

**Variaciones Morfológicas en Raíces de Plantas de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) Sometidas a  
Diferentes Condiciones de Humedad**

**Silvana Suárez Londoño**

**Trabajo de grado para optar por el título de  
Agrónomo**

**Directora**

**Sandra Yamile Pulido PhD**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuaria y del Medio Ambiente ECAPMA  
Programa de Agronomía  
Cead Palmira  
2020**

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Palmira, abril 30 de 2020

***DEDICATORIA***

A mi padre Daniel Antonio y a mis hijos Martín y Salvador.

## **Agradecimientos**

A Dios por permitirme la vida y la oportunidad de estudiar y aprender.

PhD. Sandra Yamile Pulido por su apoyo y dirección en el desarrollo de este trabajo durante varios meses. Su compromiso con la ciencia y por compartir sus valiosos conocimientos en pro de la educación y el desarrollo de la agricultura en Colombia.

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD por darme la oportunidad de adelantar mis estudios profesionales en un área tan bonita como lo es la agricultura.

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) por facilitar la tecnología requerida para esta investigación.

Todos los docentes que aportaron con su dedicación a mi enriquecimiento académico a lo largo de este lapso.

Mi familia por su apoyo constante en especial a mi esposo Julio Cesar.

## Tabla de Contenido

1. Introducción .....	12
2. Objetivos .....	15
2.1 Objetivo General .....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. Marco Conceptual y Teórico.....	16
3.1. Factores Incidentes del Estrés Hídrico por Sequía.....	16
3.1.1. El frijol ( <i>Phaseolus vulgaris L</i> ) y el estrés hídrico por sequía.....	17
3.2 Mecanismos de Resistencia al Estrés Hídrico.....	18
3.2.1 Mecanismo de resistencia. . . . .	19
3.2.2 Mecanismo de tolerancia. . . . .	19
3.2.3 Mecanismo de evasión.....	19
3.3 Interacción Raíz – Planta – Suelo .....	19
3.4 Capacidad de Campo (Cc) .....	21
3.5 Origen y Características del Frijol Ser 16 Y Tío Canela .....	21
3.6 Características a Evaluar Relacionadas con la Raíz Bajo Estrés Abiótico .....	22
3.7 Estudios Realizados .....	23
4. Materiales y Métodos.....	27
4.1 Localización.....	27
4.2 Material Vegetal.....	27
4.3 Germinación y Siembra de Semilla .....	27
4.4 Tratamientos Realizados .....	29
4.4.1 Determinación de volúmenes de suministro de agua. ....	30
4.5 Variables Evaluadas.....	31
4.6 Diseño Experimental.....	32
5. Resultados y Discusión .....	32
5.1 Efecto de la Humedad Sobre la Longitud y Diámetro Promedio de Raíces de Frijol Ser 16 y Tío Canela por Perfil de Suelo .....	32
5.2.2 Efecto de la humedad sobre el diámetro de raíz a diferentes de profundidad de suelo. ....	37
6. Conclusiones .....	38
7. Recomendaciones .....	39

Anexos .....	43
Anexo 1. Prueba Del Rango Múltiple Para Longitud En Los Diferentes Perfiles De Suelo Para Ser 16 Y Tío Canela.....	43
Anexo 2. Prueba del Rango Múltiple para Diámetro en los Diferentes Perfiles de Suelo Para Ser 16 y Tío Canela.....	45
Anexo 3. Prueba del Rango Múltiple Para Longitud en los Diferentes Perfiles de Suelo y Diferentes Humedades.....	48
Anexo 4. Prueba del Rango Múltiple para Diámetro en los Diferentes Perfiles de Suelo y Diferentes Humedades.....	51

## Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Pre germinación y siembra de semillas.....	28
<i>Figura 2.</i> Llenado de tubos cubiertos con tubos de PVC .....	28
<i>Figura 3.</i> Recolección y procesamiento de suelo .....	30
<i>Figura 4.</i> Ejemplo de escaneo de raíces se observan los tratamientos H2R4 y H2S2 a una profundidad de 0-5 cm .....	31
<i>Figura 5.</i> Efecto de la humedad sobre la longitud de raíz de las variedades Ser 16 y Tío Canela en el perfil del suelo.....	32
<i>Figura 6.</i> Efecto de la humedad sobre el diámetro de raíz de las variedades Ser 16 y Tío Canela en el perfil del suelo.....	33
<i>Figura 7.</i> Efecto de la humedad sobre longitud de raíz en el perfil del suelo.....	34- 35
<i>Figura 8.</i> Efecto de la humedad sobre el diámetro de raíz a 0-5 cm de profundidad de suelo.....	37

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Tratamientos y volúmenes de suministro de agua .....	30



## Lista de Anexos

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Prueba del rango múltiple para longitud en los diferentes perfiles de suelo para Ser 16 y tío Canela.....	43
Anexo 2. Prueba del rango múltiple para diámetro en los diferentes perfiles de suelo para Ser 16 y tío Canela .....	45
Anexo 3. Prueba del rango múltiple para longitud en los diferentes perfiles de suelo y diferentes humedades .....	48
Anexo 4. Prueba del rango múltiple para diámetro en los diferentes perfiles de suelo y diferentes humedades.....	51

## Resumen

El déficit hídrico afecta los cultivos causando pérdidas de cosechas y disminución en la producción de alimentos, que conlleva a la inseguridad alimentaria. En el trópico el agua es el factor más limitante en la producción agrícola, la cual se reduce 20% por cada cuatro (4) años de sequía. Las plantas activan mecanismos de sobrevivencia como respuesta al estrés por sequía; uno de estos mecanismos es el aumento de área y longitud de raíces, con los que la planta explora un volumen mayor de suelo para maximizar la absorción de agua intersticial. Estudios realizados en varias especies vegetales sometidas a estrés por sequía, muestran que el aumento en diámetro y longitud de raíces está relacionado con tolerancia a sequía. El objetivo planteado fue identificar características fenotípicas de tolerancia al estrés hídrico en la raíz de dos líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), a diferentes condiciones de humedad y diferentes profundidades bajo invernadero con el método de tubos, para alcanzar este objetivo se midió la longitud y diámetro de las raíces de dos líneas de frijol Ser 16 tolerante a y Tío canela susceptible a sequía. Con esta investigación se concluyó que las líneas Ser16 y Tío canela, sometidas a diferentes condiciones de humedad, presentan un sistema radical profundo, con longitudes sobresaliente y raíces finas en la superficie del suelo tanto en sequía por déficit como en exceso de agua, son atributos importantes para la selección de genotipos tolerantes a sequía por déficit como por exceso de agua y que la metodología utilizada es adecuada para evaluar características fenotípicas de tolerancia a estrés hídrico.

**Palabras clave:** Estrés hídrico, tolerancia a estrés, líneas de frijol, desarrollo de raíz.

## **Abstract**

The water deficit affects crops causing losses and decreased food production, which causes food insecurity. In tropics, water is the most limiting factor in agricultural production, which is reduced by 20% for every four (4) years of drought. Plants activate survival mechanisms in response to drought stress; One of these mechanisms is increasing in area and length of roots, with which the plant explores a greater volume of soil to maximize the absorption of interstitial water. Studies in several plant species subjected to drought stress show that the increase in root diameter and length is related to drought tolerance. The objective was to identify phenotypic characteristics of tolerance to water stress at the root of two bean lines (*Phaseolus vulgaris*), at different humidity conditions and different depths under greenhouse with the tube method, to achieve this objective the length was measured and Root diameter of two “Ser16” bean lines tolerant A and “Tio cinnamon” susceptible to drought.

With this investigation, it was concluded that the “Ser16” and “Tio cinnamon” lines, subject to different humidity conditions, have a deep radical system, with outstanding lengths and fine roots on the soil surface both in deficit drought and in excess of water, these are important attributes for the selection of drought-tolerant genotypes due to deficit such as excess water, and, the methodology used is adequate to evaluate phenotypic characteristics of tolerance to water stress.

**Keywords:** Water stress, stress tolerance, bean lines, root development.

## Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una especie leguminosa de grano más sobresaliente para el consumo humano. Cultivándose a nivel mundial especialmente en países en desarrollo, se estima que el 45% de la producción mundial se origina en países latinoamericanos (Boudet, Boicet y Castillo, 2015).

