

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

**EVALUACIÓN DEL APORTE DE AGUA MEDIANTE POLÍMEROS
HIDROABSORBENTES EN CUATRO ÓRDENES DE SUELO
(MOLLISOLES, ULTISOLES, ALFISOLES Y ANDOSOLES) BAJO
AMBIENTE CONTROLADO DE INVERNADERO, EN FACULTAD DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.**

ELICEO D. MORENO R.

4-768-1228

**DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

2017

**EVALUACIÓN DEL APORTE DE AGUA MEDIANTE POLÍMEROS
HIDROABSORBENTES EN CUATRO ÓRDENES DE SUELO
(MOLLISOLES, ULTISOLES, ALFISOLES Y ANDOSOLES
EN EL INVERNADERO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.**

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

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

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

APROBADO POR:

PROF. ALEXIS SAMUDIO

DIRECTOR

PROFA. FELÍCITA GONZÁLEZ

ASESORA

PROF. AMÍLCAR BEITIA

ASESOR

**DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias.

Gracias a mis padres Eliseo Moreno y Mariela Rodríguez, por apoyarme en todo momento, por brindarme una excelente educación en el transcurso de mi vida. Gracias a mis Hermanas Crismar y Cristina, y a mi sobrina Crismar Anais por su apoyo incondicional.

A todos los compañeros con los que tuve la oportunidad de compartir en el transcurso de mis estudios Universitarios (P.CH.).

Agradezco a mi director el profesor Alexis Samudio, por la oportunidad de llevar a cabo el desarrollo de esta tesis y por sus conocimientos aportados.

A mis asesores la profesora Felicita González y el profesor Amílcar Beitia, por su ayuda y orientación.

Agradecimiento al profesor José Binns, por su contribución en todo lo comprendido con el análisis estadístico de este estudio.

***Crean que ya han recibido todo lo que
estén pidiendo en oración y lo obtendrán.***

Mateo 11:24

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por brindarme la oportunidad de poder llevar a cabo satisfactoriamente, todo lo que comprendió este estudio y poder lograr los objetivos planteados.

A mi mis padres, hermanas y sobrina, por ser la motivación constante que me ha permitido seguir hacia adelante.

A todos mis amigos y familiares que siempre me apoyaron incondicionalmente.

A mis abuelas Critistobalina y Onorina, por sus oraciones y sus buenos deseos.

En especial a mis abuelos Carlos Rodríguez y Eliseo Moreno, ejemplos de que todo lo que creamos posible, podemos lograrlo. Dios los tenga en la gloria.

EVALUACIÓN DEL APORTE DE AGUA MEDIANTE POLÍMEROS HIDROABSORBENTES EN CUATRO ÓRDENES DE SUELO (MOLLISOLES, ULTISOLES, ALFISOLES Y ANDOSOLES) EN EL INVERNADERO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.

MORENO RODRÍGUEZ, E. D. 2017. Evaluación del aporte de agua mediante polímeros hidroabsorbentes en cuatro órdenes de suelo (mollisoles, ultisoles, alfisoles y andosoles), en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, provincia de Chiriquí. Tesis ing. Manejo de cuencas y ambiente. Chiriquí, Panamá. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 69 páginas.

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo con la finalidad de evaluar el aporte de agua mediante polímeros hidroabsorbentes en los órdenes de suelo mollisol, ultisol, alfisol y andosol, utilizando como cultivo indicador la especie *Phaseolus vulgaris*. Para este estudio se tomaron en cuenta las variables materia seca, humedad a capacidad de campo, humedad a punto de marchitez permanente, agua disponible y la frecuencia de sobrevivencia. Para lograr los objetivos planteados se establecieron tres repeticiones con cuatro tratamientos, siendo estos los cuatro órdenes de suelo antes mencionados; en cada tratamiento se incluyeron cinco muestras (con dosis de polímero) y dos testigos (sin dosis de polímero). Los datos obtenidos en el ensayo de invernadero fueron procesados a través de un análisis de varianza en donde se empleó el programa Statistical Analysis Software (SAS). Los resultados indican que para la variable humedad a capacidad de campo al aplicar el polímero es posible lograr aumentar dicho porcentaje; para el orden mollisol se obtuvo un aumento de un 4.55%, para el alfisol se logró un 5.27%, para el caso del andosol un 1.97% y finalmente en el ultisol un 10.16%. Los resultados obtenidos para la variable de humedad a punto de marchitez permanente se pudo encontrar que con el uso de polímeros es posible reducir el punto de marchitez permanente, ya que para el orden mollisol se obtuvo una reducción de un 11.59 %, en el alfisol un 12.44%, para el andosol un 4.79% y para el ultisol se obtuvo una disminución de un 3.13%. En base a estos porcentajes se obtuvo finalmente un aumento en el porcentaje de agua disponible para la planta. Cabe mencionar que se obtuvo además un aumento en el porcentaje de materia seca producida y frecuencia de días de sobrevivencia en los órdenes de suelo, andosol, ultisol y molisol.

Palabras claves: Aporte de agua, Polímeros hidroabsorbentes, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, materia seca, andosol, alfisol, mollisol, ultisol.

EVALUATION OF WATER SUPPORT BY HYDROABSORBENT POLYMERS IN FOUR SOIL ORDERS (MOLLISOLES, ULTISOLES, ALFISOLES AND ANDOSOLS) IN THE GREENHOUSE OF THE FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES, CHIRIQUÍ PROVINCE.

MORENO RODRÍGUEZ, E. D. 2017. Evaluation of the water supply by hydroabsorbent polymers in four soil orders (mollisols, ultisols, alfisols and andosols), in the greenhouse of the Faculty of Agricultural Sciences, Chiriquí Province. Thesis ing. Watershed management and environment. Chiriqui, Panama. Panama university. Faculty of Agricultural Sciences. 69 pages.

ABSTRACT

The present study was carried out with the purpose of evaluating the contribution of water by hydroabsorbent polymers in the orders of soil mollisol, ultisol, alfisol and andosol, using as indicator culture the species *Phaseolus vulgaris*. For this study, the variables dry matter, moisture at field capacity, moisture at the point of permanent wilt, available water and survival frequency were taken into account. To achieve the objectives set three replicates were established with four treatments, these being the four orders of soil mentioned above; In each treatment five samples (with polymer doses) and two controls (without polymer dose). The data obtained in the greenhouse test were processed through an analysis of variance in which the Statistical Analysis Software (SAS) program was used. The results indicate that for the variable moisture at field capacity when applying the polymer it is possible to increase said percentage; For the order mollisol an increase of 4.55% was obtained, for the alfisol was obtained a 5.27%, for the case of andosol a 1.97% and finally in the ultisol a 10.16%. The results obtained for the moisture variable at point of permanent wilting could be found that with the use of polymers it is possible to reduce the point of permanent wilting, since for the order mollisol a reduction of 11.59% was obtained, in alfisol a 12.44%, for andosol 4.79% and for ultisol a decrease of 3.13% was obtained. Based on these percentages, an increase in the percentage of water available to the plant was finally obtained. It should be mentioned that an increase in the percentage of dry matter produced and frequency of survival days in the orders of soil, andosol, ultisol and mollisol was also obtained.

Key words: Water supply, Hydroabsorbent polymers, field capacity, permanent wilting point, dry matter, andosol, alfisol, mollisol, ultisol.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Antecedentes	3
1.3. Justificación.....	6
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
1.5. Hipótesis.....	7
1.6. Alcances y limitaciones	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Polímeros sintéticos	9
2.2. Polímeros hidroabsorbentes.....	9
2.3. Polímero STOCKOSORB.....	10
2.3.1. Usos.....	11
2.3.2. Ventajas de uso	11
2.3.3. Beneficios que ofrece en suelos y sustratos.....	11
2.4. El agua en el suelo.....	12
2.4.1. Capacidad de campo	13
2.4.2. Punto de marchitez permanente	15
2.4.3. Agua útil.....	15

2.5.	Retención de humedad en el suelo según la textura y sus propiedades hídricas.	16
2.6.	Característica de las órdenes de suelos.....	18
2.6.1.	Mollisoles	18
2.6.2.	Ultisoles	19
2.6.3.	Alfisolos	20
2.6.4.	Andosoles	20
2.7.	Densidad aparente en los suelos	22
3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1.	Caracterización de la zona de estudio.....	23
3.1.1.	Ubicación y descripción del área de estudio.....	23
3.1.2.	Zona de vida de Holdridge, precipitación y vegetación.....	24
3.1.3.	Recolección de información en laboratorio	25
3.1.4.	Recolección de información en invernadero	27
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1.	Materia seca.....	32
4.2.	Humedad a capacidad de campo.....	33
4.3.	Humedad a punto de marchitez permanente	34
4.4.	Frecuencia de días de sobrevivencia	36
4.5.	Resultados de la prueba de Tukey, análisis de las variables medidas con polímero vs los testigos sin polímeros.	37
4.6.	Porcentaje de agua disponible con y sin polímeros en los cuatro órdenes de suelo.	41
5.	CONCLUSIONES	43
6.	RECOMENDACIONES	44
7.	REFERENCIAS CITADAS	45
8.	ANEXOS	48

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		Pág.
I	VALORES NORMALES DE HCC, PMP, PARA SUELOS DE DIFERENTES TEXTURAS	14
II	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA MEZCLA.FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIA .CHIRIQUI.2016	26
III	DATOS PROMEDIOS DE COVARIABLES MEDIDAS.FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS. CHIRIQUÍ.2016	30
IV	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL INVERNADERO DE SUELOS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS. 2016	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Ubicación del área de estudio Fuente: Google Earth (2017).....	23
2	Ubicación del área de estudio según el mapa climático de Panamá propuesto por A. MACKAY (2000). Fuente: ANAM; BID, 2011.	25
3	Diagrama del ordenamiento del ensayo en el invernadero. FCA. Chiriquí. 2017.....	27
4	Porcentaje de materia seca producida. FCA. Chiriquí. 2017.....	32
5	Porcentaje de humedad a capacidad de campo. FCA. Chiriquí. 2017.....	33
6	Porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente. FCA. Chiriquí. 2017.....	35
7	Frecuencia de días de sobrevivencia. FCA. Chiriquí. 2017.....	36
8	Medias de materia seca de las plantas, con polímeros y sin polímeros. FCA. Chiriquí. 2017.....	37
9	Medias de Humedad a capacidad de campo, con polímeros y sin polímeros. FCA. Chiriquí. 2017.....	38
10	Medias de Humedad a punto de marchitez permanente, con polímeros y sin polímeros.....	39
11	Medias de frecuencia de días de sobrevivencia, con polímeros y sin polímeros. FCA. Chiriquí. 2017.....	40
12	Porcentaje de agua disponible, uso de polímeros Vs no uso de polímeros. FCA. Chiriquí. 2017.....	41

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		Pág.
1	Pruebas de retención de humedad y volumen de la mezcla en laboratorio FCA. Chiriquí. 2017.....	48
2	Establecimiento del ensayo en invernadero. FCA. Chiriquí. 2017.....	49
3	Fertilización. FCA. Chiriquí. 2017.....	50
4	Toma de datos de variables de investigación. FCA. Chiriquí. 2017.....	51
5	Toma de datos de covariables de investigación. FCA. Chiriquí. 2017.....	52
6	Muestras en etapa de punto de marchitez permanente. FCA. Chiriquí.2017.....	53
6.1	Comparación de muestras en proceso de alcanzar el punto de marchitez permanente. FCA. Chiriquí. 2017.....	54
7	Muestras después de un día sin aplicación de humedad. FCA. Chiriquí. 2017.....	56

1. INTRODUCCIÓN

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

Entonces el valor del agua aumenta, como factor de producción, ya que influye en la seguridad alimentaria y la seguridad hídrica, a la vez que se convierte en el principal medio por el cual se manifiestan los impactos del cambio climático. El constante e incesante crecimiento de la demanda global de agua, unido al impacto que actualmente genera el cambio climático, están transfigurando a este recurso como un factor limitante para el desarrollo de la producción agrícola en distintos puntos a nivel mundial; ya que la mayoría de los campos, necesitan siempre un grado de humedad para mejorar los suelos destinados a la siembra de diversos cultivos (Global wáter partnership, 2013).

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

1.1. Planteamiento del problema

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

El agua y los nutrimentos son necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas; como consecuencia de la reducción del contenido hídrico de la planta ésta experimenta cambios y problemas en su desarrollo. El estrés hídrico afecta a la mayoría de las funciones vitales de las plantas, de forma que prácticamente todos los procesos que involucran a estas se ven afectados por el déficit hídrico (Ballesteros, 2000).

Básicamente el agua es suministrada a los cultivos por la lluvia o el riego; la primera es a veces muy errática y escasea cuando se necesita (déficit hídrico) o se presenta con demasiada intensidad, lo que provoca la inundación de algunos suelos. Tanto el déficit hídrico como la inundación están dentro de los fenómenos ambientales que más limitan la productividad agrícola, porque afectan grandemente todos los aspectos relacionados con el crecimiento y desarrollo de las plantas, pues alteran importantes procesos y rutas metabólicas, entre las que se encuentran la absorción, de agua y nutrimentos del suelo.

A menudo la productividad de las plantas puede verse también limitada por propiedades adversas al suelo, como por ejemplo la reducida cantidad de macroporos, que resulta en una pobre aireación del suelo en bajas tasas de infiltración, al mismo tiempo que una pobre retención de agua. Todos estos factores y aspectos afectan a la actividad biológica del suelo, al crecimiento de las raíces, la humedad de las plantas y el suministro de nutrimentos resultando esto en una baja cantidad y calidad de producción (Rivera, 2007).

1.2. Antecedentes

Según Evonik Industries AG (2008), los polímeros absorbentes de agua son acondicionadores de suelos diseñados y desarrollados especialmente para la retención y suministro de agua y nutrimentos en sustratos y suelos. Al entrar en contacto con el agua, se hinchan rápidamente creando un hidrogel que absorbe y conserva grandes cantidades de agua disponibles para las plantas. Asimismo, debido a su capacidad de absorber nutrimentos, las pérdidas por lixiviación se ven reducidas. Este tipo de polímeros generalmente son aniónicos entrelazados, súper absorbentes e insolubles en agua, parcialmente neutralizados con potasio, basados en ácido acrílico y libres de acrilamida generalmente están disponibles en forma de gránulos blancos, secos y sólidos con diferentes tamaños de partícula y un poder de absorción de agua excelente.

En el año 2013 para hacer frente a problemáticas relacionadas con el déficit hídrico y la absorción de agua en diferentes suelos y sustratos, investigadores

del Centro del Agua para América Latina y el Caribe del Tecnológico de Monterrey, liderados por el Doctor Roberto Parra, director de la cátedra de Bioprocesos Ambientales, llevan a cabo un proyecto con polímeros que tienen la capacidad de absorber grandes volúmenes de agua y almacenarlos como pequeños depósitos cerca de las raíces de las plantas, para que estas puedan disponer del líquido a su necesidad. (García, 2013).

