

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**POSGRADO EN CIENCIAS  
BIOLÓGICAS**

**Facultad de Ciencias**

**“Efecto de borde en una selva húmeda  
tropical: implicaciones en las  
comunidades de hongos micorrizógenos  
arbusculares”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

**P R E S E N T A:  
OSWALDO NÚÑEZ CASTILLO**

DIRECTOR DE TESIS: DR. FRANCISCO JAVIER ÁLVAREZ  
SÁNCHEZ

MÉXICO, D.F.

2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

Al proyecto DGAPA PAPI IT-UNAM-IN-235102.

Al proyecto Semarnat-CONACYT 2002-c01-668, por el financiamiento de este trabajo así como la beca otorgada.

Al Dr. F. Javier Álvarez Sánchez, mil gracias por compartir nuevamente tiempo y espacio para la formación de este trabajo, así como por su apoyo, amistad, para la finalización del mismo, MIL GRACIAS.

A los integrantes del jurado, a la Dra. Crhistina D. Siebe Grabach, gracias tanto por ser mi maestra y revisora de este trabajo y sus comentarios y correcciones para mejorar este manuscrito.

A los integrantes del jurado Dra. Julieta Benítez Malvado, Dra. Mayra E. Gavito Pardo y el Dr. J. Emmanuel Rincón Saucedo, por sus comentarios y aportaciones a este trabajo los cuales lo enriquecieron y mejoraron durante su desarrollo.

Al eficiente y maravilloso equipo de trabajo tanto en el campo como en el laboratorio, durante el desarrollo de este trabajo, a las princesas Dulce y Lizbeth por su alegría y eficiencia, a el buen Ernesto (Ernest), por su optimismo y eficacia en el trabajo de campo, a Juan Carlos (Dr. Peña) por su constancia y superación son la base del éxito y a Ana (Anitabiol) que con su disposición a aprender y compartir el trabajo se aprende y se enseña, mil gracias a cada uno de ellos por ser parte de esto GRACIAS por haber conformado un equipo maravilloso.

A mis grandes amigas Irene y Patricia, gracias por enseñarme lo impresionante del mundo de las micorrizas y ayudarme a continuar en el, así como por su amistad, tiempo, comentarios, análisis de datos etc. que han ayudado en el termino de este manuscrito.

Un especial agradecimiento a Marco A. Romero Romero, por enseñarme a resolver los innumerables problemas con las computadoras así como a el uso del equipo.

A Gabriela Santibáñez gracias por enseñarme y ayudarme con los análisis multivariados y sobre todo por su amistad y sus porras.

A Silvia y Yuriana, por su apoyo y amistad durante estos años, mil gracias.

A Edith gracias por tu apoyo incondicional y por estar presente en los momentos difíciles, así como por su comprensión y su cariño gracias.

A mi familia gracias por su apoyo, Núñez, Cardona y Castillo gracias por compartir este tiempo y espacio conmigo, a la familia Mendoza gracias por apoyarme incondicionalmente y brindarme su amistad (Francisco, Adriana, Fabiola y Sergio) gracias por adoptarme y ser parte de ellos.

Al laboratorio de Ecología y las personas que lo componen que hacen de este lugar un sitio ameno para aprender, Angela, Alberto, Toño, Adina, Ichel, Audra, Hugo, Nancy, Julio, Diego, Wendy, Nelly, Iván, Mariana Hernández etc.

A cada el M. en Ecol. Básica : Eduardo Pérez, Dr. Jorge Meave, Dr. Zenón Cano y Dr. Carlos Martorell por compartir su aclararme dudas, compartir el conocimiento y amistad.

A mis tres mosqueteras y amigas Silvia, Eva y Onia por aguantarme hasta ahora, gracias.

A Carmen Flores por permitirme compartir tiempo y conocimiento, amistad, secretos.

A mis nuevos amigos Ana Maria Gamboa, Joselin e Irene, gracias por compartir tiempo, conversaciones y su familia

A cada uno de mis compañeros y profesores de la maestría, GRACIAS.

A mis compañeros del TKD en especial a el Profesor Roberto Valverde Pizano, por enseñarme que la constancia es la clave del éxito y a el Dr. José Reyes Gasga, por compartir la ciencia con el deporte.

A la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas, gracias por su apoyo en cada una de las salidas a las cocineras, el personal de intendencia, Goyo, José Luis, Gilberto, al Técnico de la estación Álvaro Campos y a Braulio Gómez un especial agradecimiento por su ayuda en el campo.

Por ultimo mil gracias a la selva que me ha permitido compartir con ella 10 años de mi vida y permitirme conocerla un poco y envolverme con su majestuosidad y su misticismo, y saber el invaluable precio de trabajar en ella.

## *DEDICATORIA*

*A mi familia mil gracias por permitirme ser parte de ustedes y su cariño y estar presentes en cada momento*

*Gracias a mi Gran Pez "José Núñez Cardona" que comenzó esta aventura conmigo, que me enseñó que los sueños y la tenacidad del hombre lo llevan a sus metas, y que la vida es tan grande como los recuerdo y aun en tu ausencia, sigues aquí t.*

*A mi madre que día con día me sorprende y me ha demostrado que la grandeza de las personas esta dada por su trabajo y la pasión con que se hacen las cosas.*

*A Olga Lidia por ese apoyo incondicional y la alegría y complicidad de una amiga y hermana*

*Nicte: el canto de la flor De El libro de las danzas de los antiguos\*\* Sobre la traducción de Alfredo Barrera Vázquez*

*Sobre el bosque se ha alzado la bellísima luna. Se enciende en medio de los cielos y queda suspendida para alumbrar sobre la tierra el bosque entero. Dulcemente el aire trae el perfume.*

*La luna ha llegado a mitad del cielo. Su luz resplandece sobre todas las cosas. En toda persona buena hay alegría. Alcanzamos el interior del bosque. Nadie vera lo que hemos venido a hacer.*

*Trajimos la flor de la plumería, la flor del chuchum, la flor del jazmín canino. Trajimos el copal, la caña rastrera ziiit, la concha de la tortuga terrestre, el nuevo polvo de calcita dura, el nuevo hilo de algodón, la nueva jícara y el pedernal grande y fino: la nueva pesa, la nueva tarea de hilado, el pavo de regalo, las sandalias nuevas: todo es nuevo.*

*También son nuevas las bandas que atan nuestras cabelleras para adornarnos con el nenúfar. Nuevos el caracol sonoro y la maestra que nos adiestrara en la ceremonia.*

*Ya estamos en el corazón del bosque, a orillas de la poza en la roca. Vinimos a esperar que surja sobre los árboles la hermosa estrella humeante.*

*Muchachas, vírgenes: desnúdense, desaten sus cabellos. Queden como llegaron a este mundo.*

## INDICE

### RESUMEN

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. ANTECEDENTES</b>	2
2.1 Fragmentación	2
2.2 Efecto del área y forma	3
2.3 Efecto de aislamiento o distancia	3
2.4 Efecto de Borde	3
2.5 Hongos micorrizógenos arbusculares (HMA)	5
2.6 Clasificación de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA)	7
2.6.1 <i>Glomus</i>	8
2.6.2 <i>Sclerocystis</i> .	8
2.6.3 <i>Acaulospora</i>	8
2.6.4 <i>Entrophospora</i>	9
2.6.5 <i>Gigaspora</i>	9
2.6.6 <i>Scutellospora</i>	9
2.7 Hongos micorrizógenos arbusculares en la selva de “Los Tuxtlas”	10
2.8 Influencia de las condiciones adversas en los HMA	11
<b>3. OBJETIVOS</b>	14
3.1 Objetivo general	14
3.2 Objetivos particulares	14

<b>4. HIPÓTESIS</b>	14
<b>5. MÉTODOS</b>	15
5.1 Zona de estudio	15
5.2 Muestreo	16
5.3 Análisis de datos	19
<b>6. RESULTADOS</b>	21
6.1 Caracterización microambiental	21
6.1.1 Luz	21
6.1.2 Temperatura y humedad relativa	22
6.2 Características edáficas	26
6.2.1 Humedad del suelo	26
6.2.2 pH	28
6.2.3 Densidad aparente	30
6.2.4 Microperfiles del suelo	32
6.3 Riqueza y abundancia de esporas	35
6.3.1 Riqueza y abundancia por género	40
6.3.1.1 <i>Acaulospora</i>	40
6.3.1.2 <i>Gigaspora</i>	43
6.3.1.3 <i>Glomus</i>	44
6.3.1.4 <i>Scutellospora</i>	48
6.4 Índices de Diversidad	49

6.5 Caracterización microambiental de los transectos y las características del suelo	50
6.5.1 Resultados del análisis de Correspondencia Corregido (DECORANA) microambiental (luz y humedad del suelo)	50
6.5.2 Resultados del Análisis de Correspondencia Corregido (DECORANA) conforme a las características edáficas	51
6.6 Relación entre las variables edáficas y la riqueza de esporas	54
<b>7. DISCUSIÓN</b>	<b>61</b>
7.1 Condiciones microambientales	61
7.2 Características edáficas	62
7.3 Riqueza y abundancia de esporas	63
7.4 Relación entre las características ambientales y edáficas Con los HMA	65
<b>8 CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
<b>9 LITERATURA CITADA</b>	<b>68</b>
<b>Apéndice 1</b>	
<b>Apéndice 2</b>	
<b>Apéndice 3</b>	
<b>Apéndice 4</b>	

## 1. INTRODUCCIÓN

La selva húmeda tropical ocupa alrededor del 7% del planeta y en ella se encuentra cerca del 50% de la biodiversidad vegetal, animal, fúngica, etc. (Wilson 1988).

La deforestación ha sido la causa principal de que las selvas tropicales hayan sufrido niveles de fragmentación impresionante en el paisaje original. Como consecuencia del cambio en el uso del suelo a diferentes sistemas agrícolas, el paisaje actual consiste de un mosaico de campos agrícolas, ganaderos, vegetación secundaria y parches de vegetación original (Viana y Tabanez, 1996, Asbjornsen *et al.* 2004). El decremento en la cobertura vegetal por la deforestación provoca cambios en la estructura vegetal, lo que origina la extinción local o regional de especies vegetales, animales y de hongos (Kattan 2002) y modifica las condiciones ambientales y microambientales (Hughes *et al.* 2000).

La fragmentación forma parches de vegetación de diferente tamaño que se localizan a distintas distancias de la zona núcleo (Bender *et al.* 2003) y de otros fragmentos aledaños a la zona (Fahrig 2003).

Como consecuencia de ello, se genera un efecto de borde entre el fragmento y la vegetación aledaña, que consiste en cambios graduales en el microclima y en la vegetación entre estas dos zonas. El efecto depende de la forma del fragmento y su distancia a las zonas de selva original, lo cual determina el nivel de la diversidad. Con el incremento en la distancia entre los fragmentos, la diversidad tiende a disminuir, y algunos fragmentos quedan aislados, los cuales pesar de tener un tamaño grande desaparecen por un efecto de asilamiento (Bender *et al.* 2003, Haig *et al.* 2000).

La deforestación también afecta la biota edáfica, en particular a la comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), ya que se ha reportado que en las zonas de pastizales la diversidad disminuye y la abundancia de esporas aumenta, ocurriendo lo contrario en la selva (Cuenca *et al.* 1998b, Guadarrama y Alvarez-Sánchez 1999). La perturbación antrópica puede ocasionar cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo (Carpenter *et al.* 2001), lo que tiene un efecto negativo en la disponibilidad de propágulos, los cuales disminuyen en zonas perturbadas en comparación con zonas conservadas (Cuenca *et al.* 1998a).