Así mismo la planta de frijol es cultivada en zonas donde se experimentan microclimas con déficit hídrico de moderado a severo durante alguna de las etapas propias del cultivo. De esta manera se reconoce a Latinoamérica con un porcentaje de este tipo de producción correspondiente al 73% de su producción total y para África producciones en percentiles de 40% en la producción total de este grano bajo estas condiciones. (Boudet et al. 2015)

El estrés hídrico es uno de los factores abióticos que más afecta la producción mundial de cultivos y por ende de alimentos. (Barrios *et al.* 2011). Entre los aspectos que se ven involucrados en esta situación se encuentra la escasez de agua en forma de precipitaciones y también en su disponibilidad para riego, convirtiéndose también en un problema de sostenibilidad ambiental.

Por lo tanto, la ingeniería genética ha realizado esfuerzos en identificar factores que permitan el mejoramiento genético del frijol común para hacer frente a esta problemática. Una de las observaciones realizadas en estas investigaciones ha sido la elongación y/o desarrollo profundo de raíces, con lo cual las plantas mejoran su capacidad exploratoria de aguas profundas.

Se planteó como objetivo principal identificar características fenotípicas de tolerancia al estrés hídrico en la raíz de dos líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), a diferentes condiciones de humedad y diferentes profundidades bajo invernadero con el método de tubos, para alcanzarlo se evaluaron la longitud y diámetro de raíz de frijol Ser 16 y Tío Canela, tolerante y susceptible a sequía respectivamente, se realizó una relación de longitud de raíz y diámetro de frijol tolerante (Ser 16) y el susceptible (Tío Canela), con tolerancia a estrés hídrico, además de verificar la utilidad de la metodología de tubos estandarizada en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en la evaluación fenotípica de tolerancia a estrés hídrico en raíces.

Los tratamientos consistieron en cinco humedades de capacidad de campo (CC) de 20, 40, 60, 80 y 100 %, cada una con cuatro repeticiones por las dos líneas de frijol, para un total de 40 unidades experimentales. Las variables evaluadas fueron longitud y diámetro de raíz, a profundidades de suelo de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60 y 60-76 cm.

Los resultados mostraron que las dos líneas de frijol sometidas a diferentes condiciones de humedad no tienen diferencias significativas para las variables longitud y diámetro de raíz a diferentes humedades y alcanzaron la profundidad de 075 cm, se presentaron diferencias significativas para la variable longitud dentro de las humedades por cada profundidad, sobresalieron las longitudes de raíz de las humedades de CC de 40 – 80 % encontradas en la superficie del suelo (0-5 cm), la variable diámetro de raíz fue menor a 2 mm (raíces finas) para ambas líneas en todas las profundidades y tratamientos, se presentaron diferencias significativas en la profundidad de 0-5 cm dentro de las humedades tanto en sequía por déficit como en exceso de agua.

Se concluye que un sistema radical profundo, que presenta longitudes sobresalientes y de raíces finas en la superficie de suelos, es un atributo que puede ser importante para la selección

de genotipos tolerantes a sequía por déficit como por exceso de agua, además que la metodología utilizada para evaluar características fenotípicas de tolerancia a estrés hídrico es adecuada.

## Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Identificar características fenotípicas de tolerancia al estrés hídrico en la raíz de dos líneas de fríjol (*Phaseolus vulgaris*), a diferentes condiciones de humedad bajo invernadero con el método de tubos

### 2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la longitud y el diámetro de la raíz en fríjol tolerante (Ser 16) y el susceptible (Tío Canela) a diferentes condiciones de humedad y diferentes profundidades en tubos bajo condiciones de invernadero.
- Realizar una relación de longitud y diámetro raíz de fríjol tolerante (Ser 16) y el susceptible (Tío Canela), con tolerancia a estrés hídrico a diferentes condiciones de humedad y diferentes profundidades en tubos bajo condiciones de invernadero.
- Verificar si el método de tubos es útil en la evaluación fenotípica de tolerancia a estrés hídrico en raíces a diferentes condiciones de humedad y diferentes profundidades en tubos bajo condiciones de invernadero.

## **Marco Conceptual y Teórico**

### **1.1. Factores Incidentes del Estrés Hídrico por Sequía**

La sequía, la salinidad elevada y las temperaturas extremas se han identificado como los principales factores abióticos que provocan estrés hídrico en las plantas, los cuales con el cambio climático tienden a acentuarse y a producir un aumento en los efectos adversos sobre las plantas. (Contreras, 2015).

Sin embargo, a los factores abióticos se suman también los factores antrópicos donde el aumento de la población mundial entra a “competir” por sus requerimientos de agua para abastecer sus necesidades básicas y de esta manera actividades como el riego en la agricultura se ven limitadas con el acceso al agua en temporadas de sequía extrema. (Contreras, 2015). Esta situación en conjunto hace que el estrés hídrico por limitación de agua dificulte el desarrollo normal de las plantas.

El cambio climático, como uno de los múltiples factores que influyen en los niveles del estrés hídrico, va acompañado además de los factores demográficos, socioeconómicos y tecnológicos, lo cual se acentúa respecto al tipo de región. (UNECE, 2009). Esto quiere decir que el aumento de la población va en ascenso al igual que sus necesidades básicas, tales en las cuales se encuentra directamente relacionado su requerimiento de agua dulce. Se estima que para el 2030 se produzca un aumento de la población en 1000 millones de habitantes en el mundo. (ONU, 2017).



Dado que el estrés hídrico en plantas es producido en una primera instancia por factores abióticos, los efectos se pueden intensificar cuando las demás consecuencias del cambio climático mencionadas anteriormente afectan todos los seres vivos incluyendo el ser humano.

**1.1.1. El fríjol (*Phaseolus vulgaris L*) y el estrés hídrico por sequía.** La planta de fríjol es extremadamente sensible al estrés por sequía y sus efectos sobre el fríjol dependen de su intensidad, duración del periodo de sequía y también del estado fenológico en el que se encuentra la planta en el momento de presentarse esta limitación de agua. Las etapas fenológicas en las que el fríjol es especialmente vulnerable al estrés son en el inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano (etapa reproductiva). Se presenta simultáneamente una disminución en el índice del área foliar y una conductancia estomática. (Reyes, Martínez, Rueda y Rodríguez, 2014).

De esta manera la fotosíntesis se dificulta y/o disminuye de manera tal que el crecimiento de la planta se ve reducido, afectando diversas funciones dentro de la misma y afectando directamente su reproducción, lo cual se deriva en una baja producción. Sin embargo, es importante resaltar que la intensidad de estos efectos radicarán en la etapa fenológica en la cual se encuentre la planta y la durabilidad e intensidad en que se presente la sequía o limitación hídrica, a lo cual hace mención los autores anteriormente.

Respecto a esta teoría, Polón, Miranda, Maqueria y Ramírez, hacen referencia a lo siguiente:

“El frijol es un cultivo que no requiere grandes volúmenes de agua durante su ciclo vegetativo, la demanda de agua dependerá de su fase de desarrollo, siendo el cultivo exigente en la fase de germinación y muy exigente en la fase de diferenciación floral, fructificación y llenado del grano” (2013).

Además de tener en cuenta las etapas fenológicas, la intensidad y duración de la sequía, se deben considerar los genotipos de las plantas y la región donde se presenten los factores abióticos ya que no todos los tipos de plantas responden de igual manera al momento de desarrollar mecanismos de resistencia al estrés hídrico.

### **3.2 Mecanismos de Resistencia al Estrés Hídrico**

Así como la sociedad busca constantemente alternativas para hacer frente al cambio climático, combatirlo y adaptarse a su vez a él, las plantas también generan diversos mecanismos para generar resistencia al estrés hídrico (falta de agua) ocasionado por diversas causas. Estos mecanismos pueden ser a nivel molecular o fisiológico (Covarrubias, 2016).

La forma en que las plantas hacen frente al estrés hídrico se puede clasificar en tres tipos principales, los cuales son la resistencia, la tolerancia y la evasión, con las cuales las plantas desarrollan procesos internos que le permiten sobrevivir a episodios de sequía y con ello al estrés hídrico. (López, Guevara y Alvarado, 2014).