El mismo autor nos indica, que el polímero puede extender la necesidad de suministrar agua a las plantas a varias semanas, con el agua escasa que pueda caer en una lluvia y esto es suficiente para que una planta llegue a cierto nivel y no llegue a ese estrés hídrico que pueda matarla.

Según García (2013), los polímeros súper-absorbentes pueden aminorar las consecuencias que provocan la sequía. Dicho producto tiene la capacidad de absorber agua hasta 500 veces su peso. Esto significa, que al aplicar en un suelo un kilogramo del polímero, se retienen en el suelo 500 kilogramos de agua. Esta absorción de agua tiene como efecto evitar las pérdidas de agua del suelo por su evaporación o filtración y además, incrementa aproximadamente 20 veces la producción por hectárea.

El polímero permite también la captura y retención del agua sin que ésta sufra cambios estructurales o de pH. Esto es gracias a que las moléculas de agua se adhieren al poliacrilato de potasio, se trata de un polvo fino granulado de color blanco similar al azúcar en apariencia.

Básicamente de polímeros absorbentes agrícolas existen pocos antecedentes de estudios realizados. En Florida, Estados Unidos se han realizados ensayos en cultivos de tomate y se pudo demostrar que el tomate sobre suelo no tratado, en comparación con el tomate cultivado en suelos donde se aplicó diferentes cantidades de polímeros se obtuvo un aumento en el rendimiento de aproximadamente un 13 por ciento y adicionalmente, la proporción del tamaño de la planta, al igual que el tamaño del fruto aumento en forma sustancial (Alvarado, 2014).

Existe otro antecedente importante de un estudio realizado en Sudáfrica en la Universidad del Estado Libre de Bloemfontein en donde se realizaron ensayos en el cultivo de la papa, se obtuvo que en un suelo franco arenoso con riego, a una dosis de 29,7 kg/ha en la línea de siembra, aumento la producción de papa en un 19 por ciento y la producción de papas comerciales de tamaño grande a mediano aumento en un 25 por ciento (Ballesteros, 2000).

1.3. Justificación

Según el Ministerio de Desarrollo Agropecuario MIDA, (2015), Panamá declaró estado de emergencia, para enfrentar los efectos de la sequía ocasionada por el fenómeno del niño y ordenó medidas inmediatas de ahorro de agua; ya que el déficit de lluvia este año está golpeando a sectores agrícolas y ganaderos.

Como consecuencia del cambio climático, las temperaturas están aumentando y ocasionando, que la cantidad de humedad en el suelo no cumpla con las necesidades que requieren los cultivos, convirtiéndose esto en un factor que limita la agricultura en diversas regiones del país.

Es aquí donde se manifiesta, la importancia de la implementación de nuevas tecnologías, que puedan actuar de manera eficaz y eficiente, para poder combatir los efectos del fenómeno de la sequía en la agricultura, donde condiciona el desarrollo de los cultivos o muchas veces los inhibe. Debido a que actualmente han disminuido notablemente las frecuencias de las lluvias, utilizar polímeros hidroabsorbentes ayudará a aprovechar los volúmenes de agua en la forma más eficiente; aumentar el rendimiento y calidad en la producción; ayudará a mejorar la capacidad de retención de agua y de nutrimentos, la aireación y la estructura del suelo; mejorará la supervivencia y el establecimiento de las plantas, así como también su rápido crecimiento inicial.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la variación de la retención y suministro de agua en diferentes órdenes de suelo (mollisoles, ultisoles, alfisoles y andosoles), al utilizar polímeros hidroabsorbentes.

1.4.2. Objetivos específicos

- Conocer qué orden de suelo mejora en cuanto a retención de humedad, además de medir la capacidad de retención que tiene el polímero hidroabsorbente.
- Determinar el porcentaje de materia seca producida, humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente para cada orden, además de la tasa de sobrevivencia que tienen las plantas.
- Estimar el porcentaje de agua disponible para los distintos órdenes

1.5. Hipótesis

Los polímeros hidroabsorbentes retienen y suministran humedad al suelo potencialmente aprovechable para los cultivos, y dicha retención y suministro hídrico varía según el orden de suelo.

1.6. Alcances y limitaciones

Este estudio, el cual está dirigido a productores e investigadores del tema, comprendió la evaluación de un polímero hidro-absorbente el cual añadido al suelo o al sustrato, actúa como una reserva de agua para lograr una producción eficiente, conservando y restaurando la estructura. El estudio tuvo como objetivo primordial evaluar el polímero, y con base a ensayos en invernadero utilizando un cultivo indicador, determinar la capacidad de retención de agua con la aplicación de este producto mezclado directamente a diferentes órdenes de suelo, con cantidades de agua y de suelo previamente establecidas. Con los resultados obtenidos se pudo determinar que la aplicación de este polímero puede ser implementado como una alternativa para combatir el estrés hídrico en las plantas.

Los factores limitantes para este estudio, parten del punto de que la capacidad de absorción del polímero, está determinada por la calidad del agua y el orden de suelo, por lo cual se consideró estos dos factores como limitantes, ya que el comportamiento de estos está ligado a la capacidad de absorción del polímero mezclado con una proporción de suelo. Otro de los factores limitantes para esta investigación, fue el diseño de la estructura del invernadero utilizado, debido a que en el mismo la temperatura es mayor que en condiciones ambientalmente normales, provocando que el agua sea evaporada con facilidad ocasionando la variabilidad de los resultados de capacidad de retención de humedad en el suelo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Polímeros sintéticos

Los polímeros son grandes moléculas llamadas macromoléculas, que por lo general son orgánicas y están formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeras, formando enormes cadenas de las formas más diversas. Existen varios tipos de polímeros con propiedades y estructuras químicas diferentes. Los polímeros sintéticos son aquellos que son obtenidos en laboratorio o en la industria. Algunos ejemplos de polímeros sintéticos son el nylon, el poliestireno, el policloruro de vinilo (PVC), el polietileno, etc.

Los polímeros sintéticos son creados por el hombre a partir de elementos propios de la naturaleza. Estos polímeros sintéticos son creados para funciones específicas y poseen características para cumplir estas mismas. Un polímero está constituido por moléculas (unidad fundamental con que se forma un compuesto químico), denominadas monómeros, frecuentemente unidas unas a otras formando una cadena lineal (Saldívar, 2014).

2.2. Polímeros hidroabsorbentes

Los polímeros hidroabsorbentes agrícolas son productos que aplicados en la tierra o sustrato, a la dosis adecuada y bien mezclados en ella, ayudan a crear reservas de humedad a disposición de las plantas que sobre ese terreno se cultivan. Los polímeros hidroabsorbentes agrícolas, también llamados hidrogeles agrícolas o superabsorbentes, se comercializan en forma de granulado sólido

envasados en sacos y/o cubos a nivel industrial y en la modalidad de botes o sobres para el mercado de la bricojardinería (Rivera, 2009).

Estos polímeros hidroabsorbentes agrícolas pueden venderse solos como tales o en combinación a modo de fórmula en la que comparten acción con otros productos de tipo fertilizantes, activadores de crecimiento, entre otros. (Morante, 2003).

2.3. Polímero STOCKOSORB

El hidrogel STOCKOSORB es aplicable para la retención de agua y nutrientes en suelos, ya que es capaz de mejorar la gestión del agua y el crecimiento de las plantas, actuando como reservorio de agua y liberándola conforme a las necesidades de las plantas. Según investigaciones llevadas a cabo por la empresa Projar en el 2013, se pudo demostrar que el producto es capaz de reducir la frecuencia de riego hasta en un 50 por ciento, disminuyendo la necesidad de fertilizantes; por lo que se considera ambientalmente un producto seguro y biodegradable.

Se pudo demostrar también, que tras 50 ciclos de humedad-sequía, la capacidad de absorción de este hidrogel es superior al 80 por ciento. Por lo que se considera que el polímero Stockosorb prolonga el tiempo hasta que las plantas alcancen el punto de marchitez permanente (Projar, 2013).

2.3.1. Usos

Según Morante (2003), entre los usos más frecuentes que se le dan a este tipo de polímeros hidroabsorbentes son en: paisajismo, campos deportivos, hidrosiembra, mezclas de sustratos, diversas áreas de la agricultura, producción hortícola y en la reforestación y manejo de plantas en vivero.

2.3.2. Ventajas de uso

Algunas de las ventajas que ofrece el uso de polímeros hidroabsorbentes en la agricultura son: el óptimo crecimiento que se obtiene de las plantas, se emplea un uso eficiente del agua, reducción de la frecuencia de riego en un 50 por ciento; además se obtiene una rápida capacidad de humedecimiento que garantiza el crecimiento de las plantas tras periodos prolongados de sequía sin que se pierda la capacidad de absorción y liberación de agua. El uso de polímeros es ambientalmente seguro, ya que estos son biodegradable y no contaminantes, por lo cual su uso contribuye a la no contaminación de acuíferos, y a obtener un ahorro en fertilizantes (Ballesteros 2000).

2.3.3. Beneficios que ofrece en suelos y sustratos

Según investigaciones realizadas por Projar (2013), determinó que el uso de polímeros es capaz de brindar grandes beneficios como la reducción de la compactación del suelo, se aumenta la uniformidad del suministro de agua a la planta, lo que incrementa su calidad y la seguridad de la producción, se ahorran costos de riego y se genera una mayor disponibilidad de nutrimentos fácilmente

aprovechables para las plantas. Se permite mantener la humedad durante el transporte de la planta para su comercialización y se disminuye el riesgo de estrés hídrico para la planta.

2.4. El agua en el suelo

El agua procede de la atmósfera en forma de lluvia, nieve, granizo o humedad atmosférica. Otras fuentes son infiltraciones laterales, ascenso desde capas freáticas, etc. Las soluciones del suelo proceden de la alteración de los minerales y de la materia orgánica.

El agua puede existir en todas sus fases dentro del suelo. El agua líquida puede aparecer como agua higroscópica, capilar o gravitacional. La higroscópica y la capilar, están sostenidas por fuerzas moleculares en delgadas películas alrededor de las partículas del suelo. Cuanto más seco es el suelo y menores los intersticios entre las partículas, más fuertes son las fuerzas que sostienen ésta agua (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1998)).

Agua capilar: Contenida en los tubos capilares del suelo. Dentro de ella distinguimos el agua capilar absorbible y la no-absorbible.

Agua capilar no absorbible: Se introduce en los tubos capilares más pequeños <0.2 micras. Está muy fuertemente retenida y no es absorbible por las plantas.

Agua capilar absorbible: Es la que se encuentra en tubos capilares de 0.2-8 micras. Es agua absorbible por las plantas, por lo tanto agua útil para la vegetación, constituye la reserva durante los períodos secos (Ibáñez, 2006).

Agua gravitatoria: Es el agua que pierde un suelo que ha sido saturado por gravedad, es decir, no está retenida en el suelo. Se habla de agua gravitatoria de flujo lento y agua gravitatoria de flujo rápido en función de su velocidad de circulación. La de flujo lento es la que circula por poros comprendidos entre 8 y 30 micras de diámetro, la misma tarda de 10 a 30 días en atravesar el suelo y en esos días es utilizable por las plantas. La de flujo rápido es aquella que circula por poros mayores de 30 micras. Es un agua que no queda retenida en el suelo y es eliminada rápidamente al subsuelo, pudiendo alcanzar el nivel freático; es un agua inútil, ya que cuando está presente en el suelo los poros se encuentran totalmente saturados de agua, el medio es asfixiante y las raíces de la mayoría de las plantas no la pueden tomar (Alvarado, 2014).

2.4.1. Capacidad de campo

Cuando se habla de capacidad de campo nos referimos a la cantidad de agua que puede tener un suelo cuando se pierde el agua gravitatoria de flujo rápido, después de pasados unos dos días de las lluvias (se habrá perdido algo de agua por evaporación y consumo de las plantas). La fuerza de retención del agua variará para cada suelo.

La capacidad de retención es la cantidad máxima de agua que el suelo puede retener. Representa el almacenaje de agua del suelo. Se produce después de las precipitaciones atmosféricas cuando el agua gravitatoria ha percolado; no obstante, durante ese período se producen pérdidas por evaporación, absorción de las plantas, etc. Por ello es muy difícil de medir (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1998)).

CUADRO I. Valores normales de HCC, PMP, para suelos de diferentes texturas (Porcentaje de humedad).

TEXTURA	CAPACIDAD DE CAMPO	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE
Arenoso	5 -15	3 -8
Franco arenoso	10 -20	6 -12
Franco	15 -30	8 -17
Franco arcilloso	25 -35	13 -20
Arcilloso	30 -70	17 -40

Fuente: FAO (1998).

En el CUADRO I, se observan los valores normales de humedad a capacidad de campo (HCC) y punto de marchitez permanente (PMP) para suelos de diferentes texturas, expresados en porcentajes.

2.4.2. Punto de marchitez permanente

El punto de marchitamiento permanente representa el contenido de humedad de un suelo que se deseca a un nivel tal que el agua que queda está retenida con una fuerza de succión mayor que la de absorción de las raíces de las plantas, en los poros de hasta 0.2 micras. El agua contenida corresponde al agua higroscópica más el agua capilar no absorbible. Se distinguen aquí el punto de marchitez temporario, en el cual la planta se recupera de su estado de marchitez si se entrega agua al suelo y el punto de marchitez permanente, en donde el estado de marchitez de la planta es irreversible (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1998)).

2.4.3. Agua útil

El agua útil representa el agua en capacidad de campo menos el agua existente en el punto de marchitez permanente. Es decir el agua retenida en los poros entre 0.2 y 8 micrones.

De acuerdo a su granulometría, los suelos presentan diferentes características respecto al contenido de agua: en los suelos arenosos es muy baja la capacidad de campo, pero casi toda su humedad es agua útil, pues la cantidad de agua en punto de marchitez es muy baja. En los suelos arcillosos la capacidad de campo es muy elevada, pero con gran cantidad de agua inútil en punto de marchitez. En el caso de los suelos de granulometrías equilibradas (francos), tienen buenas

características al compensarse los efectos de las arenas y de las arcillas conjuntamente (Mata, 1991).

2.5. Retención de humedad en el suelo según la textura y sus propiedades hídricas.

La textura y las propiedades hídricas de los suelos, son factores de gran importancia, que determinan su capacidad de retención de humedad, por ejemplo en los suelos arenosos en donde predominan las arenas o partículas minerales mayores de 0,02 mm de diámetro (cuando las partículas son mayores de 0,2 mm se denominan gravas). Son suelos muy permeables (la permeabilidad es la velocidad de infiltración del agua de gravitación), pues en ellos predominan los macroporos (todos hemos visto lo rápidamente que desaparece un cubo de agua vertido en la playa).

