

**RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES DEL SUELO Y EL  
EFECTO DE COBERTURAS VEGETALES, EN AGUACATE  
(*Persea americana* Mill.)**

Por

Beatriz Eugenia Torres-Ordóñez

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en  
Suelos

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO  
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ  
2009

Aprobado por:

\_\_\_\_\_  
Miguel A. Muñoz Muñoz, PhD.  
Miembro, Comité Graduado

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Consuelo Estévez, PhD.  
Miembro, Comité Graduado

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Víctor A. Snyder, PhD.  
Presidente, Comité Graduado

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Duane A. Kolterman, PhD.  
Representante Escuela Graduada

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Miguel A. Muñoz Muñoz, PhD.  
Director de Departamento

\_\_\_\_\_  
Fecha

**Copyright.© 2009. Beatriz Eugenia Torres-Ordóñez**  
*Todos los derechos reservados.*

## ABSTRACT

In 2007, Puerto Rico imported 64 percent of the avocado consumed, which could suggest the economic potential of increasing its production, although this must take into consideration several factors, among others, production costs. Avocado production in the island has been plagued by high incidence and severity of root rot disease associated with *Phytophthora cinnamomi*. This disease is exacerbated by the saturated soil conditions during the rainy season (July – October), high temperatures, and the soil cracking during the dry season which causes mechanical damage to the root system. Planting of leguminous cover crops around avocado trees has been suggested as a possible means of reducing the *Phytophthora* root rot problem. The objective of this study was to evaluate effects of cover crops on soil properties in two avocado orchards. In May 2006 two avocado orchards were established; one in Juana Díaz with avocado cultivar Semil 34/Semil 34 (rootstock/scion) and the other in Isabela with cultivar Gripiña/Wilson Popenoe (rootstock/scion). In Juana Díaz, the dominant soil series was San Antón (*fine-loamy, mixed, superactive, isohyperthermic Cumulic Haplustolls*) and the cover crops evaluated were *Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg. ‘Porvenir’ and *Arachis glabrata* Benth. TARS 17095. At Isabela the soil series was Coto (*very-fine, kaolinitic, isohyperthermic Typic Eustrustox*) and the cover crops were *Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg. ‘Porvenir’ and *Desmodium heterophyllum* (Willd) DC. CIAT 349. The cover crops were planted on May and June 2006 in Juana Díaz and Isabela, respectively; and were compared to a control (no cover crop coverage) in a completely randomized design with four replications. In Juana Díaz, after 21 months of cover crop establishment, the percentage of

water stable soil aggregates was significantly different ( $p \leq 0.05$ ) between the *Arachis glabrata* treatment (46.24%) and the control (22.36%). Significant differences in saturated soil hydraulic conductivity were found after 23 months, with greater conductivity (6.29 cm/hr) occurring in the *A. pintoii* treatment. Soil bulk density for the *A. glabrata* treatment (1.30 g/cm<sup>3</sup>) was significantly lower than in the control (1.51 g/cm<sup>3</sup>). Soil moisture retention curves performed at 12 months indicated greater water retention in the *A. glabrata* treatment than in the control, but differences were not statistically significant. Soil mechanical resistance, measured with a penetrometer, was not statistically different between treatments. Cover crops resulted in increased total nitrogen and decreased available phosphorus but no significant differences were found in soil organic matter, C:N ratio or pH. In Isabela, no significant differences were found in the percentage of water stable soil aggregates, bulk density, field infiltration, or soil moisture retention curves although a tendency toward improvement of these properties in cover crop treatments seemed evident. Mechanical resistance was significantly lower in *A. pintoii* treatment than the other two treatments. No significant differences were obtained in the soil chemical properties. The lack of influence of the cover crops in the Oxisol can be attributed to its natural state that presents good physical properties. Based on this study, *A. glabrata* TARS 17095 can be recommended as cover crop for avocado orchards in the Mollisol and *A. pintoii* 'Porvenir' as cover crop in the Oxisol.

## RESUMEN

En Puerto Rico en el 2007 se importó el 64 por ciento del aguacate que se consumió, lo cual podría sugerir un potencial económico de aumentar la producción local del cultivo, aunque se deben tener en consideración varios factores, entre otros, los costos de producción. La producción de aguacate en la isla se ha visto afectada por la alta incidencia y severidad de pudrición de la raíz asociada a *Phytophthora cinnamomi*. Esta enfermedad se ve acentuada por condiciones de saturación del suelo durante la época lluviosa (julio – octubre), altas temperaturas y agrietamiento del suelo en épocas de sequía que causa daño mecánico al sistema radicular. Se ha indicado la posibilidad de reducir la incidencia de pudrición de raíz sembrando plantas cobertoras bajo los árboles de aguacate. El objetivo de este estudio fue evaluar efectos de cobertoras leguminosas sobre propiedades del suelo en huertos de aguacate. En mayo de 2006 se establecieron dos huertos de aguacate, uno en Juana Díaz con la variedad Semil 34/Semil 34 (patrón/injerto) y el otro con Gripiña/Wilson Popenoe (patrón/injerto) en Isabela. En Juana Díaz la serie de suelo predominante fue San Antón (*fine-loamy, mixed, superactive, isohyperthermic Cumulic Haplustolls*) y las cobertoras evaluadas fueron *Arachis pintoii* Krapov. & W. C. Greg. ‘Porvenir’ y *Arachis glabrata* Benth. TARS 17095. En Isabela la serie de suelo fue Coto (*very-fine, kaolinitic, isohyperthermic Typic Eutruxox*) y las cobertoras evaluadas fueron *Arachis pintoii* Krapov. & W. C. Greg. ‘Porvenir’ y *Desmodium heterophyllum* (Willd.) DC. CIAT 349. Las coberturas se establecieron en mayo y junio de 2006 en Juana Díaz e Isabela, respectivamente, y se compararon con un control (no cobertura leguminosa) en un diseño completamente

aleatorizado con cuatro repeticiones por tratamiento. En Juana Díaz, después de 21 meses de establecidas las coberturas, se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre porcentaje de estabilidad de agregados en el tratamiento *Arachis glabrata* (46.24%) versus el control (22.36%). Se encontraron diferencias significativas en conductividad hidráulica saturada del suelo a los 23 meses, presentando mayor conductividad el tratamiento con *A. pintoii* (6.29 cm/hr). La densidad aparente del suelo bajo *A. glabrata* (1.30 g/cm<sup>3</sup>) fue significativamente menor que en el control (1.51 g/cm<sup>3</sup>). En las curvas de retención de humedad, realizadas a los 12 meses, se destaca una mayor retención de agua en *A. glabrata* versus el control, pero no se detectaron diferencias significativas. No se observó diferencia en resistencia mecánica del suelo medida con un penetrómetro. En tratamientos con coberturas se observó un aumento significativo de nitrógeno total y una reducción de fósforo disponible en el suelo pero no se encontraron diferencias significativas en materia orgánica, relación C: N, ni pH. En Isabela no se encontraron diferencias significativas en estabilidad de agregados, densidad aparente, conductividad hidráulica y curvas de retención de humedad, pero cabe destacar una tendencia a mejor comportamiento de estas propiedades con las coberturas versus el control. La resistencia mecánica del suelo fue significativamente menor en *A. pintoii* versus los otros dos tratamientos. En las propiedades químicas no se obtuvieron diferencias significativas. La falta de influencia de las coberturas en el Oxisol puede atribuirse a que en su estado natural presenta buenas propiedades físicas. De acuerdo a los tratamientos evaluados en este estudio se puede recomendar *A. glabrata* TARS 17095 en el Molisol y *A. pintoii* 'Porvenir' en el Oxisol como coberturas en plantaciones de aguacate.

*A mi querida madre porque siempre me ha apoyado y motivado para que culmine con éxito mis proyectos, a mi padre y hermanas porque siempre han estado dispuestos a escucharme y aconsejarme, a mi preciosa sobrina que llena de alegría mi corazón, a mi queridísimo esposo por su gran amor, dedicación y apoyo incondicional, a mi amiga Glenny quien me acompañó en las buenas y no tan buenas de este proceso, a mi bello país Colombia y a mi hermosa ciudad natal Santiago de Cali, que tanto añoro...*

## AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por darme sabiduría e iluminarme en toda situación de mi vida, por ser mi compañía, por la fortaleza y todas las cosas bellas que día a día me brinda.

A todos mis familiares, que aunque nos separe un mar de distancia me acompañan por medio de sus pensamientos y oraciones.

A la Dra. Consuelo Estévez, al Dr. Víctor Snyder y al Dr. Miguel Muñoz, por compartir sus conocimientos y contribuir para hacer de mi una mejor profesional y persona, por brindarme su apoyo, confiar en mi y servirme de guía para llevar a cabo esta investigación.

Al Dr. Miguel Muñoz, un agradecimiento especial, por la oportunidad brindada de realizar estudios graduados en el Recinto Universitario de Mayagüez, de la Universidad de Puerto Rico.

A la Dra. Consuelo por el apoyo y amistad brindada.

Al Agro. Miguel Vázquez por su apoyo técnico en las pruebas de campo y laboratorio.

Al proyecto CSREES-USDA Award # 2005-34135-16064 por el financiamiento de esta investigación.

A los directores y a todo el personal administrativo, y en especial al personal de campo de la Estación Experimental Agrícola de Isabela, Agro. Félix Román, Edwin, Don José, y de la Estación Experimental Agrícola Fortuna.

Al Agro. Rafael Ramos de la Estación Experimental de Corozal, quien proporcionó las cobertoras vegetales utilizadas en este proyecto.

Al personal administrativo y de laboratorio del Departamento de Agronomía y Suelos, en especial a Gloria Aguilar, Floripe Cancel, Gisela, Charlie y a todos que de una u otra manera me colaboraron para llevar a cabo la presente investigación.

Al personal de la Estación Experimental Agrícola Federal, a su director el Dr. Ricardo Goenaga y al químico Ulises Chardón Alcázar, por permitirme realizar los análisis químicos de muestras y tejido en sus facilidades.

Al Dr. Elide Valencia y al Agro. Edwin Más, por proveerme literatura pertinente al tema de investigación.

A los científicos de suelos de USDA-NRCS, Samuel Ríos y Jorge L. Lugo Camacho, por su colaboración en la colección de muestras de suelo.

A Glenny, Ixia, Jacky, Sonia, Emmanuel, Feliciano, Cristina, Byron, Diego, Alex, Manuel, Hebenly Celis, y a todos los que me brindaron su cariño y amistad.

A la Familia Gómez Fernández por su apoyo, compañía y amistad.

A la Familia Lugo Camacho, por acogerme como un miembro más de su familia y brindarme su cariño.

# Tabla de Contenido

ABSTRACT .....	iii
RESUMEN.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	viii
Tabla de Contenido.....	x
Lista de Figuras .....	xiii
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1 <i>El aguacate</i> .....	3
2.2 <i>Clima y suelos</i> .....	4
2.3 <i>Variedades recomendadas en Puerto Rico</i> .....	5
2.4 <i>Podredumbre de la raíz (Mal de la canela)</i> .....	6
2.5 <i>Coberturas vegetales</i> .....	9
<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
3.1 <i>Lotes experimentales</i> .....	16
3.2 <i>Establecimiento de los tratamientos</i> .....	18
3.3 <i>Caracterización de coberturas</i> .....	19
3.3.1 <i>Materia seca</i> .....	19
3.3.2 <i>Determinación de Nitrógeno Total en las plantas cobertoras</i> .....	21
3.3.3 <i>Caracterización de raíces pivotantes</i> .....	22
3.4 <i>Propiedades físicas evaluadas</i> .....	23
3.4.1 <i>Textura</i> .....	24
3.4.2 <i>Densidad aparente de muestra cilíndrica de suelo sin perturbar</i> .....	24
3.4.3 <i>Densidad aparente de agregados</i> .....	24
3.4.4 <i>Estabilidad de agregados</i> .....	25
3.4.5 <i>Curvas de retención de humedad del suelo</i> .....	26

3.4.6	<i>Resistencia mecánica</i> .....	28
3.4.7	<i>Permeabilidad superficial en campo</i> .....	29
3.4.8	<i>Permeabilidad por cabecera constante en laboratorio</i> .....	30
3.5	<i>Propiedades químicas evaluadas</i> .....	31
3.5.1	<i>Fósforo disponible</i> .....	31
3.5.2	<i>Nitrógeno total</i> .....	32
3.5.3	<i>Materia orgánica y Carbono orgánico</i> .....	32
3.5.4	<i>pH</i> .....	32
3.6	<i>Análisis de datos</i> .....	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	<b>34</b>
4.1	<i>Establecimiento de los tratamientos</i> .....	34
4.1.1	<i>Juana Díaz</i> .....	34
4.1.2	<i>Isabela</i> .....	36
4.2	<i>Propiedades físicas evaluadas</i> .....	39
4.2.1	<i>Textura</i> .....	39
4.2.2	<i>Densidad aparente de muestras sin perturbar y densidad aparente de agregados</i> .....	39
4.2.3	<i>Estabilidad de agregados</i> .....	40
4.2.4	<i>Curvas de retención de humedad del suelo</i> .....	42
4.2.5	<i>Resistencia mecánica</i> .....	48
4.2.6	<i>Permeabilidad en campo</i> .....	51
4.2.7	<i>Permeabilidad por cabecera constante en laboratorio</i> .....	52
4.3	<i>Propiedades químicas evaluadas</i> .....	53
4.3.1	<i>Fósforo disponible</i> .....	53
4.3.2	<i>Nitrógeno total</i> .....	55
4.3.3	<i>Materia orgánica, Carbono orgánico y relación C: N</i> .....	55
4.3.4	<i>pH</i> .....	56
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>APENDICES</b> .....	<b>68</b>
8.1	<i>APENDICE A. Anovas para coberturas vegetales</i> .....	68
8.2	<i>APENDICE B. Anovas para N en hojas de aguacate</i> .....	71
8.3	<i>APENDICE C. Anovas para propiedades físicas del suelo</i> .....	72
8.4	<i>APENDICE D. Anovas para propiedades químicas del suelo</i> .....	84

## Lista de Tablas

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
Tabla 1. Composición textural del suelo en los tratamientos en la localidad de Juana Díaz. ....	39
Tabla 2. Composición textural del suelo en los tratamientos en la localidad de Isabela.....	39
Tabla 3. Valores promedios de densidad aparente (en muestras sin perturbar) y densidad de agregados a los 21 meses de establecidos los tratamientos.....	40
Tabla 4. Porcentaje promedio de estabilidad de agregados a los 21 meses de establecidos los tratamientos.....	41
Tabla 5. Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje promedio de humedad volumétrica drenado a diferentes intervalos de potencial mátrico, a los 12 meses. ....	44
Tabla 6. Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje promedio de humedad volumétrica drenado a diferentes intervalos de potencial mátrico, a los 23 meses. ....	47
Tabla 7. Permeabilidad promedio en campo (cm/hora) a los 12 (2007) y 23 (2008) meses de establecidos los tratamientos. ....	52
Tabla 8. Permeabilidad promedio en laboratorio (cm/hora) a los 12 meses de establecidos los tratamientos.....	53
Tabla 9. Propiedades químicas de los suelos a los 21 meses de establecidos los tratamientos. ....	54

# Lista de Figuras

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Mapa de suelos y ubicación de la unidad experimental en la Estación Experimental Agrícola Fortuna en Juana Díaz (USDA-NRCS, 2008b). .....	17
Figura 2. Mapa de suelos y ubicación de la unidad experimental en la Estación Experimental Agrícola Isabela (USDA-NRCS, 2008b). .....	18
Figura 3. Tratamientos al mes de establecidos. (A) <i>Arachis pinto</i> i Krapov. & W. C. Greg. ‘Porvenir’, (B) <i>Arachis glabrata</i> Benth. TARS 17095 y (C) Control, en la Estación Experimental Agrícola de Fortuna (Juana Díaz). .....	20
Figura 4. Tratamientos a los dos meses de establecidos. (A) <i>Arachis pinto</i> i Krapov. & W. C. Greg. ‘Porvenir’, (B) <i>Desmodium heterophyllum</i> (Willd.) DC. CIAT 349 y (C) Control, en la Estación Experimental Agrícola de Isabela. ....	21
Figura 5. Muestreo de suelo con barrena hidráulica Giddings. ....	22
Figura 6. Obtención de raíz pivotante de las coberturas leguminosas para determinar su longitud promedio. ....	23
Figura 7. A) Máquina agitadora para estabilidad de agregados. B) Agregados en tamiz No. 10 sobre el 20. ....	26
Figura 8. Sistema de celdas de presión Tempe, para realizar curvas de retención de humedad del suelo. ....	28
Figura 9. Resistencia mecánica medida con penetrómetro Rimik. ....	29
Figura 10. Sistema de permeabilidad por cabecera constante en laboratorio. ....	31
Figura 11. Tratamientos a los 24 meses de establecidos. (A) <i>Arachis pinto</i> i Krapov. & W. C. Greg. ‘Porvenir’, (B) <i>Arachis glabrata</i> Benth. TARS 17095 y (C) Control, en la Estación Experimental Agrícola Fortuna (Juana Díaz). ....	35
Figura 12. <i>Icerya purchasi</i> (cortesía de Avas Hamon FDACS-DPI). ....	36
Figura 13. Tratamientos a los 24 meses de establecidos. (A) <i>Arachis pinto</i> i Krapov. & W. C. Greg. ‘Porvenir’, (B) <i>Desmodium heterophyllum</i> (Willd.) DC. CIAT 349 y (C) Control, en la Estación Experimental Agrícola de Isabela. ....	38

Figura 14. Curvas promedio de retención de humedad del suelo a diferentes potenciales mátricos (cm), a los 12 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola Fortuna (Juana Díaz). .....	43
Figura 15. Curvas promedio de retención de humedad del suelo a diferentes potenciales mátricos (cm), a los 12 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola de Isabela. ....	45
Figura 16. Curvas promedio de retención de humedad del suelo a diferentes potenciales mátricos (cm), a los 23 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola Fortuna (Juana Díaz). ....	46
Figura 17. Curvas promedio de retención de humedad del suelo a diferentes potenciales mátricos (cm), a los 23 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola de Isabela. ....	47
Figura 18. Resistencia mecánica promedio a diferentes profundidades, a los 28 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola Fortuna (Juana Díaz). ....	48
Figura 19. Resistencia mecánica promedio, a los 28 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola Fortuna (Juana Díaz). ....	49
Figura 20. Resistencia mecánica promedio a diferentes profundidades, a los 28 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola de Isabela. ....	50
Figura 21. Resistencia mecánica promedio, a los 28 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola Isabela. ....	51

# 1 INTRODUCCIÓN

El aguacate ocupa el cuarto lugar entre los cultivos frutales de mayor importancia en Puerto Rico con una producción de 8,292 millares de frutos en el 2007. Económicamente es relevante para la agricultura puertorriqueña, ya que el ingreso bruto generado por el cultivo de aguacate para el año fiscal 2007 fue de \$3.8 millones. En el 2007 el consumo per cápita fue de 1.3 kg y la importación representó el 64% del consumo (Oficina de Estadísticas Agrícolas, 2007).

Climatológicamente el aguacate encuentra en Puerto Rico un hábitat natural; se adapta a regiones de alta humedad atmosférica, lo mismo que a localidades de aire seco en el caso del aguacate antillano nativo. Casi todos los tipos de suelos de Puerto Rico son adaptables al cultivo del aguacate, prefiriéndose los suelos sueltos y permeables (González y Mayoral, 1931). La región suroeste, la costa sur y la costa norte, desde Aguadilla a Quebradillas, en terrenos con buen desagüe, son consideradas zonas potenciales para el cultivo de aguacate (UPR-EEA, 1998).

En Puerto Rico, las áreas de producción se han visto afectadas por plagas y enfermedades, entre éstas la pudrición de la raíz asociada a *Phytophthora cinnamomi* Rands. Esta condición se ve acentuada por condiciones de saturación del suelo durante la época lluviosa (julio – octubre), altas temperaturas y agrietamiento del suelo en épocas de sequía que causan daño mecánico al sistema radicular.

Entre las estrategias de control está el manejo integrado de prácticas que incluyen: higiene en el vivero, suelos fértiles con buen desagüe, permeables y desinfectados (Zentmeyer and Ohr, 1978), utilizar aguas tratadas con sulfato de cobre o cloro (Coffey, 1992), manejo del riego, variedades tolerantes, adecuado control químico (Marais-Lawrence et al. 2002) y prácticas culturales como control biológico y utilización de coberturas vegetales del suelo.