**3.2.1 Mecanismo de resistencia.** En este proceso se involucran genes acondicionadores y sintetizadores de proteínas y almidones, los cuales ofrecen a la planta condiciones especiales para resistir al déficit de agua. Estas propiedades pueden ser heredadas o transmitidas a sus descendientes. (López, Guevara y Alvarado, 2014).

**3.2.2 Mecanismo de tolerancia.** Este mecanismo permite a las plantas soportar “temporalmente” la sequía a través del cierre estomático, evitando la pérdida de agua y a su vez aumentando la capacidad de absorción de humedad contenida en el suelo o en el ambiente. Con este mecanismo la planta optimiza la humedad con la que cuenta sin embargo este efecto será temporal debido a que a largo plazo podría resultar contraproducente por la ineficiente toma de Co<sub>2</sub>. (López, Guevara y Alvarado, 2014).

**3.2.3 Mecanismo de evasión.** Es uno de los mecanismos menos explorados por los investigadores como mecanismo de resistencia al estrés hídrico en frijol y consiste en la capacidad que las plantas desarrollan para eludir los efectos de la sequía, entre los cuales se puede considerar la maduración temprana y exploración profunda de agua por el sistema radicular. (López, Guevara y Alvarado, 2014).

### **3.3 Interacción Raíz – Planta – Suelo**

El suelo es un medio que presenta alta complejidad y variabilidad tanto espacial como temporal. Y como respuesta evolutiva a ello, el sistema radicular de las plantas se desarrolla

estructuradamente de manera extensa con un ritmo de crecimiento que dependerá del suministro de recursos y a su vez de las limitaciones que proporcione el suelo y/o las condiciones ambientales (Hodge, Doussan, Berta, Merchan y Crespi, 2009).

En la arquitectura de raíces se considera la estructura y la forma de las raíces. Por su parte la forma, define la manera en que las raíces ocupan el suelo y su ubicación en el espacio y se cuantifica a través de la medición de variables como la expansión de raíces laterales, las densidades de longitud de raíz y su profundidad. Respecto a la estructura, esta contempla la descripción de todos los componentes que conforman el sistema de raíces y la relación entre estos componentes. (Hodge *et al.* 2009). “El frijol al igual que la mayoría de las dicotiledóneas herbáceas tiene una raíz principal con una corona de raíces basales desde las cuales emergen las raíces laterales” (Polania,2011).

Las principales funciones que tienen las raíces son el anclaje y la absorción de agua y nutrientes, presentando éstas un alto grado de plasticidad fisiológica y morfológica que les permite capturar nutrientes de parches transitorios en el suelo. Estas características variarán de acuerdo con la especie, el medio ambiente y las características del suelo (Hodge *et al.* 2009).

De esta manera se puede resumir la gran importancia del sistema de raíces o sistema radicular de las plantas, un sistema que permite la absorción de nutrientes, agua y otros elementos, indispensables para que se generen procesos fisiológicos vitales para el desarrollo vegetal. Además de funciones de anclaje y otros como procesos físicos y bioquímicos en la rizosfera

(área del suelo donde se desarrollan las raíces), que ayudan a modificar las propiedades del suelo.

### **3.4 Capacidad de Campo (Cc)**

La capacidad de campo es el contenido máximo de agua que podrá retener un suelo que presenta un libre drenaje y/o en suelos que no estén saturados. Y depende de factores como la disposición de horizontes y otras propiedades físicas del suelo (Martínez, 2014, p.25).

La CC permite determinar factores como la capacidad de almacenamiento o retención de agua en el suelo, con lo cual se determinan los requerimientos de agua de riego para los cultivos y el agua aprovechable por los mimos, sin que el suelo se sature o se produzca un punto de marchitez permanente.

### **3.5 Origen y Características del Frijol Ser 16 Y Tío Canela**

El material SER 16 y Tío Canela son dos líneas que pertenecen a los genotipos meso-americanos de frijol común (*P. vulgaris* L.), SER 16 se caracteriza porque tanto en condiciones de riego como de sequía tienen un buen rendimiento, presenta una buena profundización de raíces, permitiendo tener alta tasa de transpiración y buen vigor de planta (Polania *et al.*, 2012 citado por Pulido, 2014), además es sensible al Aluminio, posee semillas pequeñas de color rojo, un hábito de crecimiento indeterminado arbustivo de tipo II; su maduración la alcanza en menos de 70 días y la movilización de fotosintatos es excelente hacia el grano y es tolerante a sequía. (Beebe *et al.*, 2008, CIAT 2007 citados por Butare *et al.*, 2012).

La línea Tío Canela 75, fue liberada en Honduras en 1996, dentro de sus características se pueden mencionar su buena adaptación a diversos ambientes, la semilla es de color rojo brillantes, son de tamaño pequeño y poseen alto rendimiento. Tienen un porte erecto y compacto; hábito arbustivo- indeterminado tipo II y madurez intermedia de 70-72 DDS, temprana y uniforme, posee el gen dominante I para la resistencia al virus del mosaico común del frijol (VMCF). (Rosas, *et al.*, 2004). Sus días a floración son 38 días y a maduración de 68 a 70 días, se adapta en zonas intermedias y altas entre los 400 y 2000 m.s.n.m. (Lardizabal *et al.*, 2008).

### **3.6 Características a Evaluar Relacionadas con la Raíz Bajo Estrés Abiótico**

La raíz es un órgano importante para las plantas para su nutrición, es un órgano de reserva, sostén y está involucrado en la regulación de la planta. Los estudios de distribución de raíces comprenden biomasa o longitud de raíces en función de profundidad del suelo (Lynch, 1995 citado por Polania, 2011).

La profundización de las raíces y que además sean extensas en los perfiles más profundos del suelo son importantes para la absorción de agua, cuando se presenta limitaciones para el buen desarrollo del cultivo (Sponchiado *et al.*, 1989; Blum, 2002 citados por Polania, 2011). Los primeros 20 cm de suelo se caracterizan por tener la mayor concentración de los nutrientes, es por eso que su absorción es más efectiva por parte de los sistemas radicales superficiales y en los sistemas más profundos favorecen la toma de agua y resistencia a sequía (Ho *et al.* 2005 citado por Polania, 2011).

En los cultivos bajo condiciones de campo las raíces finas tienen un diámetro menor de 2mm, estas son importantes porque están presentes en casi toda la longitud de la raíz y el área de las

raíces que se encargan de la absorción de nutrientes y agua, además son importantes como vertedero y reserva de carbono (Liu *et al.*, 2010 citado por Polania, 2011) y la planta la produce como una posible estrategia para permitir la absorción de nutrientes y agua en condiciones de sequía debido a que cubren un área de superficie alta por unidad de masa (Eissenstat, 1992; Huang y Fry, 1998 citados por Polania, 2011).

### **3.7 Estudios Realizados**

Varios investigadores a nivel mundial han estudiado desde la década de los 80 la forma en la que las plantas enfrentan el estrés hídrico, una limitante de factores abióticos que influyen adversamente en su funcionamiento. En estos estudios se han logrado determinar algunos procesos bioquímicos en los cuales las plantas han desarrollado estrategias para tolerar el estrés hídrico por sequía. Durante estos estudios de investigación se han identificado cambios en la fisiología de las plantas tales como el área foliar y radicular, que se han asociado con formas de tolerar la sequía, sin embargo, no se ha logrado determinar si los cambios fisiológicos como la elongación de las raíces, podrían estar asociados directa y de manera aislada como un factor de resistencia al estrés hídrico.

Los trabajos de investigación sobre la tolerancia al estrés hídrico se han concentrado en diversas especies vegetales entre las cuales se encuentran algunas especies CAM, maíz, cebada, tomate, papa, entre otros, entre los cuales se encuentran algunos estudios en frijol común.

Para el año 2009, investigadores [Polanía, J., Rao, I., Beebe, S. y García, R.] de la Universidad Nacional de Colombia, realizaron un trabajo de investigación que consistió en evaluar características morfológicas y fisiológicas en raíces de 21 líneas o variedades de *Phaseolus vulgaris L.* a través de un sistema de tubos plásticos diseñados por el CIAT bajo condiciones de invernadero. (Polania, Rao, Mejía, Beebe y Cajiao, 2012).