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 suministrados de agua, frecuentemente. Como ventajas se puede destacar el que es fácil de trabajar y no presentan problemas de aireación (Rodríguez, 2010).

En el caso de los suelos limosos, en donde predominan los limos o partículas entre 0,02 y 0,002 mm. 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. Son, por tanto, fácilmente apelmazables cuando se destruye su estructura, dificultándose mucho la circulación del aire y del agua, 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 (Salinas, 1983).

En los suelos de textura arcillosa, predominan las arcillas o partículas menores de 0.002 mm. 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 (son fácil de adherirse a cualquier estructura) y suelen ser compactos cuando están secos. En ellos las lluvias finas y duraderas aportan más agua al suelo que las intensas y rápidas. Aunque esto ocurre también en la mayoría de los suelos, en el caso de los arcillosos con mayor frecuencia e impacto (Mata, 1991).

En los suelos denominados francos, no predomina claramente ninguno de los tres tipos de partículas. Presentan una mezcla de arenas, limos y arcillas en proporciones bastante 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 (Ibáñez, 2006).

2.6. Característica de las órdenes de suelos

2.6.1. Mollisoles

Son suelos que generalmente se forman en áreas semiáridas a semi-húmedas, típicamente bajo una cobertura de pasturas. Su material parental es generalmente calcita, loess o arenisca, fundamentalmente movidos por el viento (Alvarado, 2014).

Algunas Propiedades físicas de este orden de suelo son: su texturas que va de franco arenoso a franco arcilloso y arcilloso, presenta coloraciones que varían de pardo grisáceo a pardo rojizo, gris y pardo oscuro, generalmente son poco profundos a muy profundos (de 60 a más de 120 cm), el drenaje interno que presentan es de muy pobre a bien drenados.

Algunas de las propiedades químicas a resaltar de este orden son: el contenido de materia orgánica el cual generalmente va de muy bajo a alto, su pH que es fuertemente ácido a muy alcalino, la capacidad de intercambio catiónico generalmente bastante baja y su porcentaje de saturación de bases que se sitúa en un rango que va de bajo a alto (Mata, 1991).

2.6.2. Ultisoles

Los Ultisoles son suelos propios de climas cálidos y húmedos (zonas tropicales) que presentan una estación con precipitación deficiente y se localizan en posiciones geomorfológicas viejas, en donde se haya densa vegetación, principalmente bosques, donde existe presencia de vegetación forestal; aunque también se puede presentar en pantanos.

Poseen colores rojo y amarillo, que es resultado de la acumulación de óxido de hierro, el cual es insoluble en agua. Los principales nutrimentos, como el calcio y el potasio, son típicamente deficientes en Ultisoles. Los minerales de arcilla que se encuentran en Ultisoles son principalmente caolinita y gibbsita (1:1), así como algunos minerales de arcilla 2:1.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), es baja con un aumento leve del CIC en el horizonte superior, debido al reciclaje de la materia orgánica. Debido a la constante pérdida de bases a través de la lixiviación y erosión, la CIC se sigue manteniendo baja. Es debido también a la presencia de caolinita que la capacidad de intercambio catiónico es baja, al igual que la capacidad de retención de agua. Los bajos contenidos de bases (bajo contenido de nutrimentos) están asociados a una alta acidez del suelo. Horizontes superficiales rara vez poseen valores de pH de menor de 5,0 o mayor de 5.8. En general, los valores de pH disminuyen con la profundidad a un mínimo de

4,0 a 5,5 en el horizonte argílico. Se presenta al aluminio como el catión dominante en este tipo de suelos (Salinas, 1983).

2.6.3. Alfisoles

Suelos minerales generalmente húmedos de alta saturación básica. Tienen problemas de drenaje debido a su alto contenido arcilloso y poco material orgánico. Pueden ser buenos suelos agrícolas con adecuada fertilización. En las zonas frías o templado- húmedas están asociados a materiales calcáreos jóvenes, pero en las zonas subhúmedas pueden hallarse asociados a áreas más antiguas. Se los puede encontrar bajo los bosques australes y, en climas más secos, bajo bosques caducifolios de hojas anchas, también donde haya una marcada variación estacional de las lluvias y una cubierta de pastos y árboles xerófilos, o en climas más húmedos, con vegetación de pastos altos (Fedda,2003).

2.6.4. Andosoles

Los Andosoles son los suelos volcánicos que se forman sobre cenizas y vidrios volcánicos, así como a partir de otros materiales piroclásticos. Cuando son jóvenes presentan colores oscuros, siendo altamente porosos, ligeros, permeables, de buena estructura y fáciles de trabajar.

Características físicas:

La buena estabilidad de los agregados de los Andosoles, así como su alta permeabilidad al agua hacen que estos suelos sean relativamente resistentes a la erosión hídrica. Excepciones a esta regla se presentan en los tipos de Andosoles altamente hidratados que se secan drásticamente, como es el caso tras una deforestación, entre otros. El material de suelo de la superficie se desmorona en gránulos duros (“granulación de alta montaña”), siendo fácilmente removidos por la escorrentía superficial. La dificultad para dispersar las partículas texturales de los Andosoles causa problemas a la hora de determinar su textura, por lo que se recomienda tener precaución al interpretar los datos. La densidad aparente de los Andosoles es baja, no sólo en la capa superficial del suelo, siendo típicamente menor de 0.9 Mg/m^3 . Sin embargo, se han registrado valores menores de 0.3 Mg/m^3 en Andosoles altamente hidratados (Alvarado, 2014).

Características químicas:

Los Andosoles tienen propiedades de intercambio catiónico altamente variables: la carga es fuertemente dependiente del pH y la concentración de electrolitos. Este es también el caso de algunos otros suelos, por ejemplo: Ferralsoles, si bien la carga negativa de los Andosoles puede alcanzar valores más altos como consecuencia de sus elevados contenidos de materia orgánica (Mata, 1991).

2.7. Densidad aparente en los suelos

La densidad aparente se define como el peso seco de una unidad de volumen de suelo. Los factores que la afectan son principalmente tres: la textura, la estructura y la presencia de materia orgánica. Suelos con texturas arenosas tienden a tener densidades mayores que suelos más finos, al mismo tiempo en suelos bien estructurados los valores son menores. Valdés (citado por Donoso, 1992), encontró valores promedios de densidad aparente (g/cm^3) para suelos de rocas y minerales 2.65; arena 1.9-1.7; Textura franca 1.3-1.0; suelo rico en humus 0.9-0.8.

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de ciertas importantes características del suelo, a saber: porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración.

En un suelo, los valores bajos de densidad aparente implican suelos porosos, bien aireados con buen drenaje y buena penetración de raíces, todo lo cual significa un buen crecimiento y desarrollo de los árboles.

Por otro lado, si los valores son altos, quiere decir que el suelo es compacto o poco poroso, que tiene mala aireación, que la infiltración del agua es lenta, lo cual puede provocar anegamiento, y que las raíces tienen dificultades para elongarse y penetrar hasta donde encuentren agua y nutrimentos. En estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de los árboles es impedido o retardado consistentemente (Donoso 1992).

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Caracterización de la zona de estudio

3.1.1. Ubicación y descripción del área de estudio

La investigación, se llevó a cabo en el invernadero de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de Chiriquí, en el Distrito de David, Provincia de Chiriquí, República de Panamá, como se muestra en la Figura No.1. Dentro del invernadero se registró un valor promedio de radiación solar de 184.3 w/m^2 , se registró también una temperatura promedio de $31.8 \text{ }^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de 76.3% . Las coordenadas UTM de la ubicación exacta del área de estudio son Longitud (E) 353593.11 y Latitud (N) 927355.10.



Figura No.1. Ubicación del área de estudio Fuente: Google Earth (2017).

La zona de estudio pertenece al clima subecuatorial con estación seca, según el nuevo sistema de clasificación climática de Panamá (Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM, 2011)) citando a Mackay. Este tipo de clima se caracteriza por

ser cálido, con promedios anuales de temperatura que oscilan entre los 25.8 a 26.4 grados Centígrados esto en tierras bajas menores a 20 metros sobre el nivel del mar.

3.1.2. Zona de vida de Holdridge, precipitación y vegetación.

El invernadero de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias sede de Chiriquí se encuentra dentro de la zona de vida de clima tropical húmedo. La precipitación media anual promedio en esta zona es de 2,800 milímetros, en algunas ocasiones dependiendo del sitio puede alcanzar los 3519 milímetros, la Época lluviosa generalmente se presenta de mayo a diciembre y Época seca de enero a abril (Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM, 2011)).

3.2. Metodología

Para cumplir con los objetivos o metas trazadas para el desarrollo de este estudio, se elaboró un plan de investigación y de acuerdo a eso se establecieron y llevaron a cabo las siguientes etapas.

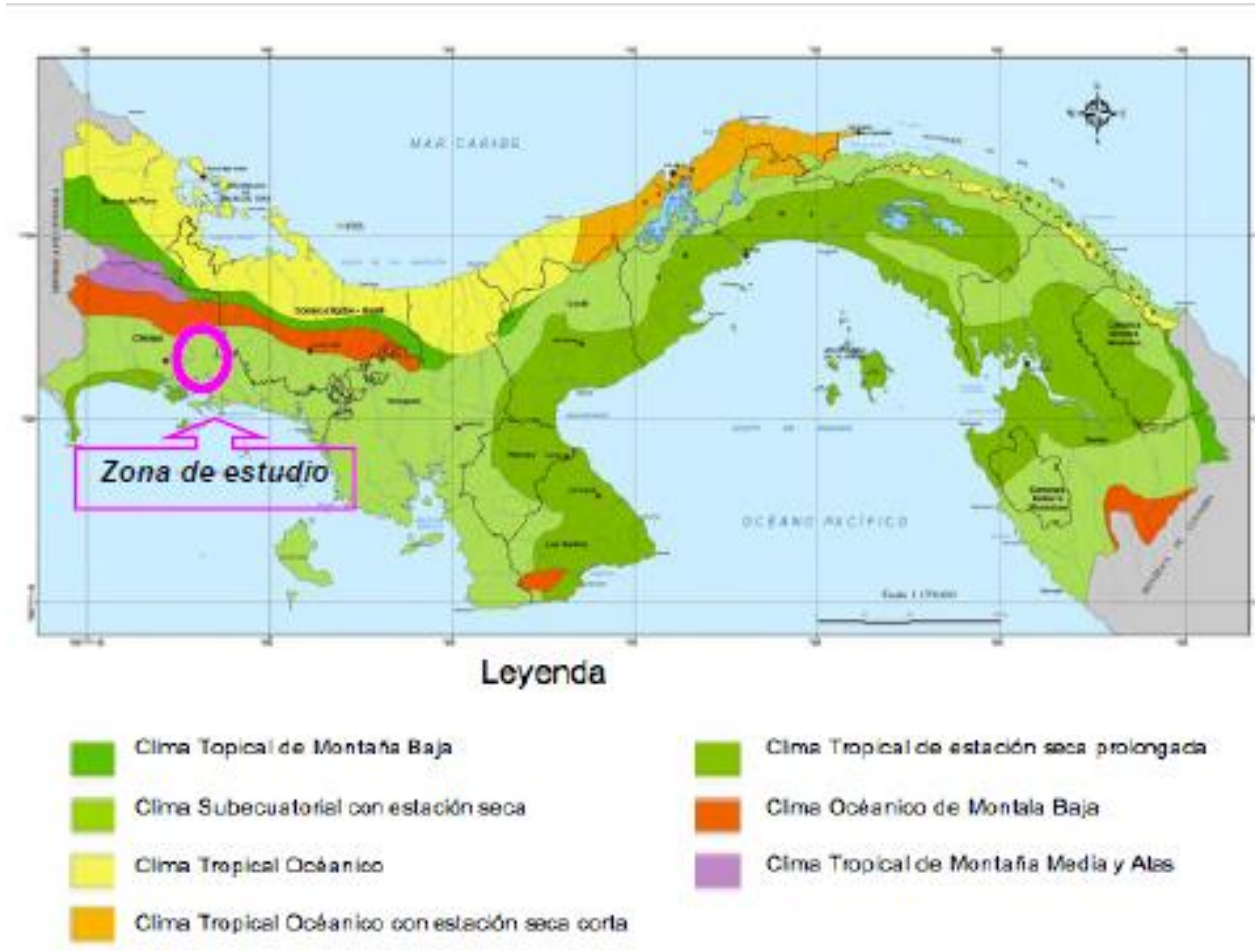


Figura No.2. Ubicación del área de estudio según el mapa climático de Panamá propuesto por A. MACKAY (2000). Fuente: ANAM; BID, 2011.

3.1.3. Recolección de información en laboratorio

Previo al establecimiento del ensayo en invernadero se llevaron a cabo una serie de pruebas en laboratorio para observar y conocer el comportamiento del producto, en cuanto a su capacidad de absorción de agua. Se evaluaron las dos formas de aplicación del polímero. Se aplicó el **producto prehidratado**, utilizando una cantidad de suelo de 245 gramos mezclado con un gramo de

polímero disuelto en 300 mililitros de agua para el Ultisol, 250 mililitros para el alfisol y andosol y 200 mililitros para el mollisol; y también se aplicó el **producto granulado** aplicando el producto mezclado con suelo en seco y posteriormente hidratado (Ver Anexo 1.)

Para determinar la densidad de la mezcla se hidrató con un volumen de agua previamente establecido (Ver CUADRO II), se pesó cada muestra, luego utilizando una probeta se registró el volumen; de estas muestras se tomó una cantidad representativa de cinco gramos y fueron colocadas en un horno por un periodo de 24 horas. Cuando las muestras estuvieron secas, se registró el peso de cada una y con la siguiente fórmula, se procedió a determinar la densidad:

$$D. (g./cm^3)=((P.S.S.)/(Vol.))$$

Densidad de las mezclas= peso suelo seco/ Volumen

CUADRO II. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA MEZCLA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIA. CHIRIQUI. 2017.

Muestra/ Parcela	Orden de suelo	Relación (g/ml)	Tiempo de saturación /minutos	V(mL)	D (g/ml o cm3)
FCA/21	Ultisol	1/300	35	560	0.41
FCA/18	Alfisol	1/250	15.38	420	0.43
Volcán	Andosol	1/250	15.38	420	0.31
FCA/1	Molisol	1/200	9.05	410	0.42

En este cuadro se observa la parcela donde fue tomada la muestra de cada orden de suelo, la relación con la que fue hidratada, el tiempo y cantidad volumen de saturación, el volumen de cada mezcla y la densidad aparente.

