo no ocupado por sólidos, denominado espacio poroso.

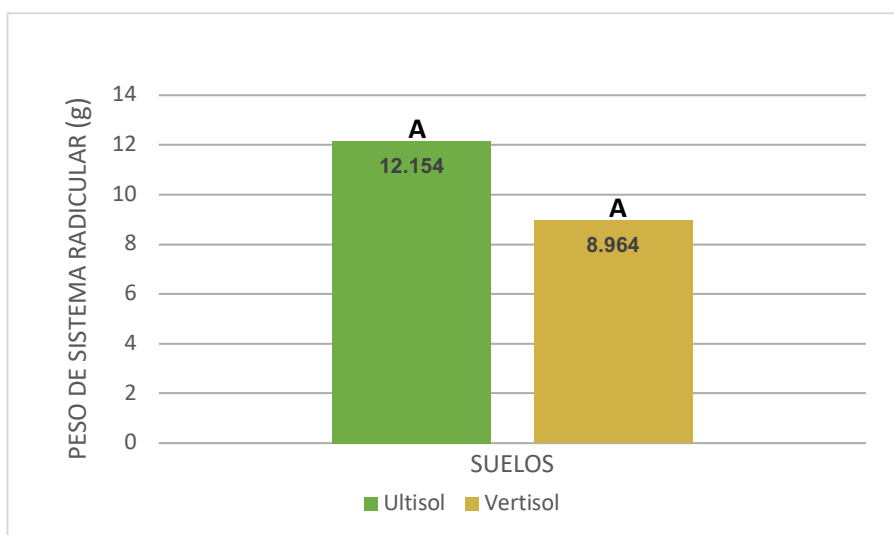


Figura 8. Media de suelo arcilloso no expandible vs media de suelo arcilloso expandible con Prueba Duncan para crecimiento de Sistema radicular.

#### 4.11.3 Prueba del rango múltiple de Duncan para Materia seca vs tratamientos.

Observamos que por la aplicación del Método de Duncan se forman cuatro grupos de tratamientos en una frecuencia de 16 repeticiones. Los promedios poblacionales de tratamientos dentro de los grupos entre ellos son diferentes. Se evidencia que no existe una diferencia significativa entre tratamientos, según lo reportado por Manikandam (2015), la materia seca obtenidas en pruebas de maíz mostró resultados similares. Por otra parte, Borda (2013), determinó en su estudio que el peso seco aéreo no dependía del contenido de la cantidad de poliacrilato empleado.

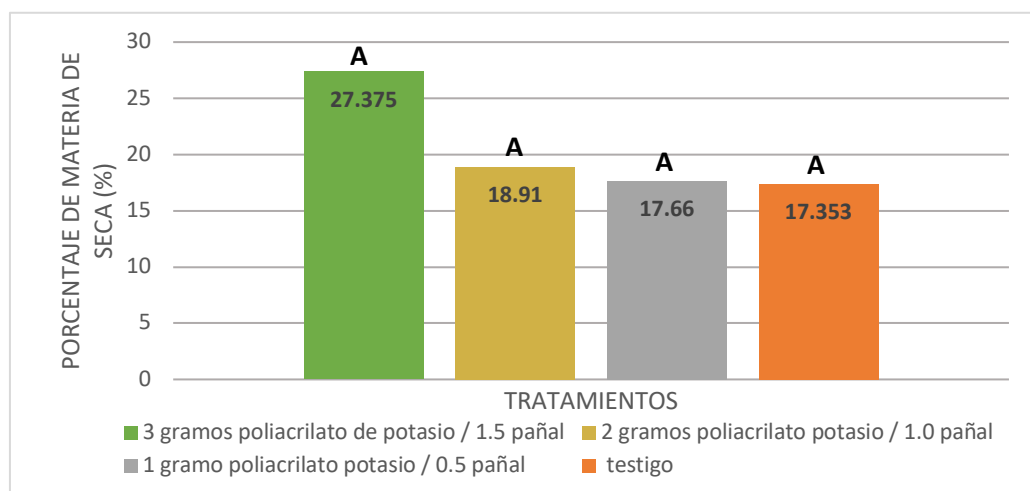


Figura 9. Media de los tratamientos (dosis) con Prueba Duncan para % de materia seca.

#### 4.11.4 Prueba del rango múltiple de Duncan para Sistema radicular vs tratamientos.

En los resultados de la figura 10. se observa que no hay diferencia entre los tratamientos tres (16.46 g) y cuatro (16.33 g), sin embargo, ambos tratamientos a comparación con el testigo (2.33 g) tienen diferencia altamente significativa.

En cuanto a los tratamientos 3 y 4 vs el tratamiento 2 (7.1 g) también existe una diferencia. Lo que indica que el sistema radicular de la planta se ve influenciado por la disponibilidad de agua y nutrimentos.

