

**EFFECTO DE TRES POTENCIALES MATRICIALES DE AGUA DEL SUELO
SOBRE *Fusarium oxysporum* f. sp. *Pisi*. EN EL CULTIVO DE ARVEJA (*Pisum
sativum* L.)**

MARÍA NATHALIA MORENO SANTANDER

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS CON ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN DE
CULTIVOS
PASTO – COLOMBIA
2016**

**EFFECTO DE TRES POTENCIALES MATRICIALES DE AGUA DEL SUELO
SOBRE *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*. EN EL CULTIVO DE ARVEJA (*Pisum
sativum* L.)**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en
Ciencias Agrarias con énfasis en Producción de Cultivos.**

**HUGO RUÍZ ERASO I. A., Ph. D.
Presidente de tesis**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS CON ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN DE
CULTIVOS
PASTO – COLOMBIA
2016**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1°. Del Acuerdo N° 324 de Octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Daniel Marino Rodríguez I.A. M.Sc.
Jurado delegado

Hernán Burbano Orjuela I.A. Ph. D.
Jurado

Luis Alfredo Molina Valero I.A., M.Sc.
Jurado

Hugo Ruiz Eraso I.A., Ph.D
Director

San Juan de Pasto, Junio de 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios

A COLCIENCIAS

A la Universidad de Nariño

Al Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrados en Ciencias Agrarias

Al Grupo de Investigación Cultivos Andinos (GRICAND)

A la Facultad de Ciencias Agrícolas

A los docentes:

Hugo Ruíz Eraso I. A., Ph. D.

Hernán Burbano Orjuela. I.A. Ph.D.

Marino Rodríguez. I.A. M.Sc.

Luis Alfredo Molina Valero I.A., M.Sc

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la culminación de este estudio.

DEDICADO A:

He logrado concluir este reto importante en mi vida, sin embargo en este proceso han sido incontables las pruebas del amor de Dios reflejadas en las personas que me han brindado su cariño y apoyo, por eso dedico este logro:

A mis Padres y Hermano, que me han enseñado la magnificencia de la vida al brindarme su amor y su ejemplo sin ninguna condición.

A mi hermoso Esposo, porque indiscutiblemente sin su apoyo y amor no hubiera sido posible concluir este proyecto.

A mi familia Moreno Santander, por ser la razón de sentirme afortunada y saber que en cualquier circunstancia puedo contar con ustedes.

Ma. NATHALIA MORENO SANTANDER

RESUMEN

La investigación se realizó en el invernadero de la Universidad de Nariño, con suelo proveniente del municipio de Pupiales, una de las zonas con mayor incidencia de *F. oxysporum* f. sp. *pisi* en el departamento de Nariño, con el objetivo de evaluar el efecto del patógeno sobre la productividad de 12 materiales de arveja (*Pisum sativum* L.), de los cuales nueve pertenecen a cultivares en desarrollo (UN7232-1, UN7313, UN7324, UN7325, UN7328, UN7336, UN7364, UN7370-1 y UN7371-2) y tres son variedades comerciales (Obonuco Andina, ICA-CORPOICA Sindamanoy y San Isidro), mediante la influencia de diferentes potenciales matriciales de agua en el suelo (-30, -50 y -70 kPa) monitoreados por tensiometría.

Se utilizó un Diseño Irrestrictamente al Azar (DIA) con arreglo de parcelas divididas, donde la parcela hizo referencia a los potenciales matriciales de agua en el suelo y las subparcelas a los materiales de Arveja (*P. sativum*).

Se encontraron diferencias estadísticas para potenciales matriciales, evidenciando la mayor incidencia del patógeno cuando se manejaron los potenciales -50 y -70 kPa en comparación con el tratamiento de mayor humedad del suelo (-30 kPa) que presentó los promedios más bajos de incidencia (%) de la enfermedad. UN7366 fue diferente estadísticamente de los demás materiales genéticos evaluados, evidenciando los menores promedios de incidencia de *F. oxysporum* f. sp. *pisi*, mientras que los mayores promedios se presentan en las variedades comerciales estudiadas.

Los mayores valores para suministro de agua (226,35 ml) se presentaron cuando se utilizó el potencial matricial correspondiente a -30 kPa, diferenciándose estadísticamente de las cantidades de agua adicionadas cuando se trabajó con -50 y -70 kPa. Al evaluar el efecto del manejo del agua del suelo bajo la incidencia

de *F. oxysporum* f. sp. *pisi* sobre la altura de plantas se observó un mejor comportamiento para el potencial matricial -30 KPa, próximo a capacidad de campo, con un crecimiento superior al 25% respecto a los dos potenciales menores -50 y -70 KPa y UN7232-1 sobresalió con mejor comportamiento, diferenciándose estadísticamente de los demás materiales evaluados.

En cuanto a diámetro de tallo, la línea UN7364 evidenció significancia estadística presentando los menores promedios de diámetro de tallo (16,4 mm) respecto a las demás líneas y variedades comerciales de arveja, comportamiento asociado con la infección vascular generada por la presencia de *F. oxysporum* f.sp. *pisi*. Para número de granos por vaina, el potencial matricial de -30 KPa presentó diferencias estadísticas respecto a los demás potenciales matriciales utilizados, encontrándose un mejor comportamiento cuando se sometieron las plantas a -30 kPa. La variedad Obonuco Andina presentó los promedios más bajos de granos por vaina, en general los resultados se encuentran por debajo del 70% frente al promedio en campo de las variedades comerciales.

El peso de 100 granos presentó los menores valores promedio para la línea UN7364, por lo tanto, es probable que las variaciones en la constitución genética de las líneas o variedades evaluadas bajo diferentes condiciones genere la obtención de resultados distintos. Al mantener las plantas de arveja bajo condiciones intermedias de suministro de agua (-50 kPa) se presentaron los menores promedios correspondientes a 2,58 vainas planta⁻¹.

ABSTRACT

The investigation was conducted in the greenhouse of the University of Nariño, with soil from the municipality of Pupiales, one of the areas with the highest incidence of *F. oxysporum* f. sp. *pisi* in the department of Nariño , in order to evaluate the effect of the pathogen on the productivity of 12 materials pea (*Pisum sativum* L.) , of which nine belong to developing cultivars (UN7232-1 , UN7313 , UN7324 , UN7325 , UN7328 , UN7336 , UN7364 , UN7370-1 and UN7371-2) and three are commercial varieties (Obonuco Andina, ICA- CORPOICA Sindamanoy and San Isidro) , through the influence of different matrix potential of soil water (-30, - 50 and -70 kPa) monitored by tensiometry .

Was used One unreservedly Random Design with split plot arrangement, where the plot referred to the matrix potential of soil water and subplots materials pea (*P. sativum*).

Statistical differences were found for potential matrix, showing the highest incidence of the pathogen when potential -50 and -70 kPa were handled compared with the treatment of major soil moisture (-30 kPa) that presented the lowest average incidence (%) disease , UN7366 differed statistically evaluated over other genetic materials , showing the lower average incidence of *F. oxysporum* f . sp . *pisi* , while the highest averages are presented in commercial varieties studied.

The highest values for water (226.35 ml) occurred when the corresponding was used matrix potential to -30 kPa, statistically differing amounts of water spiked when we worked with -50 and -70 kPa. To evaluate the effect of soil water management under the incidence of *F. oxysporum* f . sp . *pisi* on plant height improved performance for -30 kPa matric potential concerning field capacity, with a growth of over 25% compared to the two lower potential -50 and -70 kPa and was

observed UN7232-1 excelled with best behavior , differing statistically from the other materials tested.

As for stem diameter, the line UN7364 showed statistical significance showed the lowest average stem diameter (16,4 mm) with respect to other lines and commercial varieties of peas behavior associated with vascular infection generated by the presence of *F. oxysporum* f.sp. *pisi* .For number of grains per pod, the matrix potential of -30 kPa presented statistical differences compared to other potential matrix used , finding a better performance when the plants were subjected to -30 kPa. Variety Obonuco Andina presented the lowest averages of a grain per pod, overall the results are below 70 % on average in the field of commercial varieties .

The weight of 100 grains showed the lowest average values for the line UN7364, therefore, it is likely that variations in the genetic makeup of the lines or varieties evaluated under different conditions obtaining generate different results. By keeping pea plants under conditions of intermediate water (-50 kPa) lower averages for 2,58 pods plant they were presented.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS | 13 |
| LISTA DE TABLAS | 14 |
| LISTA DE ANEXOS | 16 |
| RESUMEN | 16 |
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 20 |
| 1.1 El agua del suelo | 20 |
| 1.1.1 Clasificación del agua en el suelo | 20 |
| 1.1.2 Movimiento del agua en el suelo | 20 |
| 1.1.3 Fuerzas de retención del agua en el suelo | 21 |
| 1.2 Microbiota del suelo | 24 |
| 1.2.1 <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> . | 25 |
| 1.3 Arveja | 26 |
| 2. METODOLOGÍA | 28 |
| 2.1 LOCALIZACIÓN | 28 |
| 2.2.1 Toma de muestras de suelo | 28 |
| 2.3 Diseño Experimental | 31 |
| 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 38 |
| 3.1 Incidencia de <i>Fusarium</i> | 38 |
| 3.2 Suministro de agua | 41 |
| 3.3 Altura de plantas | 43 |
| 3.4 Diámetro de tallo | 46 |
| 3.5 Número de granos por vaina (NGV) | 47 |
| 3.6 Peso de cien granos | 50 |
| 3.7 Número de vainas por planta | 53 |
| 4. CONCLUSIONES | 57 |

| | |
|-----------------|----|
| 5. BIBLIOGRAFÍA | 58 |
| 6. ANEXOS | 69 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Representación esquemática de las fuerzas que actúan sobre el agua del suelo creando diferentes potenciales. Fuente: Casanova, 2005. | 22 |
| Figura 2. Tensiómetro utilizado en el estudio. | 23 |
| Figura 3. Esquema de la columna manométrica para el monitoreo de potenciales matriciales. | 31 |

LISTA DE TABLAS

| | Pag. |
|--|------|
| Tabla 1. Análisis físico y químico de suelo Typic humitropepts, municipio de Pupiales, departamento de Nariño. | 29 |
| Tabla 2. Descripción de los tratamientos | 32 |
| Tabla 3. Cuadrado medio para incidencia de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> en 12 materiales de <i>P. sativum</i> | 38 |
| Tabla 4. Promedio de incidencia (%) de <i>F. oxysporum</i> bajo tres potenciales matriciales en el cultivo de <i>P. sativum</i> | 38 |
| Tabla 5. Promedios de incidencia de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> en 12 materiales de arveja | 40 |
| Tabla 6. Cuadrado medio para disponibilidad de agua (ml) bajo la influencia de potenciales matriciales y <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> | 41 |
| Tabla 7. Disponibilidad de agua del suelo bajo tres potenciales matriciales de agua del suelo | 42 |
| Tabla 8. Cuadrado medio para altura de plantas de arveja (<i>P. sativum</i>) bajo tres potenciales matriciales de agua de suelo. | 43 |
| Tabla 9. Promedio de altura de plantas bajo la influencia de 3 potenciales matriciales de agua del suelo. | 44 |
| Tabla 10. Promedio de altura de plantas de 12 materiales de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> | 45 |
| Tabla 11. Cuadrado medio para diámetro de tallos de doce materiales de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de 3 potenciales matriciales de agua del suelo | 46 |
| Tabla 12. Promedio de diámetro de tallo de 12 materiales de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo | 47 |
| Tabla 13. Cuadrado medio para número de granos por vaina evaluado en 12 materiales de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo | 48 |
| Tabla 14. Promedio de Número de granos por vaina de <i>P. sativum</i> bajo tres potenciales matriciales de agua del suelo | 49 |

| | |
|---|----|
| Tabla 15. Promedio de número de granos por vaina de 12 materiales de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo | 50 |
| Tabla 16. Cuadrado medio para peso de cien granos de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo | 51 |
| Tabla 17. Promedio de peso de cien granos (g) de 12 materiales de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo | 51 |
| Tabla 18. Cuadrado medio para número de vainas por planta de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo | 53 |
| Tabla 19. Promedio de número de vainas por planta de 12 materiales genéticos de <i>P. sativum</i> bajo tres potenciales matriciales de agua del suelo. | 54 |
| Tabla 20. Promedio de número de vainas por planta de 12 materiales de arveja (<i>P. sativum</i>) bajo la influencia de tres potenciales matriciales | 55 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|---|------|
| Anexo 1. Análisis de varianza para incidencia de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> en 12 materiales de <i>P. sativum</i> | 70 |
| Anexo 2. Análisis de varianza para disponibilidad de agua (ml) bajo la influencia de potenciales matriciales y <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> | 71 |
| Anexo 3. Análisis de varianza para altura de plantas de arveja (<i>P. sativum</i>) bajo 3 potenciales matriciales de agua de suelo. | 72 |
| Anexo 4. Análisis de varianza para diámetro de tallos de doce materiales de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de 3 potenciales matriciales de agua del suelo | 73 |
| Anexo 5. Análisis de varianza para número de granos por vaina evaluado en 12 materiales de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo | 74 |
| Anexo 6. Análisis de varianza para peso de cien granos de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo | 75 |
| Anexo 7. Análisis de varianza para número de vainas por planta de <i>P. sativum</i> bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo | 76 |