3.1.4. Recolección de información en invernadero

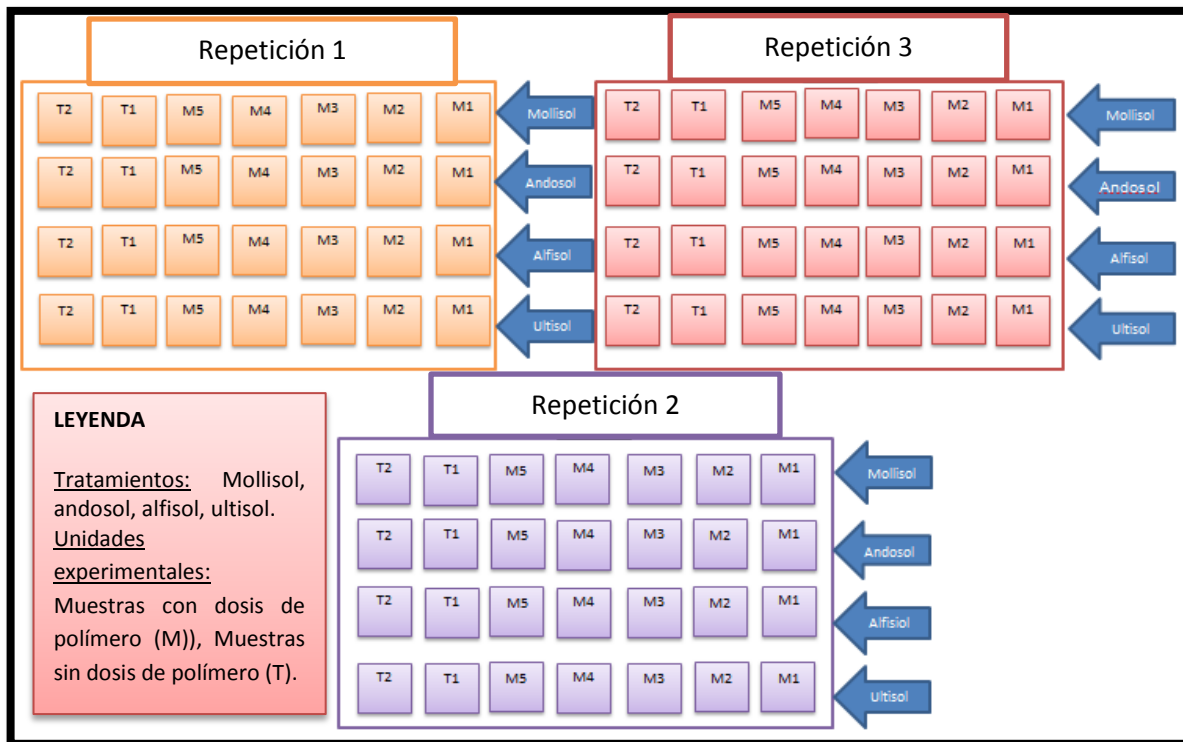


Figura No 3. Diagrama del ordenamiento del ensayo en el invernadero. Facultad De Ciencias Agropecuaria. Chiriquí. 2017.

El suelo fue macerado en seco, para disminuir el tamaño de los gránulos, luego se homogenizó y se tomó una submuestra para hacer análisis de densidad de la mezcla. Posteriormente, se adicionaron 245 gramos de suelo mezclado con un gramo de polímero hidratado con la relación asignada (ver cuadro II). Se tomó un espaciamiento de 15 centímetros entre macetas para evitar competencia entre las mismas, para 28 macetas por repetición acordes con el diseño experimental, el cual fue completamente al azar con tres repeticiones, cada una comprendida por cuatro tratamientos (mollisol, alfisol, andosol, ultisol), por cada tratamiento

cinco macetas con polímero (muestras) y dos macetas sin polímero (testigos), realizando destrucciones luego de registrar el porcentaje de humedad a capacidad de campo, punto de marchitez permanente, materia seca producida y días de sobrevivencia (Ver anexo 2).

- **Fertilización:**

Se preparó una solución madre estándar; para lo cual se pesó un gramo de fertilizante granulado Nutrex abono foliar (**N 20-P₂O₅ 20-K₂O 20**), disuelto en 840 mililitros de agua, aplicando 10 mililitros a cada maceta.

La fertilización se inició a los siete días después de germinadas las semillas, luego se siguió aplicando una dosis de fertilizante cada 15 días, hasta finalizar con la destrucción de las macetas de todo el ensayo (Ver anexo 3).

- **Medición de la humedad a capacidad de campo y humedad a punto de marchitez permanente:**

Se tomó una muestra representativa de cinco gramos de sustrato por maceta (Ver anexo 4). Luego fue llevada al horno por un periodo de 24 horas a una temperatura de 105 °C, luego de registrado el peso seco se empleó el uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de humedad} = \left(\frac{P.S.H. - P.S.S.}{P.S.S.} \right) * 100$$

P.S.H. = Peso de suelo húmedo

P.S.S.= Peso de suelo seco

- **Medición de la materia seca:**

Cuando las plantas alcanzaron el punto de marchitez permanente, se tomó muestra y se registró el peso, luego fueron llevadas al horno por un periodo de 24 horas a una temperatura de 65 °C, se registró el peso y se empleó uso se la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje de peso seco} = (P.S / PH) * 100$$

P.S = Peso seco

P.H = Peso húmedo

- **Medición de las covariables**

Las covariables tomadas en cuenta para esta investigación fueron: temperatura (°C), Humedad relativa (%) y radiación solar (w/m²). Para medición de la temperatura y humedad relativa se utilizó un termo higrómetro digital y para medición de la radiación solar se utilizó un solarímetro digital.

Se realizaron mediciones durante cinco días continuamente; en horarios de 9:00 am, 1:00 pm y 4:00 pm. De estos registros se obtuvo un promedio para cada covariable (Ver anexo 5).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro III, se observan los valores promedios obtenidos de las covariables medidas aplicando la metodología antes descrita. Estos datos fueron llevados a un análisis de covarianza en donde se obtuvo un valor de 0.0 lo que indica que estas variables no tienen influencia en las variables de investigación, por lo cual no se tomaron en cuenta en los resultados presentados.

CUADRO III. DATOS PROMEDIOS DE COVARIABLES MEDIDAS. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIA. CHIRIQUI. 2017.

COVARIABLES DE INVESTIGACIÓN			
Covariable	dato a altura de la planta	dato a altura nivel del techo	Hora del día de lectura
Radiación solar (w/m^2)	61.8	75.7	9:00 AM
	230.9	324	12:00 PM
	186.3	226.9	3:30 PM
sub-promedio	159.7	208.9	
promedio	184.3		
Humedad relativa (%)	81.6	81.8	9:00 AM
	73.8	71.8	12:00 PM
	76.6	72.2	3:30 PM
sub-promedio	77.3	75.3	
promedio	76.3		
Temperatura ($^{\circ}C$)	29.4	28.8	9:00 AM
	33.7	34.06	12:00 PM
	32.3	32.8	3:30 PM
sub-promedio	31.8	31.9	
promedio	31.8		

En el Cuadro IV, se presentan los resultados del análisis de varianza. Se pudo encontrar que para la variable materia seca existe diferencia significativa de la fuente de mezcla de suelo más polímero ($Pr > 0.01$), además de una diferencia

altamente significativa proveniente de la fuente orden de suelo ($Pr < 0.01$). Para la variable humedad a capacidad de campo existen diferencias altamente significativas que corresponden a la fuentes de orden de suelo y mezcla de polímero más suelo ($Pr < 0.01$), y una diferencia significativa proveniente de la fuente polímero ($Pr > 0.01$). Para el caso de la variable de humedad a punto de marchitez permanente, existe una diferencia altamente significativa de la fuente de la mezcla de suelo y polímero ($Pr < 0.01$), y una diferencia significativa de la fuente orden de suelo ($Pr > 0.01$). Finalmente para la variable de días de sobrevivencia, se obtuvo una diferencia altamente significativa por parte de las fuentes de orden de suelo y la mezcla de polímero más orden de suelo ($Pr < 0.01$), de la fuente polímero no se registraron diferencias significativas ($Pr > 0.05$) (Ver Anexo 6, 7 y 7.1).

CUADRO IV. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL INVERNADERO DE SUELOS. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS. 2017.

Variable	Pr > F					
	FUENTE					
	Orden de suelo		Polímero		Orden de suelo*Polímero	
Materia seca	0.0001	A**	0.2249	NS	0.0159	*
Humedad a capacidad de campo	0.0005	A**	0.0164	*	0.001	A**
Humedad a punto de marchitez permanente	0.0380	*	0.0548	NS	0.0037	A**
Días de sobrevivencia	0.0001	A**	0.3724	NS	0.0002	A**

*= Indica un efecto significativo al nivel de probabilidad del 1%

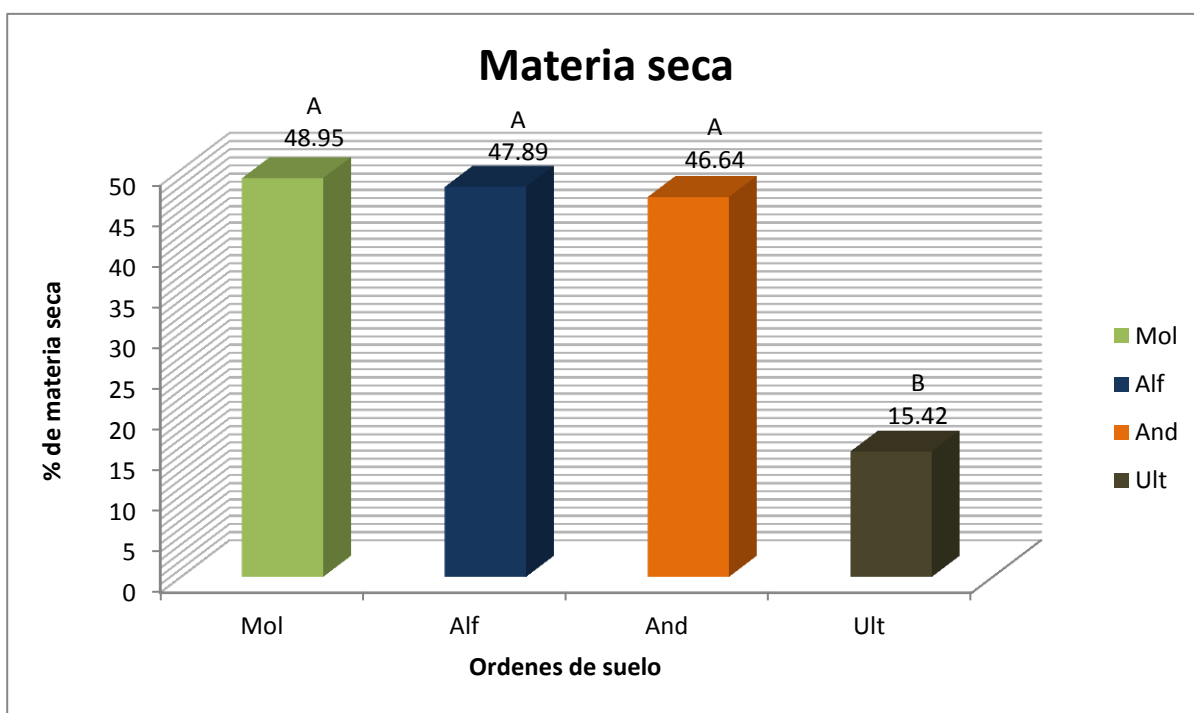
A**=Altamente significativo

NS= indica un efecto no significativo.

Observación: Si el valor de $Pr > F$ es mayor que 0.05 no existen diferencias significativas, si es menor que 0.05 pero se mantiene mayor que 0.01 hay significancia y si es menor que 0.01 la diferencia es altamente significativa.

4.1. 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. Según Rodríguez, (2008), la especie *Phaseolus vulgaris* (frijol de poroto), logra alcanzar en promedio un 41 %, que si lo comparamos con los promedios presentados en el siguiente gráfico podemos darnos cuenta que con la aplicación de polímeros se logra un aumento.

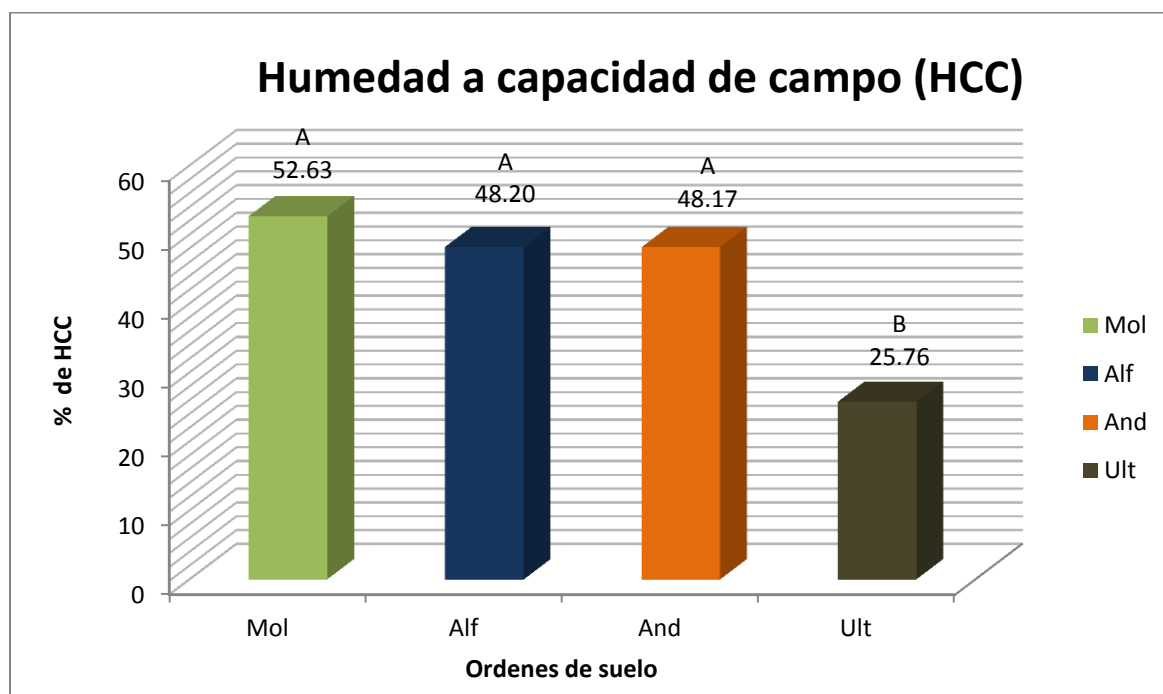


Valor Promedio seguido por la misma letra no difiere significativamente. Prueba de rango múltiples de Duncan.

Figura No. 4. Porcentaje de materia seca producida. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Chiriquí. 2017.