Según Zapeta (2012), los polímeros retenedores de humedad se hinchan al absorber el agua y abren la estructura del suelo permitiendo una mejor aireación del sistema radicular y reduciendo la compactación lo que produce un mejor drenaje.

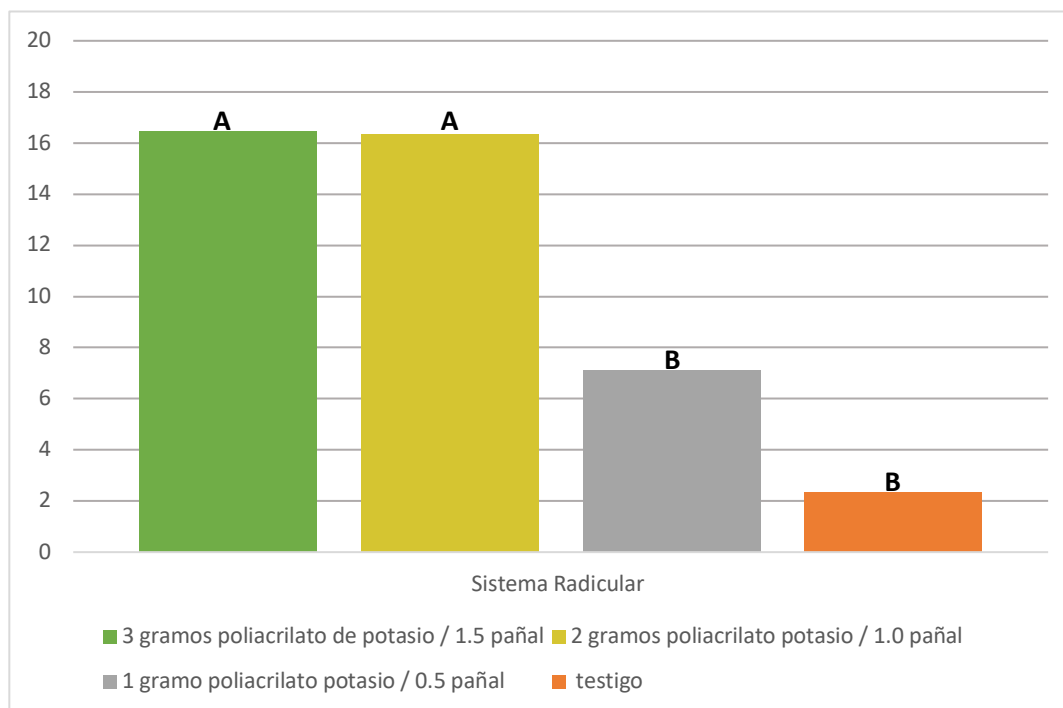


Figura 10. Media de los tratamientos (dosis) con Prueba Duncan para % de sistema radicular.

#### 4.11.5 Prueba del rango múltiple de Duncan para Materia seca vs poliacrilatos para cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*).

En la figura 11. correspondiente a la materia seca se observa que la interacción entre los dos factores en el estudio no fue significativa. En lo que se refiere a los factores en forma independiente, el hidrogel comercial (poliacrilato de potasio) obtuvo mejor resultado 23% y el poliacrilato de potasio (hidrogel) y el poliacrilato de sodio (pañales desechables) 17.6%, es decir, que existe una diferencia porcentual de 5.4%.

Zapeta (2012) en su trabajo de grado, sugiere que el poliacrilato de potasio, resulta ser el polímero más adecuado para utilizar como hidrogel en comparación con el poliacrilato de sodio, ya que se evidencian ventajas en términos de crecimiento de la planta y infiltración en el agua por sus componentes de potasio, diferentes a las sales del poliacrilato de sodio.