INTRODUCCIÓN

El cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) tiene una gran importancia económica a nivel nacional, su siembra intensiva es fuente de trabajo y sustento para muchas familias, pues requiere una cantidad importante de mano de obra, debido al número de labores culturales que se deben realizar para su producción. En Colombia se estima que de este cultivo dependen más de 26.000 productores, generando alrededor de 2,3 millones de jornales y aproximadamente 15.000 empleos directos, concentrando la mayor producción en los departamentos de Cundinamarca, Huila, Boyacá y Nariño (FENALCE, 2010), siendo este último departamento, el principal productor de arveja del país (DNP, 2015).

Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (2014), el departamento de Nariño posee en promedio un área cosechada correspondiente a 14.664 Ha, produce un promedio de 29.036 toneladas anuales, el rendimiento equivale a 14 t ha⁻¹ en vaina verde y la cantidad de unidades productoras asciende a 10.029, valores que se encuentran por encima de los reportados para los municipios de Antioquia, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Norte de Santander, Risaralda, Santander y Tolima.

En Nariño, se cultiva arveja desde los 1.700 a 3.100 metros de altitud, concentrándose su producción en las zonas cerealistas del sur, donde es uno de los cultivos más importantes por su capacidad de adaptación, alto potencial de rendimiento y por la posibilidad de cosechar en vaina o en grano seco (Sañudo *et al.*, 1999), en esta región los materiales más cultivados por preferencia del agricultor y por su importancia agronómica son las variedades San Isidro, Santa Isabel, ICA-CORPOICA Sindamanoy, Obonuco Andina y Piquinegra (Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente de Nariño, 2010).

Algunas zonas dedicadas a este cultivo se caracterizan por poseer suelos deteriorados donde comúnmente no se realiza un manejo adecuado de los mismos (Sañudo *et al.*, 2001), presentándose problemas de fertilidad, compactación e influencia de patógenos. En los últimos años, el cultivo se ha visto afectado por la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*, patógeno capaz de atacar plantas de arveja en cualquier estado de desarrollo, propagándose a través de los vasos xilémicos, impidiendo la circulación de agua y nutrientes hacia la parte superior de la planta (Jiménez, 2001), además, ocasiona destrucción de los tejidos por fermentos citolíticos, etileno y otras sustancias tóxicas secretadas por el patógeno (Castro *et al.*, 1986); la severidad de la enfermedad conduce a la muerte de las plantas, ocasionando pérdidas económicas que pueden oscilar entre 50 y 100% cuando no se toman medidas de manejo (Villalobos y Castaño, 2012; Buitrago *et al.*, 2006; Tamayo, 2000).

La posible asociación del patógeno con un insecto barrenador hace más complejo el problema, ya que en estas condiciones, las plantas afectadas se tornan improductivas y se marchitan en la mayoría de los casos (Castro *et al.*, 1986)

El uso de productos químicos aplicados al suelo ha demostrado ser una práctica efectiva para el manejo del patógeno, aunque económicamente poco viable, sin considerar que el uso de estos productos puede afectar a los organismos antagónicos benéficos. La posibilidad de disminuir el uso de algunos de los productos de síntesis química en el manejo de enfermedades ocasionadas por hongos, ha abierto una posibilidad a la investigación de otras prácticas alternativas promisorias desde el punto de vista económico y ambiental, al ser menos perjudiciales para el ecosistema y la salud humana.

En consideración, la investigación tuvo como objetivo principal la evaluación de la influencia del manejo del agua del suelo sobre la incidencia de *Fusarium*

oxysporum f.sp. pisi en algunas variables agronómicas del cultivo de Arveja (*Pisum sativum* L.) a través del uso de tres potenciales matriciales de agua del suelo (-30, -50 y -70 kPa) y la evaluación de la productividad de los materiales estudiados.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 El agua del suelo

La presencia de agua suficiente en el suelo es vital para el crecimiento de las plantas, no sólo porque éstas la requieren para realizar sus procesos fisiológicos, sino también porque el agua contiene nutrientes en solución. La lluvia y otras formas de precipitación constituyen los aportes de agua, pero poco beneficiaría a las plantas si el suelo no pudiera almacenarla para los diferentes usos (Thompson y Troeh, 2002).

1.1.1 Clasificación del agua en el suelo

Franquet (2005), menciona que el agua del suelo se clasifica en higroscópica, capilar y de gravitación, la primera equivale a la máxima cantidad de agua que las partículas del suelo pueden absorber, las cuales quedan fijadas a la fase sólida por fuerzas eléctricas, impidiendo ser absorbida por las plantas, el agua capilar es retenida en el suelo mediante las fuerzas de tensión superficial, el agua retenida por los capilares de mayor diámetro puede ser utilizada por las plantas ya que la fuerza de retención es inferior a la de succión ejercida por el sistema radicular, caso contrario ocurre cuando el agua es retenida por los capilares de menor diámetro y el agua gravitacional no está retenida por partículas sólidas del suelo, en consecuencia puede desplazarse libremente por los poros, actuando bajo la fuerza motriz de la gravedad terrestre.

1.1.2 Movimiento del agua en el suelo

El agua sobre la superficie del suelo puede pasar por los procesos de infiltración, escorrentía, evaporación o transpiración. Una parte del agua que se infiltra puede

ser usada por las plantas para transpirar, volver a la atmosfera a través de evaporación o pasar más abajo de la zona radical (Shaxson y Barber, 2005). La escorrentía se produce cuando las fuerzas gravitacionales empujan el exceso de agua a más profundidad dentro del perfil de suelo, una vez se alcanza la saturación de las capas superficiales del suelo (Stephen, 2002). La evaporación se distribuye en proporciones variables entre la transpiración de las plantas y la evaporación directa del suelo, no obstante dadas las dificultades en diferenciarlas y para fines prácticos, el consumo de agua de las plantas se considera igual a la suma de estas dos componentes, denominándose evapotranspiración o uso consuntivo (Iturri, 1983).

Adicionalmente, se debe considerar el movimiento del agua en el suelo a través de los macro, meso y microporos. Los macro y meso poros se encargan de regular la aireación, crecimiento de raíces y procesos de flujo de masa y de difusión de nutrimentos (Guimaráes, *et al.*, 1999). Los microporos retienen el agua a través de fuerzas que no son susceptibles de desplazamiento por acción gravitatoria, por tanto estos poros una vez llenos de agua permanecen siempre así si no se aplica alguna fuerza externa que la desplace; la fuerza que se requiere para extraer el agua de los microporos es cada vez mayor a medida que el suelo se seca, a causa de esto a las plantas les resulta más difícil obtener suficiente agua en suelos secos (De Santiago, 2012).

1.1.3 Fuerzas de retención del agua en el suelo

Los suelos tienen diferente capacidad de retener y habilitar agua para las plantas, valores que se expresan a través de los coeficientes hídricos de capacidad de campo y punto de marchitez. La capacidad de campo es la máxima capacidad de agua que el suelo puede retener; el punto de marchitez es un término fisiológico, que corresponde al contenido de humedad del suelo (Sánchez, 2007).

En el suelo el agua está sometida a una serie de fuerzas que disminuyen su capacidad de realizar trabajos; la atracción del agua por las partículas sólidas crea la fuerza de adhesión y cohesión, denominada fuerza matriz; la atracción de agua por iones y otros sólidos del suelo crea una fuerza osmótica; finalmente la fuerza de la gravedad, que atrae el agua hacia abajo y por tanto es responsable de la infiltración y percolación (Casanova, 2005). Dado que el agua en el suelo está sometida a las fuerzas mátricas, osmóticas y de gravedad, no es capaz de realizar tanto trabajo como el agua pura y libre y por ello el potencial de agua en el suelo es negativo (Figura 1) (Casanova, 2005).

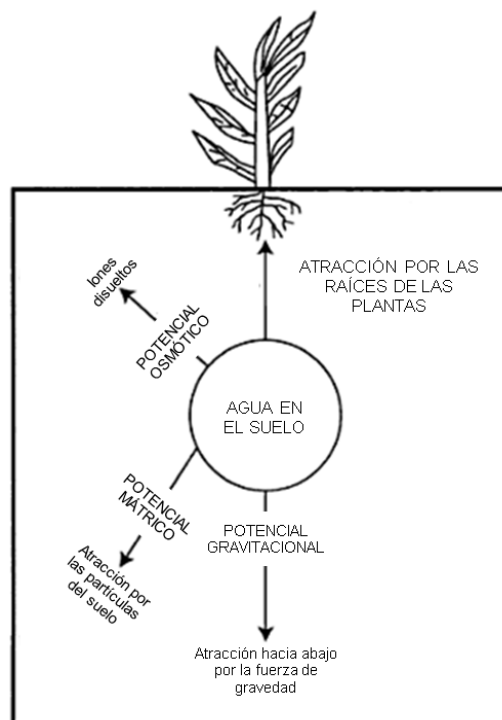


Figura 1. Representación esquemática de las fuerzas que actúan sobre el agua del suelo creando diferentes potenciales. Fuente: Casanova, 2005.

El potencial matricial del suelo se mide en unidades de presión (bares, pascales, atmosferas, etc), el cual ha sido considerado como criterio para la caracterización de la disponibilidad de agua en el suelo, influenciado entre otros factores por la

textura, estructura, porosidad, y profundidad del suelo, y su aumento limita la absorción radical y por tanto la reducción en el crecimiento vegetal (Niño, 2013).

Para el monitoreo del potencial matricial se utiliza el tensiómetro (Figura 2a), el cual cuenta con una cápsula porosa (Figura 2b) de material cerámico, a través de la cual se realiza una succión cuando el agua dentro de la cerámica entra en contacto hidráulico y tiende a equilibrarse con el agua del suelo (Niño, 2013).



Figura 2. Tensiómetro utilizado en el estudio. Fuente: esta investigación

A nivel mundial se han realizado diversas investigaciones referentes a los potenciales matriciales de agua en el suelo, como es el estudio adelantado en Chile relacionado con la evaluación de la dinámica del potencial mátrico en fases de mojado y secado en tres Andisoles sujeto a los usos de bosque y pradera, concluyendo que bajo una vegetación arbórea el espacio poroso del suelo es mayor que una pradera, dominando la porosidad de drenaje y que la velocidad de desplazamiento a través de los cambios del potencial mátrico, fue mayor en los

suelos con cubierta bajo bosque, debido a la mayor presencia de poros de drenaje (Nissen, 2005).