Así mismo evaluaron la eficiencia en el uso del agua por parte de estas en campo a través de la técnica de discriminación de isótopo de carbono y producción de grano. Como resultados principales de esta investigación se obtuvo que variedades como SER 16, SEA 15 Y SER 125 presentaron mayor precocidad de floración, buen desarrollo radicular y mejores rendimientos bajo las condiciones de sequía, mostrando de esta manera una mejor movilización de fotoasimilados para llenado de grano, a diferencia de variedades como la Tio canela, DOR 30 y Carioca que presentaron floraciones tardías y menor rendimiento. En la variedad Tio Canela se observó un buen desarrollo de raíces en cuanto a producción y profundización en sequía terminal. (Polania, Rao, Mejía, Beebe y Cajiao, 2012).

Esta investigación es muy útil demostrando la eficiencia en el uso de métodos de evaluación y/o medición, además se puede considerar que el hallazgo de varias modificaciones morfo – fisiológicas en las plantas de frijol frente al estrés hídrico permite confirmar las transformaciones que las plantas hacen para tolerar el estrés hídrico, pero también se puede observar que algunas líneas pueden contener uno o más comportamientos fisiológicos los cuales pueden variar entre éstas y la presencia de alguno de ellos no determina la permanencia de otros procesos, exceptuando la relación entre la extensión radicular la cual se podría relacionar con la mayor producción de biomasa en relación con procesos bioquímicos.



En el año 2014 un grupo de investigadores [Matamoros, Martínez, Rueda y Rodríguez, 2014] de la universidad Autónoma de Puebla, en México, realizaron un trabajo de investigación en el cual se evaluaron el crecimiento de plantas de *Phaseolus vulgaris L.*, y *Phaseolus coccineus L.* bajo invernadero en condiciones de estrés hídrico. Para este experimento emplearon humedades equivalentes a 100, 75 y 50% de humedad. Se utilizaron además macetas de plástico para la siembra en suelo fertilizado, estas macetas fueron recubiertas con papel aluminio después de la germinación para evitar pérdidas por evapotranspiración. Para el análisis de información estadística se empleó el análisis de varianza (NOVA). Se midieron datos de emergencia, tallos, hojas, raíces, inflorescencia, ramas, botones y número de vainas. (Matamoros, Martínez, Rueda y Rodríguez, 2014).

Encontraron que la disminución de agua se relaciona con reducción en la producción de hojas, también disminución en órganos reproductivos, disminución de materia seca en raíz, en lo cual se sustentan en la hipótesis de que el estrés hídrico disminuye la actividad miasmática y en consecuencia se afecta la elongación de raíces. Esto en tratamientos del 50% de humedad, ya que con el 75% observaron estimulación como es el caso del área foliar.

En esta investigación se observa un contraste de hipótesis respecto a la morfología de las raíces respecto al estrés hídrico.

Ya para el año 2016 en Etiopía se realizó una investigación [Darkwa, Ambachew, Mohammed, Asfaw & Blair] en el Centro de Investigación Agrícola Hawassa, Naciones del Sur,

Nacionalidades y Pueblos del Estado regional (SNNPR), acerca de la respuesta al estrés por sequía generada y grado de adaptación a la misma en 64 genotipos de *Phaseolus vulgaris L.* Estos genotipos fueron sometidos a tratamientos catalogados como no estrés en el cual regaron las plantas hasta su etapa de madurez y tratamiento de estrés por sequía (DS), en el cual seleccionaron la etapa de estrés por sequía terminal de igual manera. En parcelas en el medio ambiente de 3 m de longitud, 60 cm entre hileras y 10 cm de espacio entre filas. Esta investigación aparte de evaluar respuestas al estrés por sequía también se enfocó en agrupar las líneas basados en rendimiento en la productividad en relación con tolerancia al estrés hídrico. (Darkwa, Ambachew, Mohammed, Asfaw & Blair, 2016).

De los hallazgos principales de los investigadores [Darkwa, Ambachew, Mohammed, Asfaw & Blair] en Etiopia se puede resaltar la variabilidad que se encontró en la respuesta al estrés ya que algunas líneas resultaron ser más resistentes que otras. Además, características como contenido de clorofila en hojas, altura de la planta, rendimiento y peso de semillas, días a madurez y número de vainas por planta fueron más sensible a estrés por sequía a diferencia del número de semillas por vaina y la resistencia vertical de las raíces en las cuales encontraron más resistencia y por ende un mejor desarrollo a profundidad del suelo. (Darkwa *et al.* 2016).

La investigación realizada en Etiopia en 2016 permite obtener claridad acerca de las diferencias entre genotipos, sus respuestas a episodios de estrés por sequía, los cambios y mecanismos de resistencia y tolerancia que la planta de frijol activa para sobrevivir a la sequía,

órganos sensibles y partes de la planta que resultarían ser más resistentes a estados o episodios de estrés por déficit hídrico, entre otros.

## **Materiales y Métodos**

### **4.1 Localización**

Este experimento se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero, ubicado en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (CEUNP), a 3° 30' 45.22" latitud norte y 76° 18' 29.93" longitud oeste, altura de 980 msnm, con una temperatura promedio anual de 26° C, precipitación promedio anual de 1100 mm y una humedad relativa de 76% (IDEAM 2001).

### **4.2 Material Vegetal**

La población empleada para el experimento estuvo conformada por una línea mejorada de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) de tipo mesoamericano, color rojo, liberada en Colombia y mejorados genéticamente para condiciones de sequía y la línea comercial Tío Canela liberada en Honduras, igualmente de color rojo usado como línea testigo, variedad susceptible.

### **4.3 Germinación y Siembra de Semilla**

Se realizó una pre germinación de semillas con el fin de conseguir homogeneidad de germinación de las plantas. Proceso que consistió en colocar las semillas a germinar en un papel

de germinación, se prensaron y seguidamente se les propició un ambiente de humedad la germinación se presentó luego de 48 horas aproximadamente, posteriormente se sembraron en tubos de acetato pequeños (Figura 1) de 80 cm longitud y 7.5 cm de diámetro que son insertados dentro de tubos de PVC. (Polanía, 2011).



*Figura 1.* Pre germinación y siembra de semillas

Estos tubos fueron llenados previamente (Figura 2) con 6 kg de suelo por cada tubo y se introdujeron en tubos de PVC color naranja con el fin de simular las condiciones de desarrollo subterráneo.



*Figura 2.* Llenado de tubos cubiertos con tubos de PVC

La recolección del suelo (Figura 3) se efectuó en uno de los lotes ubicados en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira – CEUNP, a una profundidad de 30 cm. El suelo recolectado fue preparado a través de procesos de homogenización, esterilización y secado para luego determinar sus características físicas y químicas, proceso el cual tuvo una duración de tres meses.



Figura 3. Recolección y procesamiento de suelo

#### 4.4 Tratamientos Realizados

La metodología empleada fue desarrollada en el CIAT, sugerida y descrita por Polania, (2009). El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero los tratamientos consistieron en 5 humedades a capacidad de campo H1, H2, H3, H4, H5, H1 correspondientes a 100%, 80%, 60%, 40%, 20% respectivamente, cada una con 4 unidades experimentales por cada una de las

líneas a evaluar, en este caso SER 16 y TIOCANELA. Para un total de 40 unidades experimentales.

**4.4.1 Determinación de volúmenes de suministro de agua.** Para esta determinación se pesaron tres tubos con el suelo seco, posteriormente se regaron hasta saturación dejándolos drenar durante 48 horas. Luego se estableció la diferencia de pesos (peso húmedo - peso seco), basados en esa diferencia se determinó el nivel de suministro de agua para mantener el suelo a CC del 100% y partiendo de este dato se determinaron los volúmenes de agua para mantener la CC a 80%,60%,40% y 20%. Diez días después de la siembra (DDS), cuando todas las plantas tenían las primeras hojas trifoliadas se inició la aplicación de los tratamientos. Los porcentajes de humedad a Capacidad de Campo de los tratamientos se mantuvieron pesando los tubos cada dos días y se aplicaba el agua faltante La Tabla 1, muestra los tratamiento y volúmenes de suministro de agua para mantener (Polania,2011). Las mediciones se realizaron durante la etapa de floración 30 a 32 DDS para SER 16 y 35 a 38 DDS para tío canela, porque es una etapa de mucha importancia en el desarrollo de la planta y los tratamientos con más bajo porcentaje de humedad se encuentran en un estado muy avanzado.