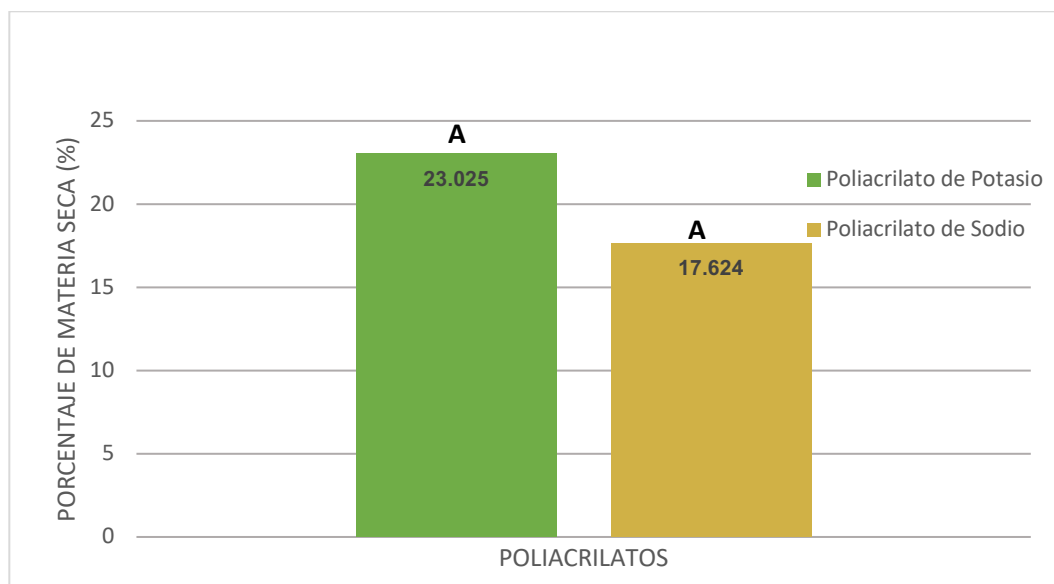


Figura 11. Media de los poliacrilatos (potasio y sodio) con Prueba Duncan para porcentaje de materia seca.

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

En el agrupamiento de Duncan (figura 12) muestra que hubo diferencias significativas, es decir, que en forma independiente produjeron un efecto sobre el peso promedio de las raíces siendo el poliacrilato de potasio (hidrogel) quien domino sobre el crecimiento radicular con 13.6 g en cambio, el poliacrilato de sodio (pañales desechables) obtuvieron 7.5 g, es decir que existe una diferencia estadística significativa con una diferencia de 6.2 g.

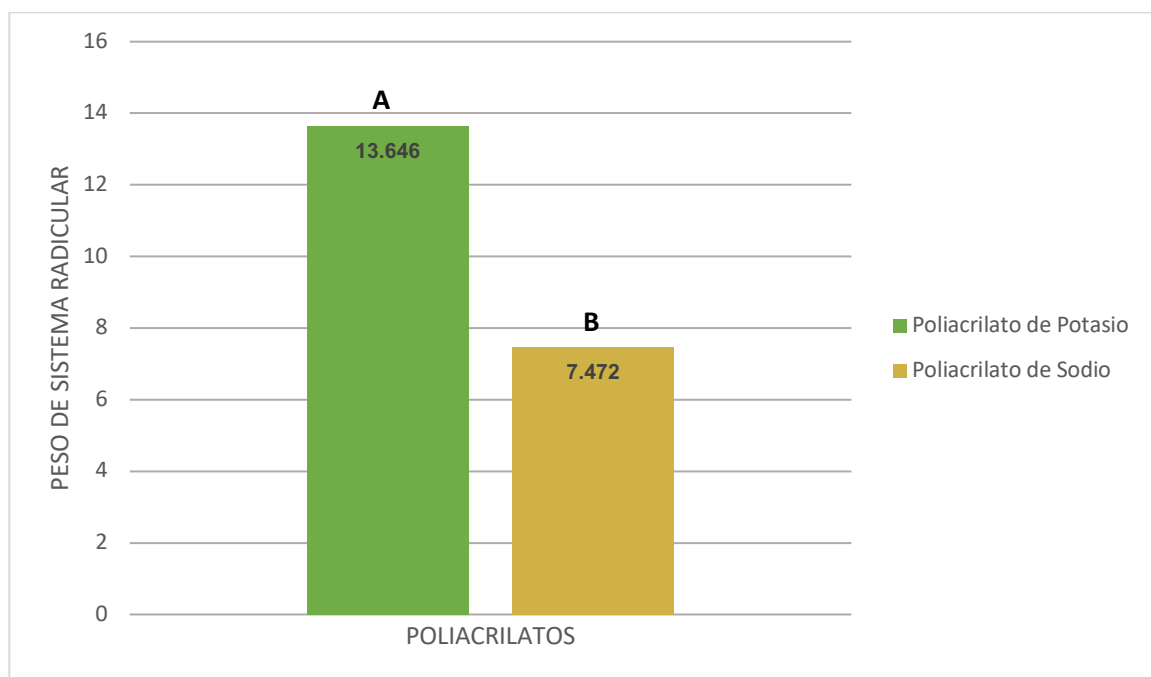


Figura 12. Media de los poliacrilatos (potasio y sodio) con Prueba Duncan para crecimiento del sistema radicular.

## 5. CONCLUSIONES

Se pudo establecer, que el cultivo con polímeros hidroabsorbentes comparado con el cultivo sin polímeros, genera un mayor impacto positivo en el recurso hídrico y suelo, de acuerdo a la frecuencia de riego. Es decir, el uso de ambos poliacrilatos es una buena alternativa para implementar como solución a amenazas climáticas especialmente la sequía; ya que, el agricultor minimizaría el consumo del agua que utiliza normalmente para el riego.

Con la aplicación de los poliacrilatos para ambos suelos ultisol y vertisol se logró mejorar el porcentaje de agua disponible tomando en cuenta que ambos suelos presentan problemas de drenaje por su alto contenido de arcillas y poco material orgánico.