Igualmente en Brasil se han adelantado diferentes estudios, como el realizado por la Universidad Federal Lavras, cuyo objetivo principal fue determinar el intervalo de potencial óptimo durante diferentes fases fenológicas en el cultivo de café, estableciendo que en las etapas de crecimiento y maduración de frutos se registraron los mejores resultados para de -35 y -38 kPa respectivamente y en la etapa de floración, fruto en verde y expansión de frutos, cuando los valores del potencial mátrico alcanzó valores de -31 y - 32 kPa respectivamente (Evangelista, 2013).

Así mismo en el departamento del Tolima, Colombia, se llevaron a cabo estudios sobre el manejo del riego en el cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) bajo la aplicación de diferentes láminas de agua con el fin de determinar el rango óptimo de potencial mátrico de agua en el suelo (PMS), concluyendo que el PMS entre 10 y 20 cb favorece los mayores valores para las variables longitud de tallos y ramas, MS foliar, índice de área foliar, concentración de edulcorantes e índice de cosecha en el cultivo (Niño, 2013).

1.2 Microbiota del suelo

El suelo es un espacio heterogéneo con propiedades físicas, químicas y biológicas, que bajo condiciones naturales desarrolla un equilibrio dinámico, generando condiciones para una diversidad de organismos transformadores y descomponedores de sustratos (Reyes y Valery, 2007). El mismo autor menciona que la microbiota del suelo se forma principalmente por bacterias y hongos, jugando un papel importante en la fertilidad, reciclaje de nutrientes, evolución, estructura y conservación del mismo; no obstante la densidad y diversidad de microorganismos varían en función de la especie vegetal, edad y estado

nutricional de la planta, de las características físico químicas del suelo, de su manejo y de las condiciones ambientales.

Además, los microorganismos del suelo se localizan en la rizosfera, creando condiciones de vida como asociaciones, simbiosis y mutualismo, entre otros (Baquero, 2001).

1.2.1 *Fusarium oxysporum* f. sp. *lisi*.

Dentro de las enfermedades causadas por hongos en el cultivo de la arveja, está el marchitamiento vascular causado por *F. oxysporum* f. sp. *lisi*, patógeno que se manifiesta con marchitamiento, empardecimiento, muerte de hojas y vástagos suculentos y la muerte de las plantas. Se encuentra dentro de las enfermedades más difíciles de controlar, dado que es un hongo que puede sobrevivir saprófitamente en el suelo por un tiempo prolongado (Jiménez, 2001).

El mismo autor, menciona que el marchitamiento vascular se caracteriza por los síndromes de amarillez y marchitez, distinguibles entre sí por síntomas específicos y por la cronología en que se desarrollan. Ambos síndromes, son consecuencia de infecciones vasculares y se asocian a una coloración castaño oscura del xilema y médula de la raíz, cuello y tallo de las plantas infectadas. La amarillez presenta un desarrollo progresivo de clorosis, amarillez y necrosis de folíolos, que progresan de forma acrópeta, dando lugar a la defoliación de la planta. La marchitez se caracteriza por un desarrollo rápido de flacidez y clorosis en las hojas, que se extiende al resto de la planta, seguida de la desecación de hojas y tallos, donde los folíolos permanecen adheridos al raquis, y posteriormente la planta muere.

La decoloración de tejidos vasculares se atribuye a la obstrucción de los vasos xilémicos que genera el micelio y las sustancias formadas por acumulación y oxidación de células atacadas. Las toxinas que secreta el hongo, son llevadas por

el flujo de agua hacia la parte superior de la planta, generando afecciones en los vasos xilémicos en formación, adelgazamiento de las paredes celulares y aumento de las células parenquimatosas en torno a los vasos xilémicos, que resulta en la disminución del diámetro o el colapso total de los vasos (Jiménez, 2001).

Las toxinas también son llevadas hacia las hojas, disminuyendo la síntesis de clorofila ocasionando su aclaramiento y controlando la pérdida de agua por transpiración; consecuentemente se produce epinastia, marchitamiento, necrosis internerval, empardecimiento y muerte de las hojas (Jiménez, 2001).

1.3 Arveja

Las leguminosas son de gran importancia económica a nivel mundial, encontrándose semillas que han sido base insustituible de la alimentación humana desde tiempos muy remotos (Forero, 2005). Aunque no es muy conocido a nivel nacional, Nariño es el principal productor de arveja del país; según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) el Departamento produce un promedio de 48.264 toneladas anuales que representan el 55,2% de la producción nacional, con aproximadamente 30 mil hectáreas de arveja sembrada, abarcando aproximadamente 30.000 familias productoras (SGR, 2015).

En el país se cultivan variedades comerciales de arveja como la Obonuco Andina, producto tecnológico colombiano, resultante entre el cruzamiento de líneas L-48 y E.E.U.U, esta línea experimental presentó características deseables de producción y calidad para el consumo de grano en verde y se definió la adaptación y estabilidad del material para la zona óptima de producción de arveja del sur de Nariño. Esta variedad presentó durante la fase de investigación para los años 2000-2001 un rendimiento en (kg ha^{-1}) de 3.436,1 en grano verde, 6.607,9 en grano más vaina y 1.848,7 en grano seco (Campuzano *et al.*, 1992).

La variedad comercial ICA-CORPOICA ICA-CORPOICA Sindamanoy es una variedad mejorada de Arveja (*P. sativum*), la cual se adapta bien en zonas de clima frío entre los 2.300 y 2.900 msnm, presentando un ciclo de cultivo entre 130 y 150 días dependiendo de la altitud. Esta variedad presenta rendimientos entre 5.500 y 6.400 kilos por hectárea en vaina verde y entre 1.200 y 1.600 kilogramos por hectárea en grano seco, dependiendo del sistema de siembra (Checa, 1995).

Finalmente, la variedad San Isidro producto tecnológico colombiano, resulta del cruzamiento entre las líneas 1724 y 48. Se demostró durante la fase de investigación características agronómicas sobresalientes, como su alto rendimiento de grano en estado verde, la resistencia a Antracnosis y *Ascochyta*, mayor tiempo de permanencia del grano verde en exposición sin oxidarse ni germinarse y su excelente calidad culinaria. Esta variedad presentó durante la fase de investigación para los años 1999-2000 un rendimiento en kg ha⁻¹ de 1749,3 en grano verde, 3510,1 en grano más vaina y 1120,2 en grano seco (Campuzano *et al.*, 2001).

En los últimos años, los rendimientos de la arveja se han visto afectados por la pudrición de raíces causada por *F. oxysporum* f.sp. *pisi*, patógeno cuyo hábitat es el suelo, capaz de atacar plantas en cualquier estado de desarrollo; la severidad de la enfermedad conduce a la muerte de las plantas, ocasionando pérdidas económicas, que pueden oscilar entre 50 y 100% cuando no se toman medidas de manejo. Las plantas de arveja atacadas por el hongo y que logran emerger, inicialmente muestran lesiones necróticas de color café claro con bordes rojizos; cuando la lesión es severa, se observa en el interior del tallo masas miceliales de color amarillo-rosado o café: las plantas presentan amarillamiento de las hojas inferiores, se marchitan y finalmente mueren (Villalobos y Castaño, 2012).

2. METODOLOGÍA

2.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó en el invernadero, adscrito a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, ubicado geográficamente a 1°12'12" Latitud Norte y 77°15'23" Longitud Oeste y una altitud de 2540 msnm, con temperatura de 18°C y humedad relativa del 60%.

El suelo utilizado en la investigación provino de un predio dedicado al cultivo de arveja ubicado en el municipio de Pupiales (N), con coordenadas planas 937043 Norte y 587485 Oeste, de orden taxonómico Andisol y clasificado en la consociación ALB y ALD, resaltando el componente taxonómico Pachic Melanudand (IGAC, 2004).

La zona se caracteriza por la presencia de suelos ácidos y cultivos de Arveja (*P. sativum*) con problemas de baja productividad y competitividad asociados al amarillamiento vascular generado por *F. oxysporum* f. sp. *pisi.*, dado que el patógeno se presenta endémicamente (Gobernación de Nariño, 2012).

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 Toma de muestras de suelo

Se tomaron diferentes muestras aleatorias de suelo en el lote seleccionado previamente para ser utilizado en el montaje del ensayo en invernadero (600 Kg de suelo) que fueron transportados de la zona endémica de *F. oxysporum* f. sp. *pisi*, municipio de Pupiales, hasta el invernadero de la Universidad de Nariño en la ciudad de Pasto. Paralelamente, se tomó una muestra representativa del suelo

colectado para efectuar análisis de las propiedades físicas y químicas (40 submuestras para completar una muestra representativa).

Posteriormente, el suelo recolectado fue llevado a condiciones de invernadero a fin de retirar la humedad residual, tamizarlo y disponerlo homogéneamente en las unidades experimentales, distribuidas al azar en recipientes (macetas) con capacidad de 5 kg, a fin de realizar la siembra de los materiales respectivos.

2.2.2 Análisis de suelos

Dicho suelo cuyos resultados del análisis físico y químico se presentan en la Tabla 1, fue colectado en la zona endémica para el amarillamiento de arveja y fue tomado de las zonas planas cóncavas de la región, donde es más acentuado el problema fitopatológico ya enunciado.

La reacción del suelo es fuertemente ácida con niveles medios de materia orgánica, fósforo y bases, así como un nivel alto de aluminio que puede superar el 30% de saturación, explicado en su bajo nivel de pH (4,8); de la misma forma se encontraron niveles bajos de microelementos (Mn: 0,40; Cu: 0,25; Zn: 0,31; B: 0,45 mg kg⁻¹), siendo del Fe con 120 mg kg⁻¹, el único elemento que está sobre un nivel del rango crítico superior.

Tabla 1. Análisis físico y químico de suelo Pachic melanudand, municipio de Pupiales, departamento de Nariño.

| Elementos analizados | Método | Técnica | Unidad de medida | Resultados |
|----------------------|--|----------------------------|---------------------|------------|
| Densidad aparente | Probeta graduada | Gravimétrica | g cm ⁻³ | 0,78 |
| pH | Potenciómetro suelo: Agua (1:1)NTC5264 | Potenciométrica | | 4,30 |
| Materia orgánica | Walkley-Black (colorimétrico) NTC5403 | Espectrofotométrica uv-vis | % | 7,50 |
| Fósforo disponible | Bray II y Kurtz NTC | Espectrofotométrica | Mg Kg ⁻¹ | 25,92 |

| | | | | |
|---|----------------------------|---|-------------------------------|------|
| | 5350 | ca uv-vis | | |
| Capacidad de intercambio catiónico (CIC) | CH3COONH4 1NpH7 NTC5268 | Volumétrica | | 17,5 |
| Calcio de cambio | CH3COONH4 1NpH7 NTC5349 | Espectrofotometría de absorción atómica | Cmolcarga kg ⁻¹ | 3,09 |
| Magnesio de cambio | | | | 1,29 |
| Potasio de cambio | | | | 0,60 |
| Aluminio de cambio | Extracción KCl 1N | Volumétrica | | 2,54 |

Fuente: esta investigación

2.2.3 Siembra y fertilización de las unidades experimentales

El suelo fue depositado en recipientes con capacidad de 5 kg de suelo y se procedió a sembrar tres semillas de cada material según los tratamientos. Teniendo en cuenta el análisis de suelo realizado, se elaboró el plan de fertilización para el ensayo de investigación, las dosis determinadas se aplicaron una vez la planta emergió, haciendo la respectiva colocación del fertilizante en forma líquida, vía edáfica.