## RESUMEN

### EFFECTO DE BORDE EN UNA SELVA HÚMEDA TROPICAL: IMPLICACIONES EN LAS COMUNIDADES DE HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES

La deforestación ha sido la causa principal de que las selvas tropicales hayan sufrido niveles de fragmentación abrumadores en el paisaje original, cambiando a un mosaico de campos agrícolas, ganaderos, vegetación secundaria y parches de vegetación original, obteniendo fragmentos de diferente tamaño y forma, lo cual repercute sobre la diversidad y abundancia de especies vegetales, animales, hongos y otros microorganismos. La forma y el tamaño del fragmento determinan que en la zona de transición de selva a la zona perturbada se genere un efecto que se denomina de borde el cual produce un impacto sobre los fragmentos remanentes de la selva tropical húmeda ya que se modifican las condiciones microambientales como luz, temperatura, humedad y compactación del suelo. En este trabajo se evaluó en una selva húmeda tropical de Los Tuxtlas, Veracruz, México, el efecto de borde sobre la diversidad y abundancia de los Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA). Para ello se seleccionaron dos parcelas de 100 por 10m desde el interior de la selva hasta una zona de potrero, evaluando características ambientales, edáficas y de riqueza y abundancia de HMA. La densidad del suelo y la temperatura tuvieron valores más altos en la zona de potrero y fueron menores en la selva. La humedad aumentó hacia el interior de la selva, mientras que el pH fue ligeramente más ácido en el pastizal. Se reportaron 25 especies de hongos micorrizógenos La riqueza comprendió 25 especies, repartida en cuatro géneros: *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus* y *Scutellospora*, con 6, 2, 13 y 2 especies respectivamente. La zona de transición entre la selva y el potrero presentó los valores mayores de abundancia de esporas y riqueza; también se encontraron especies tanto en selva como en potrero como *A.scrobiculata*, *A. appendiculata*, *Glomus caledonium*, *G. claroideum* y *G. constrictum*,, especies que solo se encontraron en la selva *G. magnicaule*, *G. etunicatum* y *A. mellea*, y especies que solo aparecieron en el potrero *A. foveata* y *G. fasciculatum*; esto podría deberse a una mayor tolerancia al estrés ambiental en el potrero.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Fragmentación**

La deforestación ha cambiado el paisaje de selva a un mosaico de vegetación con zonas agrícolas, ganaderas, de vegetación secundaria y parches de vegetación original (Viana y Tabanez 1996, Asbjornsen *et al.* 2004). Los mayores niveles de deforestación se registraron durante la década de los 80`s (Rudel *et al.* 2002).

Estos cambios en el paisaje, principalmente en lo que se refiere a la pérdida de cobertura vegetal, y de diversidad de especies (Harper y Macdonald 2002), implican también cambios microambientales que son evidentes del interior de la selva hacia la zona de pastizales (Kapos 1989, Lean y Warrilow 1989, Sizer y Tanner 1999).

### **2.2 Efecto del área y forma**

La extinción o supervivencia de las especies depende en gran medida del tamaño o las dimensiones de los fragmentos (Bender *et al.* 2003). Así, las dimensiones de los fragmentos determinan lo que se ha denominado efecto de área, ya que generalmente entre más pequeño sea el fragmento la riqueza y la abundancia de especies tanto vegetales como animales va disminuyendo, lo que puede llegar a extinciones locales y regionales de las mismas. La mejor forma del fragmento es de circular a cuadrada pues se ha reportado que el impacto sobre las especies es menor que en fragmentos de forma alargada (Fahrig 2003).

### **2.3 Efecto de aislamiento o distancia**

Este efecto se debe a la distancia que se presenta entre fragmentos y entre la matriz principal de selva (Bender *et al.* 2003). Cuando la distancia es relativamente corta de un fragmento a otro o del núcleo a los fragmentos, existe un continuo arribo de especies, lo cual favorece el mantenimiento de la diversidad, pero al aumentar la distancia entre los fragmentos, la diversidad tiende a disminuir, llegando a quedar fragmentos tan aislados que a pesar de tener un tamaño grande podrían desaparecer por este efecto de aislamiento (Bender *et al.* 2003, Haig *et al.* 2000).

### **2.4 Efecto de Borde**

El efecto de borde se define como la máxima distancia o penetración al interior del bosque o el fragmento a la cual se detectan cambios en las condiciones ambientales (Fahrig, 2003), y tiene un impacto sobre los fragmentos dependiendo de su tamaño, forma y orientación así como de las asociaciones que los rodean (Mesquita *et al.* 1999). Como ya se ha mencionado, ello repercute en la estructura de la vegetación (Kattan 2002, Harper y Macdonald 2003).

Los bordes entre la vegetación de selva y los potreros, pastizales o campos de cultivo, presentan condiciones ambientales diferentes tanto hacia el interior como al exterior de la selva. Así, se modifican algunas condiciones microambientales como: velocidad del viento (Sizer y Tanner 1999), luz, temperatura del aire y del suelo (que se incrementan hacia los potreros) (Kapos 1989, Lean y Warrilow 1989), humedad relativa y la concentración de CO<sub>2</sub> (que

disminuyen en el mismo sentido) (Didman y Lawton 1999, Sizer y Tanner 1999, Laurance 2004).

Estos factores que afectan a la vegetación en los bordes también modifican las características del suelo, como el pH, el grado de compactación, la disponibilidad de nutrimentos y la cantidad y calidad de la materia orgánica (Didham y Lawton 1999). Carpenter *et al.* (2001) encontraron diferencias en pH entre zonas de pastizales (4.5-8) y en zonas de bosque (5.2); con respecto a la materia orgánica, en los pastizales el máximo fue del 5% y en el bosque 15%, y en el caso del fósforo en los pastizales fue de 1 y en el bosque de 6 ppm. Por último, la humedad relativa en el bosque llegó a 80% y en los pastizales en promedio fue de 45%; en algunos casos se ha reportado un gradiente de 0 a 50 m hacia el interior del borde (Oosterhoorn y Kappelle 2000).

Por otro lado, en el borde la cobertura del dosel es más abierta y la riqueza de especies aumenta (Fox *et al.* 1997, Gehlhausen 2000). Se ha reportado que las especies presentes sobre el borde son en su mayoría ruderales o pioneras que necesitan una mayor cantidad de luz para su germinación y establecimiento, así como para crecer y reproducirse rápidamente (Tabarelli *et al.* 1999).

El efecto de borde y la fragmentación de las selvas tropicales han sido estudiados ampliamente, principalmente en especies animales, para detectar cambios en diversidad y abundancia; en el caso de la selva de “Los Tuxtlas”, Veracruz, los trabajos se han realizado principalmente con aves (Estrada *et al.* 1998, 2000).

## 2.5 Hongos micorrizógenos arbusculares (HMA)

La micorriza arbuscular es una interacción mutualista importante en el desarrollo de especies vegetales, incluyendo el establecimiento y supervivencia de las plántulas al permitir la incorporación de nutrimentos de una manera más eficiente (Marschner y Dell 1994). Fischer *et al.* (1994) reportaron que la asociación tiene además un papel importante en la etapa adulta de las plantas, ya que ayuda a incrementar la tasa de fecundidad y el área fotosintética, como resultado de la mayor superficie de explotación de recursos que tienen a través de las hifas. Esta asociación es ecológicamente obligada para los HMA, los cuales pueden asociarse con un amplio número de especies vegetales. Se ha reportado que cerca del 90% de las plantas, las cuales incluyen las plantas vasculares, pteridofitas y briofitas, son potencialmente micorrizables (Smith y Read 1997).

El efecto de los HMA sobre el crecimiento y la supervivencia puede ser diferente dependiendo de la especie vegetal; esto muestra que a pesar de que son generalistas, el mecanismo de respuesta puede estar determinado por las plantas (Streitwolf-Engel *et al.* 1997, van der Heijden *et al.* 1998b). De igual forma se ha reportado que al aumentar la diversidad fúngica de hongos micorrizógenos arbusculares, hay un incremento en la diversidad vegetal (Van der Heijden *et al.* 1998a).

En los sistemas tropicales los HMA son los más abundantes, ya que cerca del 80% de las especies presentan esta asociación (Redhead 1968). En los sistemas tropicales la colonización por el hongo se relaciona en mayor o menor proporción con las características del huésped (historia de vida, forma de

crecimiento, etc.) y las condiciones nutricionales del suelo, lo cual repercute en la funcionalidad ecológica de la asociación (Siquiera y Saggin-Júnior 2001).

Janos (1980) señaló que en la sucesión primaria las especies pioneras, que son las que aparecen inmediatamente después de un disturbio asociadas a los bordes o claros en selva, no presentan la asociación micorrízica y se consideran no micótrofas. Sin embargo, en el caso de la selva de “Los Tuxtlas” se ha encontrado que sí presentan esta asociación (Sánchez-Gallén y Guadarrama 2003) e incluso en algunos casos son dependientes de los HMA (Guadarrama *et al.* 2004). Las siguientes especies en aparecer son las denominadas pioneras tardías, las cuales son micótrofas facultativas ya que pueden ser o no micorrizadas (Janos 1980), lo cual va a depender de las condiciones ambientales y nutricionales, ya que si éstas son desfavorables para la planta, se ha reportado que puedan pasar a un estatus micotrófico, pero si las condiciones son favorables no ocurre la micorrización aunque el hongo este presente en el sitio. El último caso se refiere a las especies persistentes, tolerantes a la sombra, en las que se ha visto que los HMA son un factor importante en la supervivencia y establecimiento (Guadarrama *et al.*, datos no publicados; Peña 2005); a éstas se les ha denominado micótrofas obligadas.

Los disturbios y las perturbaciones afectan la abundancia y diversidad de las poblaciones de hongos micorrizógenos (Guadarrama y Álvarez Sánchez 1999), cuyos propágulos se encuentran en los primeros centímetros de la rizósfera (Bellgard 1993). La perturbación de los suelos afecta el potencial de inóculo natural, lo cual repercute en el establecimiento de algunas especies vegetales de estados maduros (Brundett 1991, Cuenca *et al.* 1998). Barni y Siniscalco (2000)

encontraron que el potencial de inóculo es menor en sitios perturbados y aumenta durante la sucesión pero disminuye al llegar a un estado maduro del ecosistema.

## **2.6 Clasificación de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA)**

La clasificación de los HMA se basa principalmente en la morfología de sus esporas, ya que hasta el momento, no se ha observado reproducción sexual (Morton 1990). El mayor peso de la taxonomía radica en la morfología, aunque en la actualidad la biología molecular es una herramienta que ayuda a confirmar las determinaciones (Schübler *et al.* 2001). En la determinación taxonómica un 90% es de acuerdo a la morfológica, tamaño, arreglo de las esporas, desarrollo de las esporas, color, el número de paredes o paredes laminares, las ornamentaciones o superficie de ésta (para lo cual se pueden utilizar sustancias como el reactivo de “Meltzer”, que muestra cambios en las paredes o las hacen más evidentes), las cuales evidencian características particulares de algunos géneros o especies (Brundett *et al.* 1996). Taxonómicamente, los géneros de HMA se ubican de la siguiente manera:

**Phyllum** Glomeromycota

**Orden** Glomales

**Suborden** Glominaea

**Familia** Glomaceae

**Géneros** *Glomus*, *Sclerocystis*

**Familia** Acaulosporaceae

**Genéros** *Acaulospora*, *Entrophospora*

**Suborden** Gigasporineae

**Familia** Gigasporaceae

**Géneros** *Gigaspora*, *Scutellospora*

### **2.6.1 *Glomus***

Las esporas del género se forman en el ápice de la hifa la mayoría de las veces, y en algunos casos aparecen intercaladas en el micelio (Brundrett *et al.* 1996, Hernández-Cuevas *et al.* 2003). La hifa de sostén que presentan estas esporas, presenta una forma en la unión con la espora, que puede ser recta o cónica con diferentes engrosamientos, lo cual puede ser un carácter importante para su determinación taxonómica. Por lo general presenta una sola pared estructural con paredes internas, las cuales pueden reaccionar ante el Meltzer, tomando varias coloraciones, lo cual es característico de algunas especies (Hernández-Cuevas *et al.* 2003).

### **2.6.2 *Sclerocystis*.**

Las esporas de este género forman agrupaciones en una masa compacta de hifas (esporocarpo) (Hernández-Cuevas *et al.* 2003); hasta le momento existe la discusión de que sea un género diferente de *Glomus*, ya que comparten características similares las esporas (Redecker 2002).

### **2.6.3 *Acaulospora***

La formación de las esporas es en el lado lateral de la hifa de sostén, la cual se pierde en la etapa madura de la espora; estas esporas en su etapa madura pierden la hifa. En este género las esporas presentan varias paredes estructurales e internas, las cuales también presentan cambios ante la presencia del reactivo de Meltzer y un gran número de ornamentaciones; estas últimas son importantes en la identificación taxonómica de este género (Hernández-Cuevas *et al.* 2003).

#### **2.6.4 *Entrophospora***

Al igual que en el caso de *Acaulospora*, la esporas se forman a lo largo de la hifa ensanchándose en uno de los ápices formando el sáculo. Al igual que en *Acaulospora*, se pierde la hifa de sostén, quedando un par de cicatrices en la espora; puede presentar paredes estructurales e internas o únicamente estructurales, y con el reactivo de Meltzer las paredes de algunas especies reaccionan cambiando su coloración (Hernández-Cuevas *et al.* 2003).

#### **2.6.5 *Gigaspora***

La formación de estas esporas se presenta en la parte apical de las hifas, formando un pequeño bulbo. En este género sólo se presenta la pared estructural, en la cual pueden aparecer hasta tres estratos, y alguno de ellos puede reaccionar con el Meltzer. Este género presenta dos características importantes: la primera es que antes de la germinación, se produce un estrato hacia el interior que se denomina estrato germinal, y otra característica es que en la base de la hifa de sostén se conserva el bulbo de formación de la espora (Hernández-Cuevas *et al.* 2003).