Al analizar diferentes fichas técnicas de pañales desechables se concluye que no es un producto tóxico, es demasiado voluminoso para ser absorbido en los tejidos y células de planta, por lo que puede ser utilizado como un hidroretenedor.

Se obtuvo mayor rendimiento en términos de producción de materia seca y sistema radicular de ambos tratamientos con poliacrilato de potasio (hidrogel) y poliacrilato de sodio (gel de pañales desechables) en relación al grupo testigo.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar la investigación en un invernadero que tenga las condiciones controladas ya que, el invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias no cuenta con las condiciones ambientales controladas por lo que, la temperatura tiende a aumentar considerablemente.

Realizar la investigación con diferentes texturas de suelo utilizando diferentes dosis de poliacrilato de sodio (pañales desechables); ya que, todos los suelos poseen características hídricas distintas y no tienen la misma capacidad de retención de agua.

Hacer otros estudios con diferentes cultivos y sustratos que brinden facilidad de tener acceso al sistema radicular de las plantas para su extracción sin causarle daño.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**Anónimo. 1984.** Sinopsis de los resultados obtenidos con polimeros, realizados por el Elmbridge Borough Council. Elmbridge, Inglaterra. Consultado el 19 abr. 2018. Disponible en [http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2710/Magana\\_Reyes\\_Ana\\_Gabriela\\_del\\_Rosario.pdf?sequence=1](http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2710/Magana_Reyes_Ana_Gabriela_del_Rosario.pdf?sequence=1)

**Anónimo. 1990.** East Bay Municipal Utility District planting experiments using Agroqel P-4. U.S.A. Consultado el 19 abr. 2018. Disponible en [http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2710/Magana\\_Reyes\\_Ana\\_Gabriela\\_del\\_Rosario.pdf?sequence=1](http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2710/Magana_Reyes_Ana_Gabriela_del_Rosario.pdf?sequence=1)

**Antonio, J. 2016.** Climas de Panamá. Consultado 3 oct. 2018. Disponible en <https://es.slideshare.net/juanantonio09/climas-de-panam-4-59372778>

**Apaseo L. A. y Pérez T. G., 1995.** “Evaluación del Papel que Desempeña el Pañal Desechable en la Retención y Distribución de Humedad en una Muestra de Suelo del Municipio de Ecatepec”. Consultado 22 sep. 2019. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/polanco.pdf>

**Aqua-Gel. S.f.** Polímero Agrícola Acondicionador de Suelos. Consultado 16 mar. 2018. Disponible en <http://aquagel.strikingly.com>

**AquaSafePro. S.f.** Polimeros Superabsorbentes. Consultado 15 mar. 2018.

Disponible en <https://www.aquasafepro.mx/polimero-super-absorbente>

**Armitage, M & Vines, H. 1985.** Influencia del uso de hidrogel como

antitranspirante para estrés hídrico en flores *Cineria* durante el proceso de

fotosíntesis. Consultado 18 abr. 2018. Disponible en:

<http://www.reibci.org/publicados/2016/oct/1700103.pdf>

**ASPROMOR (Asociación de Productores Agropecuarios del Distrito de**

**Morropón). 2012.** Manual de cultivo del frijol Caupí. Consultado 22 ago.

2019.

Disponible

en

[https://www.swisscontact.org/fileadmin/user\\_upload/COUNTRIES/Peru/Doc](https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/CAUPI.pdf)

[uments/Publications/CAUPI.pdf](https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/CAUPI.pdf)

**Bahena, S. 2013.** Ciencia Tecnología e Innovación Para México. Consultado 14

oct. 2019. Disponible en URL:[http://pcti.mx/articulos/item/poliacrilato - de -](http://pcti.mx/articulos/item/poliacrilato-de-potasio-uso-eficiente-de-agua-y-nutrientes-en-el-cultivo-de-ornamentales)

[potasio - uso - eficiente - de - agua - y - nutrientes - en - el - cultivo -](http://pcti.mx/articulos/item/poliacrilato-de-potasio-uso-eficiente-de-agua-y-nutrientes-en-el-cultivo-de-ornamentales)

[de - ornamentales](http://pcti.mx/articulos/item/poliacrilato-de-potasio-uso-eficiente-de-agua-y-nutrientes-en-el-cultivo-de-ornamentales)

**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\\_hidro](https://www.researchgate.net/publication/237038364_Evaluacion_de_hidrogeles_para_aplicaciones_agroforestales)

[geles\\_para\\_aplicaciones\\_agroforestales](https://www.researchgate.net/publication/237038364_Evaluacion_de_hidrogeles_para_aplicaciones_agroforestales)

**Bidwell, R. 1990.** Fisiología Vegetal. Consultado 22 ago. 2019. Disponible en

[exa.unne.edu.ar/biología/fisiología.vegetal/fisiologiavegetalbidwell.pdf](http://exa.unne.edu.ar/biología/fisiología.vegetal/fisiologiavegetalbidwell.pdf)