Según lo obtenido a través de la prueba de Duncan, las medias de porcentaje de materia seca, siguen un patrón que indica que no existen diferencias significativas entre las medias de los alfisol, andosol y mollisol. Sin embargo el porcentaje obtenido para el orden ultisol si difiere significativamente con los demás, esto pudiera ser debido a que se presentó una baja germinación en las plantas a causa de un exceso de humedad. Cabe mencionar que estos suelos son muy impermeables, por ende al aplicar la dosis de polímero se produjo un fácil encharcamiento.

4.2. Humedad a capacidad de campo



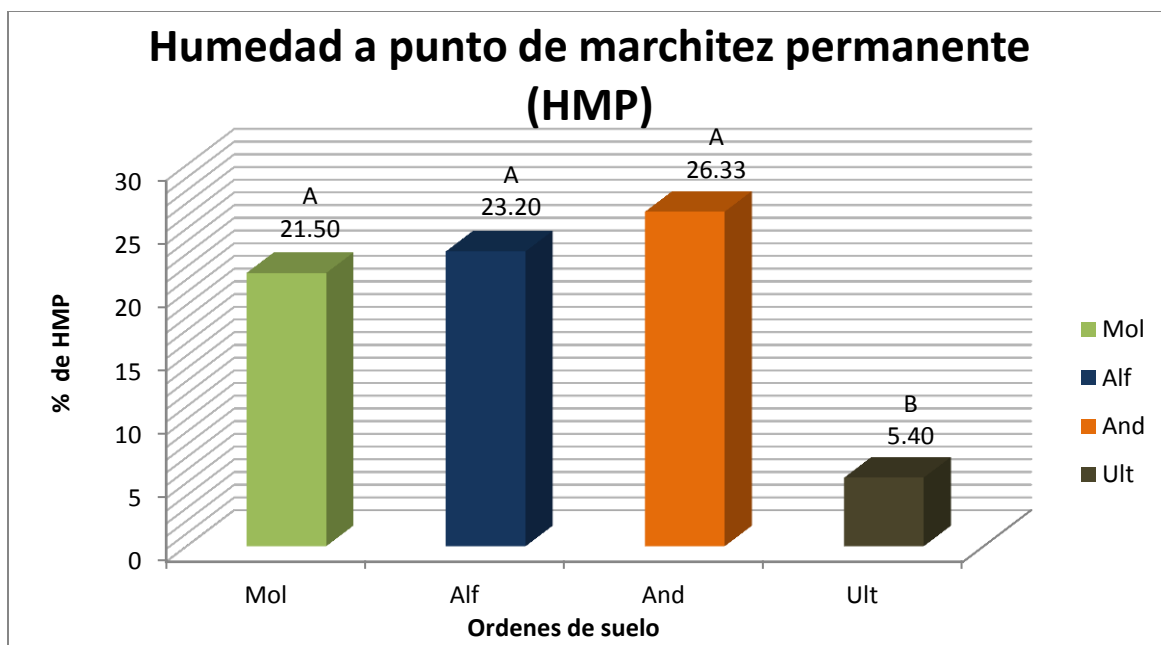
Valor Promedio seguido por la misma letra no difiere significativamente. Prueba de rango múltiples de Duncan.

Figura No.5. Porcentaje de humedad a capacidad de campo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Chiriquí. 2017.

En las medias de HCC presentados en la figura No.5, se pueden encontrar que no existen diferencias significativas entre las medias de los mollisol, alfisol y andosol, sin embargo si existe una marcada diferencia de estos tres con relación al ultisol. Según Alvarado (2014), los ultisoles se caracterizan por ser muy arcilloso; son los suelos que retienen mayor cantidad de agua, aunque una gran parte de ella es retenida con mucha fuerza y no está disponible para las plantas, además son suelos muy impermeables (fácilmente encharcables), por lo cual se podría concluir que el rendimiento del producto en este orden fue limitado debido a que el efecto del mismo produjo un aumento en la impermeabilidad de estos suelos.

4.3. Humedad a punto de marchitez permanente

En la Figura No.6, se observan las medias que representan el contenido de humedad en el suelo, luego de alcanzado un nivel tal que el agua que quedo fue retenida con una fuerza de succión mayor que la de absorción de las raíces de las plantas.

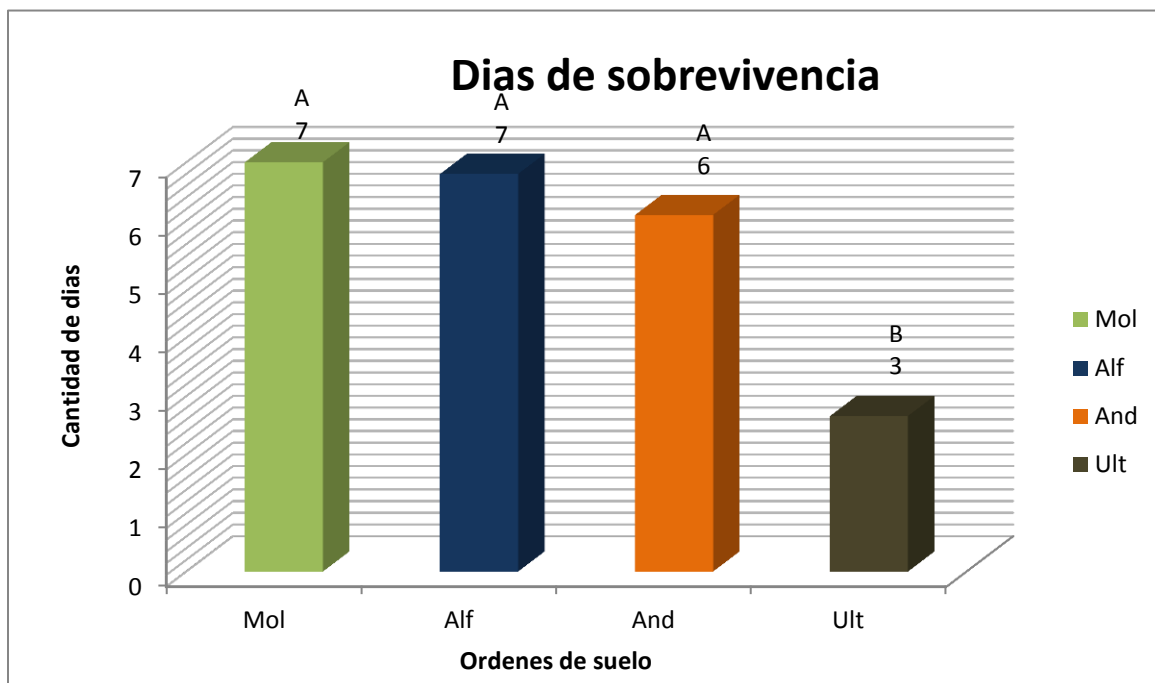


Valor Promedio seguido por la misma letra no difiere significativamente. Prueba de rango múltiples de Duncan.

Figura No. 6. Porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Chiriquí. 2017.

Según la FAO (1998), la Humedad a punto de marchitez permanente para los suelos con contenido de material arcilloso generalmente esta alrededor de un 28%, si comparamos este valor con el obtenido en el alfisol de 23.20% y en el ultisol donde se obtuvo un 5.40% y siendo este más bajo de todos, podríamos decir que con la aplicación de polímeros en estos órdenes, se logró disminuir el porcentaje de humedad, lo cual es bueno ya que a menor porcentaje, mayor será el agua disponible para las plantas. En el caso del orden mollisol se obtuvo un 21.50 %, el cual se considera bueno por ser estos suelos muy permeables.

4.4. Frecuencia de días de sobrevivencia



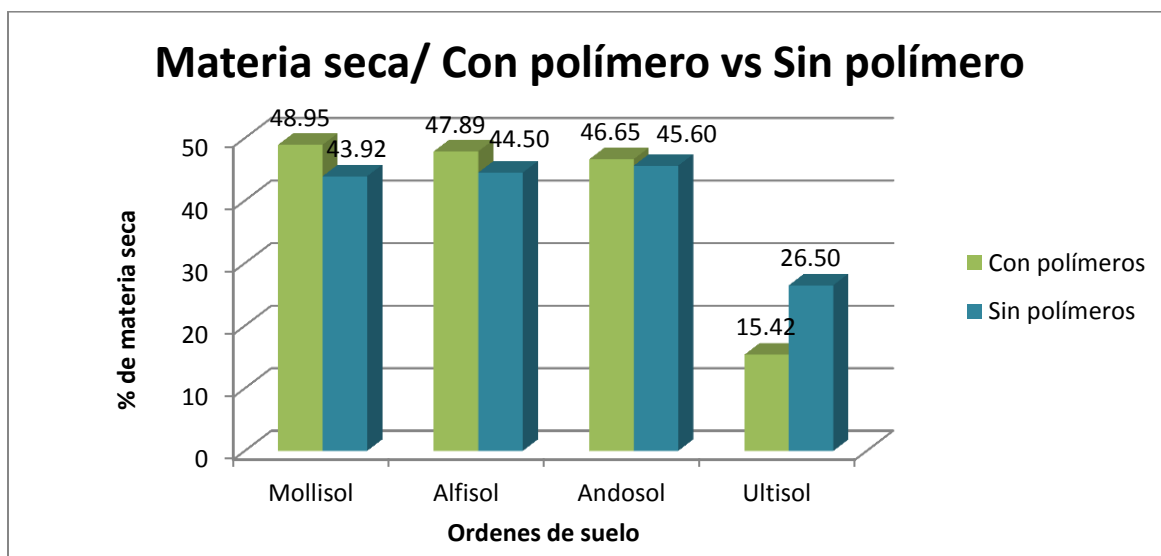
Valor Promedio seguido por la misma letra no difiere significativamente. Prueba de rango múltiples de Duncan.

Figura No.7. Frecuencia de días de sobrevivencia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Chiriquí. 2017.

En la Figura No.7, se observa que no hay diferencias significativas en el mollisol con un promedio de 7 días, al igual que para el alfisol y andosol con un promedio de 6 días; se registró una diferencia significativa con respecto al ultisol con un promedio de 3 días. Se determinó que este resultado se obtuvo debido al problema inicial en la etapa de germinación del ensayo, debido a que la proporción que se preparó de la mezcla, se mantuvo muy humedecida, tanto así que hubo un bajo rendimiento de semilla sembrada, y la mayoría de las plantas no lograron desarrollarse adecuadamente.

4.5. Resultados de la prueba de Tukey, análisis de las variables medidas con polímero vs los testigos sin polímeros.

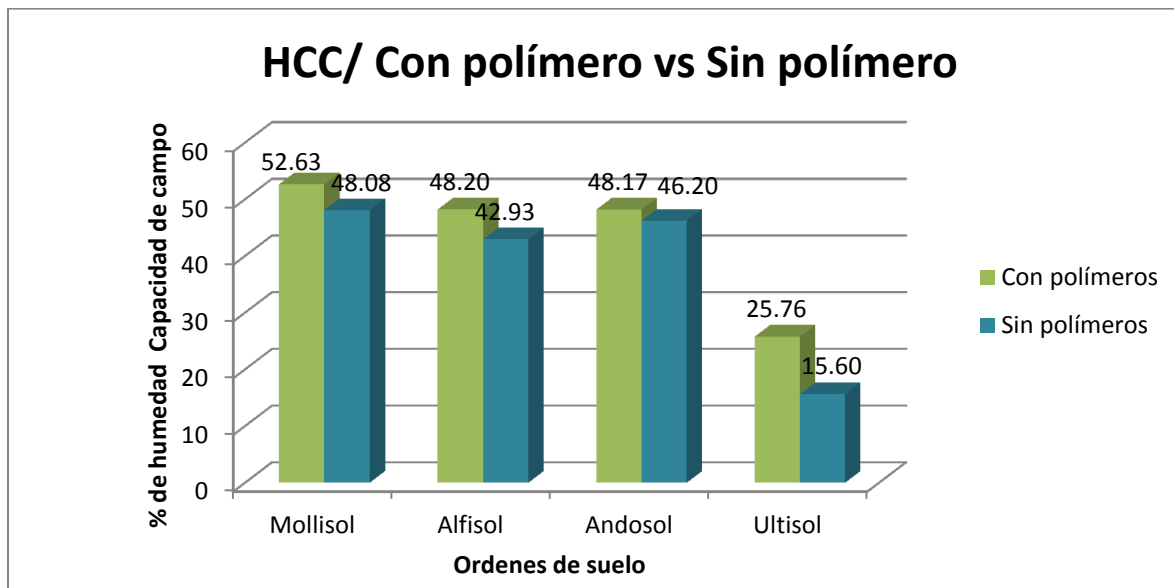
A continuación se presentan los resultados obtenidos a través de prueba de turkey luego de comparada las medias de materia seca, humedad a capacidad de campo, humedad a punto de marchitez permanente y días de sobrevivencia con polímero y sin polímero.



Los valores establecidos en este grafico pertenecen a valores promedios obtenidos a través de la prueba de Tukey.

Figura No. 8. Medias de materia seca de las plantas, con polímeros y sin polímeros. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Chiriquí. 2017.

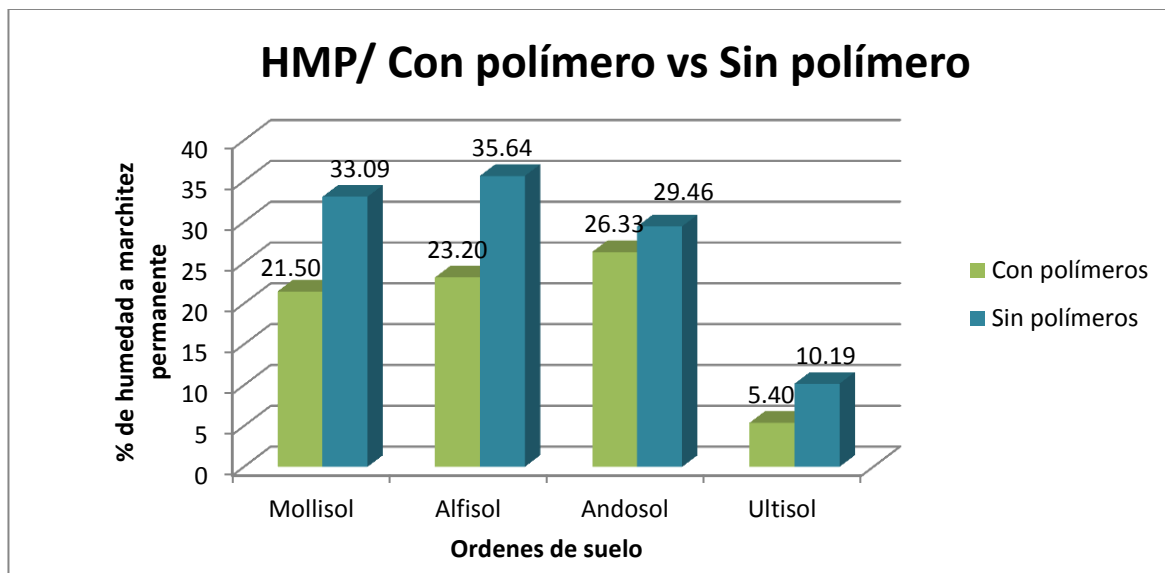
Se obtuvo un aumento en los porcentajes observados en la figura 8, para el mollisol 5.03%, para el alfisol 3.39%, en el caso del andosol un 1.05% y en el orden ultisol se obtuvo una disminución de un 11.09% debido a que se excedió la dosis de polímero. El aumento de materia seca producida, se debe a que el polímero fue capaz de mejorar el aprovechamiento de agua y nutrimentos que ayudaron a mejorar el desarrollo de las plantas.