Bajo estas condiciones, se realizó el plan de fertilización considerando que el cálculo de los insumos se hizo tomando como referencia el criterio de “Extracción” (Castro y Gómez, 2010); para lo cual se tuvo en cuenta que el cultivo de arveja (*P. sativum*) requiere por cada tonelada de grano producida: 15 kg ha⁻¹ de N; 2,0 kg ha⁻¹ de P; 7,0 kg ha⁻¹ de K; 0,7 kg ha⁻¹ de Ca; 0,3 kg ha⁻¹ de Mg y 0,1 kg ha⁻¹ de S (Alarcón, 1997).

2.2.3 Columnas manométricas

Se construyeron las columnas manométricas (Figura 3) con las cuales se monitorearon los potenciales matriciales, el seguimiento requirió la adición diaria de agua según el ajuste definido con el modelo matemático validado a través de la curva característica de agua en el suelo, siendo esta igualmente una variable de respuesta para el suelo.

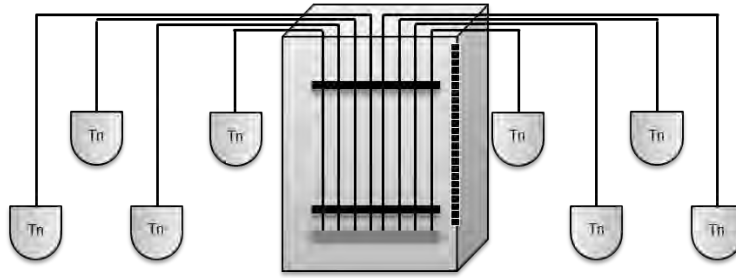


Figura 3. Esquema de la columna manométrica para el monitoreo de potenciales matriciales.

2.2.4 Materiales de Arveja (*P. sativum*)

Los materiales de arveja estudiados, pertenecen a cultivares en desarrollo, producto de trabajos sistemáticos realizados por la Universidad de Nariño y la Universidad Nacional, los cuales se realizaron con el propósito de mejorar la productividad del cultivo en términos de aprovechamiento nutricional y resistencia a diferentes plagas y enfermedades, entre ellas *F. oxysporum* f. sp. *pisi*, contrastados con tres materiales comerciales desarrollados gracias a estas sinergias investigativas desarrolladas en el país.

2.3 Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño Irrestrictamente al Azar con arreglo de parcelas divididas, donde las parcelas principales correspondieron a potenciales matriciales de agua en el suelo, -30, -50 y -70 KPa y las subparcelas correspondieron a los materiales de Arveja (*P. sativum*) UN7232-1, UN7313, UN7324, UN7325, UN7328, UN7336, UN7364, UN7370-1, UN7371-2, Obonuco Andina, ICA-CORPOICA Sindamanoy y San Isidro. Para un total de 36 tratamientos con tres repeticiones, que conforman 108 unidades experimentales, citados en la siguiente manera (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de los tratamientos

| Tratamiento | Descripción |
|--------------------|--------------------|
| 1 | UN7232-1 y -30 kPa |
| 2 | UN7232-1 y -50 kPa |
| 3 | UN7232-1 y -70 kPa |
| 4 | UN7313 y -30 kPa |
| 5 | UN7313 y -50 kPa |
| 6 | UN7313 y -70 kPa |
| 7 | UN7324 y -30 kPa |
| 8 | UN7324 y -50 kPa |
| 9 | UN7324 y -70 kPa |
| 10 | UN7325 y -30 kPa |
| 11 | UN7325 y -50 kPa |
| 12 | UN7325 y -70 kPa |
| 13 | UN7328 y -30 kPa |
| 14 | UN7328 y -50 kPa |
| 15 | UN7328 y -70 kPa |
| 16 | UN7336 y -30 kPa |
| 17 | UN7336 y -50 kPa |
| 18 | UN7336 y -70 kPa |
| 19 | UN7364 y -30 kPa |
| 20 | UN7364 y -50 kPa |
| 21 | UN7364 y -70 kPa |
| 22 | UN7370-1 y -30 kPa |
| 23 | UN7370-1 y -50 kPa |
| 24 | UN7370-1 y -70 kPa |
| 25 | UN7371-2 y -30 kPa |
| 26 | UN7371-2 y -50 kPa |
| 27 | UN7371-2 y -70 kPa |

| | |
|----|--------------------------------------|
| 28 | Obonuco Andina y -30 kPa |
| 29 | Obonuco Andina y -50 kPa |
| 30 | Obonuco Andina y -70 kPa |
| 31 | ICA-CORPOICA Sindamanoy y -30 kPa |
| 32 | ICA-CORPOICA Sindamanoy y -50 kPa |
| 33 | ICA-CORPOICA Sindamanoy y -70 kPa |
| 34 | San Isidro y -30 kPa |
| 35 | San Isidro y -50 kPa |
| 36 | San Isidro y -70 kPa |

Se realizó un análisis de varianza y su modelo estadístico se presenta a continuación.

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + U_{j(i)} + Mk + (TM)_{ik} + Q_{ijk}$$

$$i = 1, 2, 3 \quad j = 1, 2, 3 \quad k = 1, 2, 3$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta para el efecto de la repetición i, efecto j de la parcela principal, efecto k de la subparcela, interacción y error.

μ = Media poblacional.

T_i = efecto de los tratamientos de la parcela principal.

$U_{j(i)}$ = error de la parcela principal

M_k = efecto de la subparcela

$(Tt)_{ik}$ = efecto de la interacción de los tratamientos de la parcela principal y las subparcelas

Q_{ijk} = error de las subparcelas

2.4 Variables de respuesta evaluadas

2.4.1 Incidencia de *F. oxysporum* f. sp. *pisi*

La incidencia de la enfermedad se evaluó por la sintomatología de las plantas, descrita por Tamayo (2002) y se expresó en porcentaje de acuerdo a la presencia o ausencia de los síntomas.

2.4.2 Suministro de agua

La adición diaria de agua consideró el ajuste definido a través del modelo matemático validado mediante la curva característica de agua en el suelo, la cual fue monitoreada a través de las columnas manométricas, teniendo como principios básicos los potenciales energéticos del agua en el sistema suelo – planta y la Ley de Boyle, los cuales argumentan que los potenciales energéticos en el suelo o en la planta están determinados por el potencial hídrico total en un punto (Ψ_a), resultado de la suma del potencial osmótico (Ψ_o), la presión (Ψ_p), el potencial matricial (Ψ_m), potencial gravitacional (Ψ_g) y un potencial asociado a las interacciones que pueden existir entre ellos (Ψ_i) (ecuación 1) (Taylor y Slatyer, 1959; Begg y Turner, 1976).

Ecuación (1)
$$\Psi_a = \Psi_o + \Psi_p + \Psi_m + \Psi_g + \Psi_i$$

De acuerdo con la condición específica de los puntos de estudio, dichos potenciales corresponden o no a un valor diferente de cero.

Cuando se trata de medir el potencial total en la atmósfera se recurre a los principios de la Ley de Boyle, para ello, se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación (2)
$$\Psi_{at} = RT/V_m \ln (100/HR)$$

Donde,

- Ψ_{at} :** Potencial atmosférico.
- R:** Constante universal de los gases.
- T:** Temperatura en grados Kelvin.
- V_m :** Volumen molar del agua.
- HR:** Humedad relativa de la atmósfera.

De tal manera que, un suelo en ausencia de saturación y capacidad de campo registra un potencial hídrico (**Ψ_a**) negativo, de acuerdo con la ecuación (1), en términos sencillos se puede decir que quien "hala" el agua del *continuum* xilemático es el suelo (Taylor y Slatyer, 1959; Begg y Turner, 1976).

Por otra parte, a medida que las condiciones de temperatura aumentan y los escenarios sean de sequía, el potencial atmosférico (**Ψ_{at}**) representa valores cada vez más negativos, por lo tanto, es la atmósfera quien "hala" el agua de la cavidad subestomatal y por tanto, el *continuum* xilemático lo hace en sentido contrario al que lo hace el suelo (Taylor y Slatyer, 1959; Begg y Turner, 1976).

Es así como, el *continuum* xilemático es sometido a un esfuerzo tensil por las fuerzas contrarias que "tiran" de él. Bajo esta situación de tensión se generan tanto condiciones favorables como desfavorables para la producción de cultivos,

de acuerdo con el metabolismo particular de cada especie vegetal (Taylor y Slatyer, 1959; Begg y Turner, 1976).

Ecuación para adición de agua y control de potenciales matriciales (EAA)

$$EAA = 1215,29 - ((60,92 * \text{Exp}(-8,84 / (\text{LN}(-Kpa) - 3,98) + 26,64) / 16,72) + (9,98 * \text{Exp}(-8,84 / (\text{LN}(-Kpa) - 3,98)) + 26,64) / 322,89) + 5,06) / 100 * 5000$$

2.4.3 Altura de plantas

Se evaluó la altura de las plantas de arveja en centímetros, cada tres días, registrando la información de acuerdo a los tratamientos en una base de datos, para su posterior análisis (Bourion *et al.*, 2002; Casanova *et al.*, 2012).

2.4.4 Diámetro de tallo

Las evaluaciones se realizaron cada tres días, a todas las unidades experimentales con ayuda de un pie de rey para determinar el diámetro en milímetros. Se registró la información del diámetro de tallo para cada uno de los tratamientos evaluados y se llevó a cabo el análisis de los datos.

2.4.5 Número de granos por vaina (NGV)

El número de semillas por vaina es uno de los componentes de rendimiento más importantes en el mejoramiento de la arveja en Colombia, donde aproximadamente el 95% de la producción de arveja se destina al mercado en fresco (Ligarreto y Ospina, 2009). Los mismos autores expresan que lo deseable es un número igual o superior a 6 granos por vaina.

Se contabilizó los granos por vaina de acuerdo a los tratamientos y se realizó el registro de la información en una base de datos.

2.4.6 Peso de 100 granos (PCG)

Se registró el peso de 100 granos frescos en gramos para cada uno de los materiales de arveja objeto de estudio y se registraron en la base de datos para su análisis.

2.4.7 Número de vainas por planta

Una vez las plantas de arveja estuvieron en la fase productiva, se contaron las vainas por planta en todas las unidades experimentales. Ésta información se registró en la base de datos para su posterior análisis.

2.5. Análisis de la información

Se realizó un análisis de varianza, mediante prueba de F (al 1 y 5% de probabilidad) y en el caso de diferencias estadísticas entre tratamientos se aplicó el Test de Tukey (al 5% de probabilidad).

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Incidencia de *Fusarium*

El análisis de varianza (Anexo 1) para incidencia de *F. oxysporum* f. sp. *pisi*, mostró diferencias significativas para potenciales matriciales y diferencias altamente significativas para materiales de arveja. No se encontraron diferencias para la interacción (Tabla 3).

Tabla 3. Cuadrado medio para incidencia de *F. oxysporum* f. sp. *pisi* en 12 materiales de *P. sativum* bajo tres potenciales matriciales

| F.V | G.L | C.M | p>F |
|--|-----|-----------|------|
| Potenciales matriciales | 2 | 315.244* | 5.50 |
| Error a (potencial (material)) | 35 | 29,380 | |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 214.113** | 3.73 |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 29.380 | 0.51 |
| Error b | 72 | 57,34 | |

** Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

A través de la prueba de comparación de medias de Tukey, se encontraron diferencias estadísticas para potenciales matriciales, evidenciando la mayor incidencia del patógeno cuando se manejaron los potenciales -50 y -70 kPa en comparación con el tratamiento de mayor humedad del suelo (-30 kPa) que presentó los promedios más bajos de incidencia (%) de la enfermedad (Tabla 4).