Desde 2006, se han realizado estudios en las estaciones experimentales de Juana Díaz, serie de suelo San Antón (*fine-loamy, mixed, superactive, isohyperthermic Cumulic Haplustolls*) (Beinroth et al., 2003), e Isabela, serie de suelo Coto (*very-fine, kaolinitic, isohyperthermic Typic Eutruxox*) (Beinroth et al., 2003), para investigar estrategias de manejo que incrementen la aireación del suelo y contribuyan a la reducción en la incidencia de *Phytophthora cinnamomi* Rands. Los objetivos específicos de esta investigación de tesis están dirigidos a: 1) documentar las condiciones físicas y químicas del suelo en huertos de aguacate con pudrición de raíces producida por *Phytophthora cinnamomi*, en dos series de suelos, San Antón y Coto, característicos de siembras de aguacate en la costa sur y norte de Puerto Rico, respectivamente, y 2) evaluar el efecto de coberturas leguminosas (*Arachis pintoii* Krapov. & W. C. Greg. 'Porvenir', *Arachis glabrata* Benth. TARS 17095 y *Desmodium heterophyllum* (Willd.) DC. CIAT 349), en las propiedades físicas y químicas de los suelos San Antón y Coto bajo cultivo de aguacate.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 El aguacate

Los aguacates cultivados pertenecen a la familia de las lauráceas (Ibar, 1979). En el sistema botánico está clasificado en tres razas: aguacate antillano, *Persea americana* Mill. var. *americana* (*P. gratisima* Gaertn.); aguacate mexicano, *Persea americana* Mill. var. *drymifolia* Blake (*P. drymifolia* Schlecht. & Cham.); y el aguacate guatemalteco, *Persea nubigena* var. *guatemalensis* L. Wms. (Morton, 1987).

Se cree que es originario de Guatemala, parte de Centro América y México (Anacafé, 2004). El género *Persea* agrupa unas 50 especies, gran número de las cuales, como el aguacate, son nativas de México y de América Central. También pertenecen al género algunas especies ornamentales, excelentes para climas cálidos (Chandler, 1962). El cultivo del aguacate se extendió por las faldas de la cordillera Andina hasta Perú, donde lo llamaron “Palta”. En México y América Central se reconocía por los aztecas en su lengua náhuatl como “ahuacatl”. Los españoles lo llamaron aguacate y avocado; esta última palabra ya conocida, designaba antiguamente a los abogados (Ibar, 1979). El aguacate fue llevado por los conquistadores españoles a países europeos. Su cultivo se ha extendido por países tropicales y subtropicales como Camerún, Estados Unidos, México, Chile, Perú, Venezuela, Colombia, Cuba, República Dominicana, Puerto Rico, Martinica, Israel y Australia (UMATA, 1995).

El aguacate contiene vitaminas E, A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, D y en menor cantidad vitamina C; minerales como Fe, P y Mg; también contiene Ácido fólico, Niacina y Biotina (Anacafé, 2004).

## **2.2 Clima y suelos**

Una de las grandes ventajas del aguacate es su adaptación a diversos climas, que van desde el nivel del mar hasta los 3,000 m de altura. El aguacate requiere para un cultivo óptimo suelos sueltos y bien drenados. El sistema radical es superficial y absorbe agua y nutrientes principalmente en las puntas a través de los tejidos primarios. Para su siembra se prefieren zonas secas para evitar muchas enfermedades de origen fungoso. Las necesidades hídricas son de 1,000 – 2,000 mm anuales. Las variedades más susceptibles a la alta humedad (precipitaciones mayores de 1,800 mm anuales) son las variedades antillanas y mexicanas (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1982). En los suelos susceptibles a inundación o que retienen mucha agua, no es recomendable este cultivo, debido a que las raíces del aguacate son muy sensibles a la deficiencia de oxígeno asociada a suelos mal drenados. Bajo estas condiciones las raíces mueren y se favorece la infección de *Phytophthora cinnamomi* Rands., el cual causa la pudrición de las mismas llegando a matar el árbol en pocas semanas (Anacafé, 2004; Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1982). Por tal razón, la incidencia de *Phytophthora cinnamomi* Rands. es menor en suelos arenosos y áridos con riego controlado y buena fertilización como es el caso de Israel, el cual es uno de los principales países productores de aguacate en el mundo, exportando casi toda la

producción a Europa (UMATA, 1995). El pH ideal se encuentra entre 6 a 7; la pendiente máxima es del 70 por ciento (Ibar, 1979).

Se deben tener en cuenta los niveles de extracción de nutrimentos del cultivo de aguacate que depende de factores como: variedad, disponibilidad de agua, temperatura, entre otros. Como referencia, el aguacate extrae, anualmente, 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, 25 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 60 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, 6 kg ha<sup>-1</sup> de Mg y 5 kg ha<sup>-1</sup> de S (Microfertisa S.A., 2006). El programa de abonado se debe implementar de acuerdo al análisis de suelos (Ibar, 1979).

Al momento de la siembra se debe aplicar una fuente de fósforo. En el primer año se aplica, aproximadamente, 1 kg/árbol/año de fertilizante y se incrementa la cantidad a aplicar anualmente hasta llegar a 5 - 8 kg/árbol/año. Es importante una fertilización antes de la floración y otra durante la formación del fruto (UPR-EEA, 1998). El nitrógeno es el elemento más importante, seguido por el potasio y el fósforo. El primero es el que más influye en el crecimiento y producción. El segundo es muy importante, especialmente en variedades que cargan profusamente (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1982).

### **2.3 Variedades recomendadas en Puerto Rico**

Según UPR-EEA (1998), en Puerto Rico la mayoría de la producción de aguacate se obtiene de huertos con árboles silvestres (no injertados); es por esto que los frutos difieren mucho en cuanto a forma, tamaño y calidad. Los cultivares recomendados para Puerto Rico son:

Wilson Popenoe, Candelaria, Pollock, Avila, Butler, Pico Godreau, Semil 34, Semil 43, Fuchsia y Simmonds (Pollock2). Dichas variedades tienen características de híbridos de la raza Guatemalteca x Antillana (Semil 34 y Semil 43) o de la raza Antillana (Avila y Butler).

## **2.4 Podredumbre de la raíz (Mal de la canela)**

Esta enfermedad es una amenaza muy seria para los huertos de aguacate y puede determinar el éxito o fracaso de un huerto. El organismo que la causa es *Phytophthora cinnamomi* Rands. Ataca las raíces alimentarias, las cuales se tornan oscuras, quebradizas y eventualmente mueren. En consecuencia, el árbol se deteriora en forma gradual. Los síntomas son muerte regresiva en las ramas, hojas pequeñas de color verde pálido, defoliación, poca producción y finalmente muerte del árbol. La excesiva humedad en el suelo favorece la infección. Se debe realizar un manejo integrado, donde se utilicen patrones tolerantes. Se recomienda que en el momento de transplante las plantas deban estar libres de *Phytophthora* y se considera que la siembra en bancos mejora el drenaje. Es importante el manejo adecuado del riego, zanjas de drenaje y realizar una aplicación de fungicida a base de metalaxyl o ácido fosfórico. La mejor práctica está basada en prevenir la introducción del organismo en los huertos (UPR-EEA, 1998; Marais-Lawrence et al., 2002). El árbol de aguacate puede sobrevivir y crecer en presencia de *P. cinnamomi* con un manejo integrado de prácticas. Entre las prácticas recomendadas tenemos: higiene en el vivero; suelos fértiles con buen drenaje, permeables (Zentmeyer and Ohr, 1978) y desinfectados (Coffey, 1992); manejo del riego adecuado según

tipo de suelo, necesidades hídricas del cultivo, factores climáticos; prácticas culturales, variedades tolerantes y control químico (Marais-Lawrence et al., 2002).

En Puerto Rico, el primer reporte de la pudrición de raíz de aguacate fue en 1927, donde se detectó una especie de *Phytophthora* en un huerto de aguacates en Villalba; la cual se asemejaba a *P. cinnamomi*, y se reportó que la enfermedad se evidenciaba en terrenos compactos de pobre drenaje (EEA, 1928).

El primer reporte de la disminución de producción de aguacate en California fue en el condado de San Diego a partir de 1920. Esta disminución (entre 1920 – 1930) se le atribuyó a *Phytophthora*, pero solamente en 1942 se aisló *Phytophthora cinnamomi* de aguacate. En 1989 se estimó que el 60-75% de los huertos en California estaban infectados, con una pérdida anual de \$44 millones (Coffey, 1987,1992). En el 2007 se estimó que cerca del 10% de los árboles de aguacate en California estaban infectados con *P. cinnamomi*, representando una pérdida anual aproximada de \$36 millones (McDonald et al., 2007).

En 1987 en el estado de California, E.U.A., se encontró que tres selecciones del patrón Martín Grande (G755a, b y c) de Guatemala demostraban resistencia a *P. cinnamomi* (Coffey, 1987; Coffey y Guillemet, 1987). Se compararon 12 patrones de aguacate seleccionados (propagados de cortes vegetativos), injertados con vástagos comerciales, en los cuales se evaluó su resistencia a *P. cinnamomi* en el campo por 79 semanas. Este experimento fue realizado en un suelo de textura franca gruesa de clima árido. Los árboles de aguacate

injertados en los patrones Thomas, Martín Grande (G755a, b y c), Barr Duke y D9 demostraron tener el mayor nivel de resistencia a *P. cinnamomi* (Gabor et al., 1990).

En un estudio realizado en la Universidad de California, Riverside, se utilizó materia orgánica proveniente de diferentes tipos de “mulch” colonizados con agentes de control biológico microbiano para evaluar su capacidad en reducir la pudrición de raíz en aguacate causada por *P. cinnamomi*. Se encontró, bajo condiciones de invernadero, que el “mulch”, aplicado superficialmente, proveniente de yerba sudán fresca y grama gruesa colonizada con *G. virens* fue la mejor combinación para reducir *P. cinnamomi* en tiestos de 4 litros con suelo infectado artificialmente. Después de dos meses en este tratamiento se observó entre 31 y 37% de raíces saludables en comparación con 0% de raíces saludables en el control (suelo sin “mulch”) infectado (Costa et al., 2000).

En España, Sánchez et al. (2004) reconocieron por primera vez a *Phytophthora cinnamomi* como patógeno de plántones de encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) en un estudio realizado bajo condiciones de invernadero. En adición, reportaron que *P. cinnamomi* tiene una curva de crecimiento óptimo a 24 ° C y que la condición de exceso de agua en el sustrato del cultivo es un factor necesario para que se establezca su infección y su desarrollo en el sistema radicular. También reportaron que *P. cinnamomi* es la más virulenta de las especies de *Phytophthora* analizadas. Según Sinclair y Backman (1989), el rango de temperatura para el crecimiento de la mayoría de especies de *Phytophthora* es de 25 a 28 ° C.

## 2.5 Coberturas vegetales

*Arachis* pertenece a la familia Leguminosae, subfamilia Papilionoideae (Fabaceae sensu stricto) (Rudd, 1981). El género *Arachis* tiene como característica que sus estructuras reproductivas son únicas, ya que la semilla se desarrolla bajo la superficie del suelo, pero provienen de flores aéreas (Smith, 1950). Este género es oriundo de Brasil, en donde se han reportado más de 60 especies, y también de Bolivia, Paraguay, Argentina y Uruguay. Fue introducido a países como Colombia (donde se introdujo en 1976), Perú, Costa Rica (donde se introdujo en 1980), Estados Unidos (se introdujo *A. glabrata* a Florida en 1936) y Puerto Rico (se introdujo *A. glabrata* en 1989), entre otros. Se han agrupado las especies en secciones y series, de las cuales se encuentran vigentes las secciones *Arachis* (con tres series), Caulorrhizae, Extranervosae y Rhizomatosae (con dos series), (Krapovickas, 1990).

La especie *Arachis pintoii* Krapov. & W. C. Greg. pertenece a la sección Caulorrhizae, la cual se puede propagar por semilla o esquejes, con un ciclo de vida perenne (Valls y Simpson, 1995). Una característica de esta sección es su enraizamiento en los nudos cuando éstos son cubiertos por suelo y residuos, y se provee humedad para estimular el crecimiento de las raíces. Dicha práctica facilita la propagación vegetativa de *Arachis pintoii* (Simpson et al., 1995). Sin embargo, la planta se establece más rápido cuando proviene de semilla y aporta mayor cantidad de materia seca y área foliar que cuando proviene de estolones (Baruch y Fisher, 1992). *Arachis pintoii* es tolerante a exceso de agua y a déficit hídrico, por poseer raíces profundas que pueden obtener agua a mayor profundidad (Fisher y Cruz, 1995).

La especie *Arachis glabrata* Benth., pertenece a la sección Rhizomatosae y a la serie Eurhizomatosae; produce poca semilla lo cual dificulta la propagación por este medio, sin embargo es muy prolífica produciendo rizomas. Estas dos especies tienen gran potencial como cobertura del suelo y forrajeras (Valls y Simpson, 1995).

En suelos con bajo contenido de fósforo, tanto *A. pintoi* como *A. glabrata* tienen una gran capacidad de absorción de este elemento (Rao y Kerridge, 1995). *Arachis pintoi* nodula libremente con cepas nativas de *Bradyrhizobium*, por lo que se podría obtener respuesta positiva a la inoculación (Thomas, 1995). Las cantidades de N fijadas están directamente relacionadas con el crecimiento de la leguminosa (biomasa). En un estudio realizado en un Oxisol, donde se sembró en una pastura *A. pintoi* con *Brachiaria dictyoneura*, se determinó que entre 81- 89% del nitrógeno (N) fue derivado de la fijación de *A. pintoi* (Thomas, 1995). Un estudio similar fue realizado en suelos volcánicos fértiles, en donde se presentaron altos niveles de mineralización de N en el suelo y *A. pintoi* fijó en promedio el 63% de su N (Suárez-Vásquez et al., 1992).

En cuanto a la resistencia de plagas y enfermedades, sólo se tienen comentarios y observaciones generales. Pizarro et al. (1993) evaluaron 33 accesiones de *Arachis* spp.; la única enfermedad destructiva observada fue la roya, la cual afectó principalmente a accesiones de *A. glabrata*. Otras enfermedades y plagas detectadas fueron la mancha foliar por *Cercospora*, antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides*), “virus moteado del maní”, y el

ácaro *Tetranychus urticae*. Se ha reportado en la literatura que *A. pintoi* es resistente a la roya del maní (*Puccinia arachidis*), a la mancha foliar (*Mycosphaerella* spp.), y algunos nematodos de los nódulos radicales (*Meloidogyne* spp.) (Argel y Pizarro, 1992). En el banco de germoplasma, en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en Argentina, se ha reportado entre las principales enfermedades *Cercospora arachidicola* y *Cercosporidium personatum*.

En Colombia, en suelos planos y fértiles, la agricultura tecnificada, ganadería intensiva y otras actividades agropecuarias, han ocasionado una pérdida gradual de la capacidad productiva del suelo (Botero, 1990). Es por esto que se viene promoviendo el uso de coberturas leguminosas para controlar malezas, disminuir la erosión, fijar N, aportar nutrientes por medio de la materia orgánica, conservar humedad en el suelo y en algunos casos para control de plagas y enfermedades (Ramos, 1992; De la Cruz et al., 1993). En 1992, Folorunso y colaboradores reportaron que en zonas de alta precipitación las coberturas protegen el suelo y por medio de sus raíces proveen canales a las capas sub-superficiales del suelo, aumentando la tasa de infiltración, y según McVay (1989) agregados más estables en agua. En los suelos con cultivos de cobertura, la formación de agregados más estables y la mayor aireación del suelo, conlleva a una disminución en la densidad aparente del suelo, lo cual es beneficioso para el desarrollo de la planta (Liyanage et al., 1988). En cuanto al N, Thomas et al. (1997) y Valles (2001), encontraron que *A. pintoi* CIAT 17434, obtuvo entre 65 y 85 % de su N proveniente de la fijación, evidenciándose mayor cantidad de N en el suelo.

Los costos de establecimiento de *Arachis* son altos (en Nicaragua, 1992-1994, los costos de los tratamientos con *A. pintoii* durante el primer año fueron entre 10 y 12 veces más altos que el tratamiento convencional con herbicida), ya que se requiere mantener las parcelas libres de malezas para evitar la competencia; también se debe sembrar en época de lluvia para asegurar un efectivo establecimiento (Vallejos, 1992; Staver, 1996). Es necesario evaluar los sistemas de cultivos en donde se adopten las leguminosas como coberturas para determinar su competencia por nutrientes y agua con el cultivo en asociación (De la Cruz et al., 1993). En cultivos perennes es importante mantener el diámetro de la copa del árbol libre de cobertura; sin embargo, en estudios realizados en cultivos de café (Staver, 1996), naranja (Pérez-Jiménez et al., 1996) y banano (Pérez, 1996), no se ha observado disminución en la producción de estos cultivos que se pueda atribuir a estas coberturas.

El uso de plantas de coberturas adaptadas a las condiciones del cultivo de banano mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo y favorece el crecimiento del cultivo (Hernández et al., 1983; De la Cruz et al., 1993). Las plantaciones de banano se caracterizan por crecer, en su mayoría, en suelos descubiertos, condición que favorece la erosión, la formación de capas de limos y la reducción de la flora y la fauna en el suelo (Johns, 1994). Pérez (1996) realizó un ensayo en Costa Rica, durante cuatro ciclos de cosecha de banano, para observar si el uso de *Arachis pintoii* como cobertura afectaba el crecimiento, desarrollo y la producción del cultivo de banano. Las accesiones *A. pintoii* CIAT 17434 y 18744, favorecieron el desarrollo de las plantas de banano, observándose valores más altos de las

variables de producción, crecimiento y desarrollo. Se presentó mayor peso del fruto en todos los ciclos en las parcelas con *A. pintoii* CIAT 18744, mientras que el menor peso se presentó en las parcelas testigo (enmalezadas). En ninguno de los ciclos se observó menor peso de racimo de las parcelas con leguminosa vs. el tratamiento con control mecánico de malezas; esto puede interpretarse como ausencia de competencia entre la plantación de banano y la leguminosa. Se observó en el cuarto ciclo de cosecha que los tratamientos testigo (enmalezado) y el control mecánico de maleza, presentaron menor número de manos por racimo que los tratamientos con cobertura leguminosa; lo mismo sucedió con la variable área foliar de las plantas madres en la época de floración en el cuarto ciclo de cosecha. Durante la fase de desarrollo del ensayo, las plantas de banano con cobertura, sólo presentaron un área foliar levemente superior con relación a los otros tratamientos. Esta falta de diferencias estadísticas entre los tratamientos al evaluar las principales variables de crecimiento, indica que la cobertura *A. pintoii* no compitió con las plantas de banano durante el período de estudio; igual lo demuestran los contenidos de nutrimentos en las hojas de las plantas de banano. Además se encontró una tendencia de mayor contenido microbiano en el suelo en los tratamientos con las coberturas, específicamente con *A. pintoii* CIAT 18744. En el cultivo de banano asociado con coberturas se encontraron poblaciones más altas de nematodo que en el cultivo sin coberturas, sin embargo, no se evidenciaron efectos sobre las variables de crecimiento, desarrollo y producción de banano.

Pérez-Jiménez y colaboradores (1996) realizaron un ensayo en un Ultisol en México, con pH entre 4.1 y 5.2, baja saturación de Al y bajos niveles de materia orgánica, N y P. Se

evaluaron cinco leguminosas forrajeras versus un control (vegetación natural); entre las leguminosas se encontraban *Arachis pintoii* CIAT 17434 (sembrado con estolones) y *Desmodium ovalifolium* CIAT 3788 (sembrado con semilla), como coberturas del suelo. Entre sus objetivos se estudió la capacidad de establecimiento de las coberturas, la producción de frutos de naranja variedad Valencia tardía (8 años de edad) y cambios en la fertilidad del suelo. *Arachis pintoii* presentó el mayor porcentaje de cobertura a los 12 meses y fue la única leguminosa que alcanzó el 100 por ciento de cobertura. En las parcelas de ésta ocurrió una alta invasión de malezas debido, probablemente, a una mayor fijación de N que favoreció su desarrollo. En el suelo franco-arenoso, disminuyó el pH al año después de iniciado el estudio. *Arachis pintoii* aumentó los contenidos de materia orgánica, N y P. En la parcelas de *A. pintoii* se obtuvo la mayor producción de frutos y se demostró que esta cobertura junto al árbol crearon las condiciones de temperatura óptima (redujeron la temperatura) del suelo para la floración de los árboles de naranja (Khairi y Hall, 1976).

En una investigación realizada en Cuba por Peña y Fuentes (2005), se evaluó la influencia de residuos de cosecha de arroz (*Oryza sativa*) y el vetiver (*Vetiveria zizanioides*) vs. un testigo (suelo descubierto) en cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) sobre la temperatura del suelo a una profundidad de 0-5 cm, registrándose la temperatura a diferentes horas de luz. Se encontró que las coberturas con paja de arroz o vetiver impiden el sobrecalentamiento diurno del suelo. La temperatura máxima fue registrada a las 2:00 p.m. y a las 8:00 a.m. la temperatura mínima. También encontraron que en los suelos con coberturas las variaciones son menores que en suelo descubierto.