### **2.6.6 *Scutellospora***

La formación de esta espora es idéntica, pero a diferencia de la anterior, estas esporas siempre presentan paredes estructurales e internas, las cuales cambian ante la presencia del reactivo de Meltzer. El nombre del género se debe a que la germinación ocurre a partir de un escudo llamado “escudo de germinación” (Hernández-Cuevas *et al.* 2003).

## **2.7 Hongos micorrizógenos arbusculares en la selva de “Los Tuxtlas”**

Hasta el momento se han realizado estudios de abundancia y diversidad de los HMA en la selva de “Los Tuxtlas”, tanto en selva como en pastizales (Guadarrama y Álvarez-Sánchez 1999). Se ha determinado también el papel que tienen en la competencia tanto inter como intraespecífica en especies pioneras como *Helliocarpus appendiculatus* y *Stemadenia donnell-smithii* (Guadarrama *et al.* 2004a), así como también sobre la dependencia micorrízica de la primera de estas especies (Guadarrama *et al.* 2004b).

Por otra parte, Sánchez-Gallén (1999) analizó el papel de los HMA conjuntamente con factores abióticos como luz y nutrimentos, en la supervivencia y crecimiento de plántulas de especies arbóreas; encontró que la respuesta de las plántulas de *Nectandra ambigens* depende de los niveles de luz.

Conociendo la diversidad y abundancia de los HMA se ha estudiado la respuesta de especies pioneras y persistentes a la inoculación con HMA utilizando suelo de selva y de pastizal en condiciones de invernadero (Olivera 2005). Se ha observado que hay especies de ambos tipos de historia de vida que responden favorablemente a los hongos y otras que responden también sin la presencia de éstos; así se puede decir que esta respuesta está relacionada con los requerimientos y con los rasgos de historia de vida de la planta (Guadarrama *et al.*, datos no publicados; Peña 2005, Quiroz y Álvarez-Sánchez, datos no publicados).

Finalmente, Núñez y Álvarez-Sánchez (2003) compararon la dinámica de colonización sobre una de las especies de mayor importancia en el sotobosque de la selva, *Astrocaryum mexicanum*. Se analizaron diferentes microambientes, considerando tanto los niveles de colonización total como por estructuras (hifas, vesículas y arbusculos). Los mayores porcentajes de colonización total se observaron en los claros, y a excepción de los arbusculos, el resto de las estructuras se desarrollaron más en la selva bajo dosel cerrado.

## **2.8 Influencia de las condiciones adversas en los HMA**

La fragmentación no solamente se refleja en la composición vegetal, sino también sobre la diversidad y abundancia de la fauna edáfica (Power 1996), debido principalmente a que al remover la cobertura vegetal, el suelo sufre procesos de erosión, así como cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Carpenter *et al.* 2001). La composición de la microbiota como lo son las bacterias y los HMA, también sufre cambios en diversidad y abundancia, las cuales en

particular para los HMA disminuyen en las zonas agrícolas (Boddington y Dodd 2000). Se ha observado que en zonas agrícolas abandonadas y con diferentes especies vegetales, hay diferencias en los niveles de colonización micorrízica sobre las especies ahí presentes, así como en la riqueza y abundancia de esporas de HMA (Hedlund y Gormsen 2002). Por otro lado, en el caso de la selva de Los Tuxtlas, Veracruz, se ha reportado una menor diversidad y mayor abundancia de esporas en zonas de pastizal con respecto a la selva (Guadarrama y Álvarez-Sánchez 1999). Picone (2000) reportó mayor abundancia en pastizales, pero este autor no encontró diferencias en la riqueza de esporas en ambos usos de suelo.

Durante el cambio de uso de suelo (Whitmore 1997), el uso de maquinaria destruye la estructura del suelo, rompiendo la agregación, llegando a un nivel de disturbio donde se puede perder la capacidad de resiliencia del suelo (Boddington y Dood 2000). Debido a la apertura del dosel ocurren cambios a nivel del suelo, como un incremento en la incidencia de luz que crea también un aumento en la temperatura, lo cual se ha observado que influye en la composición de las especies en una comunidad (Koske 1987). Por dichos cambios es que se considera que disminuye el potencial micorrízico.

También se ha reportado que temperaturas sub-óptimas por debajo o arriba de las promedio, tienen un efecto negativo en la tasa de germinación de esporas y de crecimiento de micelio (Pawloswska y Charvat 2002). Algunos trabajos reportan que a cambios extremos de temperatura, hay efectos negativos en la germinación y producción de esporas (Pawloswska y Charvat 2002).

Los cambios en la temperatura causan efectos en el agua. Al incrementarse la temperatura aumenta la evapotranspiración, presentándose un déficit de agua;

se ha observado que disminuyen los niveles de colonización micorrízica cuando se incrementa el nivel de aridez (Schmidt y Show 1986). Por su parte Stevens y Peterson (1996) reportaron mayor abundancia de esporas en zonas con poca humedad, una abundancia media en zonas de humedad intermedia y la menor cantidad de esporas en zonas inundadas o con una gran cantidad de agua.

En cuanto a el estrés de origen antrópico, se ha observado que el cambio de uso de suelo a zonas agrícolas es la principal causa de la compactación del suelo, lo cual repercute en la estructura del suelo, disminuyendo su porosidad y potencial de agua, incrementa la erosión, disminuye el crecimiento de las raíces, y afecta también el tamaño de las plantas y la diversidad (Entry *et al.* 2002). Así, estos cambios en el suelo tienen efectos sobre la colonización o micorrización de las raíces y sobre la captura de carbono en las raíces (Anderson y Rygiewicz 1991). Hasta la fecha, la mayoría de los trabajos sobre colonización micorrízica se han realizado sobre el efecto de la compactación, la eficiencia del hongo, la absorción de fósforo y el desempeño de las plántulas inoculadas (Nadian *et al.* 1998).

La utilización de herbicidas y pesticidas en la en los pastizales y potreros, los cuales evitan el desarrollo de malezas y vegetación secundaria, afecta las poblaciones de microorganismos y de los HMA, ya que contienen principalmente compuestos fenólicos, lo que repercute sobre el funcionamiento y eficiencia de los HMA (Hoagland *et al.* 1997).

Con los antecedentes anteriores, surgen varias preguntas: ¿cómo se modifica la abundancia y distribución de los hongos micorrizógenos a lo largo de la selva hasta un potrero y qué pasa en la zona de borde entre ambos usos de suelo? y ¿cómo se asocian los cambios microambientales y de suelo que se presentan a lo

largo de este gradiente con la comunidad de HMA?. Finalmente, ¿existen cambios en la estructura de la comunidad de HMA?.

### **3. OBJETIVO**

#### **3.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de borde sobre la diversidad y abundancia de los Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA) en una selva húmeda tropical.

#### **3.2 Objetivos particulares**

Conocer la riqueza y abundancia de HMA en la zona de borde.

Determinar los cambios en las características edáficas.

Determinar las variaciones en luz y humedad a lo largo del borde.

### **4. HIPÓTESIS**

Se esperan cambios en la abundancia y diversidad de hongos micorrizógenos a lo largo del borde; la diversidad de esporas disminuirá hacia el borde de la selva y la abundancia de esporas se espera que sea mayor hacia la parte exterior del borde.

Los cambios en las condiciones microambientales en el borde (aumento en la temperatura, el incremento en la cantidad de luz sobre el suelo), y los cambios que se presentan en el suelo (compactación, estabilidad de agregados, pérdida de horizontes) por el cambio de uso de suelo (a potrero), tendrán un efecto sobre el establecimiento de especies de HMA.

Los cambios en las condiciones microambientales y el cambio en las características edáficas del suelo, se reflejarán en la aparición y desaparición de especies a lo largo del borde, encontrándose especies diferentes en ambas zonas, cambiando la composición de la comunidad de HMA a lo largo del borde.

## . MÉTODOS

### 5.1 Zona de estudio

El trabajo se realizó en zonas de borde de la Estación de Biología Tropical “Los Tuxtlas”, Ver. (Fig. 1). Los suelos son andosoles y en algunos sitios ultisoles; su textura es arcillosa-arenosa. La acumulación de materia orgánica en los primeros 5 cm y va de 1.64-11.1%; presenta una porosidad media, el pH va de 4.1 a 6.1, tiene una alta capacidad de intercambio catiónico que va de 18.8 a 46.9 meq/100 g (Flores-Delgadillo *et al.* 1999).



Fig 1. Estación de Biología Tropical “Los Tuxtlas”, Ver. (tomado de [www.ibiologia.unam.mx](http://www.ibiologia.unam.mx).)

El clima es calido húmedo con lluvias en verano; la temperatura promedio anual es de 24° C y la precipitación anual es de 4700 mm, presentando tres épocas: lluvias (junio-octubre), nortes (noviembre-febrero) y secas (marzo-mayo) (Soto 1976).

La vegetación es selva alta perennifolia (Miranda Hernández 1963). Se han reportado 940 especies siendo 129 de ellas angiospermas (Ibarra-Manríquez y Sinaca 1995). Las especies más importantes son *Astrocaryum mexicanum* Liebm., *Nectandra ambigens* (Blake) C.K. Allen, *Pseudolmedia oxyphyllaria* Donn. Sm., *Brosimum alicastrum* Sw., *Ficus yoponensis* Desv. y *Guarea glabra* Vahl., las cuales son predominantes en el dosel (Bongers *et al.* 1988).

## 5.2 Muestreo

La zona en particular en la que se llevó a cabo este trabajo se localiza en el límite norte de la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas, la cual limita con un potrero propiedad del señor Santos Tepox. El potrero data aproximadamente desde el año de 1976, cuando fue tirada la selva para uso ganadero, donde se ha establecido pasto de tipo “estrella”, como alimento del ganado. En este sitio, para evitar la aparición de malezas, se ha utilizado un herbicida “Tordon” el cual se aplica dos veces al año en promedio; la última aplicación de este fue en abril del 2003 (Peña 2005). Por su cercanía a la selva presenta algunos árboles remanentes como *Ceiba pentandra* y *Dendropanax arboreus*, y elementos de la selva como *Astrocaryum mexicanum*, *Turpinia occidentalis* y *Rollinia mucosa* (Delgadillo en prensa).

Se seleccionaron dos transectos en dicha zona de transición entre la selva y un potrero de 10 x 100 m, de los cuales 50 m se ubicaban hacia el interior de la selva y 50 en la zona de potrero. En cada uno de ellos, cada 10 m, se tomaron tres muestras de

suelo de 1kg en los primeros 40 cm de profundidad, perpendiculares a la ubicación del transecto a los 0, 5 y 10 m (Fig.2).

Se registró la abundancia de esporas de cada género y cada especie de HMA en cada punto, así como la riqueza de especies de cada transecto.

Para determinar la abundancia y riqueza de HMA, se utilizó la técnica de Brundrett *et al.* (1982) modificada. Las esporas se separaron por morfoespecies y se cuantificaron en microscopio estereoscópico. De cada morfoespecie se montaron esporas en PVL (alcohol polivinílico) y otras en PVL con Meltzer; este reactivo se usó para determinar cambios en las paredes de las esporas y determinar la especie. La determinación taxonómica se llevo acabo con la ayuda de la M. en C. Laura Hernández Cuevas del Laboratorio de Micorrizas, Centro de investigaciones en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala.

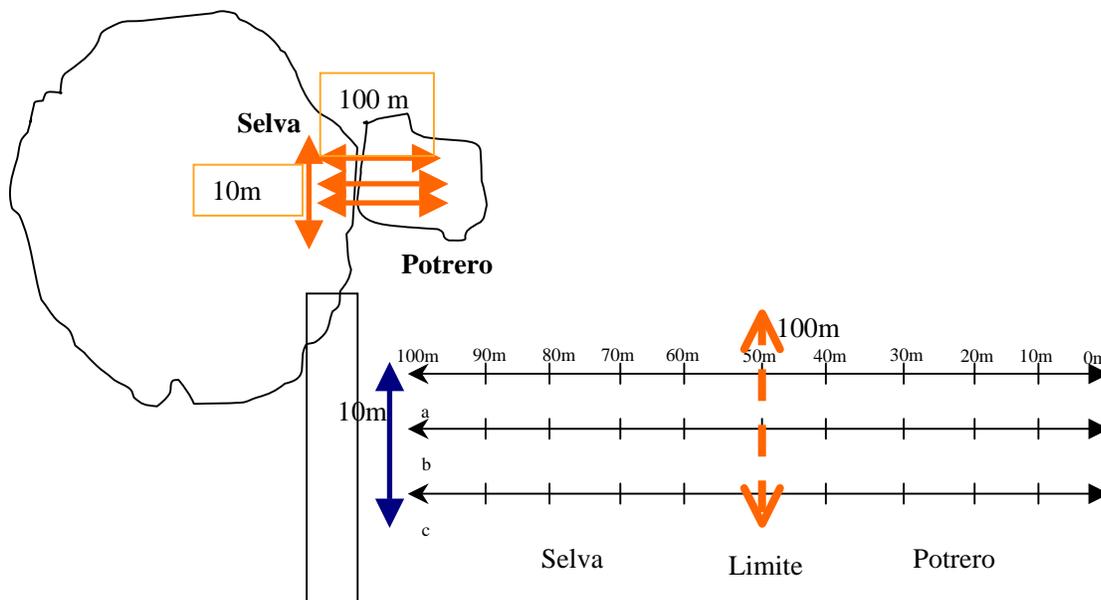


Fig 2. Dimensiones de las parcelas de estudio desde la zona de selva al potrero.