Tabla 4. Promedio de incidencia (%) de *F. oxysporum* bajo tres potenciales matriciales en el cultivo de *P. sativum*

| Potencial Matricial (kPa) | Incidencia (%) |
|------------------------------|-------------------|
| -50 | 61.803 a |
| -70 | 61.511 a |
| -30 | 56.538 b |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

El suelo es determinante para la expresión de una enfermedad de origen edáfico, debido a que la interacción entre el hospedero y el patógeno está influenciada por las interacciones de aquellos con la fracción físico-química del suelo (Tello *et al.*, 2011), hecho que se demuestra porque el ataque del patógeno fue notablemente influenciado por los tratamientos hídricos a los que fueron sometidos las plantas. Adicionalmente, Garcés *et al.*, (2001) mencionan que el hongo es aerobio y que sus poblaciones se reducen con la saturación de agua en el suelo, situación que puede estar directamente asociada con los resultados obtenidos.

Por otra parte, la mayor incidencia se presentó cuando se mantuvo el suelo a -50 y -70 kPa, bajo similares condiciones de humedad del suelo Fravel *et al.*, (1996) indican que la proliferación de *F. oxysporum* f. sp. *erythroxyli* se mantiene, en este contexto probablemente la mayor incidencia del patógeno ocurre cuando la proliferación se incrementa en el suelo y se reduce la humedad del mismo. Los niveles bajos de pH del suelo, probablemente, debidos al contenido de aluminio, favorecen la incidencia de *F. oxysporum*. La condición de estrés hídrico también puede ser causa de estos resultados, dado que los daños ocasionados por el hongo se presentan con mayor severidad cuando la planta es sometida a periodos de estrés, especialmente en la etapa de floración y fructificación (Fisher *et al.*, 2005; Koike *et al.*, 2013).

La prueba de comparación de medias de Tukey para materiales de *P. sativum* (Tabla 5) indicó diferencias estadísticas significativas para UN7366 respecto a los demás materiales genéticos evaluados, evidenciando los menores promedios de incidencia de *F. oxysporum* f. sp. *pisi*, mientras que los mayores promedios se presentan en las variedades comerciales estudiadas.

Tabla 5. Promedios de incidencia de *F. oxysporum* f. sp. *pisi* en 12 materiales de arveja

| Materiales de <i>P. sativum</i> | Incidencia de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> (%) |
|--|---|
| Obonuco Andina | 66,929 a |
| ICA-CORPOICA Sindamanoy | 65,559 a |
| San Isidro | 64,710 a |
| UN7325 | 63,717 a |
| UN7371-2 | 63,036 a |
| UN7370-1 | 58,806 ab |
| UN7324 | 58,600 ab |
| UN7328 | 58,503 ab |
| UN7232-1 | 57,124 ab |
| UN7313 | 56,652 ab |
| UN7364 | 55,252 ab |
| UN7336 | 50,517 b |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

En estudios realizados por Guerra *et al.*, (2011) se determinó que el más alto porcentaje de incidencia (entre 88 y 96%) se presentó en las variedades San Isidro, Obonuco Andina, Santa Isabel e ICA-CORPOICA Sindamanoy, cuando las plantas fueron inoculadas con *Fusarium*, presentando promedios estadísticos similares entre sí, situación que fue similar para esta investigación, donde los promedios de incidencia más altos se presentaron en las variedades Obonuco Andina, ICA-CORPOICA Sindamanoy y San Isidro, que en su orden evidencian

una incidencia del patógeno de 66,9 – 65,5 y 64,7%. La condición de susceptibilidad para estos genotipos se corrobora con los aportes realizados por Campuzano *et al.*, (1992) quienes refieren información para la variedad Obonuco Andina y Campuzano *et al.*, (2001) quienes describen la susceptibilidad para la variedad San Isidro; mientras que Checa (1995) la reporta para la variedad Sindamanoy y Sañudo *et al.* (1993) la describen para el cultivo en general.

Si bien, existen diferencias del material UN7336 respecto a los demás, la incidencia de la enfermedad es alta (mayor del 50%) (CIAT, 1987) para todo el estudio, lo que posiblemente está asociado a las altas presiones del hongo en el suelo, las condiciones de manejo del agua en el mismo, los bajos niveles de pH del suelo, los altos contenidos de aluminio y la susceptibilidad del hospedero, circunstancias que posiblemente generaron un escenario ideal para la manifestación del patógeno.

3.2 Suministro de agua

El análisis de varianza para suministro de agua (Anexo 2), mostró diferencias altamente significativas para potenciales matriciales, no evidenciando significancia estadística para materiales de arveja ni para la interacción potenciales matriciales* materiales de arveja (Tabla 6).

Tabla 6. Cuadrado medio para disponibilidad de agua (mL) bajo la influencia de potenciales matriciales y *F. oxysporum* f. sp. *pisi*

| F.V | G.L | C.M | p>F |
|--|-----|-------------|-------|
| Potenciales matriciales | 2 | 376107,18** | 96,31 |
| Error a (potencial (material)) | 35 | 2729,55 | |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 3336,27ns | 0,85 |

| | | | |
|---|----|-----------|------|
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 2729,55ns | 0,70 |
| Error b | 72 | 3905,104 | |

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey indicó mayores valores para suministro de agua (226,35 mL) cuando se utilizó el potencial matricial correspondiente a -30 kPa, diferenciándose estadísticamente de las cantidades de agua adicionadas cuando se trabajó con -50 y -70 kPa (Tabla 7).

Tabla 7. Disponibilidad de agua del suelo bajo tres potenciales matriciales de agua del suelo

| Potencial Matricial (kPa) | Disponibilidad de agua (ml) |
|--------------------------------------|--|
| -30 | 226,35 a |
| -50 | 57,02 b |
| -70 | 42,49 b |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Los resultados indican que para mantener el suelo en condiciones próximas a capacidad de campo (-30 kPa) se adicionó la mayor cantidad de agua (226,35 mL) y a medida que disminuyen los demás potenciales matriciales lo hace también el suministro de agua, hecho que ocurre por la acción de las fuerzas que atraen y retienen el agua del suelo (Bustamante, 1986). Es así que, cuando más seco está un suelo, más bajo es el potencial matricial y mayor es la presión que habrá que aplicar para extraer el agua del mismo, aquí ocurre que al desecarse el suelo, la película de la solución de agua reduce su espesor, la importancia relativa de las fuerzas capilares decrece y las fuerzas adsorbentes dominan los fenómenos hidrofísicos (Tarjuelo, 1991). Cuando el suelo se encuentra húmedo, el agua

presente tiene una energía potencial alta, teniendo libertad de movimiento y pudiendo ser extraída fácilmente por las raíces de las plantas. En suelos secos el agua tiene una energía potencial baja, siendo retenida fuertemente por fuerzas capilares y de adsorción a la matriz del suelo, lo que la hace menos extraíble por el cultivo (Allen *et al.*, 2006).

La mayor adición de agua para mantener el potencial matricial de -30 kPa, puede estar asociada a que generalmente, los suelos derivados de cenizas volcánicas se caracterizan por un secado continuo y uniforme desde la superficie del suelo hasta los estratos inferiores (Nissen *et al.*, 2005).

Por otra parte, la tasa de extracción del agua por las raíces está directamente influenciada por el nivel de energía potencial del agua del suelo (potencial matricial del suelo y la conductividad hidráulica asociada), que por el contenido de agua en el mismo. Debido a que el comportamiento de los potenciales matriciales depende de los distintos tipos de suelos con diferentes contenidos de humedad (Allen *et al.*, 2006).

3.3 Altura de plantas

Al evaluar el efecto del manejo del agua del suelo sobre la incidencia de *F. oxysporum* f.sp. *pisi* en algunas variables agronómicas de 12 materiales de Arveja (*P. sativum*), el Análisis de Varianza (Anexo 3) para altura de plantas indicó diferencias altamente significativas para potenciales matriciales y materiales de *P. sativum* ($p < 0.01$) (Tabla 8).

Tabla 8. Cuadrado medio para altura de plantas de arveja (*P. sativum*) bajo tres potenciales matriciales de agua de suelo.

| | F.V | G.L | C.M | p>F |
|---|-----|-----|-----------|--------|
| Potenciales matriciales | | 2 | 8697,12** | <,0001 |
| Error a | | 35 | 318,60 | |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | | 11 | 1022,20** | <,0001 |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | | 22 | 318,60ns | 0,1147 |
| Error b | | 72 | 217,24 | |

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad. * Significativo al 95% de confiabilidad ns: no significativo

El análisis de comparación de medias de Tukey, indicó un mejor comportamiento para el potencial matricial -30 KPa, próximo a capacidad de campo (Tabla 9), con un crecimiento superior al 25% respecto a los dos potenciales menores -50 y -70 KPa; en efecto, se afirma que la altura de plantas tiene una relación significativa con el estrés hídrico, dado que las plantas de menor altura presentan resistencia, hecho que podría asociarse a que las plantas más altas usarían más agua que las pequeñas (Angulo, 2009).

Tabla 9. Promedio de altura de plantas bajo la influencia de 3 potenciales matriciales de agua del suelo.

| Potenciales matriciales (kPa) | Promedio de altura (m) |
|----------------------------------|---------------------------|
| -30 | 101,528 a |
| -70 | 73,528 b |
| -50 | 75,833 b |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Con respecto al comportamiento de los materiales evaluados para la variable altura de planta, la prueba de comparación de medias de Tukey, mostró que el

material de *P. sativum* con mejor comportamiento fue UN7232-1, diferenciándose estadísticamente de los demás materiales evaluados (Tabla 10). Dicho resultado puede asociarse al cruce entre las variedades Santa Isabel y WSU31 como parentales del material UN7232-1, con alturas promedio de 192,3 cm y 138 cm, respectivamente (Hincapié y Tobón, 2012), entre tanto, la variedad San Isidro reporta una altura promedio de 124 cm (Paspuel, 2013); al respecto, Singh *et al.*, (1980) resaltan que la altura de la plantas en arveja está influenciada fuertemente por efectos dominantes; entre tanto Gritton (1975) encontró que la altura en arveja mostraba una gran importancia con respecto a la habilidad combinatoria general y la específica.

Tabla 10. Promedio de altura de plantas de 12 materiales de *P. sativum* bajo la influencia de *F. oxysporum* f. sp. *pisi*

| Materiales de <i>P. sativum</i> | Promedio altura de planta (cm) |
|--|---|
| UN7232-1 | 106.333 a |
| UN7325 | 95.222 ab |
| UN7336 | 89.667 abc |
| Obonuco Andina | 88.333 abc |
| UN7328 | 87.556 abc |
| UN7371-2 | 85.111 abc |
| UN7364 | 83.222 abc |
| ICA-CORPOICA | 76.333 abc |
| Sindamanoy | |
| UN7313 | 75.667 abc |
| UN7370-1 | 73.444 abc |
| UN7324 | 71.778 abc |
| San Isidro | 70.889 abc |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

3.4 Diámetro de tallo

El análisis de varianza (Anexo 4) presentó diferencias estadísticas significativas para materiales de arveja evaluados, no presentando diferencias para potenciales matriciales ni para la interacción (Tabla 11).