Los valores establecidos en este gráfico pertenecen a valores promedios obtenidos a través de la prueba de Tukey.

Figura No. 9. Medias de Humedad a capacidad de campo, con polímero y sin polímero. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Chiriquí. 2017.

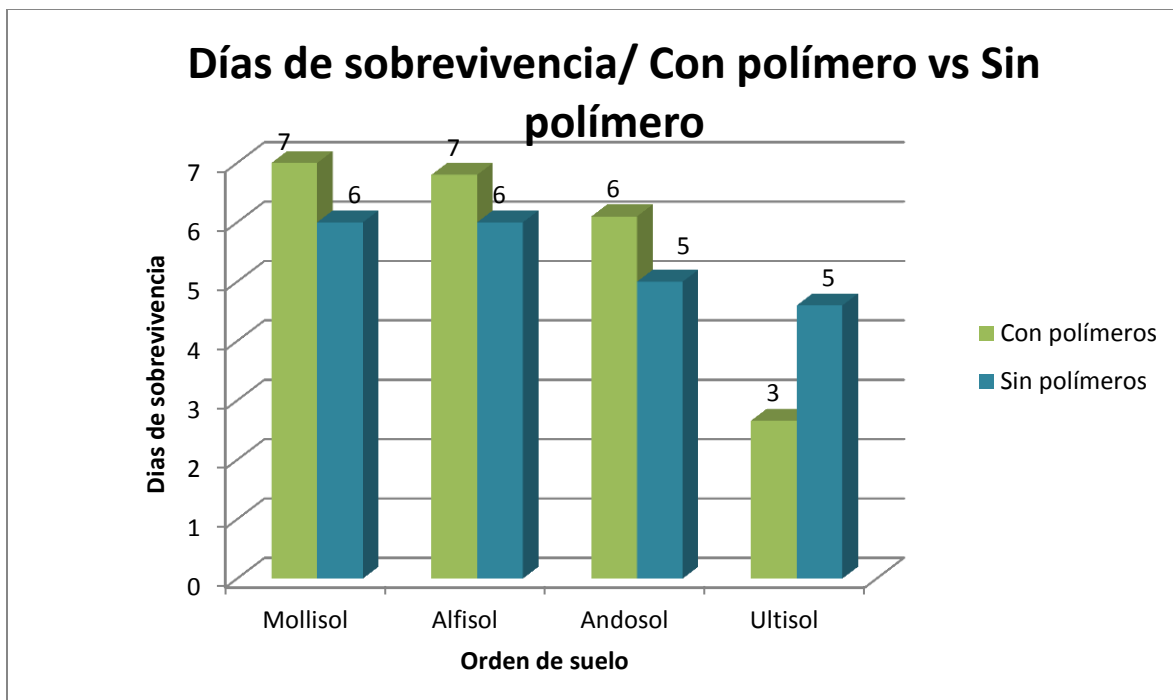
En las medias observadas en la figura No.9, se refleja un aumento en el porcentaje de humedad en el orden mollisol de un 4.55%, alfisol 5.27%, para el andosol 1.97 % y para el ultisol 10.15 %. Con la aplicación de polímeros se logró un aumento en el porcentaje de humedad que resulta beneficioso, ya que esto se vio reflejado en el porcentaje de agua disponible para la planta como se observa en la figura 12. Aunque en los órdenes mollisol, alfisol y andosol la diferencia no es tan amplia, es considerado un avance importante, ya que esto indica que el producto siempre y cuando sea aplicado en una dosis optima, mejorará el aprovechamiento de los volúmenes de agua en el suelo.



Los valores establecidos en este grafico pertenecen a valores promedios obtenidos a través de la prueba de Tukey.

Figura No. 10. Medias de Humedad a punto de marchitez permanente, con polímero y sin polímero. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Chiriquí. 2017.

Si analizamos los valores e la figura No. 10, podemos ver que se logró acortar el porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente, aunque para el mollisol y alfisol se logró una reducción mayor, con un margen de diferencia promedio de 12 %, para el andosol y ultisol el margen promedio que se obtuvo fue de 3.96 % el cual fue bajo si lo comparamos con los demás órdenes, sin embargo este porcentaje de igual manera es significativo ya que se vio reflejado en el porcentaje de agua disponible para las plantas como se observa en la Figura No.12.

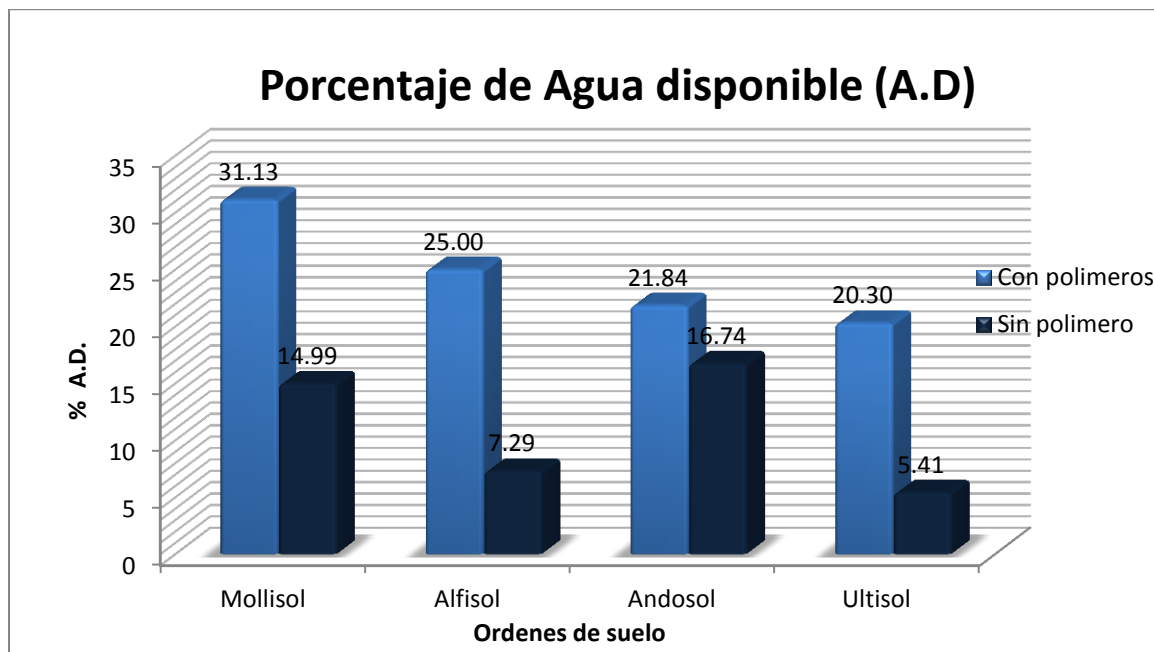


Los valores establecidos en este grafico pertenecen a valores promedios obtenidos a través de la prueba de Tukey.

Figura No.11. Medias de frecuencia de días de sobrevivencia, con polímeros y sin polímeros. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Chiriquí. 2017.

Se registraron diferencias en las medias de días de sobrevivencia mostradas en la figura No.11. Para los órdenes mollisol, alfisol y andosol se obtuvo un aumento de un día, esto debido a que el producto tuvo un efecto positivo en cuanto a los factores de materia seca, humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente; resultando en una mejor disponibilidad de agua y nutrimentos aprovechables para las plantas. En cambio para el ultisol la frecuencia disminuyo dos días esto debido al exceso de humedad de la mezcla que ocasionó un deficiente desarrollo de las plantas.

4.6. Porcentaje de agua disponible con y sin polímeros en los cuatro órdenes de suelo.



Los valores presentados en la gráfica son el resultado de la resta de los porcentajes de las medias de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente de cada orden de suelo.

Figura No.12. Porcentaje de agua disponible, con polímeros y sin polímeros. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Chiriquí. 2017.

El autor Mata (1991), indica que la capacidad de campo y punto de marchitez son los límites que definen la necesidad de agua de un cultivo para su óptimo desarrollo. El agua contenida en el suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez es el agua capaz de absorber el sistema radical del cultivo.

En la Figura No.12, se observan las medias de agua disponible, en donde se demuestra que con la aplicación de polímeros hidroabsorbentes se logró un aumento en los porcentajes de humedad a capacidad de campo y una disminución en el porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente y

debido a esto finalmente el porcentaje de agua disponible para la planta aumento en un 16.14% para el mollisol, 17.71% el alfisol, 5.10% el andosol y en un 14.89% para el ultisol, Sin embargo los resultados obtenidos para el mollisol que son suelos donde el porcentaje de agua útil según Mata (1991), es bastante bueno por ser suelos con textura franco arenosa se logró un considerable aumento, en comparación con el porcentaje obtenido en la media donde no se utilizó polímeros y en el caso del alfisol se logró mejorar también el porcentaje de agua disponible tomando en cuenta que son suelos que generalmente presentan problemas de drenaje por alto contenido de arcilla y poco material orgánico, caso similar sucede con el ultisol

5. CONCLUSIONES

1. Se pudo demostrar que con la aplicación de polímeros se mejora la capacidad de retención de humedad de los cuatro órdenes. A través de ensayos se pudo demostrar que la capacidad de retención de humedad del polímero puede llegar a ser mayor de 300 veces su peso, dependiendo de las características del suelo en el cual se aplique.
2. Se logró un aumento en el porcentaje de materia seca producida, lo cual indica que hubo un mejor aprovechamiento de los nutrientes disponibles en el suelo. se obtuvo también un aumento en el porcentaje de humedad a capacidad de campo y una considerable baja en el punto de marchitez permanente, con lo cual se obtuvo un mayor porcentaje de agua disponible y la sobrevivencia de las plantas aumentaron a un día extra, solo haciendo excepción al orden ultisol en donde la dosis de polímero aplicada no fue la adecuada.
3. Se obtuvo un aumento en el porcentaje de agua disponible para los cuatro órdenes mayor a un 20%, esta agua se fue liberando paulatinamente a las raíces a medida que la humedad del sustrato fue disminuyendo. De esta forma, el polímero no sólo contribuyo a mejorar la retención y disponibilidad de humedad, sino que también ayudo a mejorar las características de aireación y descompactación del suelo, además de reducir el uso de agua.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda en futuras investigaciones evaluar el producto en el periodo seco, específicamente en las regiones de nuestro país, que comprenden, El Arco Seco, Sabana Veragüense, Comarca Ngöbe Buglé y el corregimiento de Cerro Punta, las cuales se reconocen como las cuatro áreas críticas sujetas a procesos de sequías y degradación de suelos.
- Se recomienda realizar un estudio desarrollado en campo, en donde se pueda validar el producto y determinar las dosis acordes a las características de los suelos, ya que todos los suelos tienen características hídricas distintas y no absorben ni retienen humedad de la misma forma.
- Se considera viable la formulación de una investigación que evalué el aporte de agua de polímeros en diferentes órdenes de suelos, en donde se tome en cuenta el orden vertisol, utilizando distintas dosis de polímero y no una estándar como en este estudio.

7. REFERENCIAS CITADAS

- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, PA); BID (Banco interamericano de Desarrollo, PA). 2011. Atlas Ambiental de la República de Panamá (en línea). Panamá. Consultado el 15 de septiembre de 2016. Disponible en: <http://goo.gl/bprfSj>
- Alvarado, A. 2014. Clasificación y evaluación de suelos. Suelos del orden molisoles (en línea) consultado el 1 de junio de 2016. Disponible en: <http://es.slideshare.net/dugr89/suelos-del-orden-molisol>.
- Ballesteros, P.2000. Efectos del polímero hidroabsorbente STOCKOSORB sobre el incremento en diámetro y altura en vivero de la especie eucalipto. Sistema de Gestión de Revistas (en línea). Consultado el 10 de junio de 2016. Disponible en: <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1777>.
- Evonik Industries. 2008. STOCKOSORB, Su clave para el manejo eficiente del agua, cultivos agrícolas y hortícolas. Alemania. Pág. 2-11.
- Fadda, G. 2003. Clasificación de suelos. Catedra de Edafología. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina (en línea). Consultado el 2 de junio de 2016. Disponible en: <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/Clasificacion%20de%20Suelos%20Xi.pdf>.
- FAO, (Organización de las naciones unidas para la alimentación). 1998. Apuntes de geotecnia con énfasis en laderas. El agua en el suelo (En línea). Consultado el 12 de diciembre de 2016. Disponible en: <http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/10/el-agua-en-el-suelo.html>
- Global wáter partnership. 2013. Tecnologías para el uso sostenible del agua (en línea).71 paginas. Consultado el 12 de septiembre de. 2016. Disponible en: http://www.gwp.org/Global/GWPCAm_Files/Tecnologias%20para%20el%20uso%20sostenible%20del%20agua.pdf
- González, C. 2007. Contenido de humedad del agua en el suelo. Universidad nacional de Colombia (en línea). Consultado el 16 de septiembre de 2015. Disponible en: <http://www.Virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/raspa/und>.
- Google Earth. 2016. Ubicación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Chiriquí (En línea). Consultado el 9 de Mayo de 2016. Disponible en: <https://www.google.com/earth/>.