**Billmeyert, F. 2004.** Ciencia de los Plimeros. Consultado 15 mar. 2018.

Disponible en

<https://books.google.com.pa/books?id=vL9QrpOKsQcC&printsec=frontcover&dq=polimeros&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi2q7O1x5raAhUL2IMKHc7dAzlQ6AEIJjAA#v=onepage&q=polimeros&f=false>

**Borda, M. 2013.** Efecto del residuo industrial poliacrilato en el crecimiento de

plantas de tomate. Consultado el 14 oct . 2019. Disponible en G Arcayo

Palacios - 2018 - repositorio.lamolina.edu.pe

**Brito, O. 2007.** Aditivos degradantes de polipropileno y polietileno en pañales

desechables. Consultado el 29 mar. 2019. Disponible en

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7137/BRITO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Brutti, L. 2018.** Suelos: la falta de humedad afecta la absorción de nutrientes.

Consultado el 9 oct. 2019. Disponible en

<https://intainforma.inta.gob.ar/suelos-la-falta-de-humedad-afecta-la-absorcion-de-nutrientes/>

**Castellanos, Z. 2000.** Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas.

Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>

**CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2017.**

Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación. Consultado 20 mar. 2018. Disponible en

[https://www.namacafe.org/sites/default/files/content/proyecto\\_cascada\\_modulo\\_2\\_impactos\\_del\\_cambio\\_climatico\\_en\\_la\\_agricultura.pdf](https://www.namacafe.org/sites/default/files/content/proyecto_cascada_modulo_2_impactos_del_cambio_climatico_en_la_agricultura.pdf)

**Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1982.** Problemas de

Campo en los Cultivos de Frijol en América Latina en Cali, Colombia. Consultado 22 abr. 2018. Disponible en

<http://cenida.una.edu.ni/relectronicos/REf01e74.pdf>

**Centro Internacional de Agricultura (CIAT). 2000.** Conceptos básicos de la

fisiología del frijol. Consultado 25 jun. 2019. Disponible en <https://books.google.com.pa/books?id=EEoOww3driYC&pg=PA25&dq=materia+seca+en+frijol&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj2sJD0uIXkAhVIqIkKHRCgDIkQ6AEIJzAA#v=onepage&q=materia%20seca%20en%20frijol&f=false>

**Civantos, D. 2011.** Cómo usar la tecnología de un pañal para cambiar la forma

de cultivar. Consultado el 19 abr. 2018. Disponible en

<https://www.yorokobu.es/como-usar-la-tecnologia-de-un-panal-para-cambiar-la-forma-de-cultivar/>

**Confalone, A. 2008.** *Crecimiento y desarrollo del cultivo de haba parametrización*

*del submodelo de fenología de cropgro-fababean.* Consultado el 14 oct.

2019. Disponible en  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10155/1/T-UCE-0004-93.pdf>

**ConSentidoVerde. 2019.** Pañales desechables: PRODUCTOS CONTAMINANTES Y RIESGOSOS. Consultado el 25 de jul. De 2019 Disponible en <https://consentidoverde.com/articulo-panales-toallas-sanitarias-y-tampones:-productos-contaminantes-y-riesgosos>

**Consejo Nacional del Agua (Conagua). 2017.** EL AGUA EN PANAMÁ. Consultado el 22 abr. 2018. Disponible en <http://www.conagua.gob.pa/pnsh/estado-del-agua/el-agua-en-panama.html>

**Etesa. 2018.** Datos Climáticos Historicos. Consultado el 1 may. 2018. Disponible en [http://www.hidromet.com.pa/clima\\_historicos.php?sensor=3](http://www.hidromet.com.pa/clima_historicos.php?sensor=3)

**Estrada, R; Torres, D; Mendoza, D; Rodriguez, V. 2010.** HIDROGELES BIOPOLIMÉRICOS POTENCIALMENTE APLICABLES EN AGRICULTURA. Consultado 12 mar. 2018. Disponible en <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/MAR11/estrada.pdf> (ehu.eus)

**Dorraj, S. 2010.** Efectos de polímeros hidrofílicos y la salinidad del suelo en el crecimiento del cultivo *Zea Mays* en suelos arenosos y limosos. Consultado 18 abr. 2018. Disponible en: <http://www.reibci.org/publicados/2016/oct/1700103.pdf>