Pa

ra la determinación taxonómica no se utilizó una de las clasificaciones más recientes ya

que las especies que se encontraron, ninguna de ellas esta dentro de los nuevos géneros reportados últimamente.

Para la caracterización microambiental de cada transecto se midieron:

- a) la intensidad lumínica (Photometric  $\text{mmol}^{-1}$ ) con un medidor de luz (LI-250 Light Meter) LI-COR Inc., cada diez metros en tres puntos diferentes y a un metro de altura y al nivel del suelo;
- b) la temperatura ambiental y la humedad relativa, las cuales se tomaron con termohigrómetros. Ya que se tenían sólo dos instrumentos, se tomaron sólo datos en un sitio en la zona de selva y otro en el potrero;
- c) una descripción edáfica de cada transecto mediante micro-perfiles de suelo de los primeros 30-40cm de profundidad, utilizando el Manual para la Descripción y Evaluación Ecológica de Suelos en el Campo de Siebe *et al.* (1986). Estos perfiles se realizaron con el objeto de determinar y observar el papel del efecto de borde en el suelo, analizando sus cambios graduales hasta la zona más externa del potrero.
- d) el pH con un Soil Tester modelo HB-2; el cual tiene un nivel de error de 0.1-0.2;
- e) la densidad aparente, utilizando cilindros de PVC (de 5 cm de largo y 3.8cm de diámetro) los cuales se metían en los perfiles para extraer suelo y posteriormente pesarlo. En este caso las muestras se secaban a  $105^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante y posteriormente se pesaron nuevamente obteniendo la densidad aparente del suelo con el volumen y peso conocido húmedo y seco.

A los cilindros se les calculó el volumen con la formula:

$$V=\pi*r^2*h$$

Con el volumen calculado para obtener la densidad se utilizó la siguiente formula:

$$d=p/v$$

Donde: p=peso inicial de los cilindros con suelo (g) y v=volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)

La humedad del suelo se calculó con los mismos cilindros utilizando las siguientes formulas:

Masa seca del suelo (MSS) = (peso suelo seco + cilindro)- peso del cilindro

% masa seca (%MS) = MSSx100/(peso inicial del suelo + cilindro)

% de humedad del suelo = 100-(%MS)

Las formulas de densidad aparente y % de humedad del suelo se tomaron de Schinner *et al.* 1995.

Los muestreos se llevaron acabo de junio de 2003 a junio de 2004.

### **5.3 Análisis de datos**

Con los datos microambientales de luz, pH y humedad relativa del suelo, se realizó una prueba de AnDeVA para determinar si existían diferencias significativas a lo largo de los transectos y entre ellos; y posteriormente se realizó una comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey. El mismo análisis se realizó para determinar se existían diferencias entre la abundancia y la riqueza de especies de HMA, entre y a lo largo de los transectos, para el total de las especies y para cada uno de los géneros (Zar 1999).

Para analizar la diversidad se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (el cual asume que los individuos se acomodan al azar en un intervalo de una muestra grande y que todas las especies se encontraran al azar al realizar un

muestreo) (Magurran 1998) para el total de especies y posteriormente con los géneros más abundantes; para ello se utilizó el programa BIODIVERSITY Pro 2.0 (1997).

Para determinar la relación entre los factores microambientales y del suelo a lo largo de las pacerlas, se realizó una ordenación de las variables y los datos de riqueza y abundancia de especies mediante un Análisis Canónico de Correspondencias (CCA); este programa tiene la ventaja de ordenar las variables bióticas (especies) en función de su relación con las variables independientes (abióticas) (Ter Braak 1987). Esto determina la relación que se presenta entre algunas variables bióticas o dependientes, que en este caso son las especies, que se asocian en diferentes puntos debido a los cambios en las características del suelo y de las condiciones microambientales, que son las variables abióticas o independientes (Becker *et al.* 1998). Ello permitió realizar una interpretación de la relación ambiente-organismos y determinar la explicación correspondiente. Este método permite separar a las especies en nichos ecológicos y realiza una ordenación sintética de éstos, los cuales pueden concordar con gradientes ambientales o alguna combinación de éstos.

La utilidad que tiene el CCA, es que coloca a las especies, los sitios y los factores ambientales de acuerdo a valores que calcula que se denominan valor "eigen" y las especies se acomodan, de acuerdo con su relación a los factores, en una serie de coordenadas y se ubican mediante una correlación vectorial con los ejes principales de los factores (Becker *et al.* 1998).

Finalmente, se elaboraron matrices con la abundancia y diversidad de las especies y con las variables ambientales y de suelo cambiando variables cualitativas por cuantitativas. El análisis se realizó con el programa PC-ORD 4.0 (McCune y Mefford 1999)

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Caracterización microambiental

#### 6.1.1 Luz

La intensidad de luz a lo largo de la transición del potrero a la selva tuvo cambios importantes en los valores; en la zona de potrero se presentaron valores que oscilan de los 1200 mmol<sup>-1</sup> a 200 mmol<sup>-1</sup>, excepto en el transecto 1 (Fig. 3a), donde se observaron valores menores por la presencia de varios árboles remanentes en los metros 30 y 40 (Fig. 3a y b). Al cambiar a la zona de selva se observó un decremento importante en la intensidad de luz, la cual registró valores que van de los 30 mmol<sup>-1</sup> a menos de 1 hacia la parte más interna de la selva (Fig. 3). Al realizar el ANdeVA se observaron diferencias significativas entre la distancia, el nivel del suelo (0 ó 1m), y entre las interacciones parcela-distancia y distancia-nivel (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de ANdeVA para la luz a lo largo de los transectos (\*p<0.05).

Efecto	g.l	F	p
Parcela (1)	1	1.34385979	0.246803567
Distancia (2)	10	72.5093613	0.0000000 *
Nivel del suelo (3)	1	58.1645737	9.17978E-14 *
1x2	10	3.60818172	0.000111367 *
1x3	1	0.9399662	0.332667023
2x3	10	9.01630116	6.02398E-14 *
1x2x3	10	0.45011905	0.92120254

Para observar donde se presentaron estas diferencias, se aplicó la prueba de Tukey y se determinó que pertenecen al mismo grupo las parcelas de los puntos 100 al 40 (Fig. 4a); el 50 se encuentra con los puntos 0 y 20 (Fig. 4b), y por último el punto 10, con los valores más altos de luz, formó un grupo completamente diferente (Fig. 4c). Para el caso de la luz a nivel de suelo a 0 y 1m se formaron dos grupos completamente diferentes (Fig. 4). Las diferencias en la interacción parcela-distancia generaron un grupo muy grande con valores bajos de luz en el interior de la selva que van del metro

100 al metro 30 (a), y otro grupo completamente diferente (f) es el que mostró la mayor intensidad en el metro 10 de la parcela 2 en el potrero; los demás puntos se acomodaron en otros grupos.

### **6.1.2 Temperatura y humedad relativa (%).**

La temperatura que se presentó en la zona de selva registró valores menores que en el pastizal, con un intervalo de 24.9-26.9, y en la zona de potrero se presentó una temperatura de 25.5 a 32.1°, lo cual mostró una diferencia en la temperatura máxima de 5°, que a su vez repercute sobre la humedad relativa. Ésta fue del 84 al 100% en la selva como valores mínimos y máximos, a comparación de la zona de potrero que registró valores del 71 al 96%, encontrándose una diferencia en uno de los transectos del 3% de humedad y en el segundo del 12% durante la hora de mayor temperatura (Fig. 5).

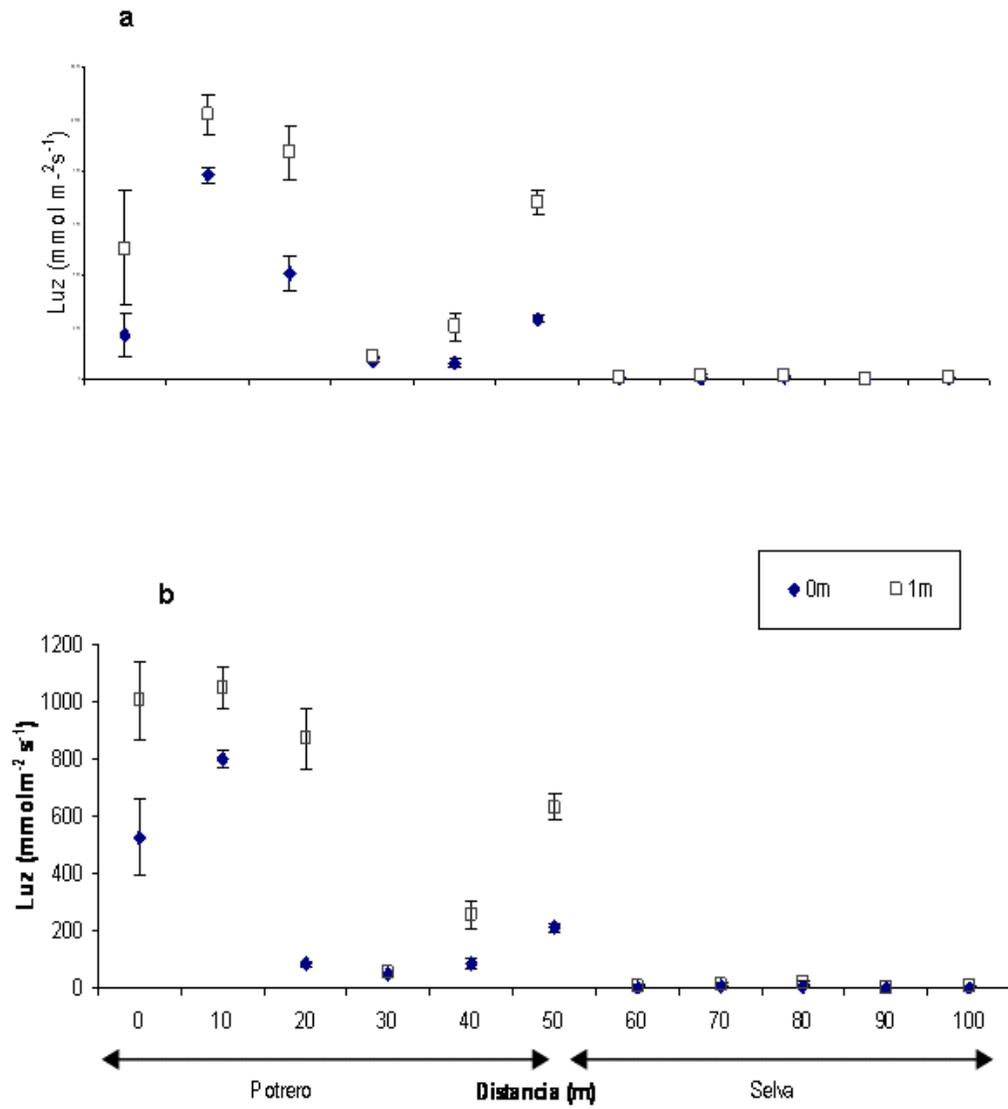


Fig. 3. Intensidad de luz en ambas parcelas microambientes ( $\pm 1$  E.E)  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (a) transecto 1, (b) transecto 2.