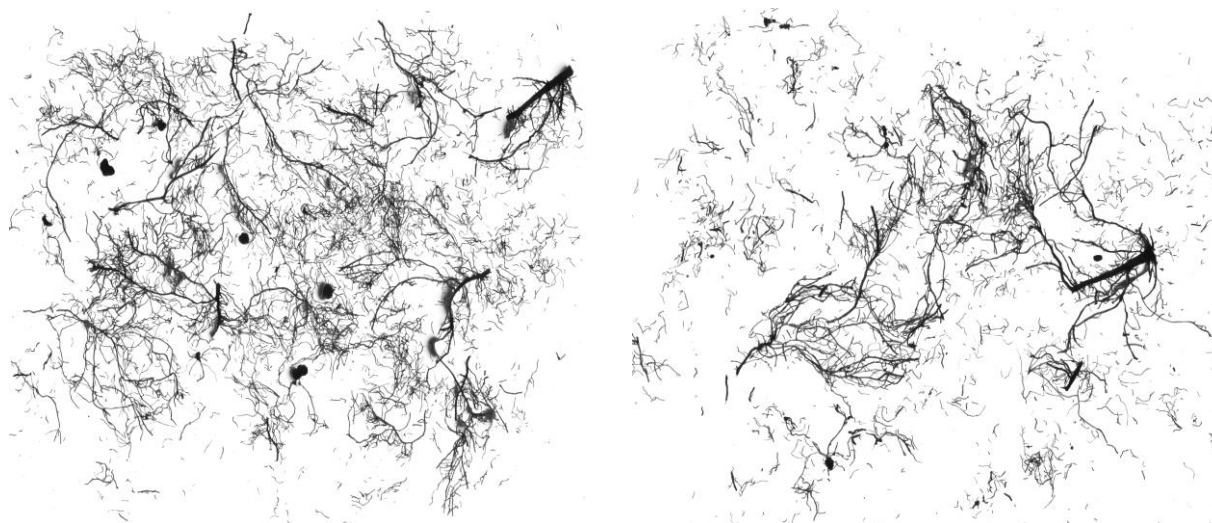
*Tabla 1.* Tratamientos y volúmenes de suministro de agua

Tratamientos con material de fríjol tolerante (R) y susceptible (S)	Porcentajes de Humedad (H) a Capacidad de Campo	Volumen de agua ml/g
H1R	100%	0.13
H2R	80%	0.10
H3R	60%	0.08
H4R	40%	0.05
H5R	20%	0.03
H1S	100%	0.13
H2S	80%	0.10

H3S	60%	0.08
H4S	40%	0.05
H5S	20%	0.03

#### 4.5 Variables Evaluadas

Se evaluaron la longitud de raíz y diámetro promedio de raíces a través del perfil del suelo, continuando con la metodología propuesta por Polanía (2011), finalizados los tratamientos de humedad, los tubos fueron trasladados cuidadosamente al CIAT, donde se procedió a cortar manualmente cada tubo de acetato a longitudes correspondientes a profundidades de 0 – 10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm y 60- 75 cm., posteriormente las raíces se lavaron a mano, para ser ingresadas al escáner Epson Expression 10000 XL, con el sistema de análisis de imágenes WinRHIZO v. 2007, con el cual se determinó la longitud de raíz para cada unidad experimental expresado en cm/planta y el diámetro de raíces en mm/planta por perfil de suelo. La figura 4, muestra ejemplos de las raíces escaneadas por tratamiento.



*Figura 4.* Ejemplo de escaneo de raíces se observan los tratamientos H2R4 y H2S2 a una profundidad de 0-5 cm.

## 4.6 Diseño Experimental

El diseño utilizado fue completamente al azar y el análisis estadístico de la información para el análisis de varianza se utilizó el paquete estadístico S.A.S (Statistical Analysis Systems), versión 9.4 de 2002, y la comparación de medias se realizó mediante la prueba múltiple de Duncan ( $p < 0.05$ )

## Resultados y Discusión

### 5.1 Efecto de la Humedad Sobre la Longitud y Diámetro Promedio de Raíces de Frijol Ser 16 y Tío Canela por Perfil de Suelo

En las figuras 5 y 6, se muestra que no se encontraron diferencias significativas de los valores de la longitud y diámetro de las raíces a través de la profundidad del suelo entre la variedad SER 16 y Tío Canela. Las barras con la misma letra no son significativamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) según la prueba de Duncan (Anexo 1; Anexo 2).

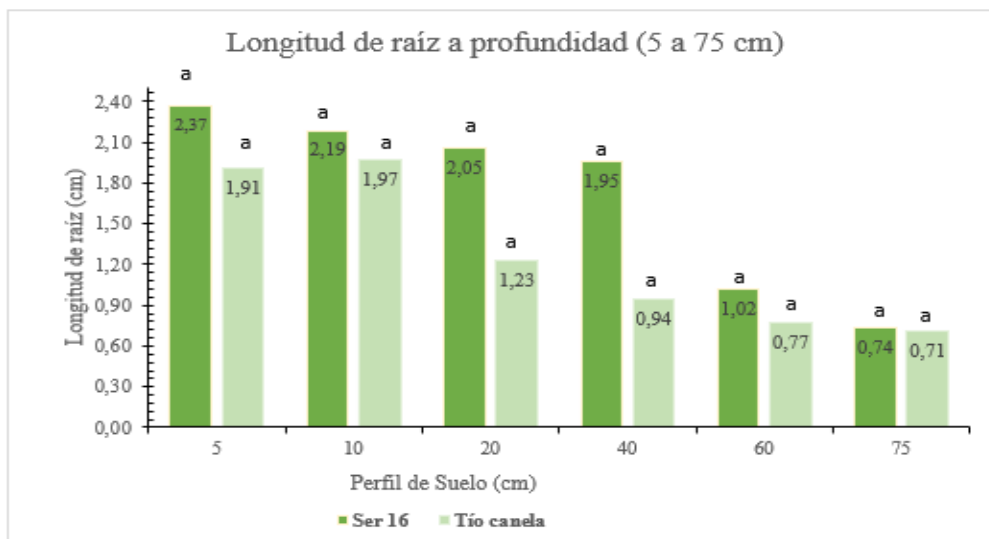


Figura 5. Efecto de la humedad sobre la longitud de raíz de las variedades Ser 16 y Tío Canela en el perfil del suelo



Un sistema radical profundo está relacionado con adaptación a sequía porque se favorece la adquisición de agua y resistencia a sequía (Ho *et al.* 2005; Turner, 1979; Huang y Gao, 2000; Sponchiado *et al.* 1989, Blum, 2002 citado por Polania, 2011) y para frijol se ha encontrado que lo utilizan como una estrategia para adaptarse a sequía (Polania *et al.* 2009; Beebe *et al.* 2008; White *et al.* 1994, Sponchiado *et al.* 1989), los resultados obtenidos muestran que las raíces crecieron hasta la parte más profunda del perfil del suelo y no se presentaron diferencias significativas entre los genotipos.

Resultados similares fueron dados en trabajo realizado por Polanía en el 2011, donde la producción de raíces en términos de longitud en el perfil del suelo 60-75 cm (última profundidad del cilindro plástico) en 21 líneas entre estas se encontraban Tío Canela y SER 16 bajo condiciones de riego y sequía, donde ambos genotipos presentaron producción de raíces, indicando la posibilidad de extraer más agua que puede estar disponible en los perfiles inferiores del suelo.