- Fonteno, C. & Bilderback, T. 1993.** Impacto del hidrogel sobre las propiedades físicas y estructurales de diferentes suelos. Consultado 18 abr. 2018. Disponible en: <http://www.reibci.org/publicados/2016/oct/1700103.pdf>
- García, J. 2011.** Retención de humedad y su estimación mediante funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de Artemisa y Mayabeque. Consultado 15 de ago. 2019. Disponible en <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CU2012400688>
- García, D. 2013.** Buscan enfrentar la sequía con polímeros súper-absorbentes. Consultado 12 mar. 2018. Disponible en <https://www.agrocom.co/polimeros-super-absorbentes-en-la-sequia.pdf> (agrocom.co)
- García, E. 2011.** Las arcillas: propiedades y usos. Consultado 13 oct. 2019. Disponible en <http://campus.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF>
- Geografic, N. 2010.** The Human Footprint. Consultado 19 ago. 2019. Disponible en <http://www.morethangreen.es/en/the-human-footprint/>
- Hernández, O. 2007.** Hidrogeles Mejoradores de Cultivos Agrícolas. Consultado 17 mar. 2018. Disponible en <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/404/1/Obdulia%20Gonzalez%20Hernandez.pdf>
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola). 2010.** Manual de Producción Comercial y de Semilla de Frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) Consultado 18 mar. 2018. Disponible en [www.icta.gob.gt/granosBasicos/produccionSemillaFrijol.pdf](http://www.icta.gob.gt/granosBasicos/produccionSemillaFrijol.pdf)

**Ibáñez, J. 2006.** El Agua en el Suelo 4: Textura del Suelo y Propiedades Hídricas.

Consultado 15 de ago. 2019. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887>

**INFOAGRO. 2017.** El cultivo de la judía (*Vigna unguiculata*). Consultado 13 oct.

2019. Disponible en [https://www.infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_judia\\_\\_habichuela\\_o\\_frijol\\_\\_parte\\_i\\_.asp](https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_judia__habichuela_o_frijol__parte_i_.asp)

**INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología**

**Agropecuaria). 2016.** Suelos de Costa Rica orden ultisol. Consultado 22 de sep. De 2019. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1604.pdf>

**INTAGRI. 2017.** Clasificación del Suelo: WRB y Soil Taxonomy. Serie Suelos.

Núm. 28. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. Consultado 22 de sep. De 2019. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/suelos/clasificacion-del-suelo-WRB-y-soil-taxonomy>

**Islam, M. 2011.** Los polímeros superabsorbentes (SAP) mejoran la producción

eficiente del cultivo *Zea mays* en áreas afectadas por la sequía en el norte de China. Consultado 18 abr. 2018. Disponible en: <http://www.reibci.org/publicados/2016/oct/1700103.pdf>

**Jordán, A. 2005.** Manual de Edafología. Consultado 13 oct. 2019. Disponible en

[http://ciag-umsa.es/wp-content/uploads/2018/12/suelo-completo\\_manual-de-edafologia.pdf](http://ciag-umsa.es/wp-content/uploads/2018/12/suelo-completo_manual-de-edafologia.pdf)

- Manikandan, A. 2015.** Evaluation of Zeolite Based NITROGEN Nano-fertilizers on maize Growth, Yield and Quality on Inceptisols and Alfisols. Consultado 13 oct. 2019. Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/Angamuthu\\_Manikandan/publication/284182197\\_Evaluation\\_of\\_zeolite\\_based\\_nitrogen\\_nano-fertilizers\\_on\\_maize\\_growth\\_yield\\_and\\_quality\\_on\\_inceptisols\\_and\\_alfisols/links/564ee78a08ae4988a7a6b4ba/Evaluation-of-zeolite-based-nitrogen-nano-fertilizers-on-maize-growth-yield-and-quality-on-inceptisols-and-alfisols.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Angamuthu_Manikandan/publication/284182197_Evaluation_of_zeolite_based_nitrogen_nano-fertilizers_on_maize_growth_yield_and_quality_on_inceptisols_and_alfisols/links/564ee78a08ae4988a7a6b4ba/Evaluation-of-zeolite-based-nitrogen-nano-fertilizers-on-maize-growth-yield-and-quality-on-inceptisols-and-alfisols.pdf)
- Martyn, W. y Szot, P.** Influence of super absorbents on the physical properties of horticultural substrates. Consultado 13 oct. 2019. Disponible en [http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/11587/cp-02-rivera-absorcin.pdf](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/11587/cp-02-rivera-absorcin.pdf)
- Mayorga, C; Mendoza, R. y Rodríguez, A. 2017.** Plantitas en Pañales. Consultado 16 mar. 2018. Disponible en <http://vinculacion.dgire.unam.mx/Memoria-Congreso-2017/trabajos-ciencias-biologicas/biologia/3.pdf>
- MIDA (Ministerio de Desarrollo agropecuario. 2013.** El Cultivo de Poroto. Consultado 18 mar. 2018. Disponible en <https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/poroto.pdf>
- Miranda, N & Belmar, N. 1977.** "Déficit hídrico y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)", Agricultura Técnica. Consultado 2 de abr. 2018. Disponible en: <http://www.reibci.org/publicados/2014/julio/2200132.pdf>