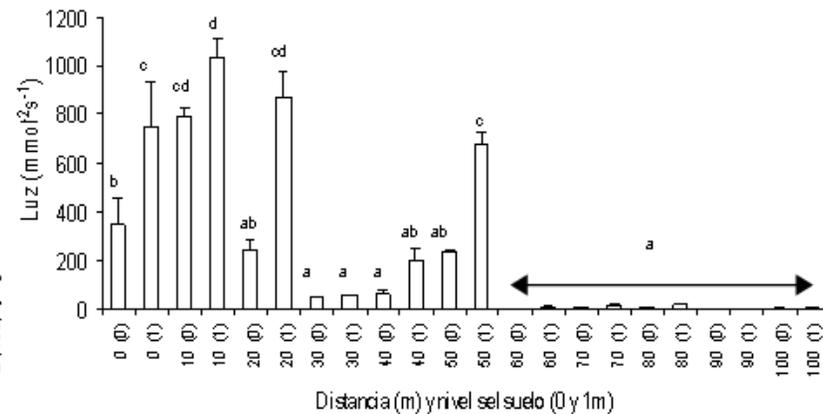
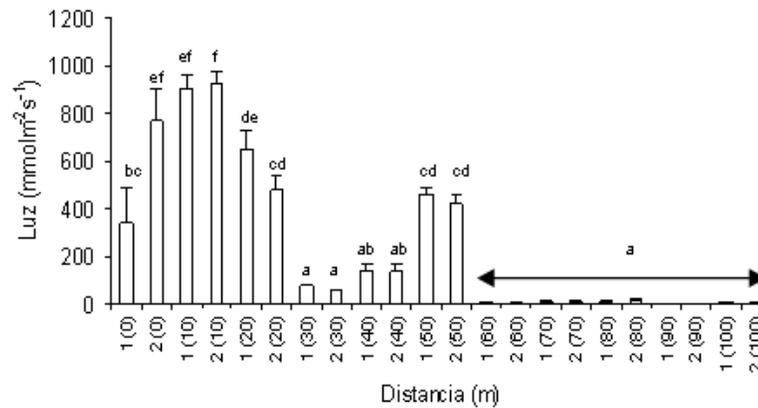
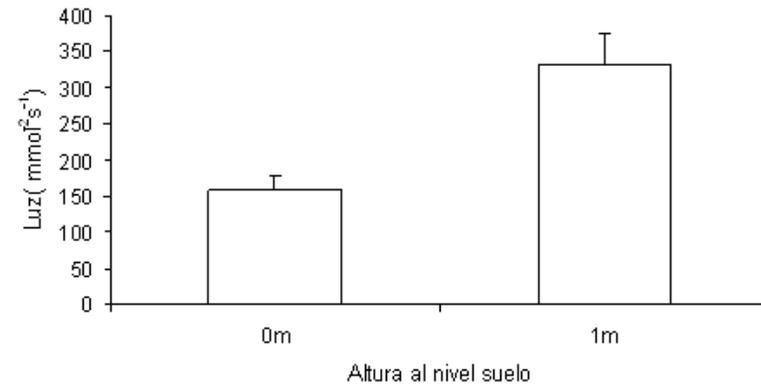
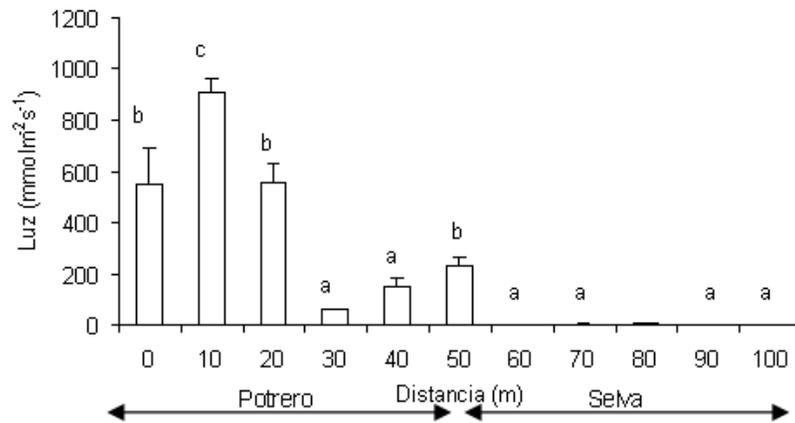


Fig. 4. Pruebas de Tukey para la variables luz a) distancia, b) nivel del suelo c) interacción parcela-distancia y d) distancia-altura (+1 E.E.)

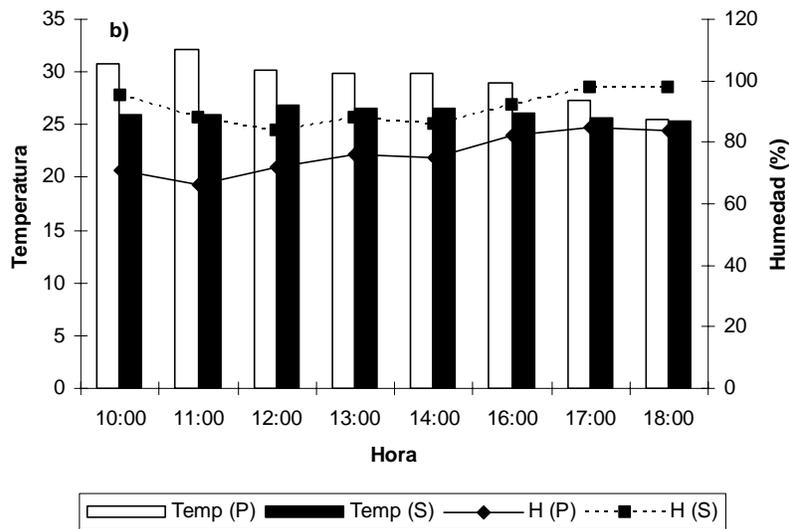
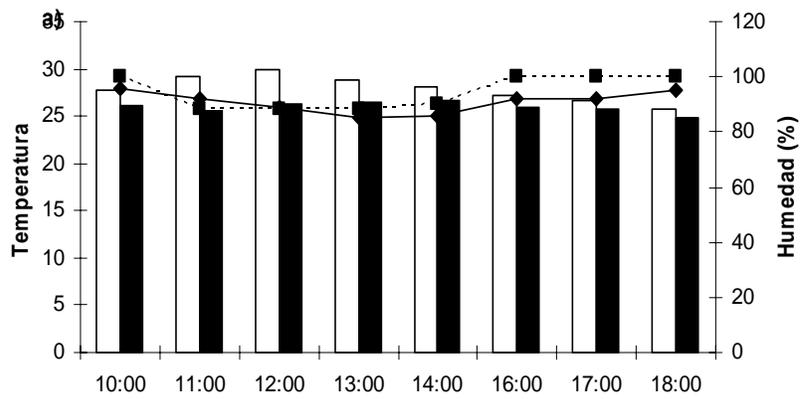


Fig. 5. Temperatura (°C) y humedad relativa (%) a lo largo del día en los dos transectos (a) 1 y (b) 2.

## 6.2 CARACTERISTICAS EDAFICAS

### 6.2.1 Humedad del suelo

La humedad del suelo fue muy parecida entre las dos zonas; se encontraron los valores más altos (43%) en el primer transecto, mientras que los valores más bajos (entre el 20% y 30%) en ambos transectos (Fig. 6).

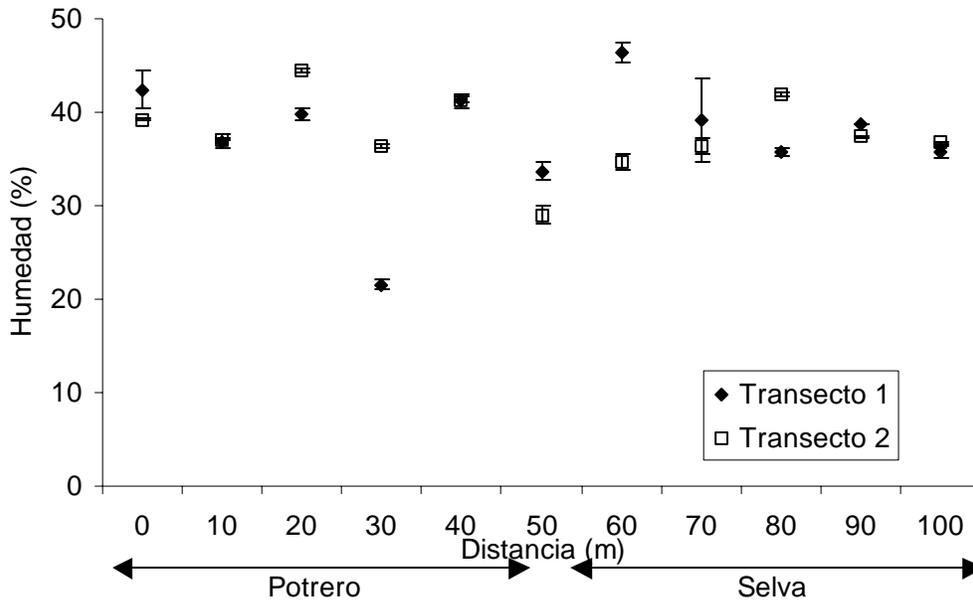
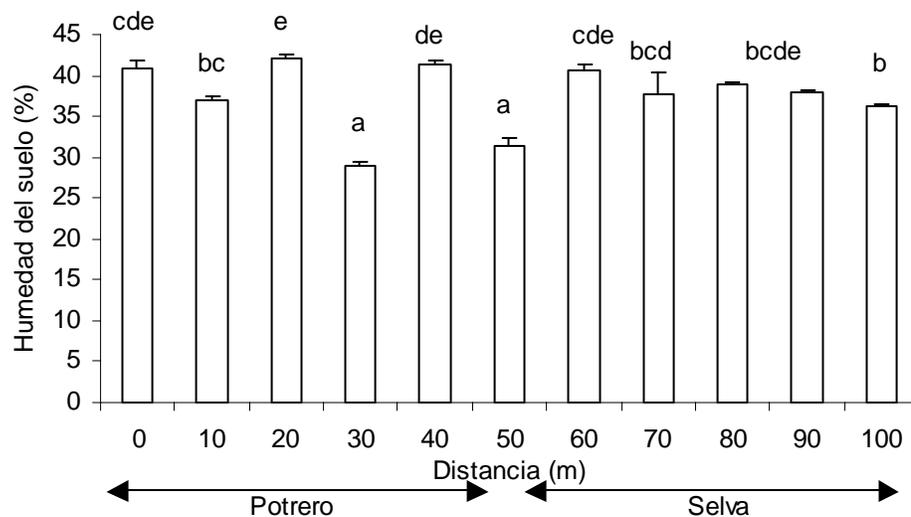


Fig. 6 Porcentaje de humedad del suelo en ambos transectos.

Al realizar el AnDeVA, se observaron diferencias significativas entre la distancia y la interacción parcela-distancia (Tabla2), la prueba de Tukey mostró para el caso de la distancia tres grupos principales: los puntos 30 y 50 presentaron la menor humedad, seguido por otro grupo en donde esta la parcela en los 50m, y el punto más húmedo fue la parcela del metro 20 (Fig. 7a). Para la interacción se observaron tres grupos: el primero (a) del transecto uno y en el metro 30, el segundo del metro 50 del transecto dos con los menores valores de humedad y el extremo o más húmedo del transecto uno en el metro 60 (Fig. 7b).

a



b

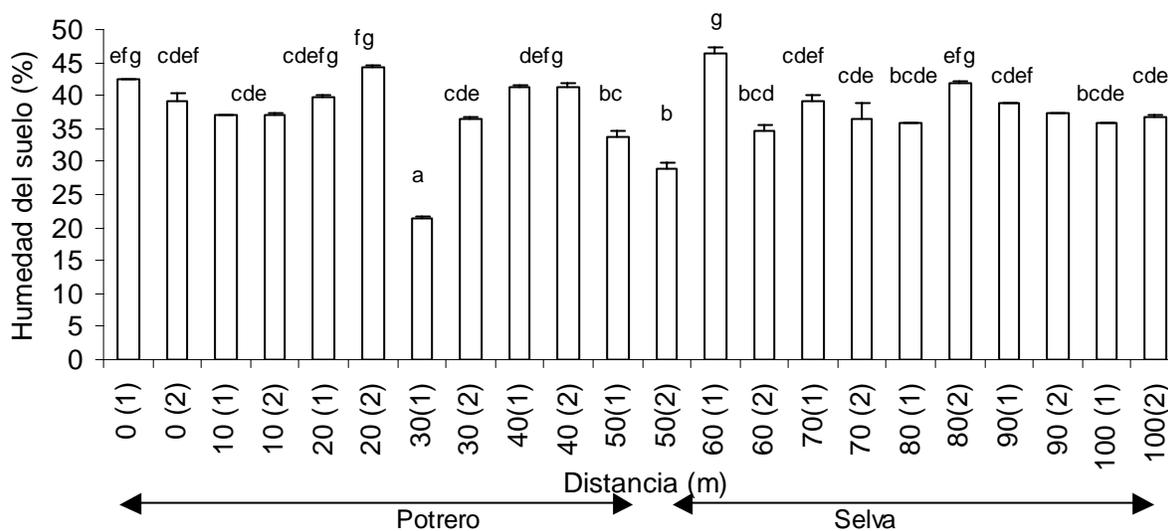


Fig. 7. Pruebas de Tukey para la humedad del suelo a) distancia, b) interacción transecto-distancia (+1 E.E.). (Entre paréntesis se muestra el número del transecto).