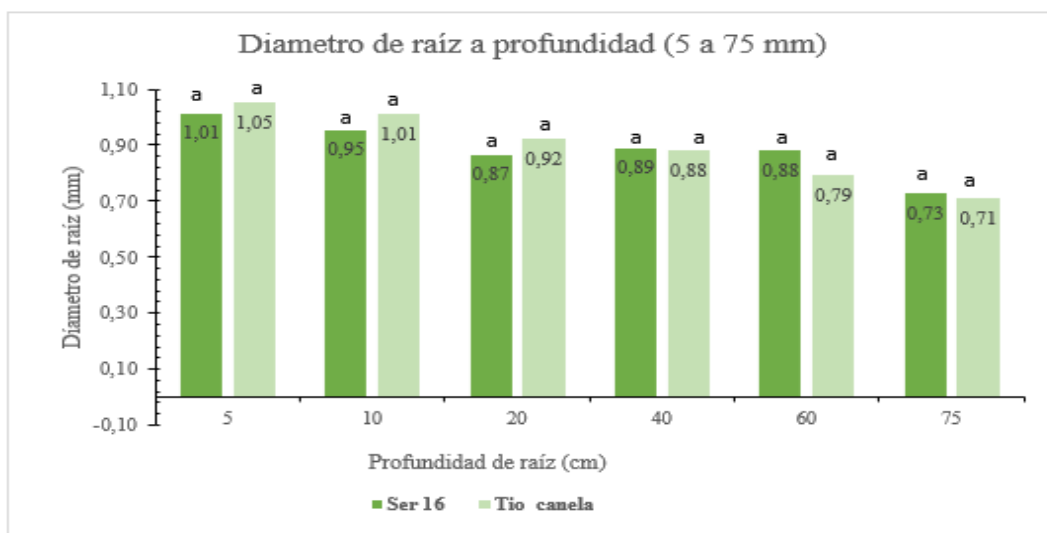


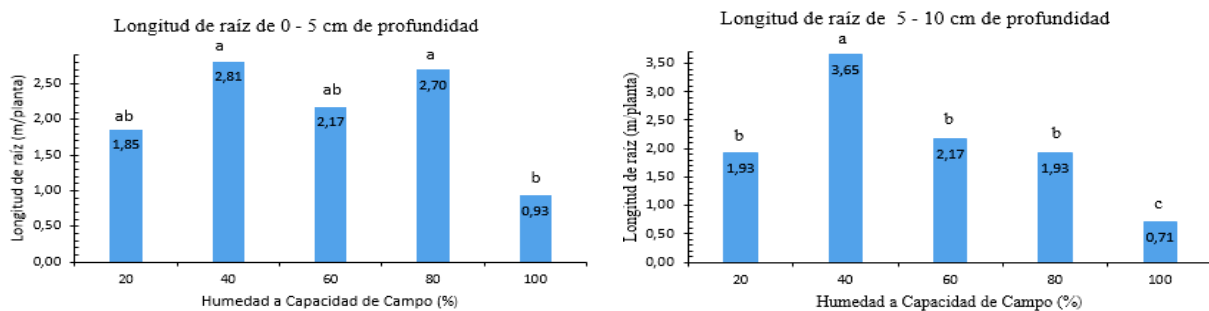
Figura 6. Efecto de la humedad sobre el diámetro de raíz de las variedades Ser 16 y Tío Canela en el perfil del suelo

La línea SER 16 se caracteriza por tener raíces delgadas tanto en condiciones de riego y sequía (Polania, *et al* 2009), tío canela presenta características similares en términos de diámetro, importante en la adquisición de agua y entrada de minerales, porque cubren bastante superficie por masa, para línea SER 16 la identifica como material tolerante a sequía mientras que para tío canela aunque ayuda en la adquisición de agua y minerales esto implica un coste energético en producción de biomasa y rendimiento (Polania, 2011)

## 5.2 Efecto de la Humedad Sobre la Longitud de Raíces de Fríjol en el Perfil de Suelo

### 5.2.1 Efecto de la humedad sobre la longitud de raíz a diferentes de profundidad de suelo.

Se encontraron diferencias significativas de la longitud de las raíces a través de las diferentes profundidades del suelo entre las humedades, excepto para la profundidad de 60 -75 cm (Figura 7). Las barras con la misma letra no son significativamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) según la prueba de Duncan (Anexo 3).



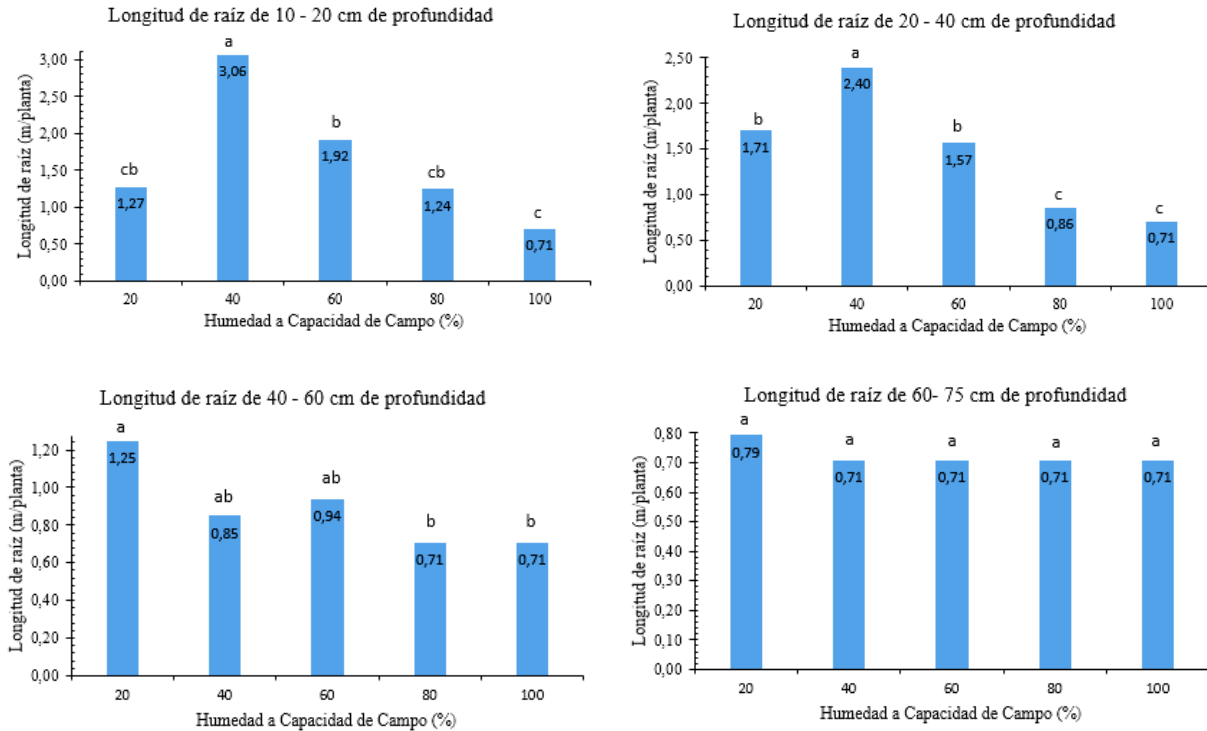


Figura 7. Efecto de la humedad sobre longitud de raíz en el perfil del suelo

En el perfil de suelo, la longitud de raíz por profundidad se pudo observar que las humedades de 40 % presentaron los valores más altos 2.81, 3.65, 3.06 y 2.40 m/planta en las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm respectivamente, esta característica es importante en cuanto a la cantidad de agua apropiada para riego de fríjol en las condiciones edafoclimáticas de desarrollo del experimento.

La líneas Ser 16 y Tío Canela, a humedad de 100 % de capacidad de campo presentaron poca longitud de raíz en las profundidades de 5-10, 10-20, 20-40, 30 -60 cm, con un valor de 0,71 m/planta (Figura 7), debido a que la planta sufre estrés por hipoxia (ausencia parcial) o anoxia (ausencia total) de oxígeno, esto hace que las raíces no tengan un buen desarrollo (Rodríguez *et al.*, 2007), reduciendo la superficie de absorción debido a la muerte de raíces y pérdida de

biomasa del sistema de raíz (Drew, 1997, De Carvalho e Ishida, 2002 citados por Rodríguez *et al.*, 2007) o aumento de la resistencia al flujo de agua (Rodríguez *et al.*, 2007).