Castillo Gallegos et al. (2005) utilizaron *A. pintoii* como cobertura para mejorar la producción sustentable de gramas nativas. Después de tres años y medio de la introducción de *A. pintoii*, el suelo de la grama con leguminosa mostró niveles ligeramente superiores de carbono que las pasturas testigo de grama nativa. A una profundidad de 20 cm, el carbono inicial fue de 24.7 t/ha y el incremento promedio fue de 3.7 t/ha para grama nativa y 4.8 t/ha para grama nativa con *A. pintoii* (con diferencias significativas  $p < 0.05$ ); este último también aportó al suelo 60 kg/ha/año de N. La densidad aparente del suelo (en promedio 1.21 g/cm<sup>3</sup>) no fue afectada por los tratamientos.

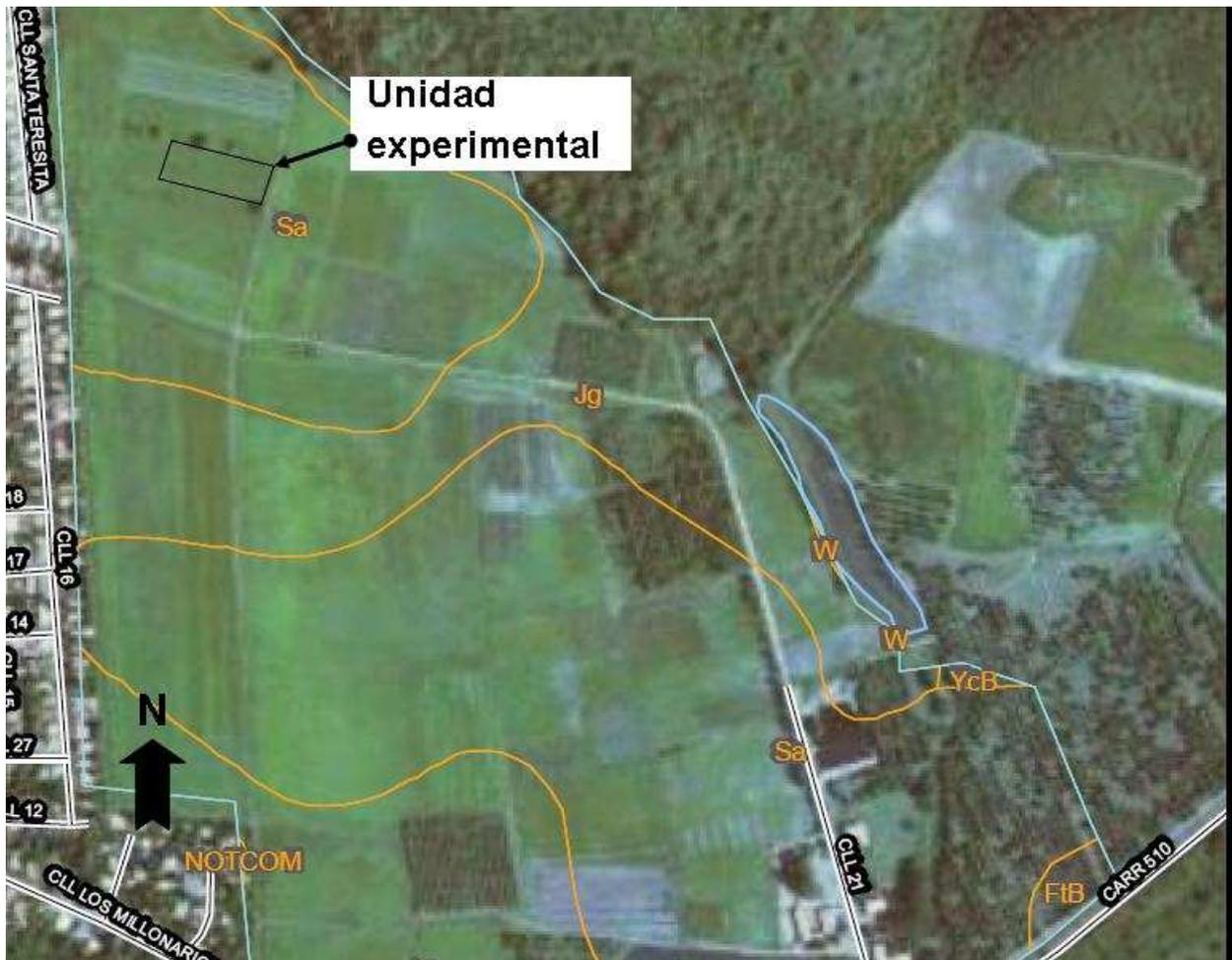
Granstedt y Rodríguez (1996), en Costa Rica, evaluaron *A. pintoii* como cobertura en banano. Se utilizaron estolones y semilla, inoculados con cepa *Bradyrhizobium* CIAT 3101; esta última tuvo una germinación del 90% en la primera semana y a las 18 semanas sólo había alcanzado el 10% de cobertura. Con los estolones los resultados fueron variables, dependieron de las condiciones climáticas (lluvia) en la época de siembra y de la profundidad a la que se sembraron los estolones, obteniéndose mejor resultado cuando se trazaron surcos poco profundos, a una distancia de 50 cm entre ellos. La competencia con Ciperáceas y los residuos de la plantación de banano dificultaron el establecimiento de las coberturas. Se encontró que *A. pintoii* se establece bien por estolones, siendo más económico sembrar sólo en áreas de suelo limpio dentro de las plantaciones de banano y durante la época de lluvias.

## 3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Lotes experimentales

Se establecieron dos parcelas de estudio en dos subestaciones de la Estación Experimental Agrícola (EEA) de la Universidad de Puerto Rico, localizadas en Juana Díaz e Isabela. Por medio de reconocimiento en campo se verificaron las series de suelos correspondientes a las unidades experimentales.

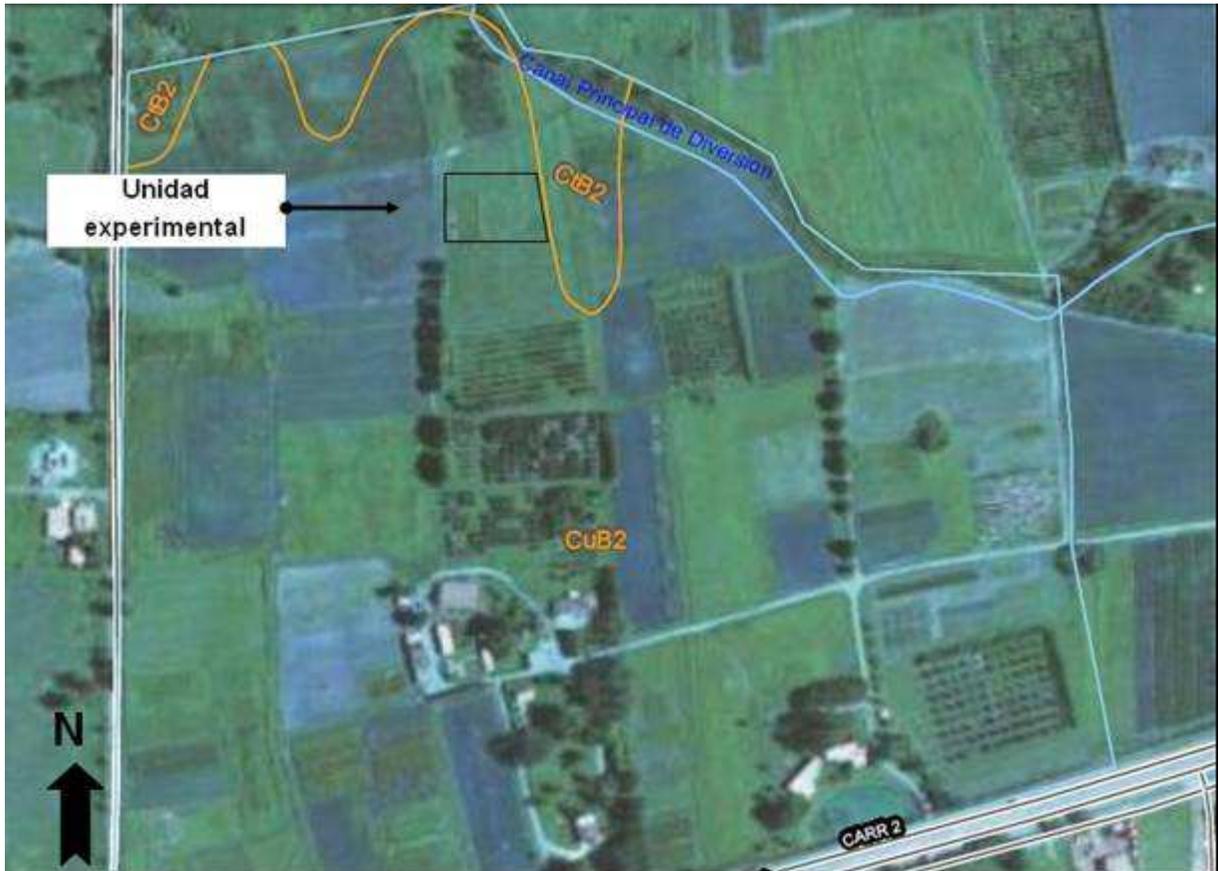
La EEA de Juana Díaz, se encuentra ubicada en la costa sur de Puerto Rico en la latitud  $18^{\circ} 03' 11''$  N. y la longitud  $66^{\circ} 31' 50.5''$  O. (Datum NAD 83), a una elevación sobre el nivel del mar de 61 metros. La precipitación promedio anual es de 690 mm (USDA-NRCS, 2008a) y la temperatura promedio anual es de  $26.3^{\circ}$  C. La temperatura máxima promedio es de  $31.8^{\circ}$  C y la temperatura mínima promedio es de  $20.6^{\circ}$  C. (U.S. Dept. of Commerce, 2008). El suelo de la unidad experimental corresponde a la serie San Antón (*fine-loamy, mixed, superactive, isohyperthermic Cumulic Haplustolls*) (Beinroth et al., 2003) (Figura 1).



**Figura 1. Mapa de suelos y ubicación de la unidad experimental en la Estación Experimental Agrícola Fortuna en Juana Díaz (USDA-NRCS, 2008b).**

La EEA de Isabela está localizada en la costa noroeste de Puerto Rico, carretera #2, Km 114.7, en la latitud  $18^{\circ} 27' 58.8''$  N. y la longitud  $67^{\circ} 03' 15''$  O. (Datum NAD 83). La EEA se encuentra a una elevación sobre el nivel del mar de 128 metros. Su precipitación promedio anual es de 1,478 mm (USDA-NRCS, 2008a) y la temperatura promedio anual es de  $24.8^{\circ}$  C. Su temperatura máxima promedio es de  $29.3^{\circ}$  C y su temperatura mínima promedio es de  $20.2^{\circ}$  C. (U.S. Dept. of Commerce, 2008). El suelo de la unidad

experimental corresponde a la serie Coto (*very-fine, kaolinitic, isohyperthermic Typic Eutrustox*) (Beinroth et al., 2003) (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de suelos y ubicación de la unidad experimental en la Estación Experimental Agrícola Isabela (USDA-NRCS, 2008b).

### **3.2 Establecimiento de los tratamientos**

El terreno se preparó de forma convencional (aplicación de herbicida, pase de rastra de disco, motocultivador y formación de los bancos). Se establecieron los huertos de aguacate en mayo de 2006 en Juana Díaz con la variedad Semil 34/Semil 34 (patrón/injerto), y en junio en Isabela con la variedad Gripiña/Wilson Popenoe (patrón/injerto).

Se estableció un sistema de riego por aspersión para cada parcela que consistió en cuatro pisteros instalados en cuadro alrededor del árbol de aguacate, aproximadamente a 2 m de distancia entre cada uno, para suplir agua de acuerdo a los requerimientos del cultivo.

Un mes después de siembra se instalaron tres tratamientos (dos variedades de coberturas y un control sin cobertura) en cada localidad, utilizando un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Se transplantaron las coberturas, provenientes de propagación vegetativa, en un área de 6 x 6 m alrededor de la copa del árbol cubriendo el diámetro de la copa, utilizando un total de 20 plantas espaciadas a 0.9 m entre ellas. En Juana Díaz, las coberturas fueron *Arachis pintoii* Krapov. & W. C. Greg. 'Porvenir', *Arachis glabrata* Benth. TARS 17095 y el control sin cobertura leguminosa (Figura 3). En Isabela los tratamientos fueron *Arachis pintoii* Krapov. & W. C. Greg. 'Porvenir', *Desmodium heterophyllum* (Willd.) DC. CIAT 349, y el control sin cobertura leguminosa (Figura 4).

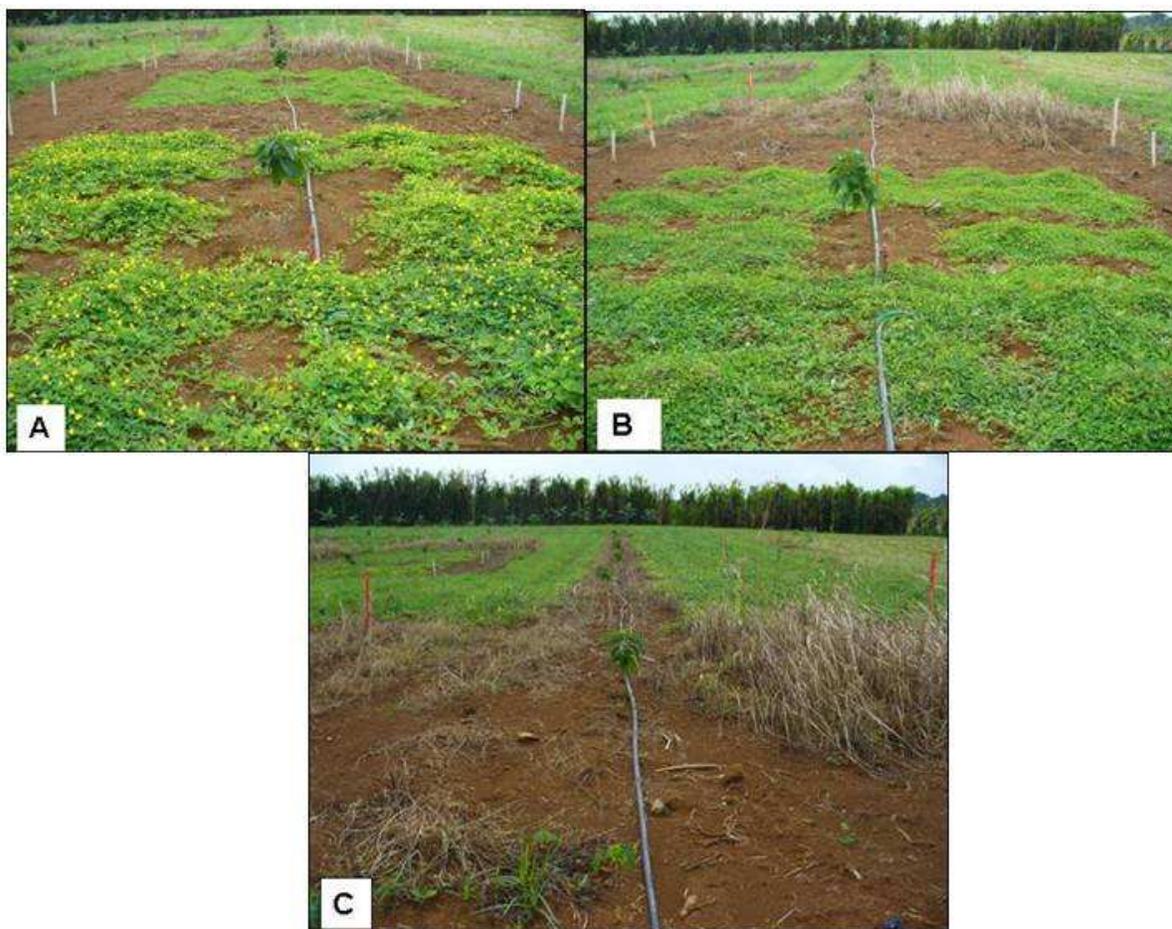
### **3.3 Caracterización de coberturas**

#### **3.3.1 Materia seca**

Para determinar la materia seca de cobertura en los predios, se modificó la metodología del CIAT (1982). Se utilizó un cuadrante de 0.25 x 0.25 m, el cual se lanzaba al azar en el predio, cortándose a 5 cm del suelo la cobertura que quedaba dentro del mismo. Se tomó el peso fresco y se secó el material vegetal en un horno a 60 ° C durante 48 horas para obtener el peso seco. Este procedimiento se realizó a los 16 meses de establecidos los tratamientos, durante la época húmeda (octubre 2007) en donde en Isabela la precipitación fue de 118.9 mm y en Juana Díaz de 178.1 mm (USDA-NRCS, 2008a).



**Figura 3.** Tratamientos al mes de establecidos. (A) *Arachis pinto* Krapov. & W. C. Greg. ‘Porvenir’, (B) *Arachis glabrata* Benth. TARS 17095 y (C) Control, en la Estación Experimental Agrícola de Fortuna (Juana Díaz).



**Figura 4. Tratamientos a los dos meses de establecidos. (A) *Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg. ‘Porvenir’, (B) *Desmodium heterophyllum* (Willd.) DC. CIAT 349 y (C) Control, en la Estación Experimental Agrícola de Isabela.**

### *3.3.2 Determinación de Nitrógeno Total en las plantas cobertoras*

El porcentaje de Nitrógeno del tejido vegetal de las plantas cobertoras se determinó por el método de Kjeldahl (Bremner, 1996); para la digestión de la muestra se añadió una tableta de catalizadores (1.5 g de  $K_2SO_4$  + 0.15 g de  $CuSO_4$ ).

### 3.3.3 Caracterización de raíces pivotantes

Con el fin de conocer la longitud promedio de las raíces pivotantes de las especies empleadas como coberturas, se utilizó una barrena hidráulica Giddings (#15-SCS Modelo GSRPS) (Figura 5), forrada internamente con un cilindro plástico de 1 m de longitud y 0.0635 m de diámetro. En cada predio, la barrena con el cilindro se centró alrededor del tallo principal de una planta cobertora y se insertó en el suelo aproximadamente hasta 1 m de profundidad. Luego se retiró del cilindro plástico la muestra de suelo con las raíces, se desmenuzó cuidadosamente con el fin de obtener las raíces y se determinó la longitud de la raíz pivotante (Figura 6).



**Figura 5. Muestreo de suelo con barrena hidráulica Giddings.**



**Figura 6. Obtención de raíz pivotante de las coberturas leguminosas para determinar su longitud promedio.**

### **3.4 Propiedades físicas evaluadas**

Los muestreos para la evaluación de las propiedades físicas y químicas, se realizaron en su mayoría a los 21 meses de establecidos los tratamientos, a excepción de las curvas de humedad, permeabilidad superficial en campo, permeabilidad en laboratorio y resistencia mecánica. Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad aproximada de 15 cm.

### 3.4.1 Textura

La determinación de textura se realizó por el método del hidrómetro de Bouyoucos (1962). P previo a este procedimiento se le removieron a las muestras de suelo, carbonatos con acetato de sodio (NaOAc), materia orgánica con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en baño de María a 80° C, (Kunze y Dixon, 1986) y separación de sales solubles por medio de filtros cilíndricos conectados a una bomba de vacío.

### 3.4.2 Densidad aparente de muestra cilíndrica de suelo sin perturbar

Se determinó por el método de Blake y Hartge (1986), en el cual se analiza la muestra de suelo “sin perturbar” (método del cilindro). Las muestras se tomaron con cilindros de aluminio de 7.6 cm de altura por 7.6 cm de diámetro. La muestra de suelo se secó al horno a 105° C. para obtener su peso seco. La densidad aparente ( $\rho_a$ ) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_a = \frac{M}{V} \quad (1)$$

donde:

M = peso del suelo seco al horno  
V = volumen interno del cilindro.

### 3.4.3 Densidad aparente de agregados

Se determinó por el método de la probeta descrito por Chepil (1950). Se utilizaron los agregados secos al aire retenidos entre el tamiz No. 4 (tamaño de orificio 4.7 mm) y 10 (tamaño de orificio 1.65 mm), de los cuales se pesaron aproximadamente 50 gramos para

depositarlos en una probeta de 50 ml. Con la probeta tapada con la mano se procedió a darle golpes sobre una superficie (sin exceder 50 golpes), para que los agregados se acomodaran uniformemente y así conocer el volumen ocupado por éstos. Con la siguiente fórmula se calculó la densidad de agregados (Chepil, 1950).

$$\left[ \left( \frac{M}{V} \right) \div 1.53 \right] * 2.65 \quad (2)$$

donde:

M = el peso de los agregados secos al aire (50 gramos)

V = el volumen ocupado por los 50 gramos de agregados

1.53 (g/cm<sup>3</sup>) = la densidad aparente de la arena de cuarzo, secada al horno

2.65 (g/cm<sup>3</sup>) = la densidad de partícula para arena de cuarzo.