Tabla 2. Análisis de ANdeVA para la humedad del suelo lo largo de los transectos (\*p<0.05).

Efecto	g.l	F	p
Distancia(1)	10	24.0023103	1.43671818304E-09*
Transecto (2)	1	0.310455	0.58
1x2	10	16.27758	5.8640196698434E*

### 6.2.2 pH

El pH del suelo fue mayor hacia el interior de la selva, principalmente en los metros 80 y 90; el menor valor de pH se presentó en la zona de potrero, en específico en el metro 10 (Fig. 8).

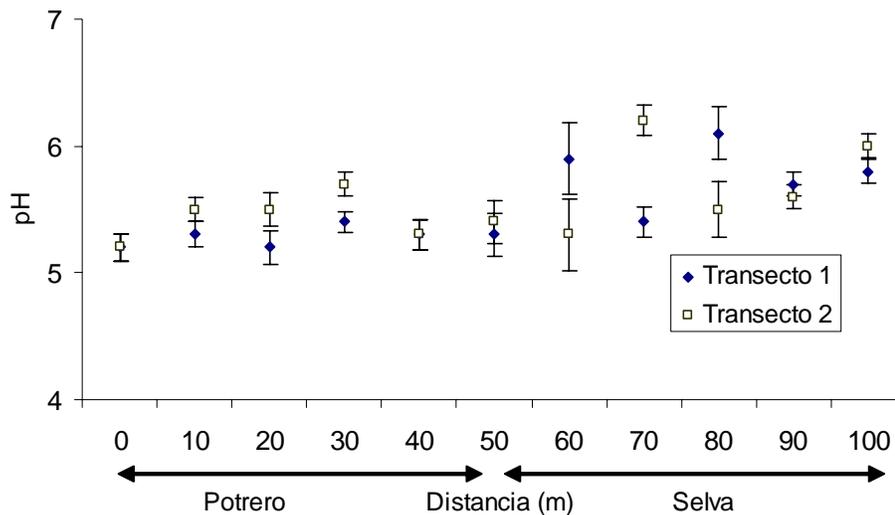


Fig. 8. Valores de pH del suelo ( $\pm 1$  E.E) en ambos transectos.

Al realizar el AndeVA se observaron diferencias significativas en la variable distancia y en que la interacción distancia-parcela (Tabla 3). La prueba de Tukey, para la variable distancia mostró el punto 0 y el punto 100 son completamente diferentes (Fig 9a). En la interacción distancia-parcela se separaron los puntos iniciales (0m) de cada transecto y el metro 70 del transecto 2 (Fig. 9b).

Tabla 3. Análisis de ANdeVA para el pH a lo largo en los transectos (\*p<0.05).

Efecto	g.l	F	p
Transecto (1)	1	0.89285713	0.34986442
Distancia (2)	10	4.54419661	0.00019772 *
1x2	10	3.43169641	0.00215595 *

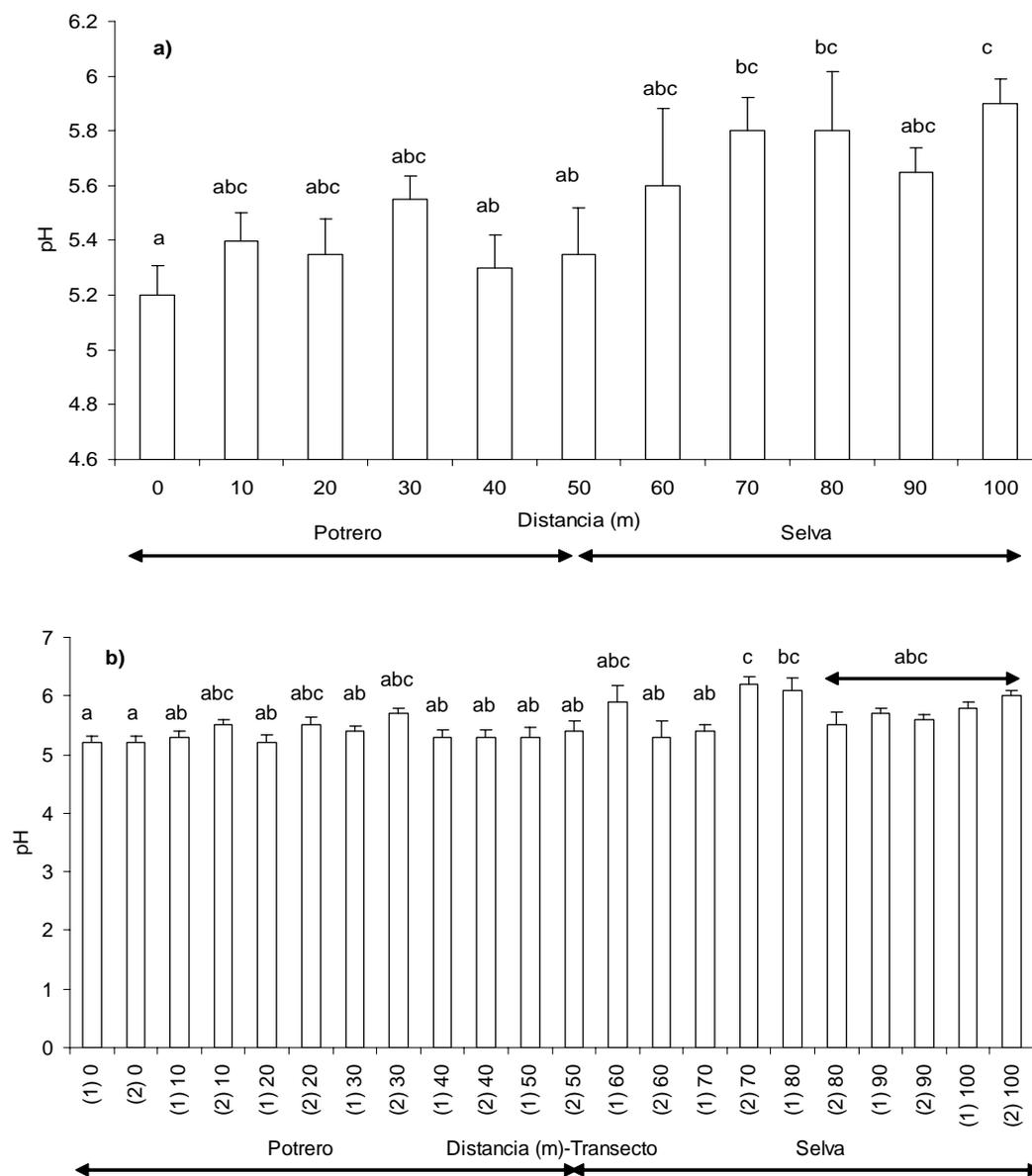


Fig. 9. Pruebas de Tukey para las variables de pH a) distancia, b) interacción transecto-distancia (+1 E.E.). (Entre paréntesis se muestra el número del transecto).

### 6.2.3 Densidad aparente.

La densidad aparente fue mayor en la zona del potrero, principalmente hacia la zona intermedia (Fig. 10). Puede notarse que en general para el transecto uno la mayor densidad se registró del metro 20 al 40, mientras que para el primer transecto se observó en el metro 50.

El AndeVA, mostró diferencias significativas para la distancia, parcela y la interacción entre ellas (Tabla 4), encontrándose cuatro grupos: en el primero (a) están las parcelas del metro 60 y 70; en el grupo (b) las parcelas 90, 80 y 10m; el grupo (c) en el metro 50 y por último en el grupo (d) al punto 50 m, de menor a mayor densidad. Los valores de las parcelas fueron  $1.406 \text{ g/cm}^3$  y  $1.448 \text{ g/cm}^3$ , para las parcelas uno y dos, respectivamente (Fig. 11a). Con respecto a la interacción se encontraron seis grupos: el primero (a) del transecto uno con las parcelas 0 y 70 m, el siguiente (c) presentó a las parcelas 10, 80 y 100 m del primer transecto, y 80 y 10 m del segundo transecto, el tercer grupo (e) a la parcela 0 m del transecto dos, en el grupo (g) se ubicó la parcela 20m del transecto uno, en el quinto grupo (h) está la parcela 30 m del primer transecto y por último a la parcela 50 m del segundo transecto (i) (Fig. 11b).

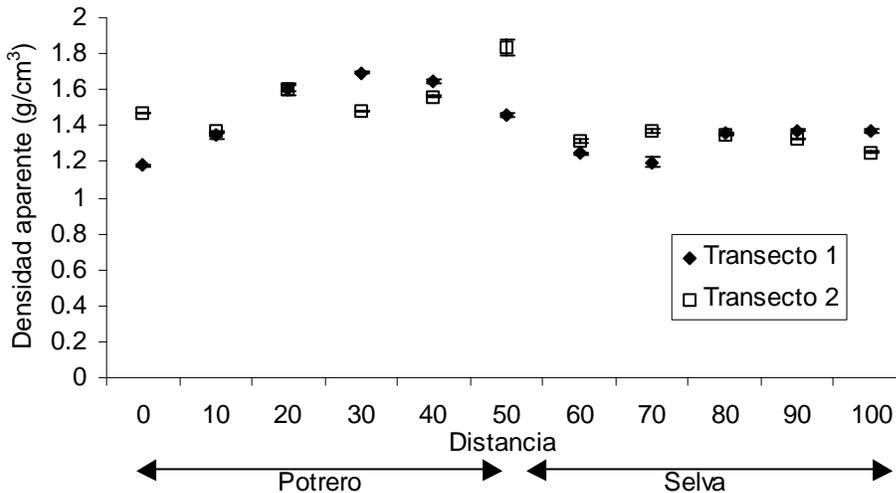
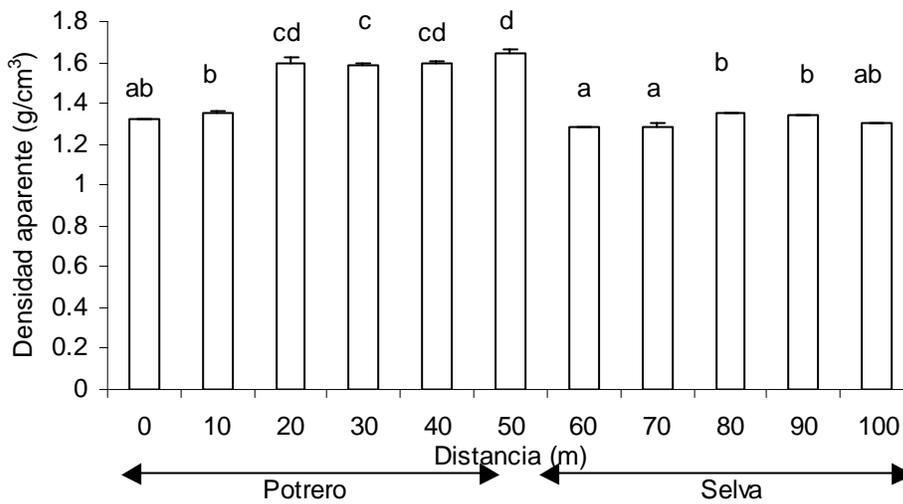


Fig. 10. Densidad aparente del suelo a lo largo de los transectos.

Tabla 4. Análisis de ANdeVA para la densidad aparente en los transectos (\*p<0.05).

Efecto	g.l	F	p
Distancia (1)	10	183.5702	8.3962E-19*
Transecto (2)	1	40.10443	2.2574E-06 *
1x2	10	63.61887	7.0127E-14 *

a)



b)

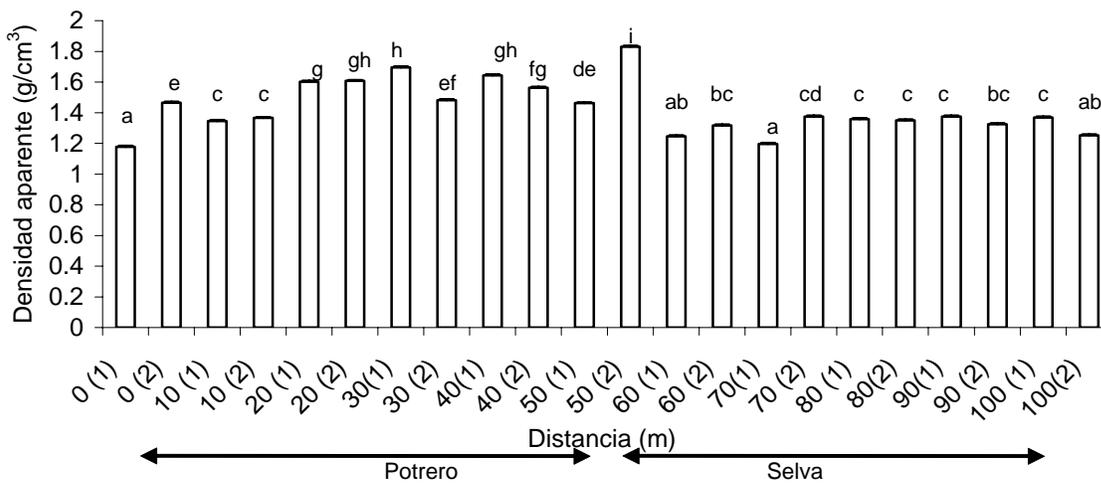


Fig. 11. Pruebas de Tukey para la densidad aparente a) distancia, b) interacción transecto-distancia (+1 E.E.). (Entre paréntesis se muestra el número del transecto).