Tabla 11. Cuadrado medio para diámetro de tallos de doce materiales de *P. sativum* bajo la influencia de 3 potenciales matriciales de agua del suelo.

| F.V | G.L | C.M | p>F |
|---|-----|---------|--------|
| Potenciales matriciales | 2 | 1,231ns | 0,7263 |
| Error a | 35 | 2,564 | |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 9,382* | 0,0117 |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 2,564ns | 0,8544 |
| Error b | 72 | 3,83 | |

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

En cuanto a diámetro de tallo, la prueba de comparación de medias de Tukey, evidenció significancia estadística para la línea UN7364, presentando los menores promedios de diámetro de tallo (1,64 mm) respecto a las demás líneas y variedades comerciales de arveja (Tabla 12), comportamiento que puede atribuirse a que en las partes epigeas, los síntomas generados por el patógeno consisten en un precario desarrollo (Martínez *et al.* 2004) y a la variación en el diámetro y la flacidez de los tallos de Arveja (*P. sativum*) que se asocian directamente con la infección vascular generada por la presencia de *F. oxysporum* f.sp. *pisi* (Agrios, 2002).

Además, la línea UN7364 proviene de la genealogía compuesta por la variedad Santa Isabel y el diferencial WSU 31, por lo que se puede atribuir la herencia de la

susceptibilidad al patógeno *F. oxysporum* f. sp. *pisi* que presenta la variedad Santa Isabel (Buitrago, 2006).

Tabla 12. Promedio de diámetro de tallo de 12 materiales de *P. sativum* bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo

| Materiales de <i>P. sativum</i> | Promedio de diámetro de tallo (mm) |
|--|---|
| UN7371-2 | 1,98 a |
| Obonuco Andina | 1,98 a |
| UN7325 | 1,97 a |
| UN7336 | 1,97 a |
| ICA-CORPOICA Sindamanoy | 1,94 a |
| San Isidro | 1,90 a |
| UN7232-1 | 1,81 a |
| UN7370-1 | 1,79 a |
| UN7328 | 1,79 a |
| UN7324 | 1,77 a |
| UN7313 | 1,72 a |
| UN7364 | 1,64 b |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

3.5 Número de granos por vaina (NGV)

El análisis de varianza (Anexo 5) indicó diferencias estadísticas altamente significativas para potenciales matriciales (kPa) y diferencias estadísticas significativas para materiales de *P. sativum* evaluados, a excepción de la interacción para la cual no mostró significancia estadística (Tabla 13).

Tabla 13. Cuadrado medio para número de granos por vaina evaluado en 12 materiales de *P. sativum* bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo

| F.V | G.L | C.M | p>F |
|---|-----|---------|-------|
| Potenciales matriciales | 2 | 5,620** | 16.41 |
| Error a | 35 | 0,36 | |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 0,804* | 2.35 |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 0,367ns | 1.07 |
| Error b | 72 | 0,34 | |

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

En consecuencia, el presente estudio evidenció que tras el Análisis de Comparación de Medias de Tukey, el potencial matricial de -30 KPa presentó diferencias estadísticas respecto a los demás potenciales matriciales utilizados (Tabla 14), encontrándose un mejor comportamiento de la variable número de granos por vaina cuando se sometieron las plantas a -30 kPa, resultados similares fueron encontrados para el caso de otras leguminosas como el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) donde los indicadores de producción de vaina, semillas y rendimientos resultaron ser superiores estadísticamente cuando el cultivo no padeció de déficit hídrico durante su ciclo vegetativo (Polón *et al.*, 2013).

Además, el número de semillas por vaina es uno de los componentes de rendimiento más importantes en el mejoramiento de la arveja para el caso de Colombia (Ligarreto y Ospina, 2009), por tanto a fin de lograr las características óptimas se deben garantizar las condiciones adecuadas de humedad.

Tabla 14. Promedio de Número de granos por vaina de *P. sativum* bajo tres potenciales matriciales de agua del suelo

| Potenciales matriciales (kPa) | Promedio de No. de granos vaina ⁻¹ |
|----------------------------------|--|
| -30 | 1,91 a |
| -50 | 1,27 b |
| -70 | 1,19 b |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Los resultados del Análisis de Comparación de Medias de Tukey determinaron que la variedad Obonuco Andina presentó diferencias estadísticas respecto a los demás materiales evaluados (Tabla 15), evidenciando el promedio más bajo de un grano por vaina.

Estos resultados se encuentran por debajo del 70% frente al promedio en campo de las variedades comerciales Obonuco Andina, ICA-CORPOICA Sindamanoy y San Isidro que presentan en su orden, 5, 7 y 8 granos por vaina (Peralta *et al.*, 1997) (Paspuel, 2013); dicho comportamiento puede atribuirse a la presencia de *F. oxysporum* f. sp. *pisi*, las condiciones de radiación solar, temperatura, humedad relativa, entre otras, bajo las cuales se efectuó el ensayo, ya que las condiciones ambientales y sanitarias son determinantes para la producción y desarrollo del cultivo de arveja (Pacheco *et al.*, 2010). Adicionalmente, esta situación puede asociarse a que los materiales provienen de cruces genéticos los cuales, si bien, procuran mejorar los características, hay a menudo una reducción del rendimiento (Espinosa y Ligarreto, 2005).

De otra parte, este comportamiento puede asociarse a la incidencia de *F. oxysporum* f.sp. *pisi*, lo cual es tratado por Warkentin *et al.*, (1995) al sustentar que la incidencia y persistencia de plagas y enfermedades disminuyen los

rendimientos y que particularmente el patógeno evaluado se caracteriza por obstruir los vasos xilémicos impidiendo el transporte de agua y nutrientes.

Tabla 15. Promedio de número de granos por vaina de 12 materiales de *P. sativum* bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo

| Materiales de <i>P. sativum</i> | Promedio de No. de granos vaina⁻¹ |
|--|---|
| UN7324 | 2.000 a |
| UN7313 | 1.777 ab |
| UN7232-1 | 1.666 ab |
| UN7328 | 1.666 ab |
| UN7364 | 1.555 ab |
| UN7371-2 | 1.555 ab |
| UN7336 | 1.444 ab |
| San Isidro | 1.333 ab |
| UN7370-1 | 1.333 ab |
| UN7325 | 1.111 ab |
| ICA-CORPOICA Sindamanoy | 1.111 ab |
| Obonuco Andina | 1.000 b |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

3.6 Peso de cien granos

El análisis de varianza para la variable peso de cien granos de *P. sativum* (Anexo 6) mostró diferencias estadísticas significativas para los materiales de arveja evaluados a excepción de la otra fuente de variación y la interacción (Tabla 16).

Tabla 16. Cuadrado medio para peso de cien granos de *P. sativum* bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo

| | F.V | G.L | C.M | p>F |
|---|------------|------------|------------|---------------|
| Potenciales matriciales | | 2 | 6,787ns | 0,06 |
| Error a | | 35 | 111,7 | |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | | 11 | 326,918* | 3,05 |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | | 22 | 111,706ns | 1,04 |
| Error b | | 72 | 107,11 | |

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

La Prueba de Comparación de Medias de Tukey, determinó diferencias estadísticas significativas para los materiales de arveja evaluados, evidenciando promedios más bajos de peso de 100 granos (18,11 g) para la línea UN7364 (Tabla 17).

Tabla 17. Promedio de peso de 100 granos (g) de 12 materiales de *P. sativum* bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo

| Materiales de <i>P. sativum</i> | Promedio de peso de 100 granos (g) |
|--|---|
| UN7313 | 37.778 a |
| UN7325 | 37.444 a |
| UN7324 | 33.667 ab |
| ICA-CORPOICA Sindamanoy | 33.111 ab |
| UN7370-1 | 30.222 ab |
| UN7328 | 29.111 ab |
| Obonuco Andina | 28.000 ab |
| UN7371-2 | 25.444 ab |
| UN7336 | 25.333 ab |

| | |
|-------------------|-----------|
| UN7232-1 | 23.889 ab |
| San Isidro | 22.667 ab |
| UN7364 | 18.111 b |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Casanova *et al.*, (2012) reportan resultados de peso de 100 semillas comprendidos entre 20,61 y 23,5 g donde las variaciones de peso se atribuyen a densidades de siembra, sin embargo los estudios realizados por Castro (1995), indican que el peso de los granos resulta ser menos afectado por el efecto de la distancia de siembra sobre el rendimiento y sus componentes, pero que el estrés de las plantas antes de la floración generado por diversas condiciones como el estado fitosanitario del cultivo y las condiciones de suministro de agua, puede estar relacionado con la reducción en frutos por planta y por ende el peso de 100 semillas (Martin y Jamieson, 1996).

Por otra parte, es probable que las variaciones en la constitución genética de las líneas o variedades evaluadas bajo diferentes condiciones genere la obtención de resultados distintos, sugiriendo que las apreciaciones podrían atribuirse para las líneas en estudio, sin influir para toda la población de arveja (Casanova *et al.*, 2012).

Otras investigaciones realizadas por Gallego (2005) en el cultivo de frijol, hacen referencia que un tamaño pequeño del grano se puede asociar a genotipos que entran en senescencia (envejecimiento) de forma temprana debido a una respuesta fisiológica proporcionada por la interacción genotipo*ambiente, requiriendo más tiempo y la exposición a niveles elevados de CO₂ que aumenten la fotosíntesis para llenar granos más grandes (Prasad *et al.*, 2002).

Asimismo, debido a la incidencia del patógeno en el cultivo existe una menor translocación de asimilados a las estructuras reproductivas, en consecuencia hay

mayor afectación en la planta, lo cual se refleja de manera directa en el menor peso de los granos (Forero y Ligarreto, 2009) y se genera la disminución de los rendimientos (Pacheco, 2010).

3.7 Número de vainas por planta

El análisis de varianza para número de vainas por planta (Anexo 7) detectó diferencias estadísticas significativas para potenciales matriciales y diferencias estadísticas altamente significativas para materiales de *P. sativum*, para la interacción no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas (Tabla 18).

Tabla 18. Cuadrado medio para número de vainas por planta de *P. sativum* bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo

| F.V | G.L | C.M | p>F |
|---|-----|----------|------|
| Potenciales matriciales | 2 | 14,194* | 4,25 |
| Error a | 35 | 3,07 | |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 19,696** | 5,89 |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 3,073ns | 0,92 |
| Error b | 72 | 3,34 | |

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey para potenciales matriciales mostró que al mantener las plantas de arveja bajo condiciones intermedias de suministro de agua (-50 kPa) se presentaron los menores promedios correspondientes a 2,58 vainas planta⁻¹ (Tabla 19).

Tabla 19. Promedio de numero de vainas por planta de 12 materiales genéticos de *P. sativum* bajo tres potenciales matriciales de agua del suelo.

| Potenciales matriciales (kPa) | Promedio de No. de vainas por planta |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| -30 | 3,72 a |
| -70 | 2,69 ab |
| -50 | 2,58 b |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Este comportamiento puede estar asociado a periodos críticos de déficit hídrico durante el desarrollo de *P. sativum*, especialmente en los estados de floración y formación de vainas, donde el efecto detrimental de un estrés hídrico es mayor (Millar, 1993) y que probablemente ocasionaron disminución de la producción, mientras que al aplicar una lámina de riego más elevada se mantuvo el potencial mátrico próximo a capacidad de campo (Blanco y Folegatti, 2002), lo que favoreció el comportamiento de esta variable.

Por otra parte, estos resultados prueban que riegos fluctuantes, al provocar la alternancia de humedad en el suelo, inducen a las variaciones en el comportamiento de esta variable lo que posiblemente conlleva a que un riego bajo una situación de cierto estrés hídrico es un importante factor de baja producción en relación con un riego más regular (Peet, 1992; Osvald y Osvald, 1991).

Dadas las condiciones de presencia del patógeno, es importante considerar que el ataque de *Fusarium* sp. ocurre casi en cualquier grado de humedad del suelo, pero las condiciones menos húmedas aumentan su infección debido a la reducción de bacterias anaeróbicas que funcionan como agentes de biocontrol (Ocaña, 2008; Eraso *et al.*, 2014), de ahí que el rendimiento del cultivo puede ser afectado.