#### 3.4.4 Estabilidad de agregados

Se utilizó el método de tamizado en agua, de Kemper y Rosenau (1986). Los agregados secos al aire recogidos entre los tamices No. 4 (tamaño de orificio 4.7 mm) y 10 (tamaño de orificio 1.65 mm), se colocaron sobre el tamiz No. 10 y éste sobre el No. 20 (tamaño de orificio 0.85 mm); se humedecieron por capilaridad durante 10 minutos y se agitaron en una máquina agitadora a 30 oscilaciones por minuto, durante 30 minutos (Figura 7). El porcentaje de agregados estables (% A. E.) se calculó mediante la fórmula:

$$\% A.E. = \left[ \left( \frac{A+B}{C} \right) * 100 \right] \quad (3)$$

donde:

A = el peso seco al horno, de los agregados sostenidos sobre el tamiz No. 10 (tamaño de orificio 1.65 mm).

B = el peso seco al horno, de los agregados sostenidos sobre el tamiz No. 20 (tamaño de orificio 0.85 mm).

C = el peso seco al horno, de una muestra de 30 gramos de agregados secos al aire.

El suelo se secó al horno a 105 ° C. por un período de 24 horas.



**Figura 7. A) Máquina agitadora para estabilidad de agregados. B) Agregados en tamiz No. 10 sobre el 20.**

### *3.4.5 Curvas de retención de humedad del suelo*

Se analizaron a los 12 y 23 meses de establecidos los tratamientos, por el método de celdas de presión Tempe. Las celdas constan de un plato de cerámica poroso (de 1 bar) en la base, que libera el agua del suelo dependiendo de la presión de aire aplicada por un compresor.

Para esta prueba se tomaron muestras de suelo sin perturbar con unos cilindros de cobre de 6 cm de altura por 8.8 cm de diámetro (Figura 8).

Se midió la retención de humedad del suelo, a intervalos de potencial mátrico entre 0 – 643 cm (0.001 – 0.632 bares, respectivamente). Se pesaron las celdas en cada potencial mátrico y se calculó para cada uno, el por ciento gravimétrico ( $\Theta_g$ ) con la fórmula:

$$\theta_g = \frac{M.S.H.}{M.S.S.} * 100 \quad (4)$$

donde:

M.S.H. = peso de suelo húmedo

M.S.S. = peso de suelo seco

El por ciento de humedad volumétrica ( $\Theta_v$ ) se determinó con la fórmula,

$$\theta_v = \theta_g * \frac{\rho_a}{\rho_{H_2O}} * 100 \quad (5)$$

donde:

$\rho_a$  = densidad aparente del suelo

$\rho_{H_2O}$  = densidad del agua.

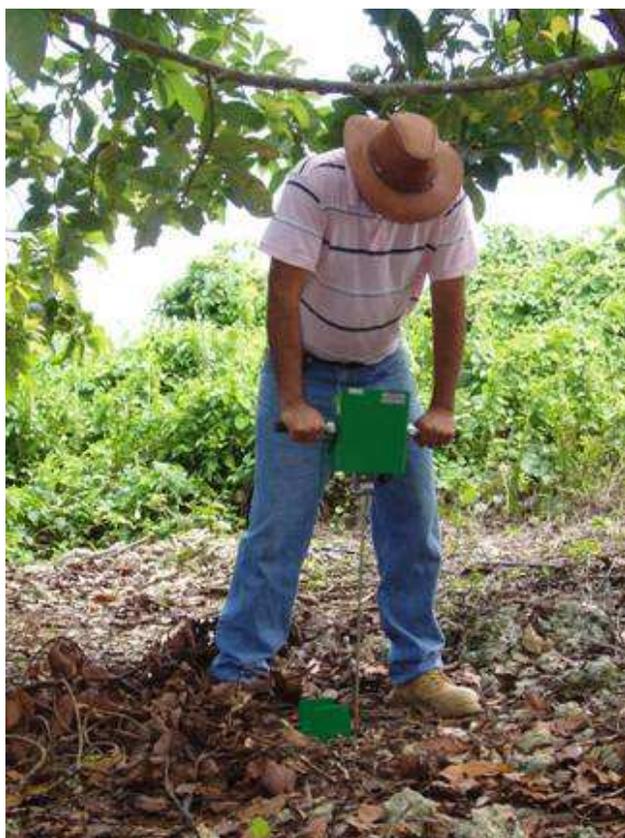
Con el contenido de humedad volumétrica en cada potencial mátrico, se construyeron las gráficas conocidas como “curvas de retención de humedad del suelo”.



**Figura 8. Sistema de celdas de presión Tempe, para realizar curvas de retención de humedad del suelo.**

#### *3.4.6 Resistencia mecánica*

Se midió a los 28 meses de establecidos los tratamientos, cuando el suelo estuvo aproximadamente a capacidad de campo, a un día luego de aplicación de riego. Se introdujo un penetrómetro de cono Rimik hasta una profundidad de aproximadamente 0.6 m de la superficie del suelo. Se tomaron tres medidas por parcela (Figura 9).



**Figura 9. Resistencia mecánica medida con penetrómetro Rimik.**

### *3.4.7 Permeabilidad superficial en campo*

Se realizaron pruebas a los 12 y 23 meses. Se midió la permeabilidad superficial a potencial constante desde un cilindro circular insertado en el suelo (Reynolds, 1993), en donde el agua del suelo se infiltró a través de un anillo de 10 cm de diámetro, insertado a una profundidad de 5 cm, manteniendo una cabecera hidráulica constante de 5 cm con un infiltrómetro de tipo Guelph (Reynolds y Elrick, 1985). La conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) fue calculada por la ecuación de Reynolds (1993):

$$K_{sat} = \frac{Gq}{[R(H + \lambda) + G\pi R^2]} \quad (6)$$

donde:

G = constante geométrica del sistema definida como:

$$G = 0.36 \frac{D}{R} + 0.184 \quad (7)$$

q = caudal o razón de infiltración (cm<sup>3</sup> / hr).

λ = parámetro inversamente proporcional al tamaño promedio de poros del suelo. Reynolds, (1993) recomienda asumir un valor de λ = 8 cm para “suelos típicos”, de poros de tamaño intermedio.

D = profundidad a la que se entierra el cilindro (5 cm)

R = radio interno del cilindro (5 cm)

H = nivel constante del agua mantenido en el cilindro (5 cm)

### 3.4.8 Permeabilidad por cabecera constante en laboratorio

Se realizó por el método de Klute y Dirksen (1986) a los 12 meses luego del transplante de las coberturas. La muestra de suelo se tomó en un cilindro de 6 cm de largo por 8.8 cm de diámetro. Por 24 horas se saturó con agua, hasta las ¾ partes del alto del cilindro para retirar el aire contenido en la muestra de suelo; posteriormente se continuó saturando por otras 24 horas con el suelo completamente cubierto con agua para completar el proceso de saturación. Se midió la cantidad de agua recogida en las probetas a determinados intervalos de tiempo (Figura 10); para calcular la permeabilidad (cm / hora), se utilizó la siguiente ecuación:

$$Permeabilidad(cm / hr) = \left( \frac{q}{A} \right) * \left( \frac{L}{h + L} \right) \quad (8)$$

donde:

q = caudal (cm<sup>3</sup> / hr)

A = área interna del cilindro

L = longitud del cilindro (muestra de suelo)

h = altura del agua sobre el suelo



**Figura 10. Sistema de permeabilidad por cabecera constante en laboratorio.**

### **3.5 Propiedades químicas evaluadas**

#### *3.5.1 Fósforo disponible*

La determinación de fósforo disponible para el suelo Coto se realizó por el método Bray I, sugerido para suelos ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos (pH entre 6.0 a 7.2) (Bray y Kurtz, 1945), mientras que para el suelo San Antón se utilizó el método de Olsen recomendado para suelos alcalinos y calcáreos (pH >7.2) (Olsen et al., 1954).

### 3.5.2 *Nitrógeno total*

El porcentaje de nitrógeno en el suelo se determinó por el método de Kjeldahl (Bremner, 1996), para la digestión de la muestra se añadió una tableta de catalizadores (1.5 g de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 0.15 g de CuSO<sub>4</sub>).

### 3.5.3 *Materia orgánica y Carbono orgánico*

El por ciento de carbono orgánico se realizó por el método de oxidación húmeda de Walkley - Black (Nelson y Sommers, 1996). El por ciento de materia orgánica (M.O.) se estimó con la fórmula:

$$\%M.O. = (\%C.O.)(1/0.77)(1/0.58) \quad (11)$$

### 3.5.4 *pH*

Se determinó el pH del suelo en una suspensión acuosa 2:1 (10 ml. de agua: 5 g. de suelo); se agitó por 5 minutos (Thomas, 1996). Se utilizó un metro pH modelo Orion 701.

## 3.6 **Análisis de datos**

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Infostat 2006, por medio de ANOVA; para determinar diferencias significativas se utilizó la prueba de Tukey (p<0.05). Se analizaron, en cada localidad, como un diseño completamente aleatorizado y en arreglo de parcelas divididas las variables: permeabilidad en campo, en la parcela completa se colocaron los años (2007 y 2008) y en la subparcela los tratamientos. Para la prueba de

resistencia mecánica, en la parcela completa se colocaron las profundidades y en la subparcela los tratamientos.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSION

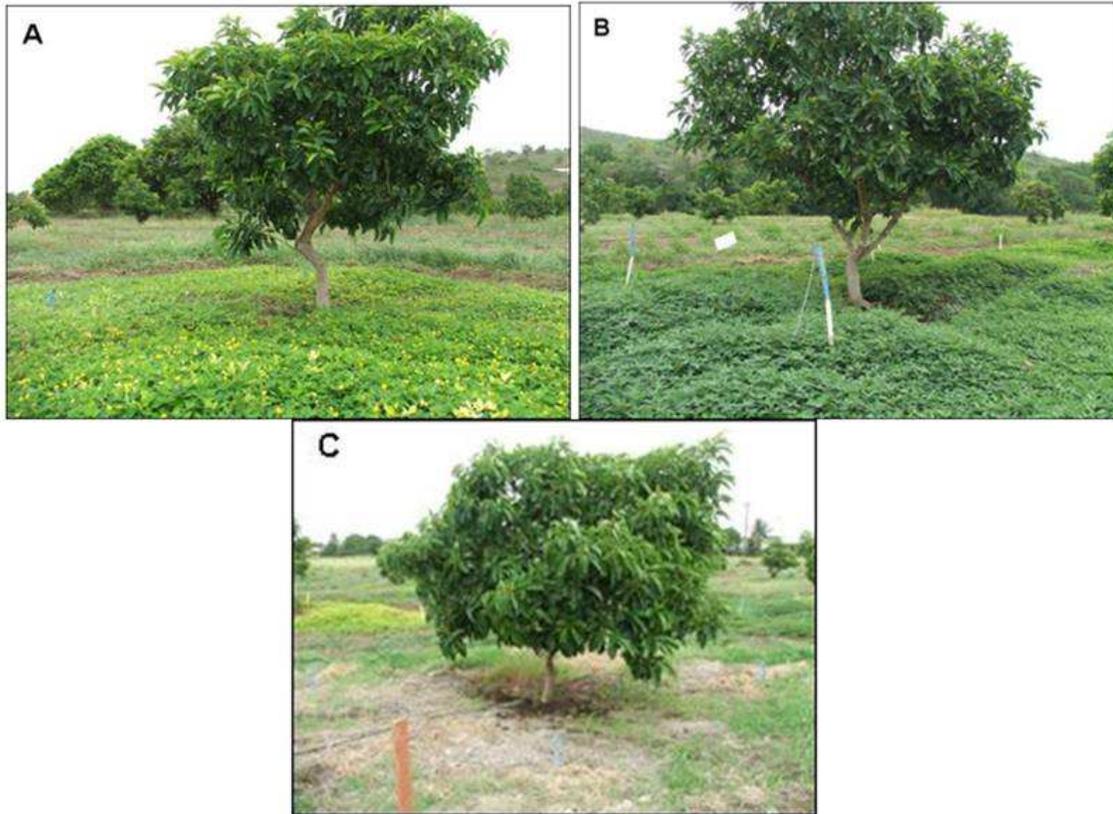
### 4.1 Establecimiento de los tratamientos

#### 4.1.1 Juana Díaz

Una vez establecida la siembra de aguacates se transplantaron las coberturas. Inicialmente *A. pintoi* ‘Porvenir’ se estableció más rápidamente que *A. glabrata* TARS 17095. Sin embargo fue necesario el control manual de malezas para mantener las parcelas libres de las mismas. Luego de 3 meses, las dos especies presentaron un comportamiento similar con un 80% de cubrimiento, llegando a alcanzar el 100% de cobertura a los 7 meses de establecidas. En la Figura 11 se observan los tratamientos a los 24 meses de establecidos.

El desarrollo vegetativo de *A. glabrata* fue superior al de *A. pintoi*. Durante la evaluación realizada a los 16 meses se encontró en promedio para *A. pintoi* 19 t /ha de materia seca y 2.32 % de N; y para *A. glabrata* 27.8 t /ha de materia seca y 2.40 % de N, reportándose diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) sólo en materia seca. En relación a la penetración de las raíces en el suelo, la longitud promedio de las raíces obtenidas para *A. pintoi* fue de 100 cm y para *A. glabrata* de 90.75 cm, evidenciándose diferencia significativa. La competencia con las malezas fue superior en *A. glabrata*, ya que su desarrollo fue más agresivo, impidiendo el establecimiento de las mismas. Las malezas encontradas con mayor frecuencia en los predios fueron la yerba de guinea (*Megathyrsus maximus* (Jacq.) B. K. Simons & S. W. L. Jacobs) y el cohítre (*Commelina diffusa* Burm. f.).

Durante la época seca predominante en los meses de verano, *A. glabrata* fue más tolerante a condiciones de sequía que *A. pintoi*. En el 2007 las épocas secas fueron desde enero a marzo, junio a julio y noviembre a diciembre, con un promedio de 44.69 mm de precipitación mensual (USDA-NRCS, 2008a).



**Figura 11. Tratamientos a los 24 meses de establecidos. (A) *Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg. ‘Porvenir’, (B) *Arachis glabrata* Benth. TARS 17095 y (C) Control, en la Estación Experimental Agrícola Fortuna (Juana Díaz).**

Las coberturas vegetales evaluada en las dos localidades no presentaron enfermedades foliares o de raíz durante el experimento. Sin embargo, en la Estación Experimental de

Fortuna, en las parcelas con *A. pintoi*, a los 24 meses de establecidas, se identificó *Icerya purchasi* Maskell como plaga (Figura 12), la cual causó daño defoliando la cobertura.



**Figura 12.** *Icerya purchasi* (cortesía de Avas Hamon FDACS-DPI).

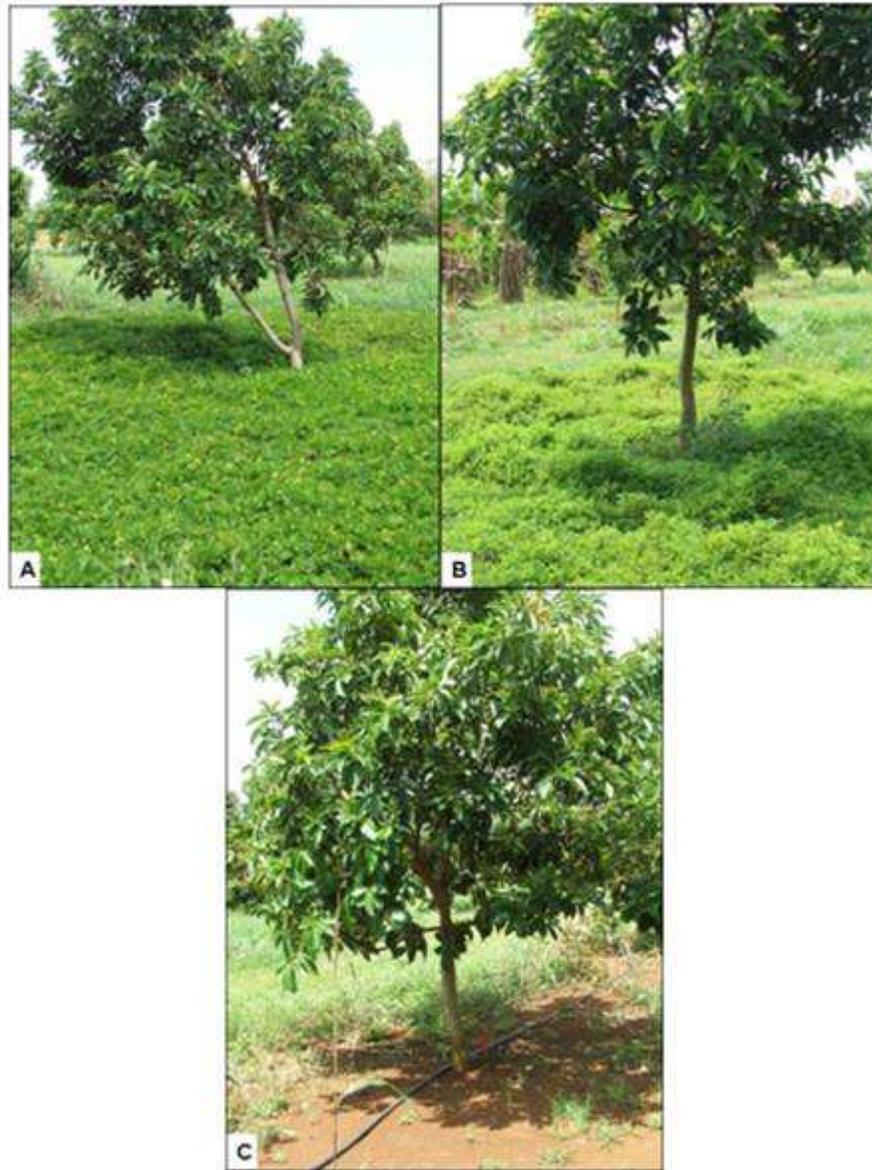
#### 4.1.2 *Isabela*

Ambas coberturas, *A. pintoi* 'Porvenir' y *Desmodium heterophyllum* CIAT 349, presentaron un rápido establecimiento, alcanzando 100% de cubrimiento a los 3 meses. En la Figura 13 se presentan los tratamientos a los 24 meses.

Se observó que *A. pintoi* presentó un mejor desarrollo vegetativo que *Desmodium heterophyllum*. A los 16 meses, *A. pintoi*, en promedio, produjo 34.5 t /ha con 2.7% de N y *Desmodium heterophyllum* 12.5 t /ha con 2.57 % de N, presentándose diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) sólo en materia seca. La longitud promedio de las raíces de *A. pintoi* fue de 87.5 cm y para *Desmodium heterophyllum* de 58.7 cm, registrándose diferencia significativa.

En lo referente a la competencia con las malezas, *A. pintoi* fue más agresivo que *Desmodium heterophyllum*. Las malezas de mayor frecuencia encontradas en los predios fueron el cohítre (*Commelina diffusa* Burm. f.), vinagrillo morado (*Oxalis corymbosa* DC.) y la yerba guinea (*Megathyrus maximus* (Jacq.) B. K. Simons & S. W. L. Jacobs).

Durante la época seca *A. pintoi* fue más tolerante que *Desmodium heterophyllum*. En el 2007 las épocas secas fueron desde enero a febrero y junio a julio, con un promedio de 51.05 mm de precipitación mensual (USDA-NRCS, 2008a).



**Figura 13. Tratamientos a los 24 meses de establecidos. (A) *Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg. 'Porvenir', (B) *Desmodium heterophyllum* (Willd.) DC. CIAT 349 y (C) Control, en la Estación Experimental Agrícola de Isabela.**

## 4.2 Propiedades físicas evaluadas

### 4.2.1 Textura

En la unidad experimental de Juana Díaz, se obtuvo una textura arcillosa en la capa superficial (0-15 cm). En la Tabla 1 se presentan las proporciones granulométricas. Los valores de textura fueron muy parecidos indicando uniformidad del suelo en toda el área experimental.

**Tabla 1. Composición textural del suelo en los tratamientos en la localidad de Juana Díaz.**

Tratamientos	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura
Control	28	22	50	Arcillosa
<i>A. pintoi</i>	28	20	52	Arcillosa
<i>A. glabrata</i>	28	23	49	Arcillosa

En la unidad experimental de Isabela, también se obtuvo una textura arcillosa en la capa superficial (0-15 cm). Las proporciones granulométricas se presentan en la Tabla 2. Al igual que en Juana Díaz la textura fue muy uniforme en toda el área experimental.