- Ibáñez, J. 2006. El Agua en el Suelo 4: Textura del Suelo y Propiedades Hídricas. Retención de humedad en el suelo según la textura y sus propiedades hídricas (En línea). Consultado el 20 de diciembre de 2016. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887>
- LUQUE, A., VAZQUEZ, J., LUQUE, L. 1989. Drenaje agrícola y desagüe de áreas inundables. Ed. Hemisferio sur. Buenos Aires – Argentina (En línea). Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos82/disenosistema-drenaje-superficial/disenosistema-drenaje-superficial2.shtml>
- Mata, R. 1991. Los Órdenes de suelos. Taller de Erosión. Memoria, Heredia, Costa Rica (en línea). Consultado el 4 de mayo de 2016. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2015. MIDA anuncia medidas para mitigar efectos, mediante el Plan de Sequía (en línea). Ciudad de Panamá, PA. Consultado el 3 de febrero del 2016. Disponible en: http://www.mida.gob.pa/noticias_id_3134.html
- Montaño, J. (2000). Respuesta de tres abonos orgánicos en los cultivos de rábano y lechuga. Tesis Pregrado Universidad Nacional Sede Palmira, Colombia.
- Morante, J. 2003. Polímeros hidroabsorbentes agrícolas. Tecnología de producción (en línea). Consultado el 2 de junio de 2016. Disponible en: http://www.horticom.com/revistasonline/sumaris/sample/074_075.pdf.
- Ortega Justavino, R J. 2013. Estimación de la demanda de consumo de agua de los usuarios de la quebrada la Berrona, localizada en el corregimiento Chiriquí, provincia de Chiriquí. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 142 pág.
- Plaza, M. E. (2006). Síntesis de hidrogeles a partir De acrilato de sodio Y metacrilamida para la liberación controlada de fertilizantes. Tesis pregrado, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- PRESA, S.A (Proyectos, Estudios y Asesorías S.A. P.A). 1980. Estudios agrologicos: Tierras patrimoniales de la Facultad de Agronomía en la Provincia de Chiriquí. Panamá. 150 p.
- Projar (Ejecución de proyectos y consultoría ambiental).2013. Retenedor de agua stockosorb (en línea). España. 5 paginas. Consultado el 2 de mayo del 2016. Disponible en: <http://www.projar.es/productos/productos-hortofruticultura-jardineria/fertilizantes/retenedor-agua/retenedor-de-agua-stockosorb>

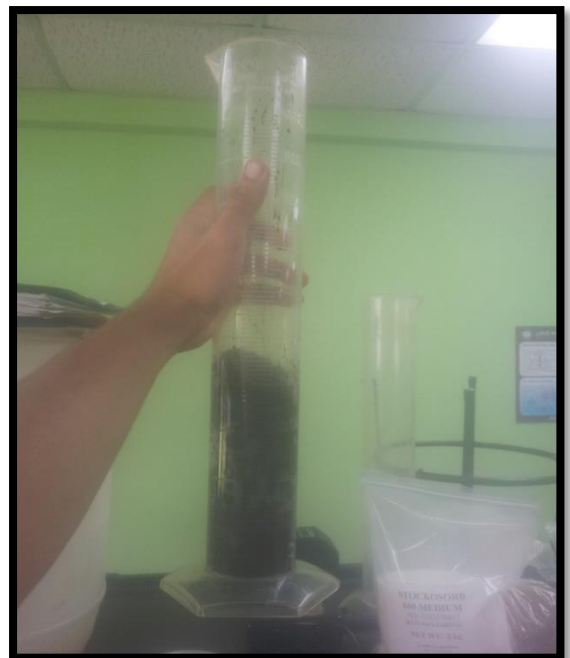
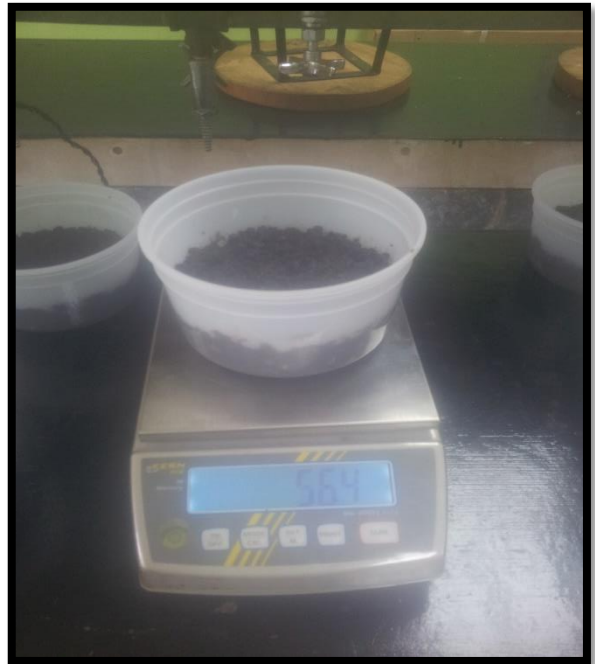
Rivera .G. 2007. Polímeros sintéticos. Salud y Ecología. (En línea). Consultado el 26 de septiembre de. 2015. Disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Polimeros-Hidroabsorventes/7456735.html>

Rodríguez, A. 2010. Comportamiento del hidrogel en suelos Arenosos (En línea). Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. 8 p. Consultado el 8 de mayo del 2016. Disponible en: <http://revistaeidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/9/e.htm>

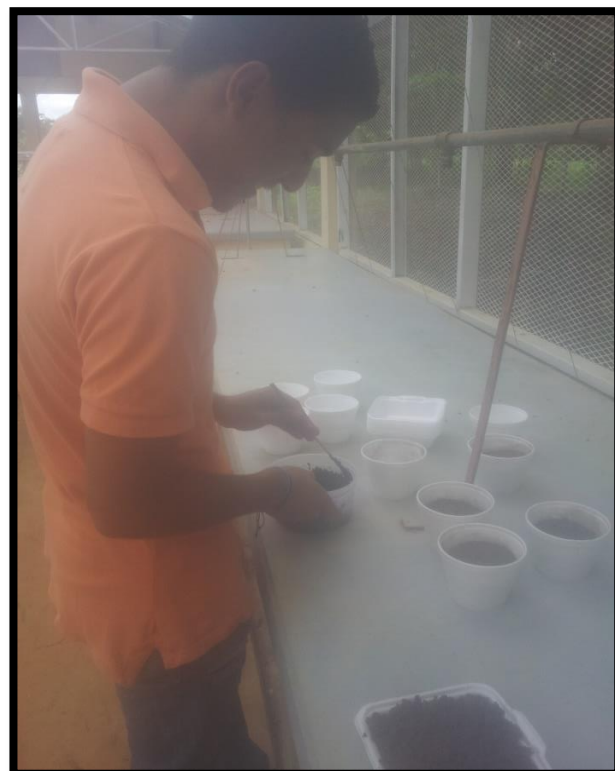
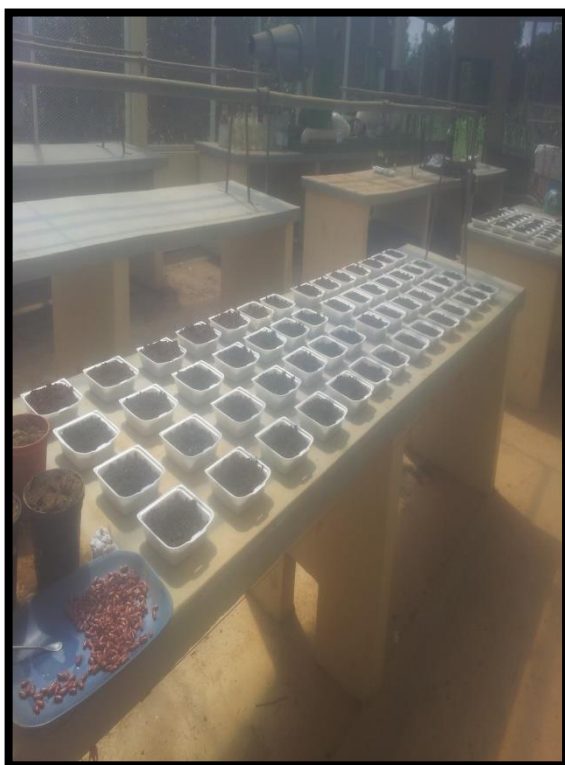
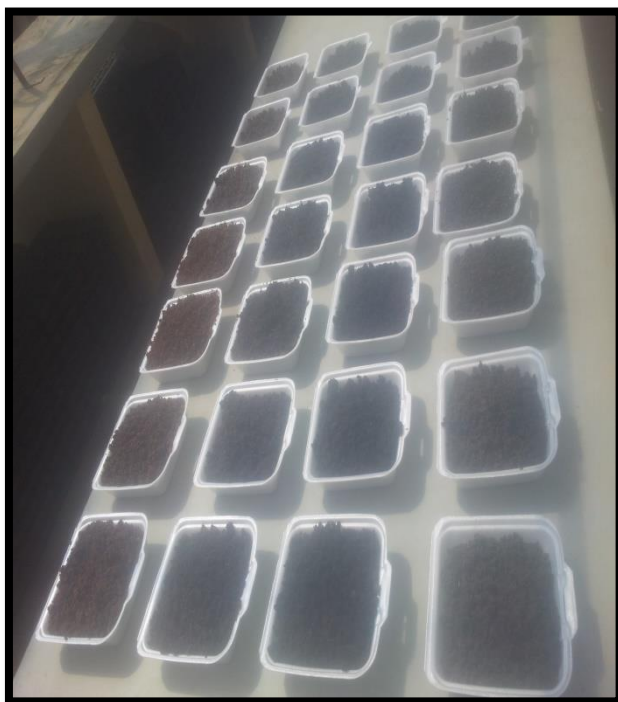
Salinas, J. G. 1983 Oxisoles y Ultisoles en América Tropical. CIAT.Cali. 68 páginas.

8. ANEXOS

Anexo 1. Pruebas de retención de humedad y volumen de la mezcla en laboratorio



Anexo 2. Establecimiento del ensayo en invernadero



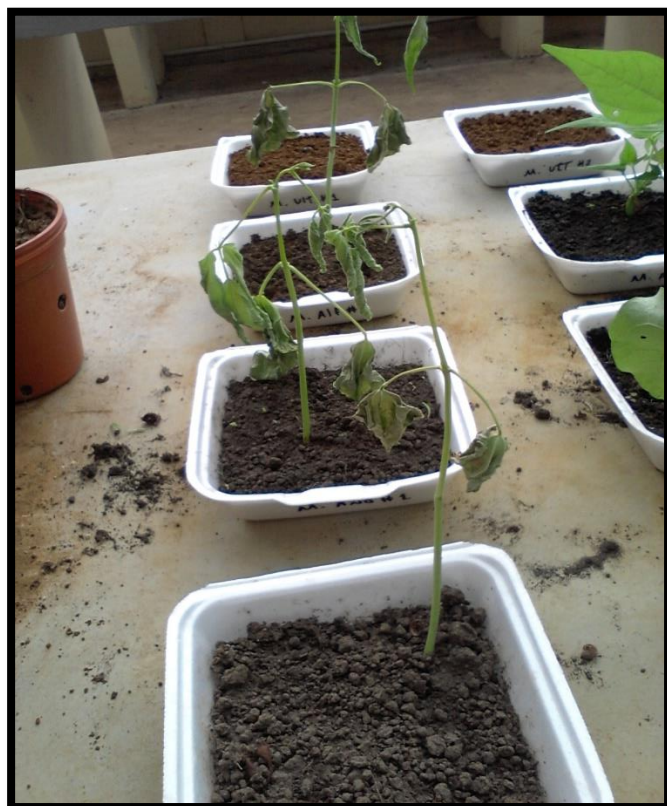
Anexo 3. Fertilización



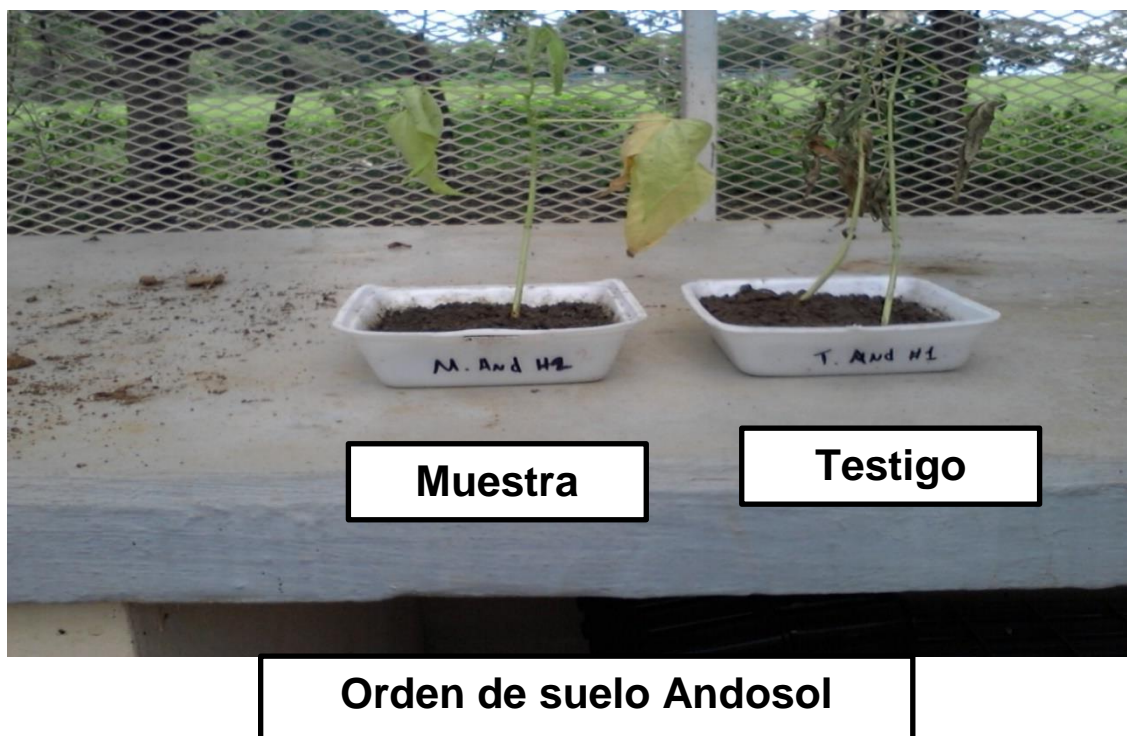
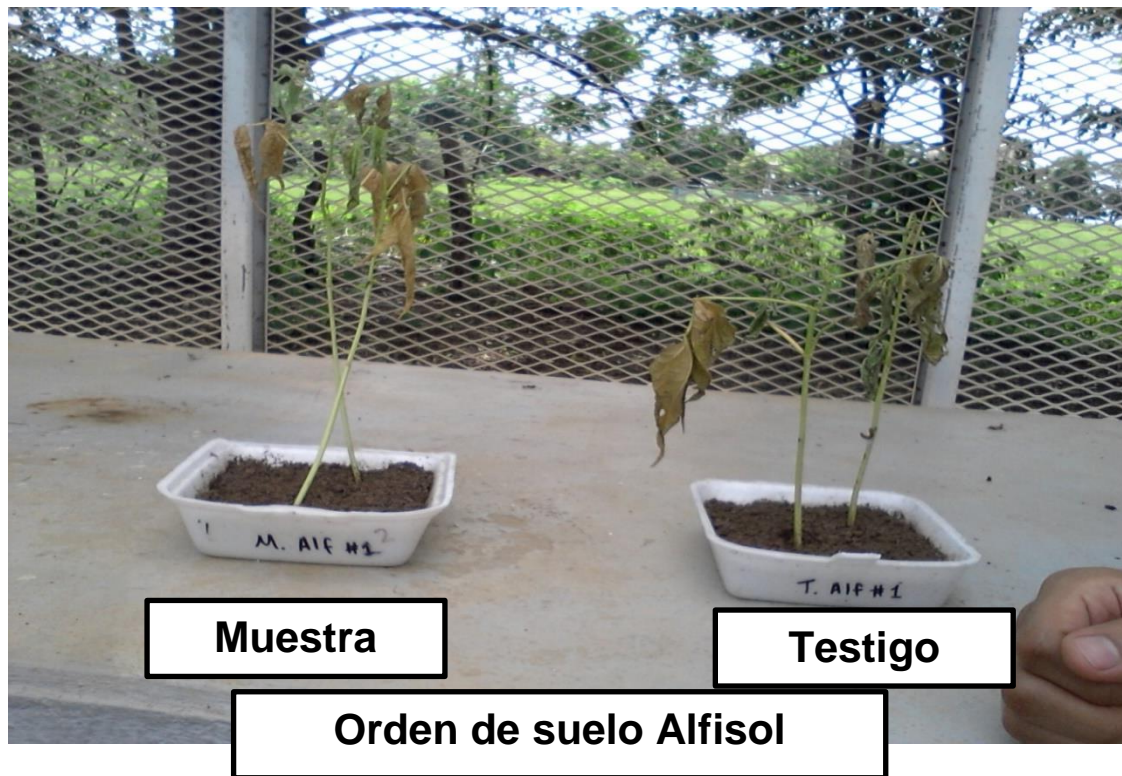
Anexo 4. Toma de datos de variables de investigación