Igualmente, a la misma humedad y en la profundidad de 0-5 cm, se presentó una longitud mayor con un valor de 0,93 m/planta, aunque es una longitud pequeña muestra como la especie trata de sobrevivir a este tipo de estrés (anoxia, hipoxia), produciendo más raíces y está relacionado con una mejor capacidad de absorción de nutrientes, los cuales se encuentran en los primeros centímetros del suelo sistemas radicales (Ho *et al.*, 2005 citados por Polania *et al.*, 2012).

Para las dos líneas también se observó que la longitud de raíces fue sobresaliente a las diferentes profundidades en humedades de capacidad de campo de 40 a 80 % y fue mayor en la superficie (0-5 cm), corroborando su importancia para absorber nutrientes característica propia de especies adaptadas a sequía, además y ayuda a la adaptación por sequía intermitente donde se presente lluvias periódicamente (Polania *et al.*, 2009), por el contrario en la humedad a capacidad de campo del 20%, la longitud fue aumentando, porque busca profundizar y abarcar más área de superficie para encontrar la poca agua disponible en condiciones de sequía, (Polania *et al.*, 2011; Polania *et al.*, 2012).

### 5.2.2 Efecto de la humedad sobre el diámetro de raíz a diferentes de profundidad de suelo.

No se encontraron diferencias significativas del diámetro de las raíces a través de las diferentes profundidades del suelo entre las humedades, excepto para la profundidad de 0 -5 cm (Figura 8). Las barras con la misma letra no son significativamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) según la prueba de Duncan (Anexo 4).

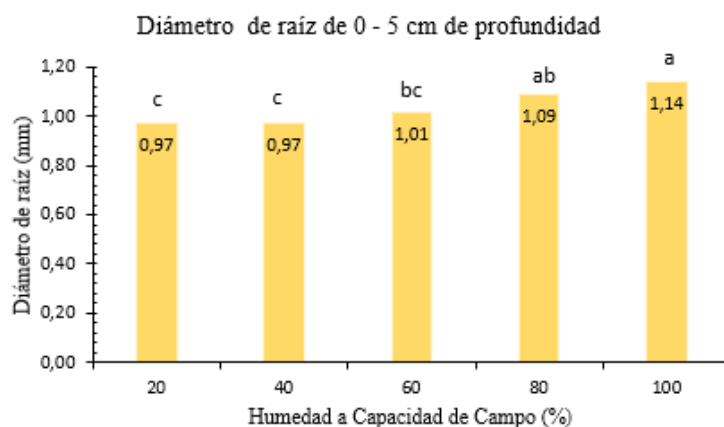


Figura 8. Efecto de la humedad sobre el diámetro de raíz a 0-5 cm de profundidad de suelo

En la figura 8, las líneas Tío canela y Ser 16 tanto en condiciones de sequía como de riego, presentaron un diámetro de las raíces menor a 2 mm, característica propia de las raíces finas, las cuales finas son importante en la adquisición de agua y entrada de minerales debido a su gran área superficial por unidad de masa, además si se encuentran en la superficie del suelo (0-5 cm), las plantas pueden aprovechar el agua disponible en zonas donde se presentan lluvias intermitentes ((Polania *et al*, 2009).

## Conclusiones

- Las líneas de frijol Ser 16 y Tío canela en invernadero, usando el método de tubos con suelo para evaluación de longitud y diámetro de raíces, bajo diferentes condiciones de humedad y diferentes profundidades, permitió identificar que desarrollan un sistema radical profundo y sobresaliente, con raíces finas tanto en sequía por déficit como en exceso de agua.
- Un sistema radical profundo, con longitudes sobresaliente y de raíces finas en la superficie del suelo, es un atributo que puede ser importante para la selección de genotipos tolerantes a sequía por déficit como por exceso de agua.
- La metodología utilizada es adecuada para evaluar características fenotípicas de tolerancia a estrés hídrico, en raíces a diferentes condiciones de humedad y diferentes profundidades en tubos bajo condiciones de invernadero.

## **Recomendaciones**

Se recomienda evaluar complementar el estudio con otras características como diámetro promedio de raíz, biomasa aérea de la planta y área foliar, proporción de raíces finas, longitud específica de raíz, transpiración, vigor, rendimiento y movilización entre otras de las líneas Ser 16 y tío canela bajo condiciones de invernadero y campo, esto para corroborar la posible tolerancia a estrés por déficit o exceso de agua.

Se recomienda realizar este mismo ensayo tanto en invernadero como en campo, evaluando diferentes variables fisiológicas como fenotípicas, con otros materiales o líneas de frijol, que permitan la identificación de material tolerante a sequía por hipoxia o anoxia y por déficit de agua.

## Bibliografía

- Beebe, S., I.M. Rao, C. Cajiao y M. Grajales. (2008). Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Sci.* 48, 582-592
- Boidet, A., Boicet, T. y Castillo, R.O. (2015). Rendimiento y sus componentes en variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones de sequía en Rio Cauto, Granma. *Centro Agrícola*, 42(3): 61-68; julio-septiembre, 2015. Recuperado de [http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V42-Numero\\_3/cag09315.pdf](http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V42-Numero_3/cag09315.pdf)
- Butare, L.; Rao, I.; Lepoivre, P.; Cajiao, C.; Polania, J.A.; Cuasquer, J.; Beebe, S. (2012). Phenotypic evaluation of interspecific recombinant inbred lines (RILs) of *Phaseolus* species for Aluminium resistance and shoot and root growth response to Aluminium-toxic acid soil. *Euphytica* 186: 715. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0564-1>
- Contreras, A.B. (2015). (Tesis Doctoral). *Nuevos mecanismos moleculares de tolerancia a sequía y otros tipos de estrés abiótico en especies arbóreas de interés económico*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de [http://oa.upm.es/39428/1/ANGELA\\_BIBIANA\\_CONTRERAS\\_MOGOLLON.pdf](http://oa.upm.es/39428/1/ANGELA_BIBIANA_CONTRERAS_MOGOLLON.pdf)
- Comisión económica de las naciones unidas para Europa- UNECE. (2009). Guía sobre agua y adaptación al cambio climático. Recuperado de [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT\\_climate\\_change/ECE\\_MP.WAT\\_30\\_ESP\\_final\\_for\\_web.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT_climate_change/ECE_MP.WAT_30_ESP_final_for_web.pdf)
- Darkwa, K., Ambachew, D., Mohammed, H., Asfaw, A. & Asfaw, M. (2016). *Evaluation of common bean (Phaseolus vulgaris L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia*. *The crop journal* 4 (2016) 367 – 376. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514116300617>
- Hodge, A., Beta, G., Doussan, C., Merchan, F. & Crespi, M. (2009). Plant root growth, architecture and function. *Springer Science + Business Media B.V.* 2009. Recuperado de



<https://www.researchgate.net/publication/225237964> Plant root growth architecture and function

Lardizabal, R; Arias, S; Segura, R. 2008. Manual de Producción de frijol. USAID del pueblo de los Estados Unidos RED Programa de Diversificación Económica Rural. 16 p

López, C., Guevara, L. y Alvarado, O. (2014). (Tesis pregrado). *Evaluación de materiales criollos y mejorados de frijol (Phaseolus vulgaris) irradiados con rayos gamma en la búsqueda de tolerancia a la sequía, San Andrés, municipio de Ciudad Arce, La Libertad.* Universidad de el Salvador. Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5914/1/13001573.pdf>

Matamoros, J.R., Martínez, D., Rueda, R. y Rodríguez, T. (2014). Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en condiciones de invernadero. Revista Iberoamericana de Ciencias. Julio 2014. Universidad de Puebla, México. Recuperado de <http://www.reibci.org/publicados/2014/julio/2200132.pdf>

Martínez, F.J. (2014). *Introducción al Riego.* Edit. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <https://ebookcentral-proquest-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/lib/unadsp/reader.action?docID=3226545>

Naciones Unidas (2017). La población mundial aumentará en 1000 millones para 2030. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2017/06/la-poblacion-mundial-aumentara-en-1000-millones-para-2030/>

Polón, R., Miranda, A., Maqueria, L. y Ramírez, M.A (2013). Efecto de diferentes intensidades de estrés hídrico en la fase vegetativa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias Vol. 22, No. 4.* Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v22n4/rcta10413.pdf>