**Tabla 2. Composición textural del suelo en los tratamientos en la localidad de Isabela.**

Tratamientos	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura
Control	11	14	76	Arcillosa
<i>A. pintoi</i>	17	15	68	Arcillosa
<i>D. heterophyllum</i>	14	14	72	Arcillosa

### 4.2.2 Densidad aparente de muestras sin perturbar y densidad aparente de agregados

Para densidad aparente en muestras sin perturbar en la localidad de Juana Díaz, se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre el tratamiento con *A. glabrata* y el control. En el

tratamiento con *A. glabrata* se observó una densidad aparente de 1.3 g /cm<sup>3</sup>, mientras que en el control se observó una mayor densidad aparente con 1.5 g /cm<sup>3</sup>. Esto coincide con lo reportado por Liyanage et al. (1988), quienes observaron que cultivos de coberturas aumentan la porosidad al suelo. En la localidad de Isabela no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 3). Las coberturas no afectaron esta propiedad en el suelo, probablemente, por ser un suelo altamente meteorizado es más estable en sus propiedades. Resultados similares a los de Isabela (Oxisol) fueron observados por Castillo et al. (2005), en un Ultisol en México, donde la densidad aparente no fue afectada por los tratamientos. La densidad aparente en el Oxisol en Isabela, en su estado natural, es menor a la encontrada en el Molisol en Juana Díaz. Esto puede atribuirse a una mayor porosidad.

En cuanto a densidad de agregados no se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos en las localidades, pero se observó una tendencia a la disminución de la densidad de agregados en los tratamientos con coberturas. En la Tabla 3 se resumen los resultados de los promedios de densidad de agregados en cada localidad.

**Tabla 3. Valores promedios de densidad aparente (en muestras sin perturbar) y densidad de agregados a los 21 meses de establecidos los tratamientos.**

Juana Díaz			Isabela		
Tratamientos	D. aparente (g/cm <sup>3</sup> )	D. agregados (g/cm <sup>3</sup> )	Tratamientos	D. aparente (g/cm <sup>3</sup> )	D. agregados (g/cm <sup>3</sup> )
<i>A. glabrata</i>	1.30 a	1.63 a	<i>A. pintoi</i>	1.31 a	1.57 a
<i>A. pintoi</i>	1.47 ab	1.69 a	<i>D. heterophyllum</i>	1.31 a	1.57 a
Control	1.51 b	1.71 a	Control	1.35 a	1.61 a

Medias con letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.3 Estabilidad de agregados

En la localidad de Juana Díaz se encontró, en promedio, diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en estabilidad de agregados, entre el tratamiento con *A. glabrata* (46.24%) y el control (22.36%) (Tabla 4).

En la localidad de Isabela no se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos, aunque se observó una tendencia en mayor porcentaje de estabilidad de agregados en los tratamientos *A. pinto* (70.26%) y *D. heterophyllum* (61.61%) con respecto al control (58.11%) (Tabla 4).

El aumento relativo en estabilidad de agregados en el suelo San Antón es de un 52 %, mientras que en suelo Coto es de 17 %.

Las diferencias significativas observadas se deben, en parte, a la protección que brindan las coberturas al suelo (Folorunso et al., 1992) y a que las coberturas por medio de sus raíces aumentan el porcentaje de estabilidad de agregados en agua, debido a la acción cementante de exudados (principalmente polisacáridos) o de los productos que emiten durante su descomposición, obteniéndose una mejor estructura del suelo (McVay, 1989). También se debe tener en cuenta que Coto (Oxisol) es un suelo con buena estructura, tiene alta estabilidad de agregados en su estado natural (Soil Survey Staff, 1994 y 2002), la cual se debe en gran parte a la presencia de óxidos de Fe y caolinita, agentes cementantes de las partículas de suelo (Jaramillo, 2002).

**Tabla 4. Porcentaje promedio de estabilidad de agregados a los 21 meses de establecidos los tratamientos.**

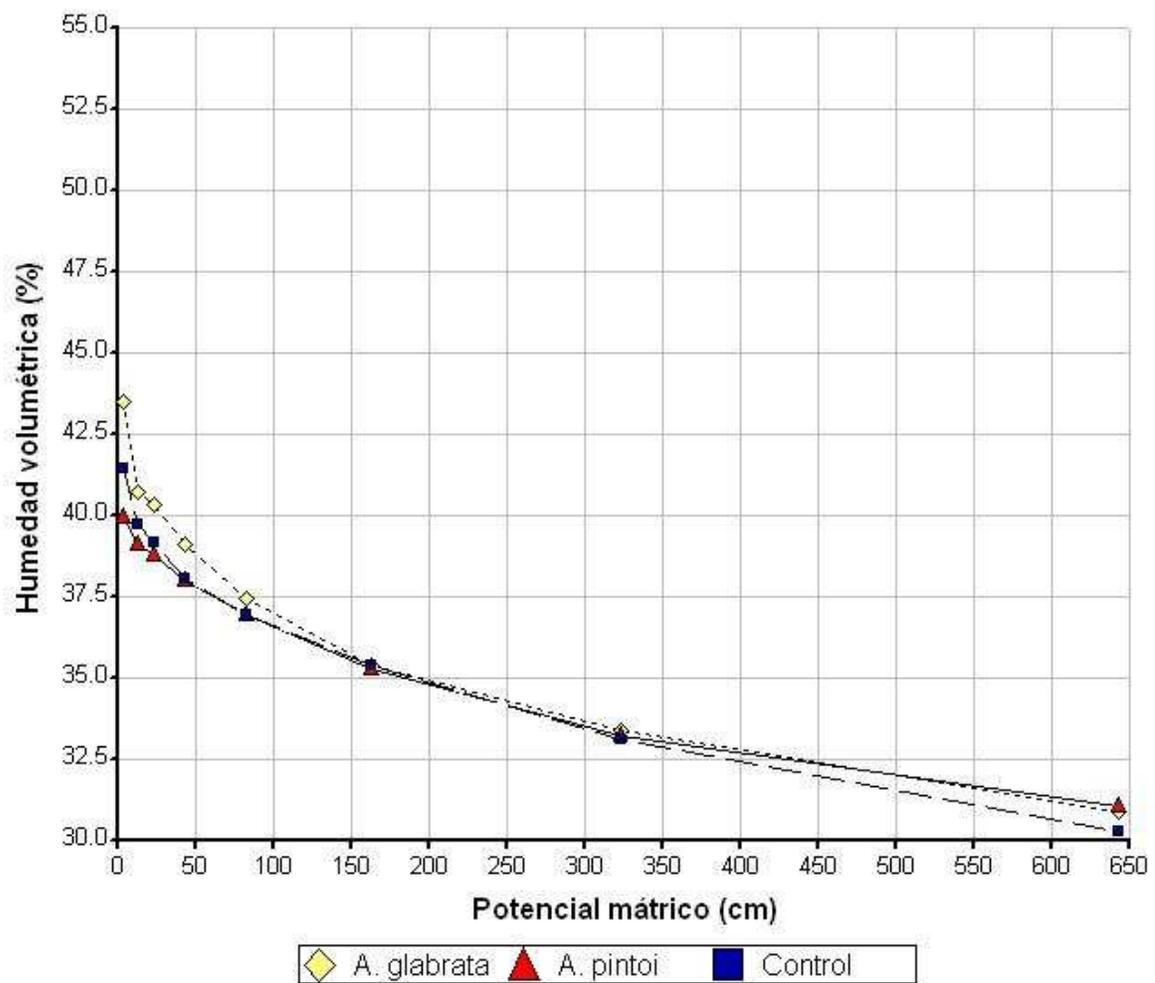
<b>Juana Díaz</b>		<b>Isabela</b>	
Tratamientos	Estabilidad de Agregados (%)	Tratamientos	Estabilidad de Agregados (%)
Control	22.36 a	Control	58.11 a
<i>A. pinto</i>	28.40 a	<i>D. heterophyllum</i>	61.61 a
<i>A. glabrata</i>	46.24 b	<i>A. pinto</i>	70.26 a

*Medias con letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

#### 4.2.4 Curvas de retención de humedad del suelo

Se realizaron las curvas de retención de humedad del suelo (a los 12 meses) a diferentes potenciales mátricos (en Juana Díaz Figura 14 e Isabela Figura 15). Con base en estas gráficas se determinó la humedad retenida en los intervalos de succión 3 - 43 cm y 43 - 643 cm, correspondiente a intervalos de tamaño de poro de  $0.5 \times 10^{-1} - 0.35 \times 10^{-2}$  cm y  $0.35 \times 10^{-2} - 0.23 \times 10^{-3}$  cm, respectivamente (Tabla 5).

En la localidad de Juana Díaz, en cuanto a la pérdida de humedad volumétrica (%), no se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ). El suelo con el tratamiento *A. glabrata* perdió, en promedio, mayor humedad en los dos intervalos de potencial mátrico con 4.43 y 8.21 %, respectivamente, aunque no se reportaron diferencias significativas (Tabla 5). Este comportamiento sugiere la presencia de un mayor contenido de poros grandes, los cuales son los que liberan el agua retenida a potenciales mátricos bajos, y de poros intermedios los cuales almacenan agua disponible para las plantas. La macroporosidad beneficia a las especies cobertoras favoreciendo la proliferación de raíces y rápida evacuación de excesos de agua (Baver et al., 1973; Pla, 1977).



**Figura 14. Curvas promedio de retención de humedad del suelo a diferentes potenciales mátricos (cm), a los 12 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola Fortuna (Juana Díaz).**

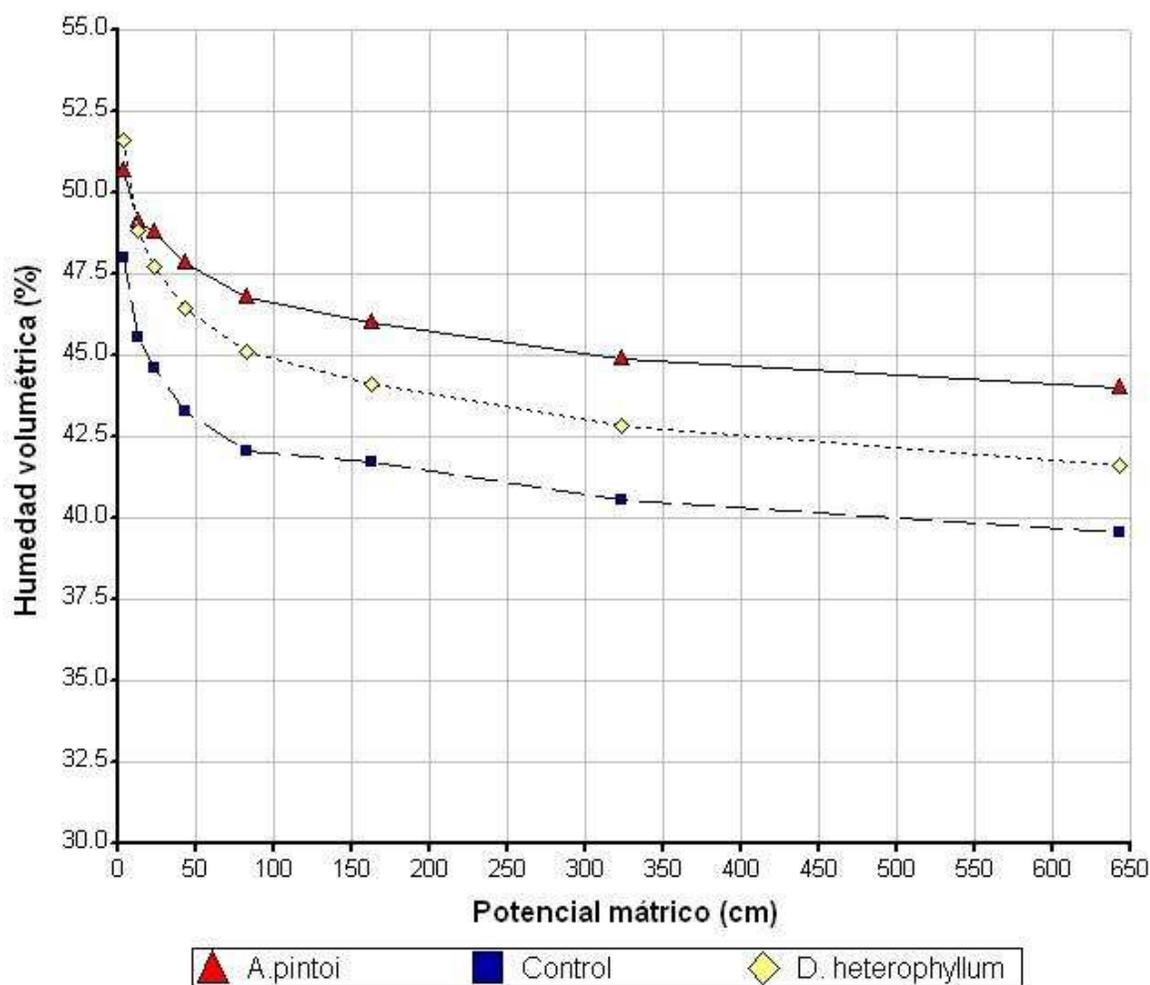
**Tabla 5. Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje promedio de humedad volumétrica drenado a diferentes intervalos de potencial mátrico, a los 12 meses.**

Juana Díaz			Isabela		
Tratamientos	Ψ mátrico 3 – 43 cm	Ψ mátrico 43 – 643 cm	Tratamientos	Ψ mátrico 3 – 43 cm	Ψ mátrico 43 – 643 cm
	Pérdida humedad volumétrica (%)			Pérdida humedad volumétrica (%)	
<i>A. pintoi</i>	1.94 a	6.93 a	<i>A. pintoi</i>	2.80 a	3.85 a
Control	3.41 a	7.78 a	Control	4.70 a	4.88 a
<i>A. glabrata</i>	4.43 a	8.21 a	<i>D. heterophyllum</i>	5.13 a	4.82 a

Medias con letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

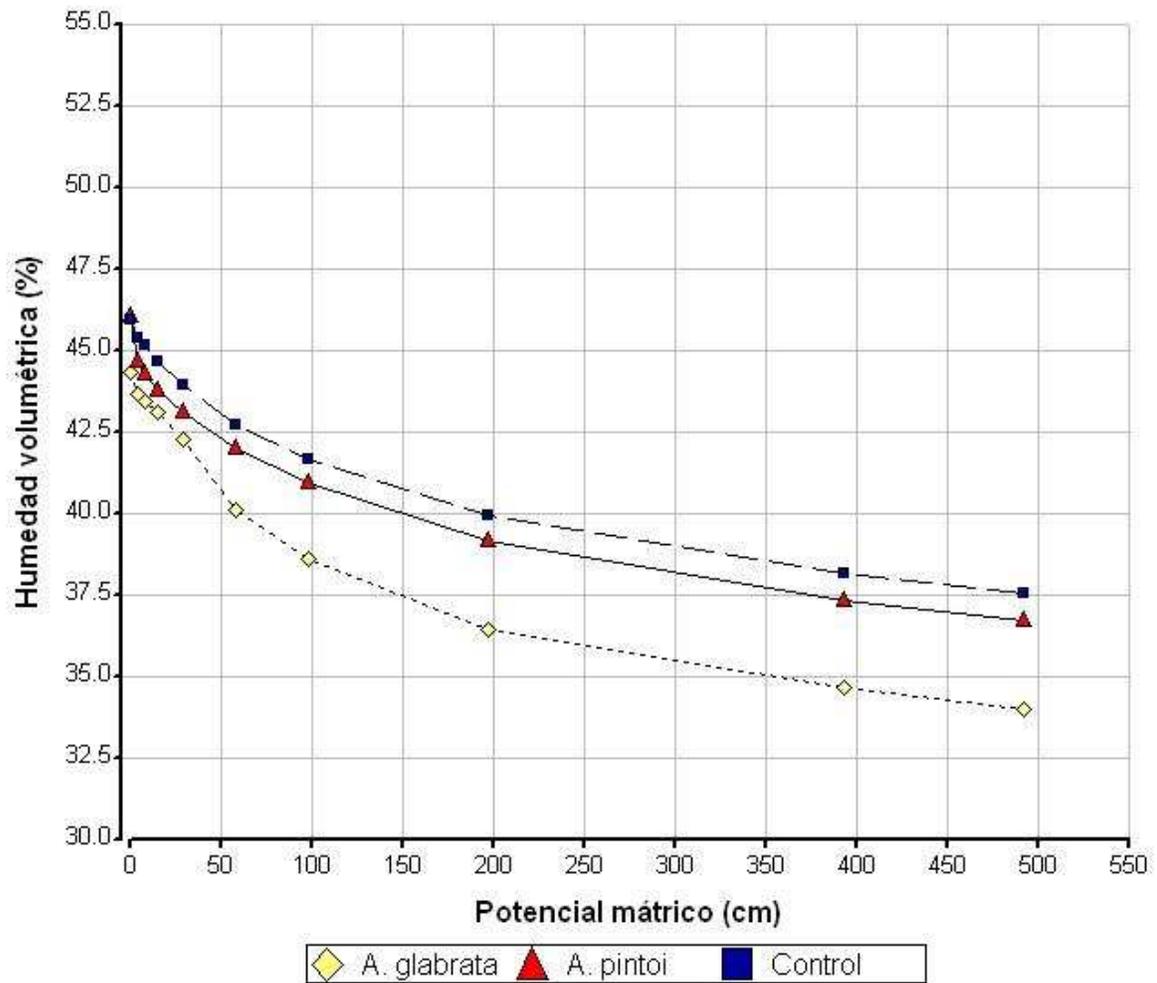
En la localidad de Isabela, los tratamientos *A. pintoi* y *D. heterophyllum* tienen un contenido de humedad volumétrica (%) superior al control (Figura 15); sin embargo no se reportaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre éstos.

Nótese de la Tabla 5 que el agua retenida en el intervalo de succión 3 – 43 cm (poros más grandes) fue parecida para ambos suelos. Sin embargo, en el suelo de Juana Díaz, la cantidad de agua retenida en el intervalo 43 - 643 cm (correspondiente a poros intermedios) fue mucho mayor que en Isabela. Esto refleja la tendencia bien conocida de Oxisoles (Sánchez, 1981) a retener poca agua en forma disponible para las plantas.

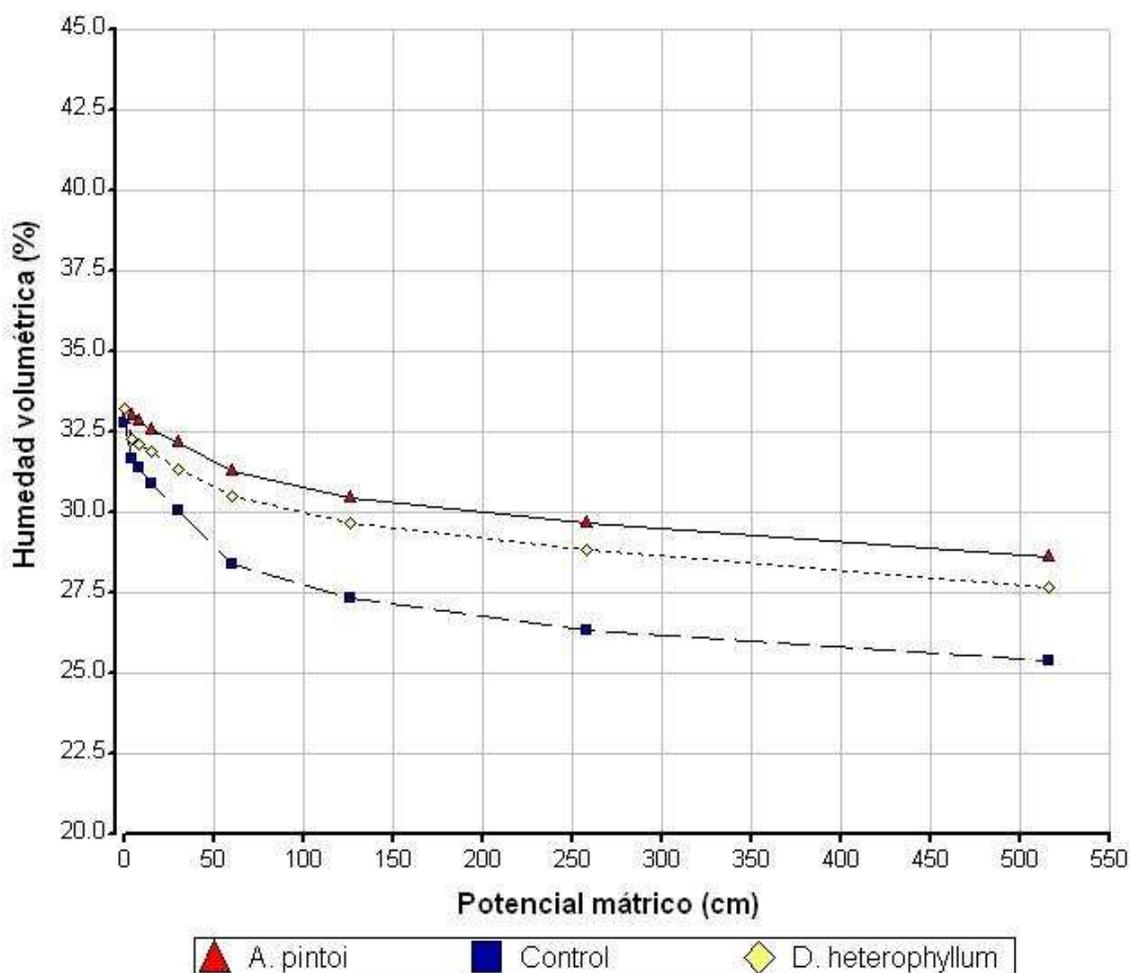


**Figura 15. Curvas promedio de retención de humedad del suelo a diferentes potenciales mátricos (cm), a los 12 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola de Isabela.**

Se repitieron las curvas de retención de humedad en Juana Díaz (Figura 16) e Isabela (Figura 17) a los 23 meses y no se observaron diferencias significativas en los intervalos de potencial mátrico para ninguna de las localidades (Tabla 6).