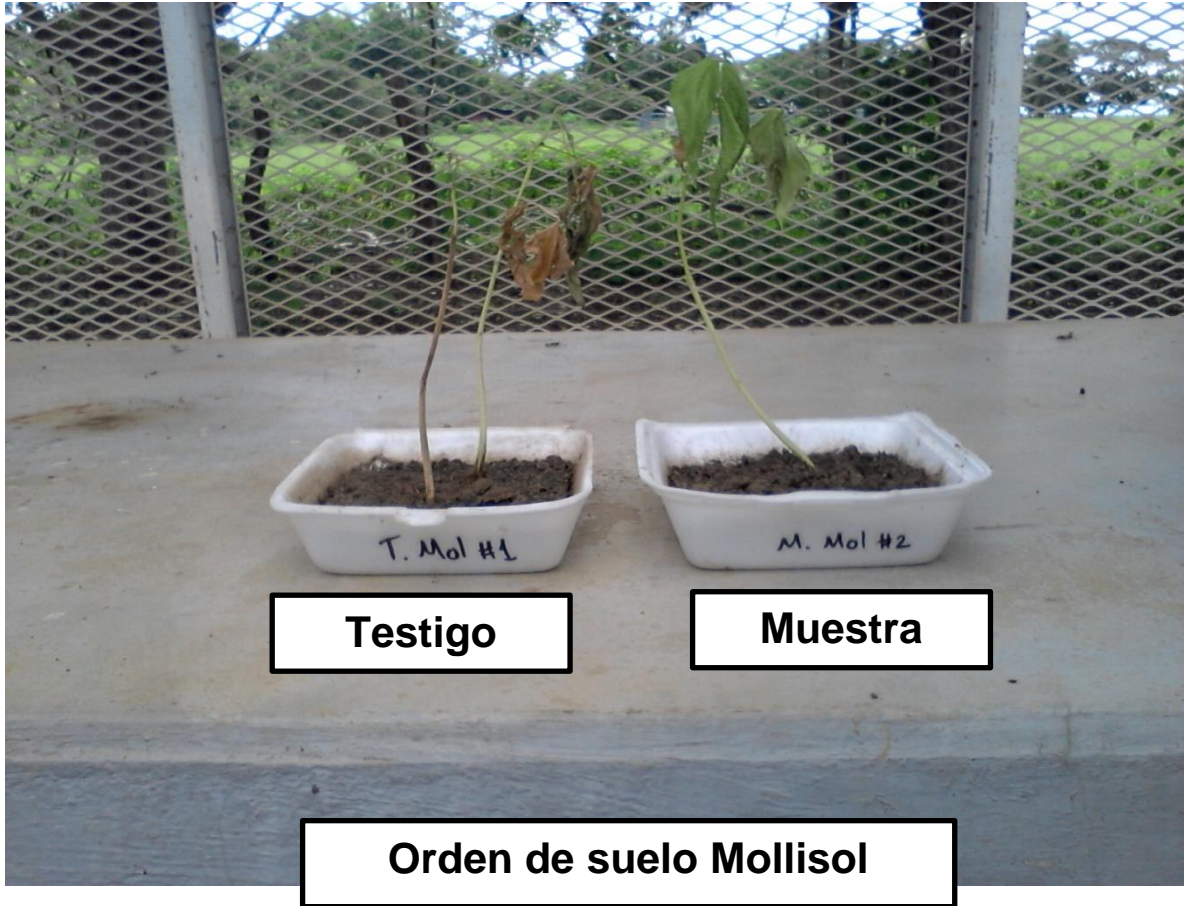


Anexo 5. Toma de datos de covariables de investigación**solarimetro digital.****Termohigrómetro digital**

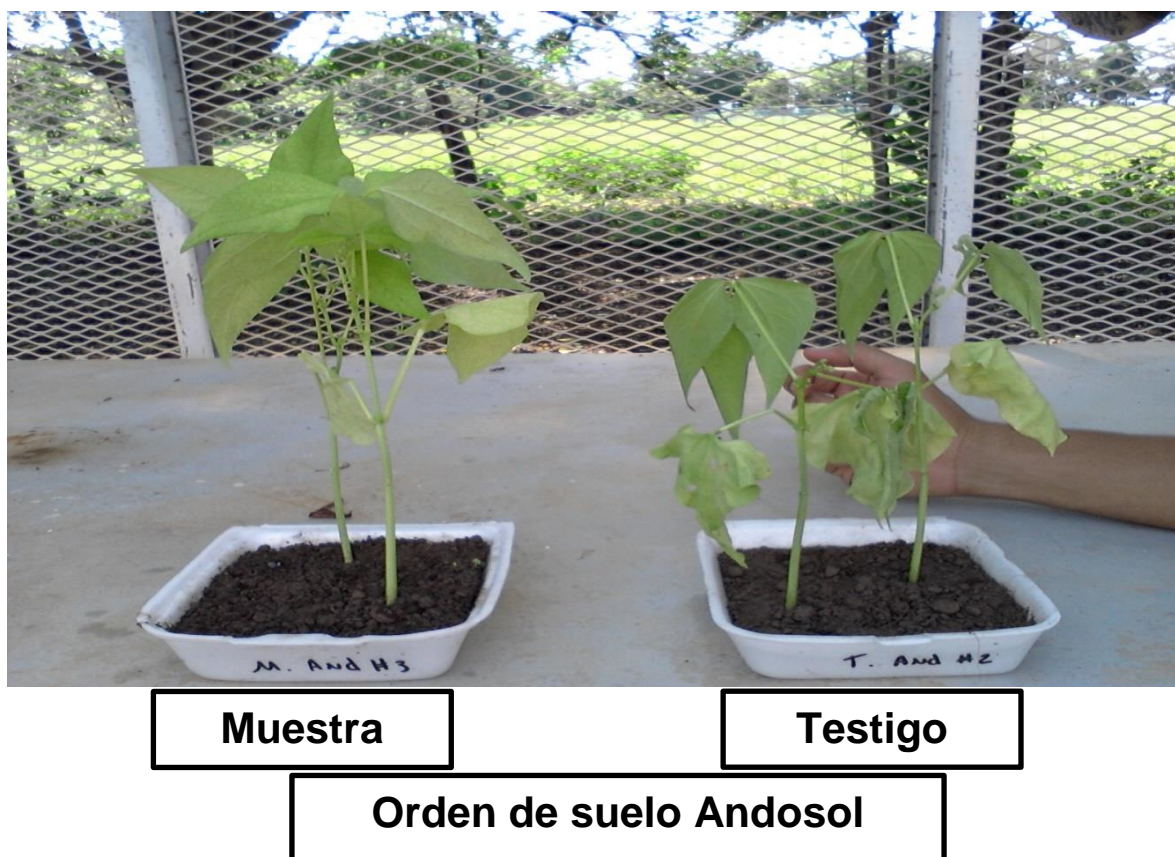
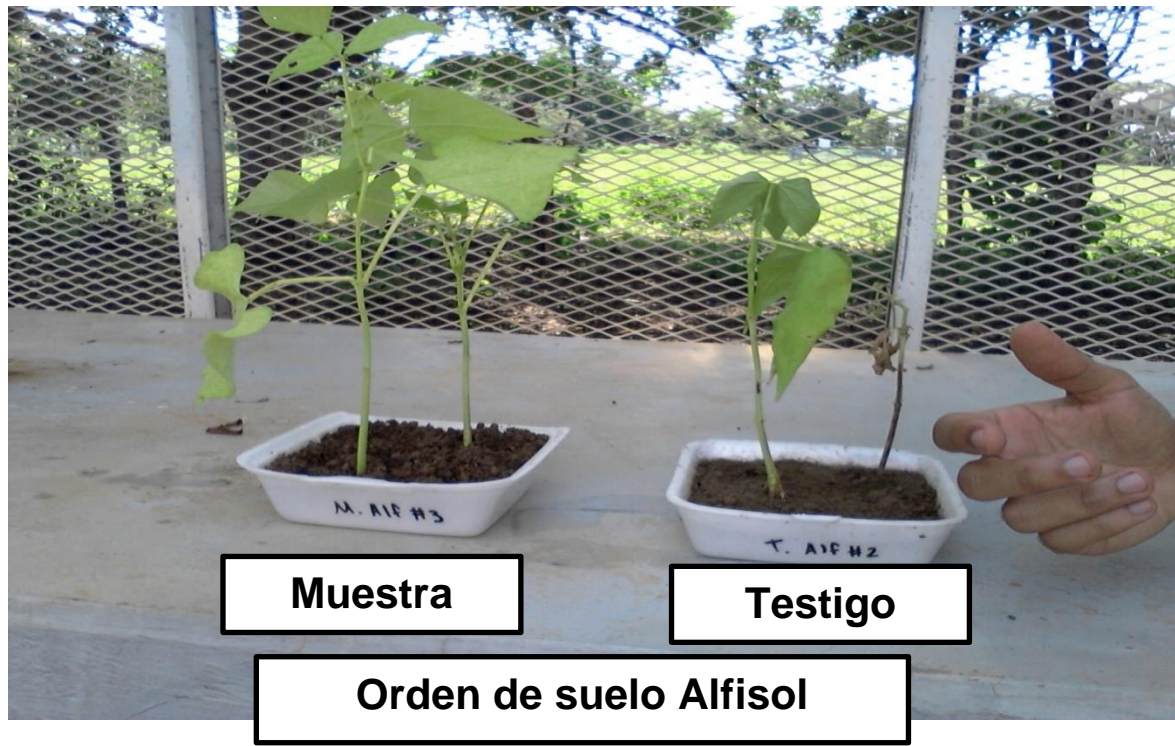
Anexo 6. Muestras en etapa de punto de marchitez permanente

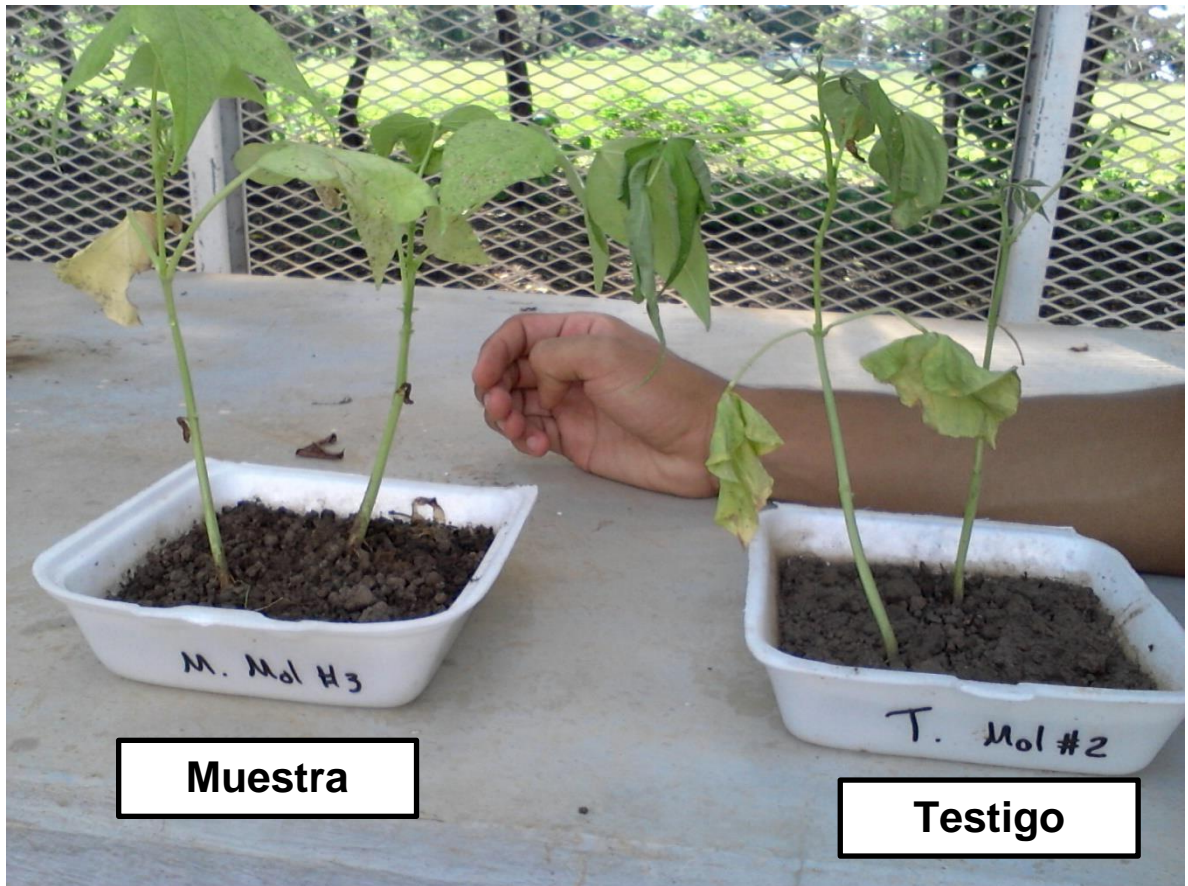
Anexo 6.1. Comparación de muestras en proceso de alcanzar el punto de marchitez permanente.





Anexo 7. Muestras después de un día sin aplicación de humedad.





Muestra

Testigo

Orden de suelo Mollisol