#### **6.2.4 Microperfiles de suelo.**

Al realizar los perfiles de suelo se evidenciaron cambios en el número de horizontes de 3 a 6 en la selva y de 2 a 4 en el exterior.

En general se apreció una disminución de la capa de mantillo hasta desaparecer en la parte del potrero. Se observó también una disminución en el número de horizontes en la zona de potrero en donde solo se encontraron dos, mientras que en la zona de la selva se registraron cinco (Fig. 12). En las figuras 12 y 13 se observa el número de horizontes, las dimensiones y algunas de las características principales de los microperfiles. En el apéndice 1 se muestra la descripción detallada de los perfiles.

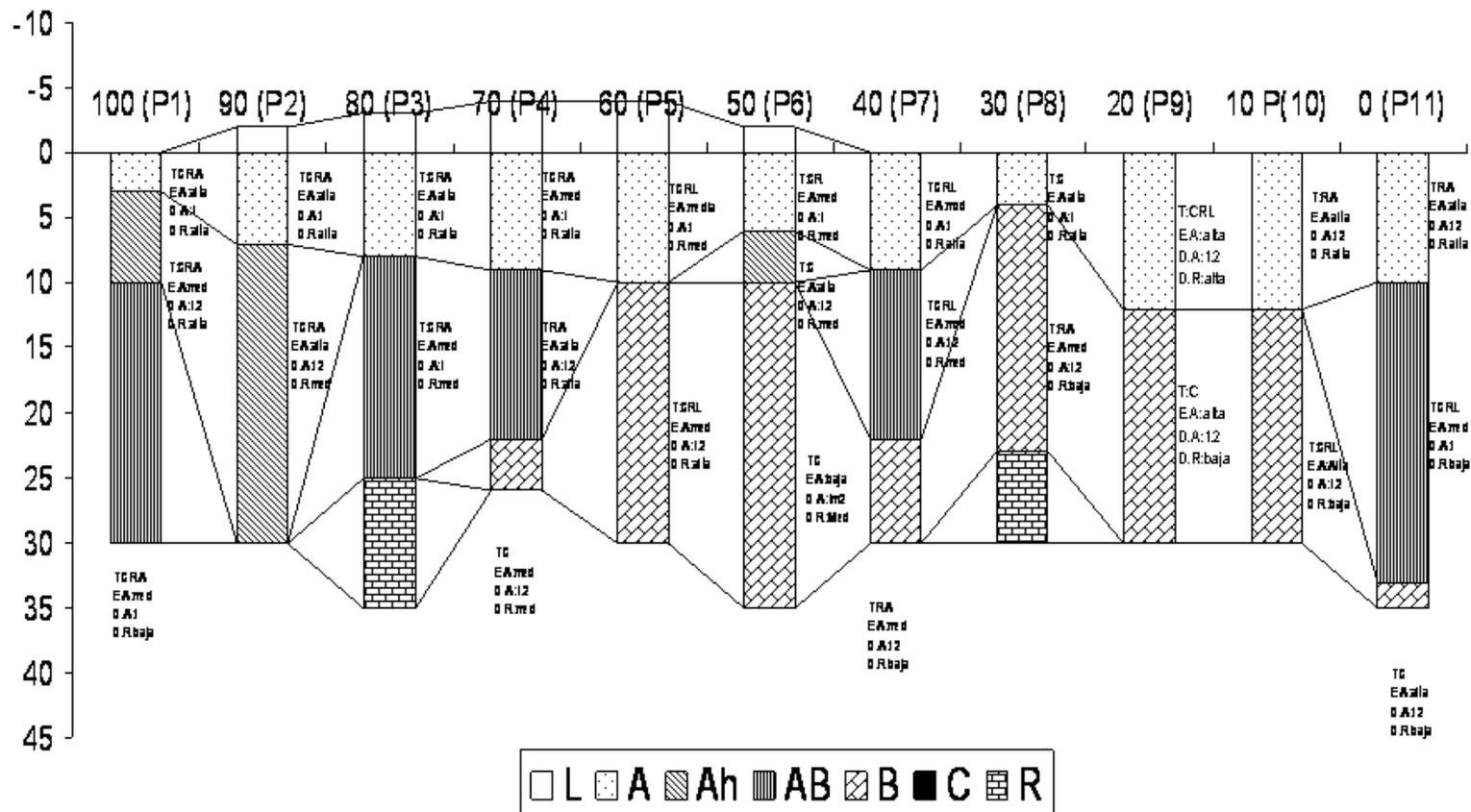


Fig. 12 Microperfiles de las parcelas en el primer transecto; se muestran los resultados de textura (T), estabilidad de agregados (EA), densidad aparente (DA) y densidad de raíces finas (DR)

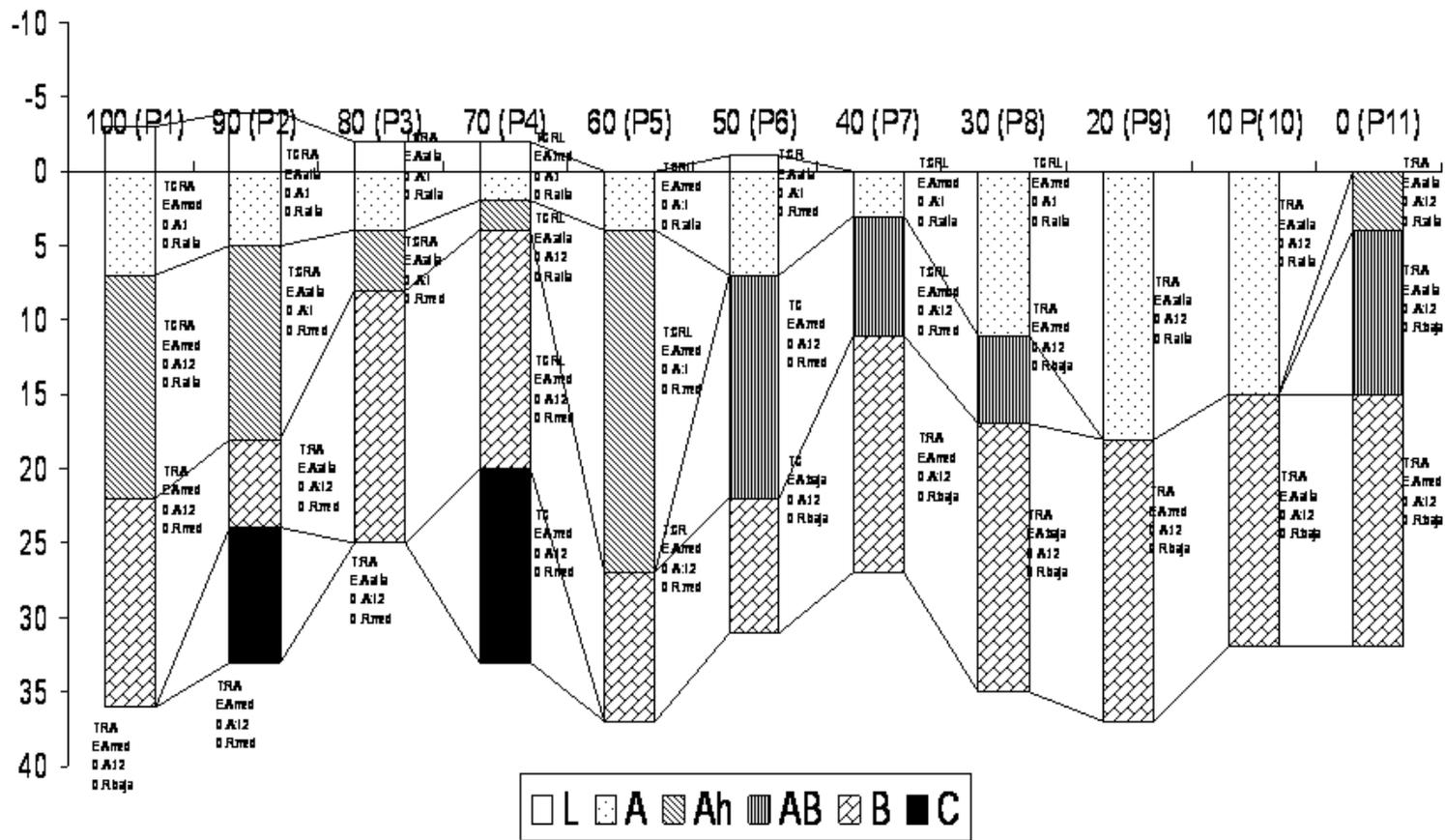


Fig. 13 Microperfiles de las parcelas en el segundo transecto; se muestran los resultados de textura (T), estabilidad de agregados (EA), densidad aparente (DA) y densidad de raíces finas (DR)

### 6.3 Riqueza y abundancia de esporas.

La riqueza considerando las dos parcelas fue de 25 especies, repartida en 4 géneros: *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus* y *Scutellospora*, con 6, 2, 13 y 2 especies, respectivamente (Apéndice 1).

En el primer transecto se encontró una menor riqueza en la zona de potrero, con 6 especies en la parcela del metro 20, y la mayor riqueza hacia la parte interior de la selva con 10 especies en la parcela del punto 80; en el segundo transecto la parcela del punto 30 presentó nuevamente la menor riqueza y la mayor en la zona de selva con 11 especies (80 m). En la zona de potrero del segundo transecto se observó en el punto más extremo una alta riqueza con 10 especies (Fig. 14) Al realizar el ANDeVA no se presentaron diferencias a lo largo de los transectos y las parcelas.

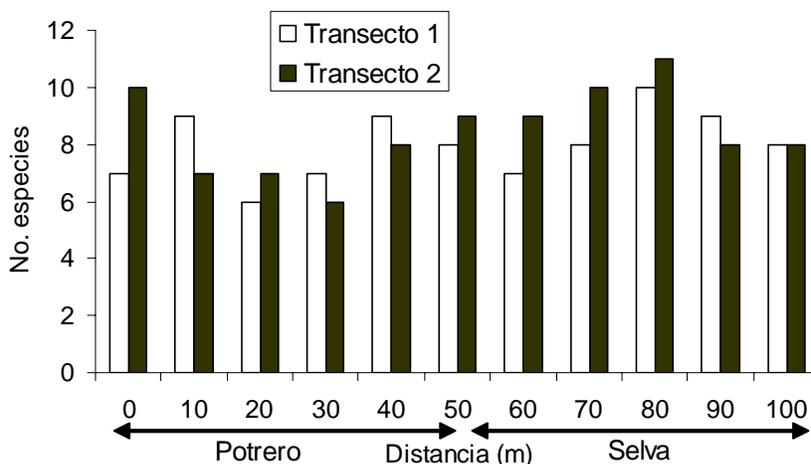


Fig. 14. Riqueza de especies a lo largo de las transectos.

El género *Gigaspora* sólo presentó una especie, la cual en el primer transecto se presentó en varias parcelas, mientras que en el segundo transecto se observó en todas las parcelas (Fig. 12a y b). *Acaulospora* se registró solamente en primer transecto con 2 a 6 especies, y con 2 a 4 especies en el potrero (Fig. 12a); para el transecto dos, se encontraron de 1 a 4 especies en el potrero, de 4 a 5 en la zona intermedia y de 4 a 2 especies en la selva (Fig. 12 b). El género *Glomus* se presentó en el primer transecto con 2 a 4 especies y con un máximo de 5 en la zona de potrero (Fig. 15a); en el

segundo transecto el mayor número de especies fue en la zona de selva con 2 a 5 (Fig. 15b); para el género *Scutellospora*, en el primer transecto se registraron en una de las parcelas (70 m) dos especies, y en los otros puntos se registró solo una especie; por otro lado en el segundo transecto solamente en un punto se encontró una especie (Fig. 15 a y b).