Polania, J.A., Rao, I.M., Mejía, S., Bee, S. y Cajiao, C. (2012). Características morfo-fisiológicas de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) relacionadas con la adaptación a sequía. *Acta Agronómica*, vol. 61, núm. 3, 2012, pp. 197-206. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169925865001.pdf>

- Polania, J.A. (2011). Identificación de características morfofisiológicas asociadas a la adaptación a sequía para ser usadas como criterios de selección en mejoramiento de frijol común *Phaseolus vulgaris* L. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Recuperado de [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/2011-Tesis-Polania.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2011-Tesis-Polania.pdf)
- Polanía, J., Rao, I., Beebe, S. y García, R. (2009). Desarrollo y distribución de raíces bajo estrés por sequía en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en un sistema de tubos con suelo. *Agronomía Colombiana*, [online] 27(1), pp.25 -32. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/262669452>.
- Pulido, S. (2014). Evaluación de la actividad Enzimática de Superóxido Dismutasa Cu/Zn en fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo diferentes condiciones de déficit hídrico. Doctorado. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.
- Reyes, J., Martínez, D., Rueda, R. y Rodríguez, T. (2014). Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. Recuperado de <http://www.reibci.org/publicados/2014/julio/2200132.pdf>
- Rodríguez, S., Romero, J., Ortega, E., Dell'Amico, J. and Cabrera, A. (2007). Influencia de la hipoxia sobre la profundidad radical de *Saccharum* spp., en el valle del Cauto, Cuba. *Temas Agrarios*, 12(2), p.21.
- Rosas, J.C.; Beaver, J.S.; Beebe, S.; Viana, A. (2004). Análisis y comentarios. Nomenclatura de variedades de frijol común liberadas en Centro América y el Caribe. *Agronomía mesoamericana* 15(2): 221-224.
- Sponchiado, B., J. White, J. Castillo y P. Jones. (1989). Root growth of four common bean cultivars in relation to drought tolerance in environments with contrasting soil types. *Exp. Agric.* 25, 249-257.
- White J. W., Ochoa M. R., Ibarra P. F. and Sing S. P. (1994). Inheritance of seed yield, maturity and seed weight of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under semiarid rainfed conditions. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 122: 265-273

## Anexos

### Anexo 1. Prueba Del Rango Múltiple Para Longitud En Los Diferentes Perfiles De Suelo Para Ser 16 Y Tío Canela

Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ05

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	0.894642
Media armónica de tamaño de celdas	14.48276

NOTA: Los tamaños de las celdas no son iguales.

Número de medias	2
Rango crítico	1.512

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	VARIABLE
A	2.3664	14	Ser16
A	1.9145	15	TioCane

Procedimiento GLM  
Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ510

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	1.061221

Número de medias	2
Rango crítico	1.618

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	VARIABLE
A	2.1874	15	Ser16
A	1.9725	15	TioCane

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ1020

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	2.130362

Número de medias	2
Rango crítico	2.293

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	VARIED
A	2.0520	15	Ser16
A	1.2293	15	TioCane

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ2040

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	1.814448

Número de medias	2
Rango crítico	2.116

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	VARIED
A	1.9537	15	Ser16
A	0.9423	15	TioCane

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ4060

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	0.241404

Número de medias	2
Rango crítico	.7719

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Número de

Duncan Agrupamiento	Media	observaciones	VARIED
A	1.0205	15	Ser16
A	0.7609	15	TioCane

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ6075

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	0.008268

Número de medias	2
Rango crítico	.1429

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	VARIED
A	0.73833	15	Ser16
A	0.71047	15	TioCane

## Anexo 2. Prueba del Rango Múltiple para Diámetro en los Diferentes Perfiles de Suelo Para Ser 16 y Tío Canela

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ05

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	0.002963
Media armónica de tamaño de celdas	14.48276

NOTA: Los tamaños de las celdas no son iguales.

Número de medias	2
Rango crítico	.08703

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	VARIED
A	1.05160	15	TioCane
A	1.01221	14	Ser16

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ510

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	0.094664

Número de medias	2
Rango crítico	.4834

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	VARIED
A	1.0104	15	TioCane
A			
A	0.9535	15	Ser16

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ1020

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	0.133684

Número de medias	2
Rango crítico	.5744

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	VARIED
A	0.9213	15	TioCane
A			
A	0.8655	15	Ser16

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ2040

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	0.155515

Número de medias	2
Rango crítico	.6196

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	VARIED
A	0.8893	15	Ser16
A			
A	0.8797	15	TioCane

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ4060

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	0.085521

Número de medias	2
Rango crítico	.4595

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	VARIED
A	0.8817	15	Ser16
A			
A	0.7910	15	TioCane

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ6075

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	2
Error de cuadrado medio	0.00325

Número de medias	2
Rango crítico	.08957

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	VARIED
A	0.72587	15	Ser16
A			
A	0.71047	15	TioCane

### Anexo 3. Prueba del Rango Múltiple Para Longitud en los Diferentes Perfiles de Suelo y Diferentes Humedades

Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ05

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	15
Error de cuadrado medio	1.080664
Media armónica de tamaño de celdas	5.769231

NOTA: Los tamaños de las celdas no son iguales.

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	1.305	1.368	1.407	1.433

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	2.8128	6	40
A			
A	2.6963	6	80
A			
B	2.1722	6	60
B			
B	1.8523	6	20
B			
B	0.9292	5	100
C	0.97033	6	40

Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ510

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.532863

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.8934	.9369	.9640	.9827

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	3.6512	6	40
B	2.1712	6	60
B			
B	1.9337	6	20
B			
B	1.9290	6	80
C	0.7147	6	100

Procedimiento GLM



Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ1020

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa 0.05  
 Error de grados de libertad 16  
 Error de cuadrado medio 0.48109

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.8489	.8902	.9160	.9337

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	3.0607	6	40
B	1.9195	6	60
B			
C B	1.2735	6	20
C B			
C B	1.2427	6	80
C			
C	0.7070	6	100

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ2040

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa 0.05  
 Error de grados de libertad 16  
 Error de cuadrado medio 0.274421

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.6412	.6723	.6918	.7052

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	2.4012	6	40
B	1.7068	6	20
B			
B	1.5672	6	60
C	0.8580	6	80
C			
C	0.7070	6	100

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ4060

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.109879

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.4057	.4254	.4378	.4462

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	1.2483	6	20
A			
B A	0.9395	6	60
B A			
B A	0.8517	6	40
B			
B	0.7070	6	80
B			
B	0.7070	6	100

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TLRZ6075

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.007453

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.1057	.1108	.1140	.1162

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	0.79400	6	20
A			
A	0.70700	6	40
A			
A	0.70700	6	60
A			
A	0.70700	6	80
A			
A	0.70700	6	100

## Anexo 4. Prueba del Rango Múltiple para Diámetro en los Diferentes Perfiles de Suelo y Diferentes Humedades

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ05

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	15
Error de cuadrado medio	0.004838
Media armónica de tamaño de celdas	5.769231

NOTA: Los tamaños de las celdas no son iguales.

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.08729	.09150	.09412	.09590

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	1.13720	5	100
A			
B	1.08767	6	80
B			
B	1.01350	6	60
C			
C	0.97167	6	20
C			

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ510

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.081551

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.3495	.3665	.3771	.3844

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	1.1580	6	20
A			
A	1.0310	6	80
A			
A	0.9808	6	60
A			
A	0.9540	6	40
A			
A	0.7860	6	100

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ1020

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.0816

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.3496	.3666	.3773	.3845

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	1.0453	6	20
A	1.0005	6	40
A	0.8617	6	60
A	0.8527	6	80
A	0.7070	6	100

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ2040

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.090148

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.3675	.3854	.3965	.4042

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	1.1098	6	20
A	0.9690	6	40
A	0.8775	6	60
A	0.7593	6	80
A	0.7070	6	100

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ4060

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.024898

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.1931	.2025	.2084	.2124

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	0.95583	6	40
A			
A	0.92150	6	20
A			
B A	0.89050	6	60
B			
B	0.70700	6	80
B			
B	0.70700	6	100

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para TDRZ6075

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.00276

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.06430	.06742	.06938	.07072

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	HUMEDAD
A	0.76283	6	20
A			
A	0.70700	6	40
A			
A	0.70700	6	60
A			
A	0.70700	6	80
A			
A	0.70700	6	100