**Figura 16.** Curvas promedio de retención de humedad del suelo a diferentes potenciales mátricos (cm), a los 23 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola Fortuna (Juana Díaz).



**Figura 17. Curvas promedio de retención de humedad del suelo a diferentes potenciales mátricos (cm), a los 23 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola de Isabela.**

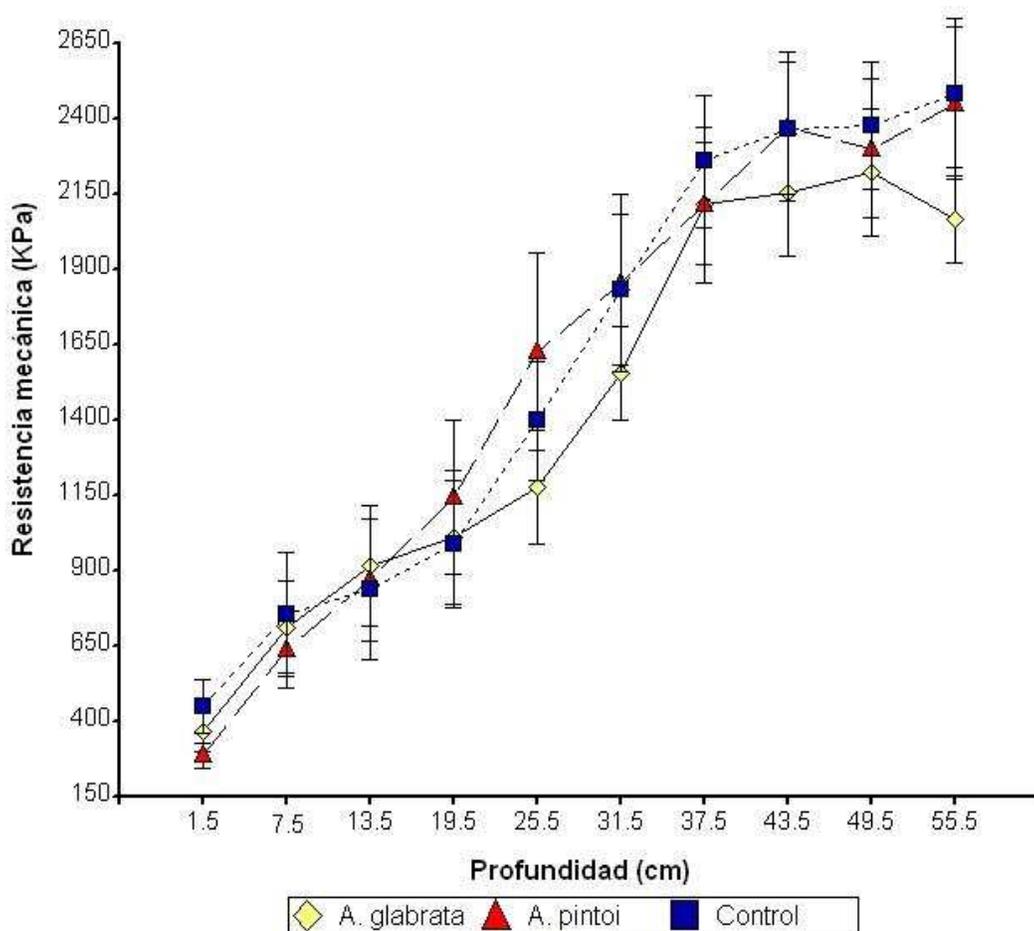
**Tabla 6. Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje promedio de humedad volumétrica drenado a diferentes intervalos de potencial mátrico, a los 23 meses.**

Tratamientos	Juana Díaz		Isabela		
	Ψ mátrico 0 – 58 cm	Ψ mátrico 58 – 492 cm	Tratamientos	Ψ mátrico 0 – 60 cm	Ψ mátrico 60 – 516 cm
	Pérdida humedad volumétrica (%)			Pérdida humedad volumétrica (%)	
Control	3.22a	5.20a	<i>A. pintoi</i>	3.03 a	2.50 a
<i>A. pintoi</i>	4.06a	5.28a	Control	4.40 a	3.02 a
<i>A. glabrata</i>	4.22a	6.13a	<i>D. heterophyllum</i>	2.74 a	2.84 a

Medias con letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

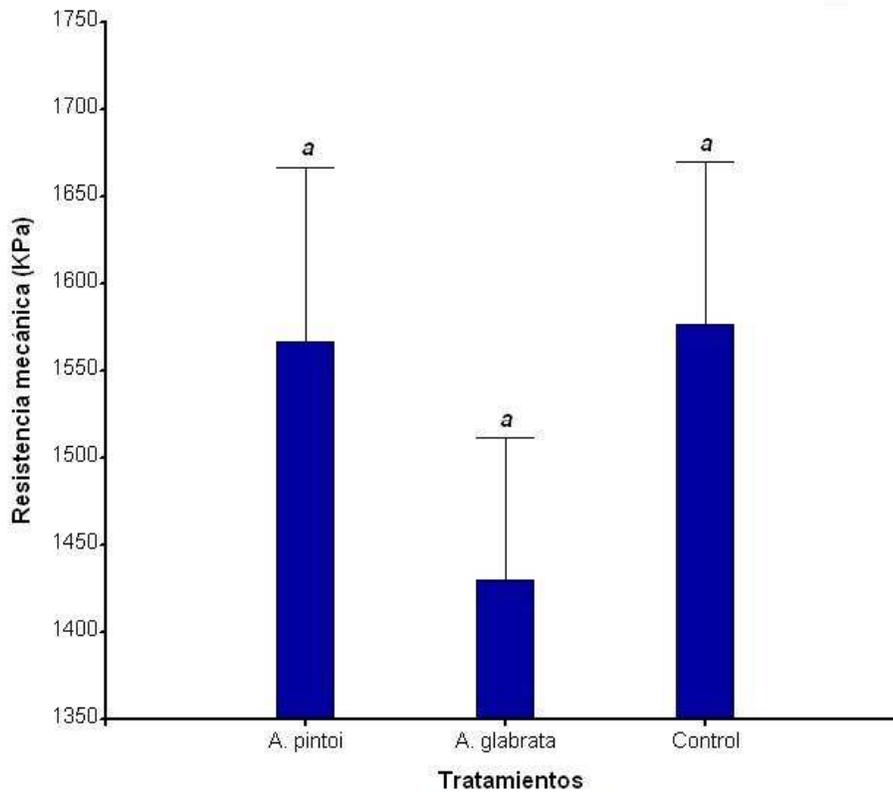
#### 4.2.5 Resistencia mecánica

En Juana Díaz, la interacción tratamiento por profundidad no fue significativa ( $p \leq 0.05$ ), es decir, la resistencia mecánica no se vio afectada, a través de las diferentes profundidades, por los tratamientos (Figura 18). Tampoco se encontraron diferencias significativas en el promedio de resistencia mecánica por tratamiento, pero se observó una tendencia a menor resistencia en *A. glabrata* (1,430 kPa) versus *A. pintoii* (1,567 kPa) y control (1,576 kPa) (Figura 19).



Los símbolos representan las medias y las barras la desviación estándar.

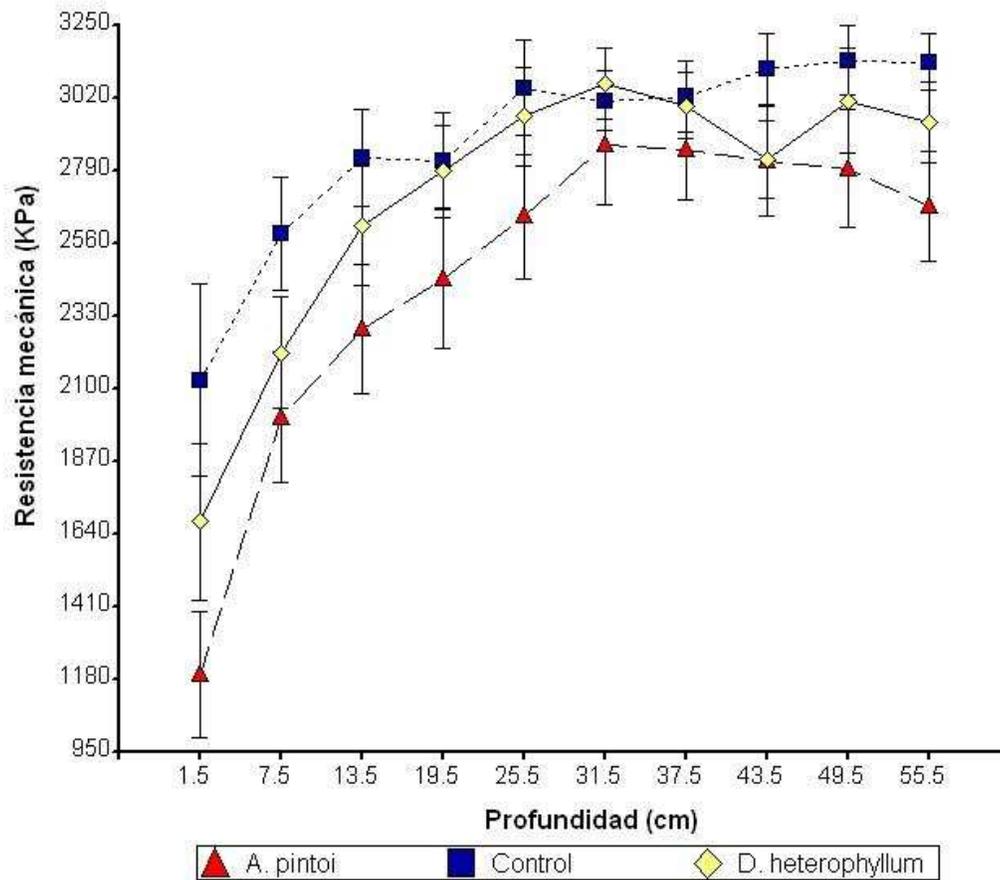
**Figura 18.** Resistencia mecánica promedio a diferentes profundidades, a los 28 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola Fortuna (Juana Díaz).



Las barras sobre las columnas representan la desviación estándar.

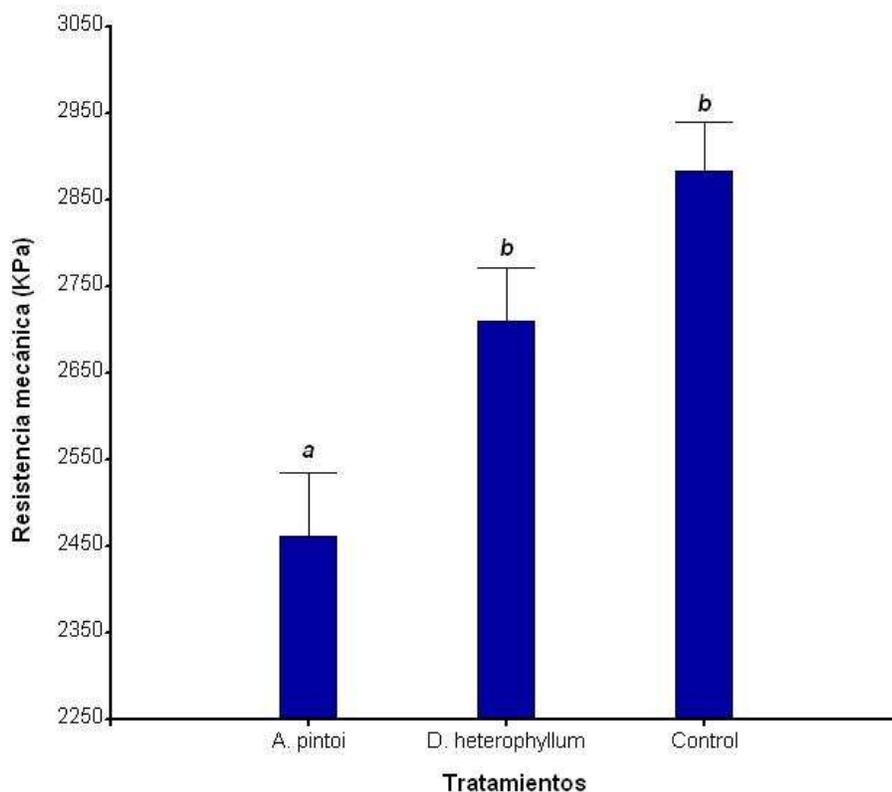
**Figura 19. Resistencia mecánica promedio, a los 28 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola Fortuna (Juana Díaz).**

En Isabela, la interacción tratamiento por profundidad tampoco fue significativa ( $p \leq 0.05$ ), es decir, la resistencia mecánica no se vio afectada, a través de las diferentes profundidades, por los tratamientos (Figura 20). Se encontraron diferencias significativas en el promedio de resistencia mecánica por tratamiento, entre el tratamiento *A. pintoi* (2,461 kPa) versus *D. heterophyllum* (2,709 kPa) y control (2,884 kPa) (Figura 21). Es posible que la resistencia mecánica, sea menor por la mayor penetración de las raíces de *A. pintoi*.



Los símbolos representan las medias y las barras la desviación estándar.

**Figura 20. Resistencia mecánica promedio a diferentes profundidades, a los 28 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola de Isabela.**



Las barras sobre las columnas representan la desviación estándar.

**Figura 21. Resistencia mecánica promedio, a los 28 meses de establecidos los tratamientos en la Estación Experimental Agrícola Isabela.**

#### 4.2.6 Permeabilidad en campo

En Juana Díaz, la permeabilidad cuantificada por conductividad hidráulica  $K_{sat}$  no fue afectada significativamente por la época (años). En el 2007 no se reportaron diferencias significativas, pero se destaca una mayor permeabilidad en las cobertoras; para el 2008, en promedio, el tratamiento significativamente mayor fue *A. pintoi* (Tabla 7). Este comportamiento puede deberse a diferencias en su sistema radicular el cual favorece el desplazamiento del agua a través de los poros. De acuerdo a Simpson et al. (1995), estas especies tiene enraizamiento en los nudos; en la medida que éstos son cubiertos por el suelo y los residuos, la humedad estimula el crecimiento de las raíces. En *A. pintoi* se observó en los primeros 20 cm de profundidad, una mayor cantidad de raíces secundarias que en *A. glabrata*.

En la localidad de Isabela no se observó un efecto significativo en la época ( $p \leq 0.05$ ) sobre los tratamientos (Tabla 7). No se reflejó efecto de las coberturas sobre  $K_{sat}$  en este Oxisol, pues la permeabilidad se ve favorecida por la alta estabilidad de agregados natural, que posee este suelo. El suelo Coto es un suelo bien drenado y moderadamente permeable con una estructura de bloque subangular (Soil Survey Staff, 2002).

**Tabla 7. Permeabilidad promedio en campo (cm/hora) a los 12 (2007) y 23 (2008) meses de establecidos los tratamientos.**

Juana Díaz			Isabela		
Tratamientos	2007 Ksat (cm/hr)	2008 Ksat (cm/hr)	Tratamientos	2007 Ksat (cm/hr)	2008 Ksat (cm/hr)
Control	2.93 a	1.39 a	<i>A. pintoi</i>	5.24 a	4.36 a
<i>A. pintoi</i>	4.59 a	6.29 b	Control	10.52 a	4.27 a
<i>A. glabrata</i>	6.87 a	2.85 ab	<i>D. heterophyllum</i>	11.90 a	5.44 a

Medias con letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.7 Permeabilidad por cabecera constante en laboratorio

En Juana Díaz, para los datos de permeabilidad promedio, los supuestos de homogeneidad y normalidad no se cumplen debido a la alta variabilidad de los datos. Se presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre el tratamiento con *A. glabrata* siendo mayor la permeabilidad en el suelo (5.05 cm/hr) versus *A. pintoi* y control.

En Isabela, se cumple el supuesto de normalidad pero no de homogeneidad debido a la gran variabilidad de los datos. Se observa en la Tabla 8, en promedio, un efecto significativo ( $p \leq 0.05$ ) para permeabilidad entre el tratamiento con *A. pintoi* que fue superior con 6.95 cm/hr versus el control (2.49 cm/hr).

**Tabla 8. Permeabilidad promedio en laboratorio (cm/hora) a los 12 meses de establecidos los tratamientos.**

<b>Juana Díaz</b>		<b>Isabela</b>	
Tratamientos	2007 Ksat (cm/hr)	Tratamientos	2007 Ksat (cm/hr)
Control	1.70 a	Control	2.49 a
<i>A. pintoi</i>	2.25 a	<i>D. heterophyllum</i>	4.25 ab
<i>A. glabrata</i>	5.05 b	<i>A. pintoi</i>	6.95 b

*Medias con letras distintas indican diferencias significativas (p≤0.05)*

En resumen, las pruebas de infiltración tanto de campo como laboratorio indican efectos de cobertura sobre conductividad hidráulica del suelo en Juana Díaz. En el caso de Isabela, las pruebas de laboratorio indicaron diferencias significativas, pero no se obtuvieron diferencias en las pruebas de campo.

### **4.3 Propiedades químicas evaluadas**

#### *4.3.1 Fósforo disponible*

En Juana Díaz en lo referente a fósforo disponible ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) del suelo (Tabla 9), el control (18.67) superó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) a *A. glabrata* (13.36). Esto se debe a que las leguminosas tienen una gran capacidad de absorción de fósforo para su funcionamiento y desarrollo (Botero, 1990; Rao et al., 1993a, b; Rao y Kerridge, 1995), mientras que el control, en general, permaneció libre de coberturas. El contenido de fósforo en el tratamiento con *A. pintoi* (15.07) no fue significativamente diferente a *A. glabrata* o al control.

En la localidad de Isabela, aunque no se detectaron diferencias significativas, se observa una tendencia al mismo comportamiento del control versus los tratamientos con coberturas (Tabla 9). Estos resultados contrastan con los observados por Pérez-Jiménez et al. (1996) en

un Inceptisol, en donde el contenido de P en el suelo con coberturas leguminosas fue superior al control.

**Tabla 9. Propiedades químicas de los suelos a los 21 meses de establecidos los tratamientos.**

Tratamientos	Juana Díaz (San Antón)	Tratamientos	Isabela (Coto)
Fósforo disponible (mg kg <sup>-1</sup> )			
<i>A. glabrata</i>	13.36 a	<i>A. pintoi</i>	13.52 a
<i>A. pintoi</i>	15.07 ab	<i>D. heterophyllum</i>	19.13 a
Control	18.67 b	Control	28.67 a
Nitrógeno total (%)			
Control	0.14 a	<i>D. heterophyllum</i>	0.23 a
<i>A. pintoi</i>	0.15 a	<i>A. pintoi</i>	0.23 a
<i>A. glabrata</i>	0.18 b	Control	0.23 a
Carbono orgánico (%)			
Control	1.21 a	<i>D. heterophyllum</i>	1.22 a
<i>A. pintoi</i>	1.23 a	<i>A. pintoi</i>	1.24 a
<i>A. glabrata</i>	1.37 a	Control	1.27 a
Materia orgánica (%)			
Control	2.71 a	<i>D. heterophyllum</i>	2.74 a
<i>A. pintoi</i>	2.76 a	<i>A. pintoi</i>	2.77 a
<i>A. glabrata</i>	3.07 a	Control	2.84 a
Relación C :N			
<i>A. glabrata</i>	7.5:1 a	<i>A. pintoi</i>	5.3 :1 a
<i>A. pintoi</i>	8.0: 1 a	<i>D. heterophyllum</i>	5.4 :1 a
Control	8.5:1 a	Control	5.5 :1 a
pH			
Control	7.68 a	<i>D. heterophyllum</i>	6.14 a
<i>A. pintoi</i>	7.78 a	<i>A. pintoi</i>	6.16 a
<i>A. glabrata</i>	7.78 a	Control	6.30 a

Medias con letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

### 4.3.2 Nitrógeno total

En la localidad de Juana Díaz, el porcentaje (%) promedio de nitrógeno total en suelo, bajo el tratamiento de *A. glabrata* (0.18) superó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) al control (0.14). En la localidad de Isabela no se observó ningún efecto de los tratamientos sobre esta variable (Tabla 9). En un estudio realizado por Castillo et al. (2005) en un Ultisol, *A. pintoii* tuvo un efecto significativo, aumentando el porcentaje de N del suelo. Pérez-Jiménez et al., (1996), también reportaron incrementos en el porcentaje de Nitrógeno en un Ultisol. Además, Thomas (1995) y Suárez-Vásquez et al. (1992) han reportado que *A. pintoii* fija una gran parte de su N total, 81- 89% y 63%, respectivamente.