Respecto a los materiales de arveja evaluados, la prueba de comparación de medias de Tukey indicó diferencias estadísticas para la línea UN7325, presentando los menores promedios de número de vainas por planta (0,77) respecto a las demás líneas y variedades comerciales de arveja (Tabla 20).

Tabla 20. Promedio de No. de vainas por planta de 12 materiales de arveja (*P. sativum*) bajo la influencia de tres potenciales matriciales

| Materiales de <i>P. sativum</i> | Promedio de No. de vainas planta⁻¹ |
|--|--|
| UN7336 | 6,44 a |
| UN7371-2 | 4,11 ab |
| UN7324 | 3,88 ab |
| UN7328 | 3,88 ab |
| ICA-CORPOICA Sindamanoy | 3,33 cb |
| Obonuco Andina | 3,11 cb |
| UN7370-1 | 2,44 cb |
| UN7232-1 | 2,11 cb |
| San Isidro | 2,00 cb |
| UN7313 | 2,00 cb |
| UN7364 | 1,88 cb |
| UN7325 | 0,77 c |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

González y Ligarreto (2006) reportan que el número de vainas es el aspecto de mayor incidencia sobre el rendimiento del cultivo de arveja, por lo tanto, la línea UN7325 presumiblemente bajo las condiciones del estudio, presenta el menor rendimiento atribuido únicamente al componente de número de vainas por planta.

Además, existe la influencia de *F. oxysporum*, el cual se expresa de manera acentuada en etapas cercanas a la floración, haciendo que las plantas tomen una apariencia raquílica, con amarillamiento blanquecino ascendente y posterior marchitamiento (Eraso *et al.*, 2014), condiciones que influyen en el consecuente desarrollo de la planta.

Por su parte, Sarawat *et al.* (1994), evaluaron materiales de arveja y determinaron que el número de vainas es una variable determinada por el material genético; por lo tanto, los resultados de este trabajo sugieren que hubo un efecto diferencial sobre esta variable con relación a los materiales genéticos estudiados.

4. CONCLUSIONES

La investigación mostró que hay una incidencia marcada de los niveles de agua en términos de potenciales matriciales de agua del suelo, con la presencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. y la influencia del patógeno en la respuesta del cultivo de arveja *Pisum sativum* dentro de sus variables agronómicas.

La menor incidencia para *F. oxysporum* f. sp. *lisi*. La presentó la línea UN7336 con un valor de 51,52% contrastado con los demás materiales cuyos valores fluctuaron entre 55 y 67%.

La mayor altura en los materiales evaluados se obtuvo con la línea UN7232, con 106,33 cm fluctuando los valores de los demás materiales entre 95 y 71 cm.

En cuanto a las variables de rendimiento se observó que hubo en los materiales evaluados una baja sensible en cuanto a número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de cien granos, llegando a estar por debajo del 70% de las producciones obtenidas en lotes comerciales.

5. BIBLIOGRAFÍA

AGRIOS, G. N. 2002. Fitopatología. 2da Ed. México: Limusa. 421-431 p.

ALARCON, P. Evaluación de dos variedades de arveja Santa Isabel e Ica Tomine, con diferentes niveles de fertilización química y con biofertilizantes en el municipio de Pasca Cundinamarca Universidad De Cundinamarca - Sede Fusagasuga - Udec Estado: Tesis concluida Ingeniería Agronómica, 1997.

ALLEN, R., PEREIRA, L., RAES, D. y SMITH, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO, Riego y Drenaje. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>

ANGULO, A. 2009. Caracterización de 118 accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.) del banco de germoplasma del centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani, para resistencia a sequía. Revista de Agricultura. Bolivia. 27 P.

ARAUZ, LUIS. 1988. Fitopatología, un enfoque agroecológico. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 106 p.

BAQUERO, J. 2001. Manejo conservacionista de los suelos arroceros de la Orinoquia colombiana. CORPOICA. PRONATTA, Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Boletín Técnico No. 32. Villavicencio, Meta, Colombia. 33 P.

BEGG, J. y TURNER, N. 1976. Crop Water Deficits. Adv. Agron. 28: 161-217.

BLANCO, F. y FOLEGATTI, M. 2002. Manejo da 59ndi e nutrientes para para o pepino em ambiente protegido sob fertirrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 6 (2): 251-255.

BOURION, V. FOUILLOUX, C. LE SIGNOR, E. LEJEUNEHENAUT. 2002. Genetic studies of selection criteria for productive and stable peas. Euphytica 127, 661-273.

BUITRAGO, J. 2006. Obtención de progenies de arveja (*Pisum sativum*L) por cruzamientos convergentes y su reacción a *Fusarium oxysporum*f. sp. *pisi*. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

BUSTAMANTE, H. 1986. Potencial del agua del suelo. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 3(2): 27-38.

CAMPUZANO D., L.F.; YÉPEZ CHAMORRO, B.; BENAVIDES PAZMIÑO, J.; BOLAÑOS, M.A.; ARCILA GONZÁLEZ, B.; LÓPEZ DE B., C.M.; CEPEDA BRAVO, G. 1992. Obonuco Andina: nueva variedad mejorada de arveja para la zona de economía campesina del sur de Nariño. ICA. Bol. Div. Nº 9. 8p.

CAMPUZANO D., L.F.; YÉPEZ CHAMORRO, B.; BENAVIDES PAZMIÑO, J.; BOLAÑOS, M.A.; ARCILA GONZÁLEZ, B.; LÓPEZ DE B., C.M. 2001. Obonuco San Isidro: nueva variedad mejorada de arveja para la zona de reconversión de trigo en el departamento de Nariño. CORPOICA. Bol. Div. Nº 8. 8p.

CASANOVA, L.; SOLARTE, J.; CHECA, O. 2012. Evaluación de cuatro densidades de siembra en siete líneas promisorias de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.). Revista de Ciencias Agrícolas 29(2) : 129 – 140. 2012 ISSN impreso 0120-0135

CASANOVA, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. 119 p.

CASTRO, M. 1995. Evaluación de arveja voluble (*Pisum sativum* L.) en diferentes densidades y sistemas de siembra en la región de Simijaca (Cundinamarca). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

CASTRO, B. PEREIRA, B. y MOLINA, L. 1986. Interacción insecto – patógeno en el marchitamiento del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en el Altiplano de Pasto. Revista de Ciencias Agrícolas Vol 9.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1987. Standard system for the evaluation of vean germiess. CIAT. Colombia. 20 p.

CHECA, OSCAR. 1995. Sindamanoy: Variedad mejorada de arveja para clima frio. CORPOICA, FENALCE. San Juan de Pasto.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA. 2014. Encuesta Nacional Agropecuaria. Boletín Técnico. Colombia. Disponible en internet: <http://www.agronet.gov.co/Paginas/estadisticas.aspx>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. 2015. Arveja, de Pasto para Colombia. Publicaciones Portal Web DNP. Colombia. Disponible en internet: <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Arveja,-de-Pasto-para-Colombia.aspx>.

DE SANTIAGO, C. 2012. Propiedades físico-químicas de los suelos. Técnicas de análisis. Laboratorio de Geotecnia. CEDEX. 30 p.

ERASO, C.; ACOSTA, J.; SALAZAR, C. y BETANCOURTH, C. 2014. Evaluación de cepas de *Trichoderma* spp. Para el manejo del amarillamiento de arveja causado por *Fusarium oxysporum*. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu. 15(2): 237-249

ESPINOSA, N. y LIGARRETO, G. 2005. Evaluación de la habilidad combinatorio y heterosis de siete progenitores de arveja *Pisum sativum* L. Agronomía Colombiana, vol. 23. Bogotá.

EVANGELISTA. A., LIMA, L., DA SILVA, A., MARTINS, C. y RIBEIRO, M. 2013. Soil water potential during different phenological phases of coffee irrigated by center pivot. Eng. Agric., Jaboticabal, Universidad de Lavras. Brasil. 277 P.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE CEREALES. 2010. Importancia de los cultivos representados por Fenalce. Boletín El Cerealista No. 93. Disponible desde internet en: http://www.fenalce.org/arch_public/arveja93.pdf

FISCHER, G., MIRANDA, D., PIEDRAHITA, W. y ROMERO, J. 2005. Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana* L. en Colombia. UNIBIBLOS. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 1ra Ed. 221 p.

FORERO, A. y LIGARRETO, A. 2009. Evaluación de dos sistemas de tutorado para el cultivo de la arveja voluble (*Pisum sativum* L.) en condiciones de la Sabana de Bogotá. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 3 (1), 81 – 94.

FORERO, E. 2005. Estudios en leguminosas colombianas. Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras No. 25. Colombia. 15 p.

FRANQUET, J. 2005. Agua que no has de beber, 60 respuestas al Plan Hidrológico Nacional. España. 28 P.

FRAVEL, D., STOSZ, S. y LARKIN, R. 1996. Effect of temperature, soil type, and matric potential on proliferation and survival of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Erythroxyli* from *Erythroxylum coca*. Phytopathology. 86 (3): 236-240.

GALLEGO, C. 2005. Avance en la selección de poblaciones de frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Bola Roja por su reacción a la enfermedad Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 35 p.

GARCÉS, E., OROZCO, M., BAUTISTA, G., y VALENCIA, H. 2001. *Fusarium oxysporum* el hongo que nos falta conocer. Acta Biológica Colombiana, 6 (1): 7-25. Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/revistas/actabiol/PDF's/V6N1/Art1V6N1.pdf>

GOBERNACIÓN DE NARIÑO. 2012. Plan de desarrollo departamental 2012-2015 "Nariño Mejor". San Juan de Pasto. 2012. 269 P.

GÓMEZ, G. Analysis of genetic effects of major genes on yield traits of a pea (*Pisum sativum* L.) cross between the Santa Isabel x WSU 31 varieties. Agronomía Colombiana, Vol. 30, Núm. 3. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2012. 9 P.

GONZÁLEZ, F. y LIGARRETO, G. 2006. Rendimiento de ocho genotipos promisorios de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) bajo sistema de agricultura protegida. Fitotecnia Colombiana 6(2):5 2-61.

GONZALEZ, L. 1981. Introducción a la fitopatología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA. San José, Costa Rica. 10 p.

GRITTON, E. Heterosis and combining ability in a diallel cross of peas. Crop Science, Vol. 15. Madison, WI. 1975. 453 P.

GUERRA, G., BETANCOURTH, C. y SALAZAR, C. 2011. Antagonismo De *Pseudomonas fluorescens* Migula frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* Schtdl en arveja *Pisum sativum* L. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(2): 33 – 42.

GUIMARÃES, E., SANZ, J., RAO, I., AMÉZQUITA, M. y AMÉZQUITA, E. 1999. Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina. CIAT. 57 p.

HINCAPIÉ, E. y TOBÓN, C. 2012. Dinámica del agua en 63ndisoles bajo condiciones de ladera. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. 6771-6783 p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 2003. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. [CD – ROM]. IGAC.

ITURRI, M. 1983. Relación agua suelo planta, requerimientos de agua de las plantas en relación con el clima y el suelo para una producción óptima. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. Oficina de la República Dominicana. 23 p.

JIMÉNEZ, M. 2001. Caracterización molecular de razas patogénicas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* y análisis de su diversidad genética. Universidad de Córdoba, Instituto de Agricultura Sostenible, SCIS. Córdoba. 2 P.

KOIKE, S., GORDON, T., DAUGOVISH, O. y AJWA, H. 2013. Marchitez por Fusarium de la fresa. Guías de Producción. California Strawberry Commission. Disponible en: <http://reports.calstrawberry.org/Reports/Production%20Guidelines%20%20Spanish/Marchites%20por%20Fusarium%20de%20la%20fresa%20-%202013.pdf>

LIGARRETO, G. y OSPINA, A. 2009. Análisis de parámetros heredables asociados al rendimiento y precocidad en arveja voluble (*Pisum sativum* L.) tipo Santa Isabel. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 336 p

MARTIN, R. y JAMIESON, P. 1996. Effect of timing and intensity of drought on the growth and yield of field peas (*Pisum sativum* L.). New Zeland Journal of Crop and Hort. Sci. (N. Z.). 24: 167-174.