**Nava L. E. 1993.** "Tratamiento de Pañales Desechables Empleando un Cultivo de Hongos Comestibles". Consultado 22 sep. 2019. Disponible en <https://docplayer.es/2259357-Revista-internacional-de-contaminacion-ambiental-issn-0188-4999-rvp-atmosfera-unam-mx-universidad-nacional-autonoma-de-mexico-mexico.html>

**Ojeda, M. 2013.** Los Polímeros. Consultado 15 mar. 2018. Disponible en <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/08/polimeros.html>

**Ojeda, M. 2013.** Polímeros Super Absorbentes. Consultado 16 mar. 2018. Disponible en <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/01/polimeros-super-absorbentes.html>

**Projar. 2015.** Hidrogel retenedor de agua. Consultado 08 de oct. 2018. Disponible en <https://www.projar.es/productos/productos-hortofruticultura-jardineria/fertilizantes/retenedor-agua/hidrogel-retenedor-de-agua-stockosorb/>

**Ríos, C. 2010.** Polímeros Naturales y Sintéticos. Ciencia y Desarrollo. Consultado 15 de mar. 2018. Disponible en <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/241/Articulos/polimeros-naturales-y-sinteticos.html>

**Rodríguez, E. 1990.** El cultivo del frijol poroto en Panamá. Consultado 18 mar. 2018. Disponible en [bdigital.binal.ac.pa/rdd/down.php?ftd=idiap/frijol.pdf](http://bdigital.binal.ac.pa/rdd/down.php?ftd=idiap/frijol.pdf)

**Rodríguez, M. 2016.** Más legumbres y frijoles para enfrentar el hambre y la sequía. Consultado 16 mar. 2018. Disponible en

<http://laestrella.com.pa/vida-de-hoy/planeta/legumbres-frijoles-para-enfrentar-hambre-sequia/23926127>

**Rojas, B. 2006.** Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos. Iberoamericana de Polímeros. Consultado 15 de mar. 2018. Disponible en <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/AGO06/gascue.pdf>

**Rucks, L; García, F; Kaplán, A; Ponce De León, J y Hill, M. 2004.** Propiedades Físicas de los Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 78. p. Consultado el 16 de mar. 2018. Disponible en <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>

**Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012.** Estimacion de las demandas de consumo de agua. Consultado 20 abr. 2018. Disponible en [http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO\\_DEMANDAS%20DE%20AGUA.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_DEMANDAS%20DE%20AGUA.pdf)

**Serrano, L. 2015.** Geografía de Panamá. Consultado 08 oct. 2018. Disponible en <http://leydisserranoturismo.blogspot.com/2015/09/mapa-de-las-zonas-de-vida-de-panama.html>

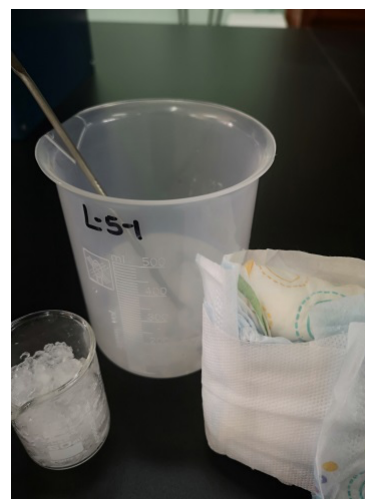
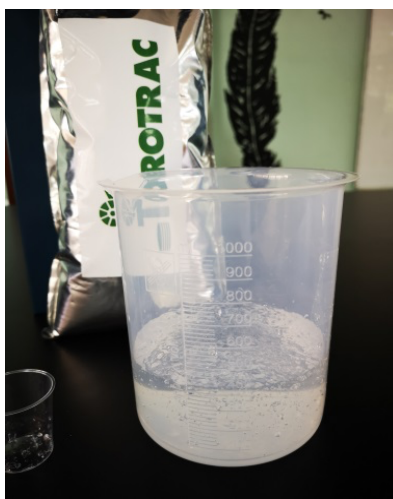
**Vasconcelos, J. 2016.** Estudio de calidad de pañales desechables. Consultado 21 feb. 2019. Disponible en <http://www.consumer.es/web/es/edicion-impresa/>

- White, J. 1991.** Conceptos básicos en fisiología de frijol. En: Frijol: Investigación y Producción. López, M., F. Fernández y A. van Schoonhoven (eds). pp: 43-60. Consultado el 20 may. 2018. Disponible en <http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances2008/Agronomia/ProduccionAgricola%28pp%201-86%29/ChavarinEspinozalrisEtelvina/25-30.pdf>
- Zapeta. 2012.** Efecto de cinco dosis de un polímero retenedor de humedad y cuatro frecuencias de riego en almacigo de Rambutan (*Nephelium lappaceum*. Sapindaceae.) En Coatepeque, Quetzaltenango. Consultado el 1 oct. 2019. Disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/3517/1/tnp331182.pdf>
- Zuñiga, F. 2007.** Hidrorretenedores solución alternativa a problemas de escasez de agua en cultivos frutales, agrícolas y forestales. Consultado 22 sep. 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)