### 4.3.3 Materia orgánica, Carbono orgánico y relación C: N

En promedio, para las dos localidades Juana Díaz e Isabela, no se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos en cuanto a porcentaje (%) de materia orgánica, porcentaje (%) de carbono orgánico y relación C: N (Tabla 9). Sin embargo, se puede observar la tendencia que hay en la localidad de Juana Díaz (Molisol), en donde se advierte una mejoría en estas variables en los tratamientos con coberturas. Varios investigadores (Pérez-Jiménez et al., 1996; Sotomayor-Ramírez et al., 2004; Castillo et al., 2005), reportaron incrementos significativos en porcentaje de materia orgánica y en la relación C: N (considerándose como ideal 10:1 o menos) en los tratamientos después de 3.5 años y no en los tratamientos después de 22 meses. Tanto en Juana Díaz como en Isabela en todos los tratamientos se observa, en promedio, una baja relación C: N, siendo los controles los de la relación más alta (8.5:1 y 5.6:1, respectivamente).

#### 4.3.4 pH

En cuanto a pH promedio (Tabla 9), no se detectaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), tanto en Juana Díaz como en Isabela; no obstante Pérez-Jiménez et al. (1996) en un Ultisol reportaron que las leguminosas disminuyeron el pH del suelo un año después de haber iniciado el estudio. El pH inicial con *Desmodium ovalifolium* fue de 5.0 y el final 4.9, pero en el caso de *A. pintoii* el pH se mantuvo igual. Sotomayor-Ramírez et al. (2004) en una investigación llevada a cabo en un Ultisol (*Typic Hapludults*) durante 11 meses, encontraron que la cobertura leguminosa *A. glabrata* no reflejó ningún efecto sobre el pH del suelo. Castillo et al. (2005) en otro estudio realizado en un Ultisol, no reportaron diferencias significativas en grama asociada con *A. pintoii* después de 22 y 29 meses, sin embargo después de 5 años, en las gramas nativas asociadas con la leguminosa, el pH fue significativamente ( $p < 0.05$ ) menor (5.05) que en la grama sin leguminosa (5.66) y advierten que a largo plazo puede presentarse acidificación del suelo debido a la fijación biológica de Nitrógeno (por nitrificación).

## 5 CONCLUSIONES

1. En Juana Díaz (serie San Antón), las coberturas aumentaron la estabilidad de agregados y la permeabilidad, y redujeron la densidad aparente. En general estos efectos fueron mayores bajo *A. glabrata* TARS 17095.
2. En Isabela (serie Coto), no hubo diferencia significativa en propiedades físicas excepto en resistencia mecánica, la cual fue menor bajo *A. pintoi* 'porvenir'. El poco efecto de las cobertoras sobre las propiedades físicas pudo deberse a la buena estructura natural de los Oxisoles.
3. Se observó que las coberturas leguminosas aumentaron el porcentaje de N total en el suelo y redujeron la cantidad de P disponible, sin embargo, las diferencias fueron estadísticamente significativas solamente en Juana Díaz.
4. De acuerdo a los tratamientos evaluados en este estudio, *A. glabrata* TARS 17095 tuvo mayor efecto en el Molisol, y *A. pintoi* 'Porvenir' en el Oxisol como coberturas en plantaciones de aguacate.

## 6 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar por más tiempo evaluando estas propiedades, ya que en algunas de éstas no se han encontrado diferencias significativas, pero sí se observa una tendencia favorable en los tratamientos con coberturas versus el control.
2. Las leguminosas que reúnen características deseables se recomiendan como cultivos de coberturas en cultivos perennes; esto ayudará a disminuir los costos de control de malezas. También poseen un alto valor nutritivo y su enraizamiento leñoso y profundo les permite extraer agua y nutrientes de capas más profundas produciendo forraje durante épocas de sequía.
3. Es necesario monitorear los requerimientos de agua y nutrientes en el cultivo principal para asegurar que las coberturas no compitan con el cultivo.
4. Se recomienda evaluar *A. glabrata* TARS 17095 como cobertora en el Oxisol.
5. En plantaciones nuevas, se debe considerar sembrar primero el cultivo y después establecer la cobertura para evitar competencia, ya que una de las desventajas es la posibilidad de tener que competir por nutrientes principalmente P, por lo que se debe mantener libre de cobertura la gotera del árbol (en este caso aguacate).

## 7 LITERATURA CITADA

Argel, P.J. y Pizarro, E.A. 1992. Germplasm case study: *Arachis pintoi*. En: Pastures for the tropical lowlands: CIAT's contribution. CIAT, Cali, Colombia. p. 57-73.

Asociación Nacional del Café (ANACAFE), 2004. Cultivo de aguacate. Programa de diversificación de ingresos en la industria cafetalera. Guatemala. 24 p.

Baruch, Z. y Fisher, M.J. 1992. Efecto del método de siembra y de la textura del suelo sobre el crecimiento y desarrollo de *Arachis pintoi*. En: Pizarro, E.A. (Ed.). RIEPT: 1ª Reunión Sabanas, 23-26 nov. 1992, Brasilia, Brasil. Documento de Trabajo no. 117. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 527-538.

Baver, L. D.; W. H Gardner y W. R. Gardner. 1973. Física de suelos. 1ª. Ed. en español. U.T.E.H.A. México. 529 p.

Beinroth, F.H, R.J. Engel, J.L. Lugo, C.L. Santiago, S. Ríos and G.R. Brannon. 2003. Updated taxonomic classification of the soils of Puerto Rico, 2002. Bull. 303, Univ. Puerto Rico, Agric. Experiment Station, Río Piedras, PR.

Blake, G.R., and K.H Hartge. 1986. Bulk density. Pp. 363-375. In Methods of soil analysis, Part I. Physical and mineralogical methods: Agronomy Monograph no. 9. Second Edition. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin. 1188 p.

Botero, B. Raúl. 1990. Papel de las especies forrajeras tropicales en la conservación de suelos ácidos de ladera. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 22p.

Bouyoucos G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J. 54: 464-465.

Bray, R.H and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45.

Bremner, J.M 1996. Nitrogen-total. pp. 1085-1121. In Methods of soil analysis, Part 3-Chemical Methods. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin. 1390 p.

Castillo Gallegos, E., B. Valles de la Mora, T. Leender, A. Aluja. 2005. Efecto de introducir *Arachis pintoï* sobre variables del suelo de pasturas de grama nativa del trópico húmedo mexicano. Revista Técnica Pecuaria en México 43(2): 287-295.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1982. Manual para la evaluación agronómica, Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Editor técnico: José M. Toledo, Cali, Colombia. 170 p.

Chandler, W. 1962. Frutales de hoja perenne. México, UTEHA. 662 p.

Chepil, W.S. 1950. Methods of estimating apparent density of discrete soil grains and aggregates. Soil Sci. 70 : 351-362.

Coffey, M D. 1992. *Phytophthora* root rot of avocado. pp. 423-444. In Plant diseases of international importance Volume III. Diseases of fruit crops. J. Kumar, H S. Chaube, U. S. Singh and A. N. Mukhopadhyay (eds.). Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Coffey, M D. 1987. *Phytophthora* root rot of avocado: An integrated approach to control in California. Plant Dis. 71:1046-1052.

Coffey, M D. and F. Guillemet. 1987. Profiles of UCR clonal rootstocks. Calif. Avocado Soc. Yrbk. 71:169-171.

Costa Jefferson L. da S., John A. Menge, William L. Casale. 2000. Biological control of *Phytophthora* root rot of avocado with microorganism grown in organic mulches. Braz. J. Microbiol. Vol.31:4 Sao Paulo Oct/Dec. 2000.

De la Cruz, R., S. Suárez and J.E. Ferguson. 1993. The contribution of *Arachis pintoï* as a ground cover in some farming systems of tropical America. En: Biology and agronomy of forage *Arachis*. Kerridge, P.C. and Hardy, B. (eds.) Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 209 p.

Departamento de Agricultura de Puerto Rico. Oficina de Estadísticas Agrícolas. Noviembre 2007.

Federación Nacional de cafeteros de Colombia, 1982. Manual: El cultivo del aguacate. Colombia. 23 p.

Fisher, MJ. y P. Cruz. 1995. Algunos aspectos de la ecofisiología de *Arachis pintoii*. En: Peter C. Kerridge (editor). Biología y agronomía de especies forrajeras de *Arachis*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 56-75.

Folorunso, O. A., D.E. Rolston, , T. Prichard and D.T. Louie, 1992. Cover crops lower soil surface strength, may improve soil permeability. California Agriculture 46 (6): 26-27.

Gabor, B.K, F.B. Guillemet, and MD. Coffey. 1990. Comparison of field resistance to *Phytophthora cinnamomi* in twelve avocado rootstocks. Hortscience 25(12):1655-1656.

González, P y A. Mayoral. 1931. El cultivo del aguacate en Puerto Rico. Circular No. 93. San Juan, Puerto Rico. 35 p.

Grandstedt, R. y A. M Rodríguez. 1996. Establecimiento de *Arachis pintoii* como cultivo de cobertura en plantaciones de banano. En: P. J. Argel y A. Ramírez P. (eds.). Experiencias regionales con *Arachis pintoii* y planes futuros de investigación y promoción de la especie en México, Centroamérica y el Caribe. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. Documento de Trabajo No.159. p.184-187.

Hernández de, B., Y. Rodríguez, y J. Méndez. 1983. Leguminosas bajo banano. Unión de Países Exportadores de Banano (UPEB). Informe Mensual 7(56): 32-35.

Historical Climate Summaries for Puerto Rico and the US. Virgin Islands. 2007. U.S. Department of Commerce – NOAA - Southeast Regional Climate Center. [http://www.dnr.state.sc.us/climate/sercc/climateinfo/historical/historical\\_pr.html](http://www.dnr.state.sc.us/climate/sercc/climateinfo/historical/historical_pr.html). Activa en Abril 2007.

Ibar, L. 1979. Aguacate, chirimoyo, mango, papaya. Editorial Aedos. Barcelona, España.

Jaramillo, Daniel. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia. 595 p.

Johns, G. 1994. Effect of *Arachis pintoii* groundcover on performance of bananas in Northern New South Wales. Aust. J. Exp. Agric. 34:1 197-204.

Kahiri, M M y A. E. Hall. 1976. Effects of air and soil temperatures on vegetative growth of citrus. J. Am Soc. Hort. 101 (4):333-341.

Kemper, W.D. and R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. p. 425-442. In Methods of soil analysis, Part I. Physical and mineralogical methods: Agronomy Monograph no. 9. Second Edition. Soil Sci. Soc. Amer., Madison Wisconsin. 1188 p.

Klute, A. and C. Dirksen, 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. p. 687-703. In Methods of soil analysis, Part I. Physical and mineralogical methods: Agronomy Monograph no. 9. Second Edition. Soil Sci. Soc. Amer., Madison Wisconsin. 1188 p.

Krapovickas, A. 1990. A taxonomic summary of the genus *Arachis*. En: International Crop Network Series, 2. Report of the workshop genetic resources of wild *Arachis* Species. International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), Roma, Italia. Apéndice III, p. 9.

Kunze, G. W. and J. B. Dixon. 1986. Pretreatment for mineralogy analysis. p. 91-100. In Methods of soil analysis, Part I. Physical and mineralogical methods: Agronomy Monograph no. 9. Second Edition. Soil Sci. Soc. Amer., Madison Wisconsin. 1188 p.

Liyanage, L.V.K., HP.S. Jayasundara and T.G.L.G. Gunasekara. 1988. Potential uses of nitrogen-fixing trees on small coconut plantations in Sri Lanka. In: Multipurpose tree species for small-farm use. Proceedings of an International Workshop in Pattaya, Thailand.

Marais-Lawrence, J., J. A. Menge, G. S. Bender, B. Faber. 2002. *Phytophthora* root rot. In: AvoResearch [http://www.avocadosource.com/Journals/AvoResearch/AvoResearch\\_TOC.htm](http://www.avocadosource.com/Journals/AvoResearch/AvoResearch_TOC.htm)

McDonald V.; E. Pond; M Crowley and V. Mckee. 2007. Selection for and evaluation of an avocado orchard soil microbially suppressive to *Phytophthora cinnamomi*. Plant Soil 299: 17-28.

McInnes, K.J., R.W. Weaver, and M.J. Savage. 1994. Soil water potential. pp. 53-59. In methods of soil analysis, Part 2 - Microbiological and biochemical properties. Second Edition. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin. 1121 p.

McVay, K.A., Radcliffe, D.E. and Hargrove, W.L. 1989. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirement. Soil Sci. Soc. of Amer. 53(6): 1856-1862.

Microfertisa S.A. 2006. Manual técnico de fertilización de cultivos. Editorial Produmedios. Bogotá, D.C., Colombia. 116 p.

Morton, Julia F. 1987. Avocado p. 91-102. In: Fruits of warm climates. Miami, FL.

Nelson, D.W., and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp. 961-1010. In Methods of soil analysis, Part 3- Chemical methods. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin. 1390 p.

Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. of Agric. Circ. 939.

Peña, C. K. y P. Fuentes. 2005. Sistema de siembra con cobertura en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.), efectos sobre la temperatura de suelo. Centro Universitario Saneti Spiritus. Ave. de los Mártiles No 360, Saneti Spiritus, Cuba.

Pérez, L. 1996. *Arachis pintoii* como cobertura viva en el cultivo de banano cv Gran Enano (*Musa* AAA). Taller sobre *Arachis*. RIEPT-MCA/UCR, San José, Costa Rica. p. 184-187.

Pérez Jiménez, S. C., E. Castillo, M A. Escalona, B. Valles y J. Jarillo. 1996. Evaluación de *Arachis pintoii* CIAT 17434 como cultivo de cobertura en una plantación de naranja var. Valencia Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México. P. 188-193.

Pizarro, E. A. (ed.). 1992. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). 1a. Reunión Sabanas, 23-26 nov. 1992, Brasília, Brasil. Documentos de Trabajo no. 117. CIAT, Cali, Colombia. 686 p.

Pizarro, E.A.; Valls, J.F.M; Carvalho, M.A.; y Charchar, M.J.D. 1993. *Arachis* spp: Introduction and evaluation of new accessions in seasonally flooded land in the Brazilian Cerrado. En: Proc. XVII Int. Grassl. Congr. Palmerston North, Nueva Zelanda.

Pla, I. 1977. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 111 p.

Ramos, H F. 1992. Procedimientos biomecánicos utilizados en la recuperación de suelos de ladera degradados por la erosión. Piendamó, Colombia. Informe CVC No. 92-29.

Rao, I.M; Borrero, V., Ayarza, M.A. y García, R. 1993a Adaptation of tropical forage species to acid soils: The influence of varying P supply and soils type on plant growth In: Proc. Third Int. Symposium on Plant-Soil Interactions at low pH. Brisbane, Australia.

Rao, I.M; Borrero, V., Ayarza, M.A. y García, R. 1993b Adaptation of tropical forage species to acid soils: The influence of varying P supply and soil type on P uptake and use. In: Barrow, N.J. (ed.). Plant nutrition-from genetic engineering to field practice. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Bajos. p. 345-348.

Rao, I.M y P.C. Kerridge. 1995. Nutrición mineral de *Arachis* forrajero. En: Peter C. Kerridge (editor). Biología y agronomía de especies forrajeras de *Arachis*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 76-89.

Reynolds, W. D. and D. E. Elrick. 1985. In situ measurement of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the alpha-parameter using the Guelph permeameter. Soil Sci. 140:292-302.

Reynolds, W.D. 1993. Saturated hydraulic conductivity: field measurement. In Carter, MR.(editor). Soil sampling and methods of analysis. CRC Press.

Rincón, A. C. y J. Orduz. 2004. Usos alternativos de *Arachis pintoii*: Ecotipos promisorios como cobertura de suelos en el cultivo de cítricos. Pasturas Tropicales. CIAT. Vol. 26, No. 2. p 2-8.

Rincón, A., P. A. Cuesta, R. B. Pérez, C.E. Lascano y J. Ferguson. 1992. Maní forrajero perenne (*Arachis pintoii* Krap. y Greg): Una alternativa para ganaderos y agricultores. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), CIAT, Boletín Técnico ICA No. 219. 23 p.

Rudd, V. 1981. Tribe 14. Aeschynomeneae (Bent.) Hutch (1964). En: Polhill, R.M y Raven, P.H (eds.). Advances in legume systematics. Parte 1. Royal Botanic Gardens, Kew, Inglaterra. P. 347-354.

Sánchez, M E., S. Andicoberry y A. Trapero. 2004. Patogenicidad de *Phytophthora* spp. causantes de podredumbre radical de *Quercus ilex* ssp. ballota en viveros forestales. Bol. San. Veg. Plagas 30: 385-401.

Sánchez, Pedro A. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Traducido del inglés por Edilberto Camacho. (1ed.). San José de Costa Rica: IICA. 660 p.

Simpson, C. E. J.F. Valls y J.W. Miles. 1995. Biología reproductiva y potencial para la recombinación genética en *Arachis*. En: Peter C. Kerridge (editor). Biología y agronomía de especies forrajeras de *Arachis*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 46-55.

Sinclair, J.B. y P.A. Backman. 1989. Compendium of soybean diseases. Third edition.

Smith, B. W. 1950. *Arachis hypogaea*, aerial flower and subterranean fruit. Am J. Bot. 37:802-815.

Soil Survey Staff. 1994. National Soil Survey Characterization Data - Coto Series. <http://ssldata.nrcs.usda.gov>. Accessed on October 2007.

Soil Survey Staff. 2002. Official Series Description – Coto Series. <http://soils.usda.gov/technical/clasification/osd/index.html>. Accessed on September 2006.

Soto, M 1992. Bananos. Cultivo y comercialización. 2a. ed. San José, Costa Rica. Litografía e imprenta Lil S.A. 647 p.

Sotomayor-Ramírez, D., A. Lugo-Ospina and R. Ramos-Santana. 2004. Vegetation influence on soil quality in a highly degraded tropical soil. J. Agric. Univ. P.R. 88(1-2):11-26.

Staver, Charles. 1996. *Arachis pinto* como cobertura en el cultivo del café: Resultados de investigación y experiencias con productores en Nicaragua. En Argel y Ramírez (Editores). Experiencias regionales con *Arachis pinto* y Pplanes futuros de investigación y promoción de la especie en México, Centroamérica y el Caribe. CIAT. Cali, Colombia.

Suárez-Vásquez, S.; Wood, M; y Nortcliff, S. 1992. Crecimiento y fijación de nitrógeno por *Arachis pinto* establecido con *Brachiaria decumbens*. Cenicafe 43:14-21.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. In Methods of soil analysis, Part 3- Chemical methods. Soil Sci. Soc. Amer., Madison Wisconsin. 1390 p.

Thomas, R. J. 1995. Requerimientos de *Rhizobium*, fijación de nitrógeno y reciclaje de nutrientes en *Arachis* forrajero. En: Peter C. Kerridge (editor). Biología y agronomía de especies forrajeras de *Arachis*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 90-99.

Thomas, R.J., N.M Asakawa, MA. Rondon, HF. Alarcon. 1997. Nitrogen fixation by three tropical forage legumes in acid-soil savanna of Colombia. Soil Biol. Biochem. 29 (5-6): 801-808.

Turcu, V. E., S. B. Jones and D. Or. 2005. Continuous soil carbon dioxide and oxygen measurements and estimation of gradient-based gaseous Flux. Vadose Zone J. 4: 1161-1169).

Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), 1995. Manual: Aguacate. Colombia. 18 p.

United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 2008a. Soil Climate Analysis Network (SCAN). [http://www.wgcc.nrcs.usda.gov/scan/Puerto\\_Rico/puerto\\_rico.html](http://www.wgcc.nrcs.usda.gov/scan/Puerto_Rico/puerto_rico.html). Active on August 2008.

United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 2008b. Web Soil Survey. <http://websoilsurvey.nrcs.usda.gov/app/>. Active on August 2008.

Universidad de Puerto Rico-Recinto Universitario de Mayagüez-Estación Experimental Agrícola. 1928. Avocado root disease. Report of the plant pathologist. 1928. Report of the UPR-RUM-EEZ, Mayagüez, Puerto Rico. p. 29 – 32.

Universidad de Puerto Rico-Recinto Universitario de Mayagüez-Estación Experimental Agrícola. 1998. Conjunto tecnológico para la producción de aguacates. Publicación 112. UPR-RUM-EEZ, Rio Piedras, Puerto Rico.