MARTÍNEZ GARNICA, M.; HERNÁNDEZ DELGADO, S.; RAMÍRES PADILLA, J.; MAYEK PÉREZ, N. 2004. Diversidad genética y patogénica de Fusarium. Rev. Mexicana Fitopat. 22(3): 321-927.

MILLAR, A. 1993. Manejo de Agua y Producción Agrícola. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA. Oficina en Chile. 556 p.

NIÑO, J. 2013. Efecto del potencial mátrico del suelo en el crecimiento del cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.). Revista colombiana de ciencias hortícolas. Vol. 7. Universidad Nacional de Colombia. 241 p.

NISSEN, J. 2005. Variación del efecto potencial mátrico durante el movimiento de agua en 64ndisoles. Agro Sur 33 (1).Universidad Austral de Chile. 46 p.

OCAÑA A. 2008. Alerta Fusarium raza 4 amenaza los cultivos. http://www.freshplaza.es/news_detail.asp?id=8711

OSVALD J., OSVALD M., 1991. Consequences due to water stress for the development and yield of maize, sorghum, cabbage and tomato plants. *Bioloski Vestnik*, 39(1-2), 129-135.

PACHECO, C.; VERGARA, M y LIGARRETO, G. 2010. Clasificación de 42 líneas mejoradas de arveja (*Pisum sativum* L.) por caracteres morfológicos y comportamiento agronómico. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. Medellín.5543-5544 P

PASPUEL, O. 2013. Evaluación de la adaptabilidad de cuatro variedades de arveja de tutoreo (*Pisum sativum* L.). Escuela de desarrollo integral agropecuario. Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Ecuador. 34 P.

PERALTA, E. MURILLO, A. CAICEDO, C., PINZÓN, J. y RIVERA, M. 1997. Variedades mejoradas de Arveja (*Pisum sativum* L.) de tipo enana-erecta para la sierra ecuatoriana. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.. 49 p.

PEET M. 1992. Fruit cracking in tomato. *HortTechnology*, 2(2), 216-223.

POLON, R; MIRANDA, A.; MAQUERIA, L. y RAMIREZ M. 2013. Efecto de diferentes intensidades de estrés hídrico en la fase vegetativa en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Cuba. 60 P

PRASAD, P.V.V., K.J. BOTTE, L. HARTWELL, A.J.R. THOMAS. 2002. Effects of elevated temperature and carbon dioxide on seed-set and yield of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Global Change Biology* 8(8): 710-721.

REYES, I. y VALERY, A. 2007. Efecto de la fertilidad del suelo sobre la Microbiota y la promoción del crecimiento del maíz (*Zea mays* L.) con *Azotobacter* spp. Bioagro, Volumen 19. Táchira, Venezuela. 118 p.

SÁNCHEZ, J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de las planta, conceptos básicos. FERTITEC S.A. 4 p.

SAÑUDO SOTELO, B.; CHECA CORAL, O.; ARTEAGA MENESES, G. 2001. Manejo agronómico de leguminosas en zonas cerealistas. Ed. Universidad de Nariño. Colombia: Pasto. p.49-60.

SAÑUDO SOTELO, B., CHECA CORAL, O y ARTEAGA MENESES, G. 1999. Manejo agronómico de leguminosas en zonas cerealistas. La arveja. Fenalce, Universidad de Nariño, Profiza, Corpoica y Corcopcebada. PRODUMEDIOS, Bogotá. 98 p.

SAÑUDO SOTELO, B.; CHECA CORAL, O.; ARTEAGA MENESES, G. 1993. Manejo agronómico de leguminosas en zonas cerealistas. Ed. Universidad de Nariño. Colombia: Pasto. P.49-60.

SARAWAT, P., STODDARD, F.L., MARSHALL, D.R. y ALI S. M. 1994. Heterosis for yield and related characters in pea. *Euphytica* 80(1-2): 39-48.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE DE NARIÑO. 2010. Consolidado Agropecuario de Nariño. San Juan de Pasto: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

SGA-Sistema General de Regalías. Arveja, de Pasto para Colombia. 2015. Disponible en:

<https://www.sgr.gov.co/Prensa/ComunicadosdePrensa/tabid/82/EntryId/660/Arveja-de-Pasto-para-Colombia.aspx>

SHAXSON, F. y BARBER, R. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal, el significado de la porosidad del suelo. Boletín de suelos de la FAO 79. Roma. 9 p.

SINGH, SHREE. 1996. Taller de mejoramiento de frijol para el siglo XXI. Bases para una estrategia para América Latina. CIAT. Cali. 295 P.

SINGH, S., BS, D., y PS, S. Genetic architecture of some morphological traits in peas (*Pisum sativum* L.). *Genetica Agraria*, Volúmen 34. 1980. 289 P.

STEPHEN, G. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. 121 p.

TAMAYO, P.J. 2000. Enfermedades del cultivo de la arveja en Colombia: guía de reconocimiento y control. Boletín técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Regional 4, Rionegro (Colombia). 52 p.

TARJUELO, J. 1991. El riego por aspersión: Diseño y funcionamiento. Ed. Universidad de Castilla. España. 15-34 p.

TELLO, J.C.; DE CARA, M.; MORENO, A.; SANTOS, M. Y PALMERO, D. 2011. El suelo como “ente vivo” y su relación con las enfermedades de las plantas. In: *Agricultura Ecológica en Secano*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Sociedad Española de Agricultura Ecológica y Ediciones Mundi-Prensa. 181-220.

THOMPSON, L y TROEH, F. 2002. Los suelos y su fertilidad. Consejo superior de investigaciones científicas. Editorial reverté. España.

TYLOR, S. y SLATYER, R. 1959. Proc UNESCO-Spain Symposium on Plant Water Relationships, Madrid. 339 p. (Arid Zone Research XVI, Paris)

VILLALOBOS, J. y CASTAÑO, J. 2012. Manejo de la pudrición radical de la arveja (*Pisum sativum* LINNEO) causado por *Fusarium oxysporum*. Universidad de Caldas. Colombia. 38 P.

WARKENTIN, T.C.; RASHID, K.Y. y XUE, A.G. 1995. Fungicidal control of ascochyta blight of field pea. Agriculture and Agri-Food. Canada. 67 p

6.ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza para incidencia de *F. oxysporum* f. sp. *pisi* en 12 materiales de *P. sativum*

| F.V | GL | SC | C.M | F Valor | p>F |
|--|----|---------|-----------|---------|--------|
| Potenciales matriciales | 2 | 630,48 | 315,244* | 5,50 | 0,0060 |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 2355,24 | 214,113** | 3,73 | 0,0003 |
| Error a (potencial (material)) | 35 | 646,37 | 29,380 | | |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 646,37 | 29,380 | 0,51 | 0,9599 |
| Error b | 72 | 4128,82 | 57,34 | | |
| Coeficiente de variación | | | 12,63 | | |
| Media | | | 59,95 | | |

** Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

Anexo 2. Análisis de varianza para disponibilidad de agua (mL) bajo la influencia de potenciales matriciales y *F. oxysporum* f. sp. *pisi*

| F.V | GL | SM | C.M | F Valor | p>F |
|--|-----------|-----------|-------------|----------------|---------------|
| Potenciales matriciales | 2 | 752214,36 | 376107,18** | 96,31 | <,0001 |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 36699,01 | 3336,27ns | 0,85 | 0,5876 |
| Error a (potencial (material)) | 35 | 60050,10 | 2729,55 | | |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 60050,10 | 2729,55ns | 0,70 | 0,8260 |
| Error b | 72 | 281167,50 | 3905,104 | | |
| Coeficiente de variación | | | 57,53 | | |
| Media | | | 108,62 | | |

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

Anexo 3. Análisis de varianza para altura de plantas de arveja (*P. sativum*) bajo 3 potenciales matriciales de agua de suelo.

| F.V | GL | SC | C.M | F Valor | p>F |
|--|-----------|-----------|------------|----------------|---------------|
| Potenciales matriciales | 2 | 17394,24 | 8697,12** | 40,03 | <,0001 |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 11244,29 | 1022,20** | 4,71 | <,0001 |
| Error a | 35 | 7009,31 | 318,6 | | |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 7009,31 | 318,60ns | 1,47 | 0,1147 |
| Error b | 72 | 15641,33 | 217,24 | | |
| Coeficiente de variación | | | 17,62 | | |
| Media | | | 83,62 | | |

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

Anexo 4. Análisis de varianza para diámetro de tallos de doce materiales de *P. sativum* bajo la influencia de 3 potenciales matriciales de agua del suelo

| F.V | GL | SC | C.M | F Valor | p>F |
|--|-----------|-----------|------------|----------------|---------------|
| Potenciales matriciales | 2 | 2.46 | 1.231ns | 0.32 | 0.7263 |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 103.21 | 9.382* | 2.45 | 0.0117 |
| Error a | 35 | 56,42 | 2,564 | | |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 56.42 | 2.564ns | 0.67 | 0.8544 |
| Error | 72 | 276.00 | 3.83 | | |
| Coeficiente de variación | | | 11.71 | | |
| Media | | | 16.71 | | |

** Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

Anexo 5. Análisis de varianza para número de granos por vaina evaluado en 12 materiales de *P. sativum* bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo

| F.V | GL | SC | C.M | F Valor | p>F |
|--|-----------|-----------|------------|----------------|---------------|
| Potenciales matriciales | 2 | 111,24 | 5,620** | 16,41 | <,0001 |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 8,85 | 0,804* | 2,35 | 0,0155 |
| Error a | 35 | 8,09 | 0,367 | | |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 8,09 | 0,367ns | 1,07 | 0,3944 |
| Error b | 72 | 24,66 | 0,34 | | |
| Coeficiente de variación | | | 40,00 | | |
| Media | | | 1,46 | | |

** Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

Anexo 6. Análisis de varianza para peso de cien granos de *P. sativum* bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo

| F.V | GL | SC | C.M | F Valor | p>F |
|--|-----------|-----------|------------|----------------|---------------|
| Potenciales matriciales | 2 | 13,57 | 6,787ns | 0.06 | 0.9387 |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 3596,10 | 326,918* | 3.05 | 0.0021 |
| Error a | 35 | 2457,53 | 111,7 | | |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 2457,53 | 111,706ns | 1.04 | 0.4274 |
| Error b | 72 | 7712,00 | 107,11 | | |
| Coeficiente de variación | | | 36,02 | | |
| Media | | | 28,73 | | |

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo

Anexo 7. Análisis de varianza para número de vainas por planta de *P. sativum* bajo la influencia de tres potenciales matriciales de agua del suelo

| F.V | GL | SC | C.M | F Valor | p>F |
|--|-----------|-----------|------------|----------------|---------------|
| Potenciales matriciales | 2 | 28,38 | 14,194* | 4,25 | 0,0182 |
| Materiales de <i>P. sativum</i> | 11 | 216,66 | 19,696** | 5,89 | <,0001 |
| Error a | 35 | 67,61 | 3,073 | | |
| Potenciales matriciales* Materiales de <i>P. sativum</i> | 22 | 67,61 | 3,073ns | 0,92 | 0,5710 |
| Error b | 72 | 233,94 | 3,34 | | |
| Coefficiente de variación | | | 60,93 | | |
| Media | | | 3,00 | | |

**Altamente Significativo al 99% de confiabilidad.

* Significativo al 95% de confiabilidad

ns: no significativo