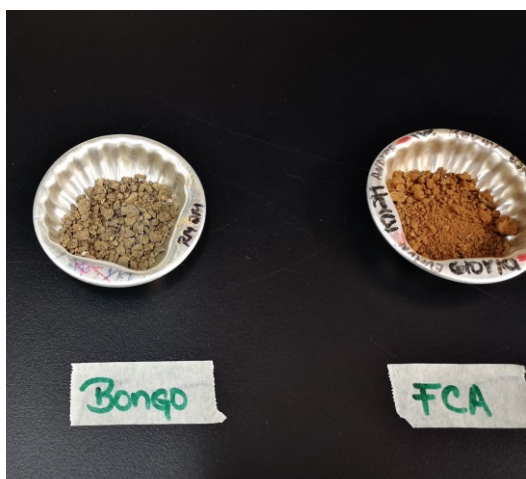
## 8. ANEXOS

### I. Pruebas en laboratorio

- Peso y absorción de agua del poliacrilato de potasio y sodio



- Análisis Granulométrico















## II. Establecimiento de ensayos en invernadero



















## III. Programación de riegos y fertilización





## Calendario de Riego y Fertilización

S	M	T	W	T	F	S
<b>Apr 2019</b>						
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15 	16	17	18	19 	20
21	22 	23	24	25 	26 	27
28	29 	30				
<b>May 2019</b>						
			1	2 	3	4
5	6 	7	8	9	10 	11
12	13	14 	15	16	17 	18
19	20 	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

## Datos:

<u>Riegos</u>		<u>Fertilización</u>	
	15 Apr (Todos los potes)		1 <sup>era</sup> 22 Apr
	19 Apr (0.5 Na, 1 Na y Testigos)		2 <sup>da</sup> 6 May
	22 Apr (Todos los potes)		3 <sup>era</sup> 20 May
	25 Apr (0.5 Na, 1 Na y Testigos)		
	26 Apr (1g K y 1.5 Na)		
	29 Apr (2g K y 3g K)		
	2 May (Testigos)		
	6 May (Todos los potes)		
	10 May (0.5 Na, 1 Na y Testigos)		
	11 May (1g K y 1.5 Na)		
	14 May (2gr K y 3g K)		
	17 May (0.5 Na, 1 Na y Testigos)		
	20 May (Todos los potes)		

<u>Descripción</u>		
	<i>Pañal desechable</i>	<i>Hidrogel comercial</i>
	Poliacrilato de	Poliacrilato de
	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>
	* 1.5 pañal (450ml)	*3gr (1200ml)
	* 1.0 pañal (300ml)	*2gr (800ml)
	* 0.5 pañal (150ml)	*1gr (400ml)
	Testigos (400ml)	

#### IV. Fertilización

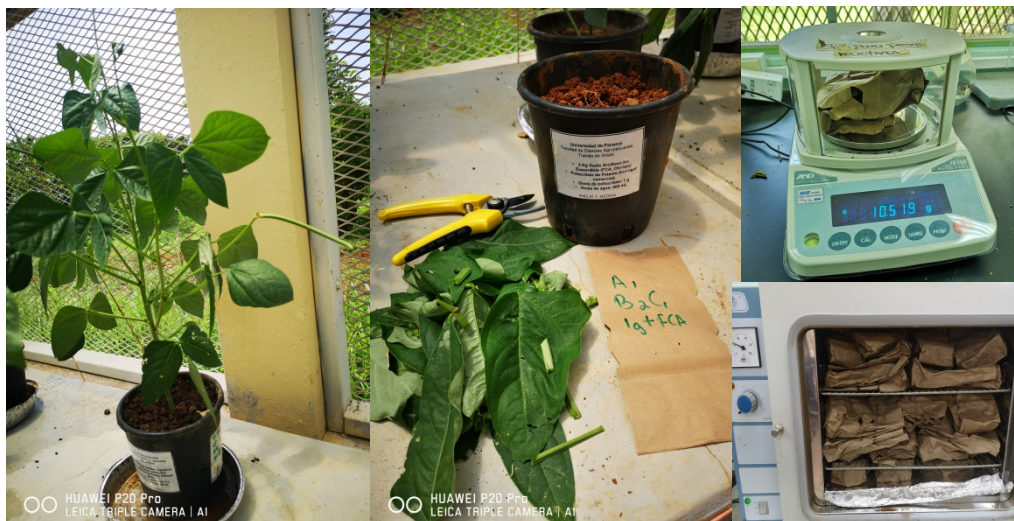


#### V. Determinación de humedad a capacidad de campo



## VI. Toma de datos de variables de investigación

### - Materia Seca y Sistema Radicular



## VII. Desarrollo fenológico del cultivo de frijol *Vigna unguiculata*.