Vallejos, R.M. 1992. Coberturas vivas en el cultivo de café (*Coffea arabica*), su establecimiento y relación con malezas y *Meloidogyne exigua*. Tesis MS. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 64 p.

Valles, MB. 2001. Contribution of the forage legume *Arachis pintoi* to soil fertility in a tropical pasture system in Veracruz, México (PhD thesis). London, UK: University of London.

Valls, J.F.M y C.E. Simpson. 1995. Taxonomía, distribución natural y atributos de *Arachis*. En: Peter C. Kerridge (editor). Biología y agronomía de especies forrajeras de *Arachis*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 1-20.

Zentmyer, G. A., and H D. Ohr. 1978. Avocado root rot. Div. Agric. Serv., U. of Calif., Leaflet #2440.

## 8 APENDICES

### 8.1 APENDICE A. Anovas para coberturas vegetales

Anova para longitud promedio de la raíz pivotante de las coberturas leguminosas en la localidad de Juana Díaz.

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Raíces (cm)	7	0.66	0.59	4.14

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	146.68	1	146.68	9.56	0.0271
Tratamiento	146.68	1	146.68	9.56	0.0271
Error	76.75	5	15.35		
Total	223.43	6			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 7.65179**

Error: 15.3500 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	
Glabrata	90.75	3	A
Pintoi	100.00	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

Anova para materia seca promedio de las coberturas leguminosas en la localidad de Juana Díaz.

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ton/Ha	8	0.55	0.48	19.45

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	154.88	1	154.88	7.47	0.0340
Tratamiento	154.88	1	154.88	7.47	0.0340
Error	124.32	6	20.72		
Total	279.20	7			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 7.87710**

Error: 20.7200 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
Pintoi	19.00	4	A
Glabrata	27.80	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

Anova para porcentaje de N total de las coberturas leguminosas en la localidad de Juana Díaz.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% Nitrogeno	8	0.01	0.00	17.43

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.01	1	0.01	0.08	0.7864
Tratamiento	0.01	1	0.01	0.08	0.7864
Error	1.02	6	0.17		
Total	1.03	7			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.71234**

Error: 0.1694 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
Pintoi	2.32	4	A
Glabrata	2.40	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Anova para longitud promedio de la raíz pivotante de las coberturas leguminosas en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
raices cm	8	0.76	0.72	12.68

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	1653.13	1	1653.13	19.23	0.0046
Tratamiento	1653.13	1	1653.13	19.23	0.0046
Error	515.75	6	85.96		
Total	2168.88	7			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 16.04411**

Error: 85.9583 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
Desmodium	58.75	4	A
Pintoi	87.50	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Anova para materia seca promedio de las coberturas leguminosas en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ton/Ha	8	0.55	0.48	48.81

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	965.80	1	965.80	7.35	0.0351
Tratamiento	965.80	1	965.80	7.35	0.0351
Error	788.43	6	131.40		
Total	1754.23	7			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 19.83704**

Error: 131.4046 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
Desmodium	12.50	4	A
Pintoi	34.48	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Anova para porcentaje de N total de las coberturas leguminosas en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Nitrogeno%	8	0.03	0.00	15.93

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.04	1	0.04	0.21	0.6655
Tratamiento	0.04	1	0.04	0.21	0.6655
Error	1.06	6	0.18		
Total	1.10	7			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.72712**

Error: 0.1766 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
Desmodium	2.57	4	A
Pintoi	2.71	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

## 8.2 APENDICE B. Anovas para N en hojas de aguacate

Anova para porcentaje de N total de las hojas de aguacate en la localidad de Juana Díaz, a los 16 meses de instalados los tratamientos.

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% Nitrogeno	12	0.15	0.00	8.90

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.03	2	0.02	0.81	0.4731
Tratamiento	0.03	2	0.02	0.81	0.4731
Error	0.18	9	0.02		
Total	0.21	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.27533**

Error: 0.0194 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Control	1.50	4	A
Glabrata	1.58	4	A
Pintoi	1.63	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

Anova para porcentaje de N total de las hojas de aguacate en la localidad de Isabela, a los 16 meses de instalados los tratamientos.

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% Nitrogeno	12	0.11369	0.00000	6.92469

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.01362	2	0.00681	0.57725	0.5809
Tratamiento	0.01362	2	0.00681	0.57725	0.5809
Error	0.10615	9	0.01179		
Total	0.11977	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.21444**

Error: 0.0118 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Control	1.52250	4	A
Pintoi	1.58000	4	A
Desmodium	1.60250	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

### 8.3 APENDICE C. Anovas para propiedades físicas del suelo

Anova para densidad aparente del suelo en la localidad de Juana Díaz.

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D.aparente	12	0.54	0.44	6.99

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.11	2	0.05	5.31	0.0300
Tratamiento	0.11	2	0.05	5.31	0.0300
Error	0.09	9	0.01		
Total	0.19	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.19676**

Error: 0.0099 gl: 9

Tratamiento	Medias	n		
Glabrata	1.30	4	A	
Pintoi	1.47	4	A	B
Control	1.51	4		B

Letras distintas indican diferencias significativas( $p \leq 0.05$ )

Anova para densidad de agregados en la localidad de Juana Díaz.

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D.agregados	12	0.42	0.30	2.75

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.01	2	0.01	3.32	0.0831
Tratamiento	0.01	2	0.01	3.32	0.0831
Error	0.02	9	0.00		
Total	0.03	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.09095**

Error: 0.0021 gl: 9

Tratamiento	Medias	n		
Glabrata	1.63	4	A	
Pintoi	1.69	4	A	
Control	1.71	4	A	

Letras distintas indican diferencias significativas( $p \leq 0.05$ )

Anova para densidad aparente del suelo en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Daparente	12	0.1503	0.0000	3.6021

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.0036	2	0.0018	0.7958	0.4806
Tratamiento	0.0036	2	0.0018	0.7958	0.4806
Error	0.0205	9	0.0023		
Total	0.0241	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.09412**

Error: 0.0023 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Pintoi	1.3075	4	A
Desmodium	1.3150	4	A
Control	1.3475	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

Anova para densidad de agregados en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D. agregados	12	0.2913	0.1338	1.7838

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.0030	2	0.0015	1.8498	0.2123
Tratamiento	0.0030	2	0.0015	1.8498	0.2123
Error	0.0072	9	0.0008		
Total	0.0102	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.05595**

Error: 0.0008 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Pintoi	1.5773	4	A
Desmodium	1.5775	4	A
Control	1.6108	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

Anova para porcentaje de estabilidad de agregados en la localidad de Juana Díaz.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
A.E.	12	0.73	0.66	22.29

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	1233.89	2	616.95	11.88	0.0030
Tratamiento	1233.89	2	616.95	11.88	0.0030
Error	467.50	9	51.94		
Total	1701.39	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 14.23069**

Error: 51.9443 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Control	22.36	4	A
Pintoi	28.40	4	A
Glabrata	46.24	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

Anova para porcentaje de estabilidad de agregados en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
A.E.	12	0.21	0.03	18.26

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	312.58	2	156.29	1.17	0.3538
Tratamiento	312.58	2	156.29	1.17	0.3538
Error	1203.54	9	133.73		
Total	1516.12	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 22.83321**

Error: 133.7272 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Control	58.11	4	A
Desmodium	61.61	4	A
Pintoi	70.26	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

Anovas para porcentaje de humedad volumétrica drenado a diferentes intervalos de potencial mátrico, a los 12 meses en la localidad de Juana Díaz.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Intervalo 3 - 43</b>	12	0.20	0.02	72.90

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	12.48	2	6.24	1.11	0.3716
Tratamiento	12.48	2	6.24	1.11	0.3716
Error	50.72	9	5.64		
Total	63.21	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 4.68755**

Error: 5.6361 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Pintoi	1.94	4	A
Control	3.41	4	A
Glabrata	4.43	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Intervalo 43 - 643</b>	11	0.12	0.00	20.49

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	2.84	2	1.42	0.57	0.5867
Tratamiento	2.84	2	1.42	0.57	0.5867
Error	19.92	8	2.49		
Total	22.76	10			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 3.34462**

Error: 2.4896 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	
Pintoi	6.93	4	A
Control	7.78	3	A
Glabrata	8.21	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*

Anovas para porcentaje de humedad volumétrica drenado a diferentes intervalos de potencial mátrico, a los 12 meses en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Variable		N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Intervalo</b>	<b>3 - 43</b>	12	0.20	0.02	55.26

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	12.31	2	6.15	1.14	0.3629
Tratamiento	12.31	2	6.15	1.14	0.3629
Error	48.72	9	5.41		
Total	61.02	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 4.59377**

Error: 5.4128 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Pintoi	2.80	4	A
Control	4.70	4	A
Desmodium	5.13	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*

**Análisis de la varianza**

Variable		N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Intervalo</b>	<b>43 - 643</b>	12	0.28	0.12	19.48

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	2.68	2	1.34	1.73	0.2313
Tratamiento	2.68	2	1.34	1.73	0.2313
Error	6.97	9	0.77		
Total	9.65	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 1.73787**

Error: 0.7747 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Pintoi	3.85	4	A
Desmodium	4.82	4	A
Control	4.88	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*

Anovas para porcentaje de humedad volumétrica drenado a diferentes intervalos de potencial mátrico, a los 23 meses en la localidad de Juana Díaz.

**Análisis de la varianza**

Presión	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Intervalo 0-58</b>	Humedad	12	0.10	0.00	40.05

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	2.34	2	1.17	0.50	0.6246
Tratamientos	2.34	2	1.17	0.50	0.6246
Error	21.20	9	2.36		
Total	23.54	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 3.03060**

Error: 2.3558 gl: 9

Tratamientos	Medias	n	
Control	3.22	4	A
A. pintoi	4.06	4	A
A. glabrata	4.22	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

**Análisis de la varianza**

Presión	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Intervalo 58-492</b>	Humedad	12	0.16	0.00	19.76

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	2.11	2	1.05	0.88	0.4470
Tratamientos	2.11	2	1.05	0.88	0.4470
Error	10.76	9	1.20		
Total	12.87	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 2.15868**

Error: 1.1953 gl: 9

Tratamientos	Medias	n	
Control	5.20	4	A
A. pintoi	5.28	4	A
A. glabrata	6.13	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

Anovas para porcentaje de humedad volumétrica drenado a diferentes intervalos de potencial mátrico, a los 23 meses en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Presión	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Intervalo 0-60</b>	Humedad	11	0.17	0.00	56.46

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	6.16	2	3.08	0.82	0.4728
Tratamientos	6.16	2	3.08	0.82	0.4728
Error	29.91	8	3.74		
Total	36.07	10			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 4.09852**

Error: 3.7384 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	
D. heterophyllum	2.74	4	A
A. pintoii	3.03	3	A
Control	4.40	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*

**Análisis de la varianza**

Presión	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Intervalo 60-516</b>	Humedad	11	0.10	0.00	26.35

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.47	2	0.24	0.43	0.6650
Tratamientos	0.47	2	0.24	0.43	0.6650
Error	4.39	8	0.55		
Total	4.86	10			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 1.57025**

Error: 0.5487 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	
A. pintoii	2.50	3	A
D. heterophyllum	2.84	4	A
Control	3.02	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*

Anova para resistencia mecánica promedio a los 28 meses de establecidos los tratamientos en la localidad de Juana Díaz.

### Parcelas divididas para 2008

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Kpa	360	0.67	0.45	48.65

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p	Error
Modelo	240840988.42	139	1732668.98	3.15	<0.0001	
Profundidad	179810382.56	9	19978931.40	38.76	<0.0001	(Profundidad>Repetic)
Profundidad>Repetic	56697940.64	110	515435.82	0.94	0.6456	
Tratamientos	1603800.94	2	801900.47	1.46	0.2350	
Profundidad*Tratamien..	2728864.28	18	151603.57	0.28	0.9987	No hay interacción
Error	121016968.11	220	550077.13			
Total	361857956.53	359				

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 228.16607

Error: 550077.1278 gl: 220

Tratamientos	Medias	n	
A. glabrata	1430.33	120	A
A. pintoi	1567.02	120	A
Control	1576.35	120	A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Anova para resistencia mecánica promedio a los 28 meses de establecidos los tratamientos en la localidad de Isabela.

### Parcelas divididas para 2008

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
KPa	360	0.58	0.31	22.39

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p	Error
Modelo	108381967.46	139	779726.38	2.16	<0.0001	
Profundidad	58305532.79	9	6478392.53	19.91	<0.0001	(Profundidad>Rep)
Profundidad>Rep	35790059.83	110	325364.18	0.90	0.7304	
Tratamientos	10845251.81	2	5422625.90	15.00	<0.0001	
Profundidad*Tratamien..	3441123.03	18	191173.50	0.53	0.9426	No interac
Error	79524722.50	220	361476.01			
Total	187906689.96	359				

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 184.96051

Error: 361476.0114 gl: 220

Tratamientos	Medias	n	
A. pintoi	2461.06	120	A
D. heterophyllum	2709.89	120	B
Control	2884.02	120	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Anovas para Permeabilidad promedio en campo (cm/hora) a los 12 (2007) y 23 (2008) meses de establecidos los tratamientos en la localidad de Juana Díaz.

### Parcelas Divididas entre los dos años 07-08

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ksatcam	24	0.63	0.29	60.91

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p	Error
Modelo	131.00	11	11.91	1.86	0.1502	
Epoca	10.01	1	10.01	1.54	0.2615	(Epoca>Repet)
Epoca>Repet	39.11	6	6.52	1.02	0.4578	
Tratamiento	49.04	2	24.52	3.83	0.0516	
Epoca*Tratamiento	32.84	2	16.42	2.57	0.1180	No hay Interac.
Error	76.74	12	6.40			
Total	207.74	23				

### Anova para primer muestreo 2007

#### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
RDUO_Ksatcam	12	0.00	2.70	0.94	0.6042

**Son Normales**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS_Ksatcam	12	0.01	0.00	82.36

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.27	2	0.14	0.05	0.9553
Tratamiento	0.27	2	0.14	0.05	0.9553
Error	26.90	9	2.99		
Total	27.17	11			

**Son homogéneos**

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ksatcam	12	0.28	0.12	62.16

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	31.26	2	15.63	1.76	0.2269
Tratamiento	31.26	2	15.63	1.76	0.2269
Error	80.05	9	8.89		
Total	111.30	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 5.88850**

Error: 8.8940 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Control	2.93	4	A
Pintoi	4.59	4	A
Glabrata	6.87	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*

**Anova para segundo muestreo 2008**

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
RDUO_* Ksat	11	0.00	1.89	0.89	0.2209

**Son Normales**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS_* Ksat	11	0.38	0.23	91.12

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	6.71	2	3.36	2.45	0.1477
Tratamiento	6.71	2	3.36	2.45	0.1477
Error	10.95	8	1.37		
Total	17.67	10			

**Son homogéneos**

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
* Ksat	11	0.58	0.48	59.34

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	50.15	2	25.08	5.60	0.0301
Tratamiento	50.15	2	25.08	5.60	0.0301
Error	35.81	8	4.48		
Total	85.96	10			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 4.48475**

Error: 4.4762 gl: 8

Tratamiento	Medias	n		
Control	1.39	4	A	
Glabrata	2.85	3	A	B
Pintoi	6.29	4		B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

Anovas para Permeabilidad promedio en campo (cm/hora) a los 12 (2007) y 23 (2008) meses de establecidos los tratamientos en la localidad de Isabela.

### Parcelas divididas 2007-2008

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ksat	24	0.57	0.17	61.34

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p	Error
Modelo	287.21	11	26.11	1.43	0.2719	
Epoca	123.08	1	123.08	11.94	0.0135	(Epoca>Repetic)
Epoca>Repetic	61.85	6	10.31	0.57	0.7496	
Tratamiento	62.21	2	31.10	1.71	0.2222	
Epoca*Tratamiento	40.08	2	20.04	1.10	0.3638	No hay interacción
Error	218.35	12	18.20			
Total	505.57	23				

### Anova primer muestreo 2007

#### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
RDUO_Ksat	12	0.00	3.86	0.88	0.1770

#### Hay normalidad

#### Prueba de Leven

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS_Ksat	12	0.32	0.17	81.73

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	22.00	2	11.00	2.10	0.1789
Tratamiento	22.00	2	11.00	2.10	0.1789
Error	47.24	9	5.25		
Total	69.24	11			

**P > 0.05 varianzas son homogéneas**

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ksat	12	0.38	0.24	46.24

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	99.01	2	49.51	2.72	0.1188
Tratamiento	99.01	2	49.51	2.72	0.1188
Error	163.55	9	18.17		
Total	262.56	11			

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 8.41703

Error: 18.1720 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Pintoi	5.24	4	A
Control	10.52	4	A
Desmodium	11.90	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

## Anova segundo muestreo 2008

### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
RDUO_Ksat	12	0.00	3.26	0.92	0.4169

**Son Normales**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS_Ksat	12	0.30	0.15	79.42

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	14.34	2	7.17	1.96	0.1959
Tratamiento	14.34	2	7.17	1.96	0.1959
Error	32.86	9	3.65		
Total	47.21	11			

**Son Homogéneos**

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ksat	12	0.03	0.00	76.79

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	3.35	2	1.68	0.13	0.8802
Tratamiento	3.35	2	1.68	0.13	0.8802
Error	116.68	9	12.96		
Total	120.04	11			

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 7.10945

Error: 12.9646 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Control	4.27	4	A
Pintoi	4.36	4	A
Desmodium	5.44	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

## 8.4 APENDICE D. Anovas para propiedades químicas del suelo

Anova para porcentaje de N total en suelo en la localidad de Juana Díaz.

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Nitrogeno	12	0.7377	0.6794	7.3219

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.0034	2	0.0017	12.6537	0.0024
Tratamiento	0.0034	2	0.0017	12.6537	0.0024
Error	0.0012	9	0.0001		
Total	0.0047	11			

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.02303

Error: 0.0001 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Control	0.1419	4	A
Pintoi	0.1539	4	A
Glabrata	0.1823	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas( $p < 0.05$ )

Anova para porcentaje de N total en suelo en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Nitrogeno	12	0.018052	0.000000	6.099158

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.000032	2	0.000016	0.082727	0.9213
Tratamiento	0.000032	2	0.000016	0.082727	0.9213
Error	0.001752	9	0.000195		
Total	0.001784	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.02755**

Error: 0.0002 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Desmodium	0.227575	4	A
Control	0.227575	4	A
Pintoi	0.231050	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Anova para P disponible en suelo en la localidad de Juana Díaz.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P ppm	12	0.55	0.46	14.58

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	58.73	2	29.36	5.60	0.0263
Tratamiento	58.73	2	29.36	5.60	0.0263
Error	47.17	9	5.24		
Total	105.89	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 4.52017**

Error: 5.2408 gl: 9

Tratamiento	Medias	n		
Glabrata	13.36	4	A	
Pintoi	15.07	4	A	B
Control	18.67	4		B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Anova para P disponible en suelo en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P ppm	12	0.29	0.13	55.93

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	469.32	2	234.66	1.80	0.2207
Tratamiento	469.32	2	234.66	1.80	0.2207
Error	1176.29	9	130.70		
Total	1645.61	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 22.57317**

Error: 130.6985 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Pintoi	13.52	4	A
Desmodium	19.13	4	A
Control	28.67	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*

Anova para pH del suelo en la localidad de Juana Díaz.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH	11	0.348	0.185	1.009

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.026	2	0.013	2.138	0.1804
Tratamiento	0.026	2	0.013	2.138	0.1804
Error	0.049	8	0.006		
Total	0.075	10			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.16574**

Error: 0.0061 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	
Control	7.682	4	A
Pintoi	7.783	4	A
Glabrata	7.785	3	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*

Anova para pH del suelo en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH	12	0.05	0.00	5.59

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.06	2	0.03	0.24	0.7900
Tratamiento	0.06	2	0.03	0.24	0.7900
Error	1.08	9	0.12		
Total	1.14	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.68459**

Error: 0.1202 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Desmodium	6.14	4	A
Pintoi	6.16	4	A
Control	6.30	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*

Anova para materia orgánica (M.O.) del suelo en la localidad de Juana Díaz.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
M.O.	12	0.16	0.00	14.83

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.31	2	0.15	0.87	0.4511
Tratamiento	0.31	2	0.15	0.87	0.4511
Error	1.60	9	0.18		
Total	1.91	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.83281**

Error: 0.1779 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Control	2.71	4	A
Pintoi	2.76	4	A
Glabrata	3.07	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*

Anova para materia orgánica (M.O.) del suelo en la localidad de Isabela.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
M.O.	12	0.01	0.00	17.41

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0.02	2	0.01	0.05	0.9522
Tratamiento	0.02	2	0.01	0.05	0.9522
Error	2.11	9	0.23		
Total	2.13	11			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.95617**

Error: 0.2345 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	
Desmodium	2.74	4	A
Pintoi	2.77	4	A
Control	2.84	4	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)*