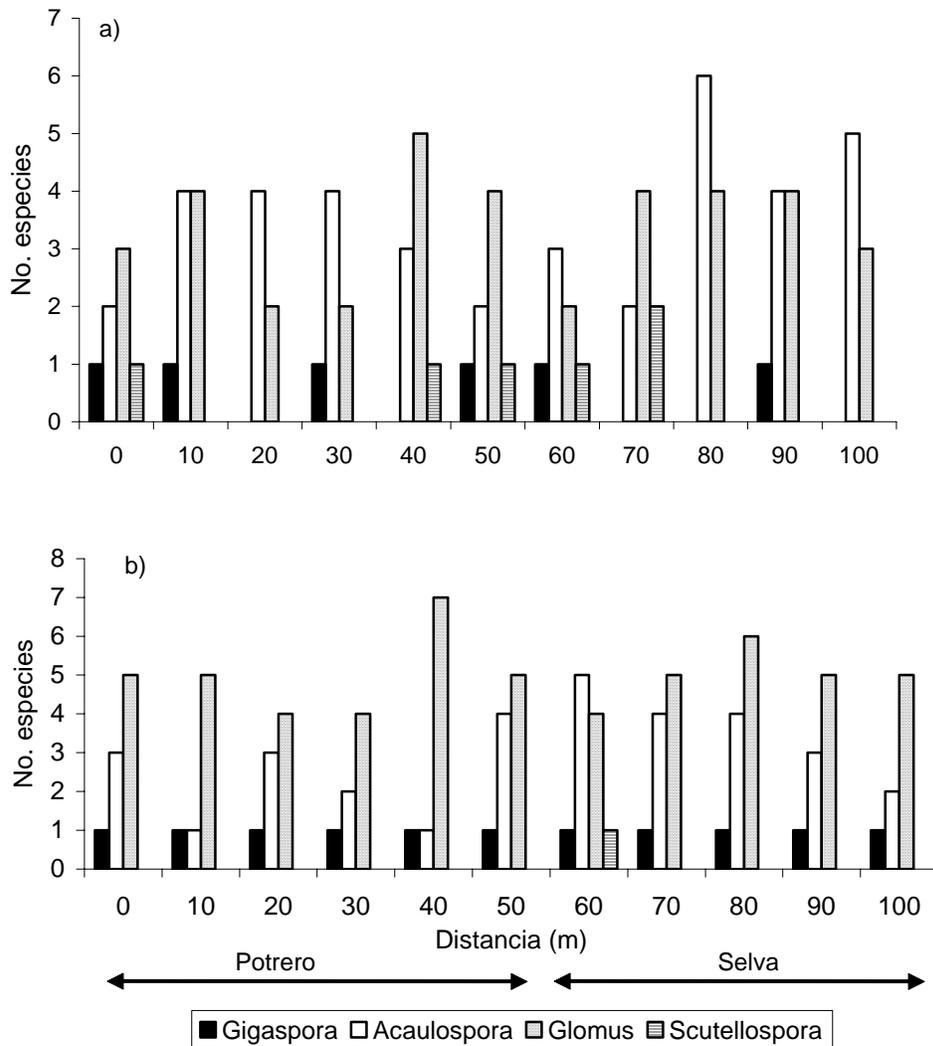


Fig. 15. Riqueza de especies, a lo largo de los transectos 1 (a) y 2 (b), para cada género.

En cuanto a la abundancia total, los valores mayores se observaron en la zona de selva en ambos transectos; en la primera la mayor abundancia fue 636 esporas (80

m), mientras que en la segunda parcela fue de 518 (90 m); las menores abundancias se presentaron en la zona de potrero en ambas parcelas: en la primera con 42 esporas (30 m) y en la segunda con 98 (40 m) (Fig. 16a). En cuanto a la abundancia promedio por punto se observa que sigue siendo mayor en los sitios de selva, encontrándose nuevamente las mayores abundancias en la selva en los puntos 10, 90 y 100 m y la menor en la zona de potrero (Fig. 16b).

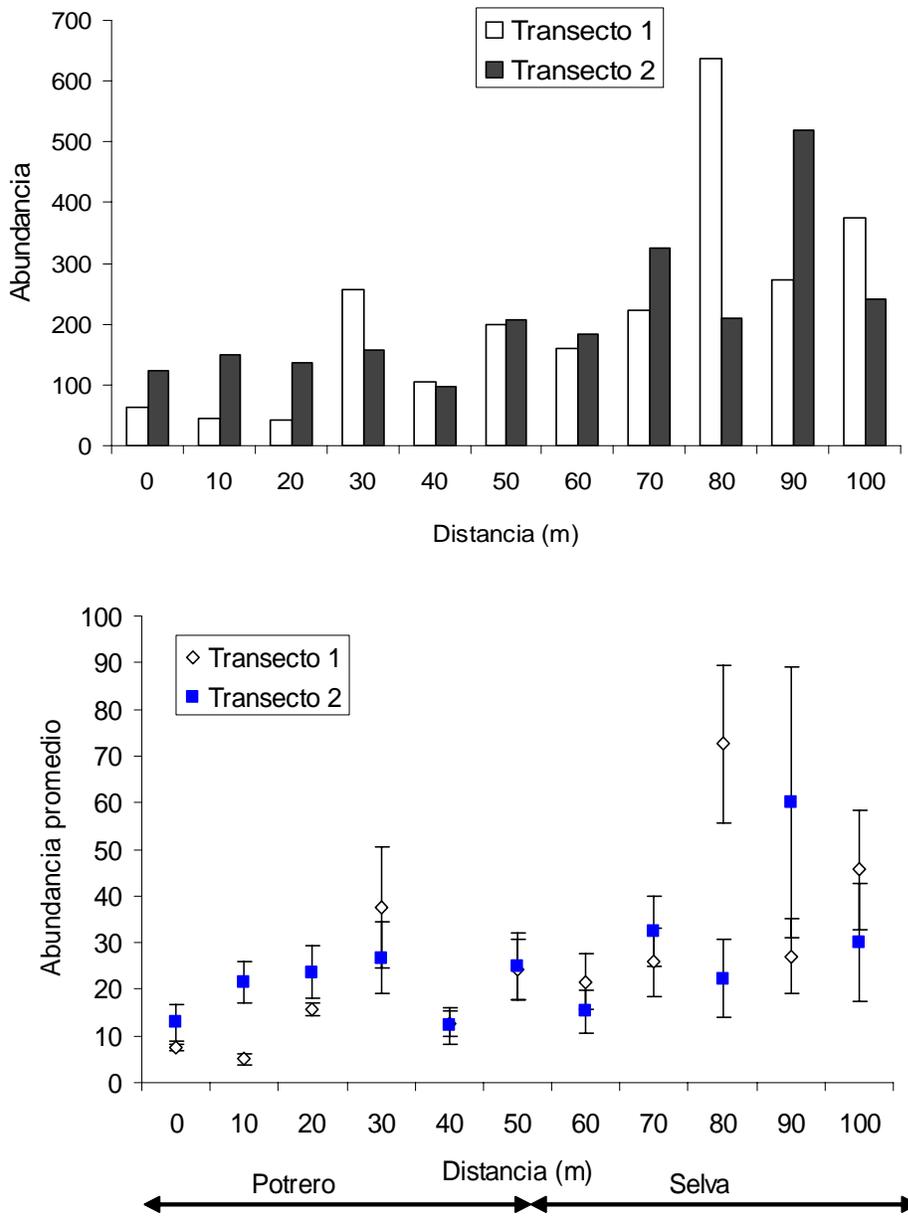


Fig. 16. Abundancia total (a) y promedio (b) ( $\pm 1$ E.E.) a lo largo de los transectos.

Al realizar el ANdeVA, se registraron diferencias significativas para la variable distancia y para la interacción distancia-parcela (Tabla 5); entre parcelas no se presentaron diferencias. Al realizar la prueba de Tukey se presentaron dos grupos, con las menores abundancias en el potrero (a excepción de la parcela del metro 60) y la mayor abundancia en la zona de selva. En la interacción de distancia-parcela se formaron también grupos; en el primero con poca abundancia se agruparon las parcelas del potrero (con excepción de los metros 60 y 70) (**a**); por otro lado el metro 80, que tuvo la mayor abundancia (Fig. 17b).

Tabla 5. Análisis de ANdeVA para la abundancia a lo largo de las parcelas, (\*p<0.05).

Efecto	g.l	F	p
Transecto (1)	10	3.75338578	0.00106111
Distancia (2)	1	0.03546257	0.8514955
1x2	10	2.08620524	0.04643724

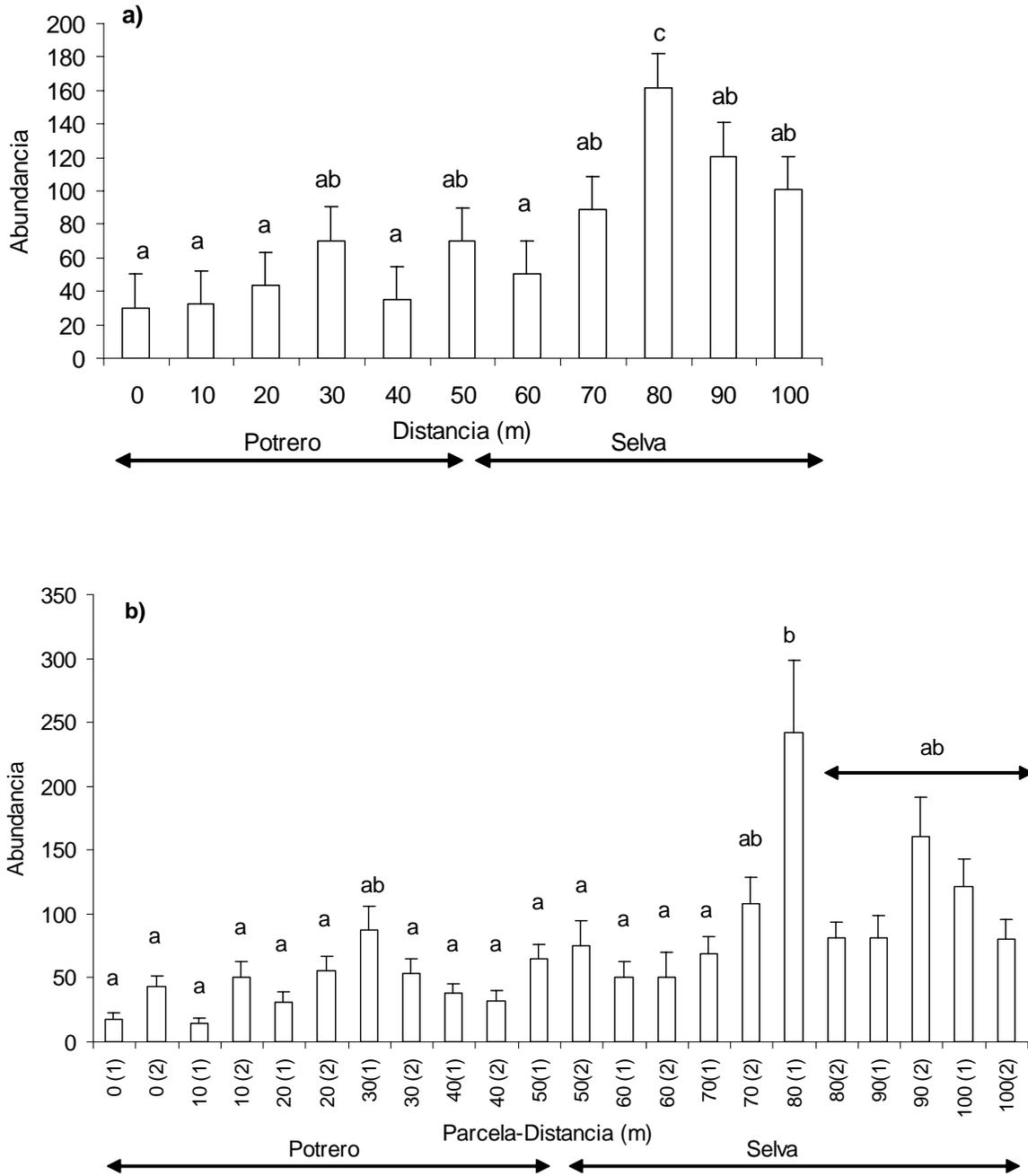


Fig. 17. Resultados de la Prueba de Tukey para la abundancia (+1 E.E.) de esporas a lo largo de los transectos. a) distancia, b) interacción transecto-distancia; los transectos se muestran entre paréntesis.

### 6.3.1 Riqueza y abundancia por género

#### 6.3.1.1 *Acaulospora*

Este género presentó seis especies: *Acaulospora scrobiculata*, *A. apendiculata*, *A. foveata*, *A. leavis*, *A. mellea*, *A. spinosa*, *Acaulospora* sp1, *Acaulospora* sp2 y *Acaulospora* sp3.

La mayor abundancia se presentó en la selva, en la parcela del metro ochenta y también en el potrero en el punto 30(m), pero en el punto 30 en la zona de potrero se registró una alta abundancia (170) (Fig. 18a); el promedio por lo general fue mayor en el segundo transecto (Fig. 18b).

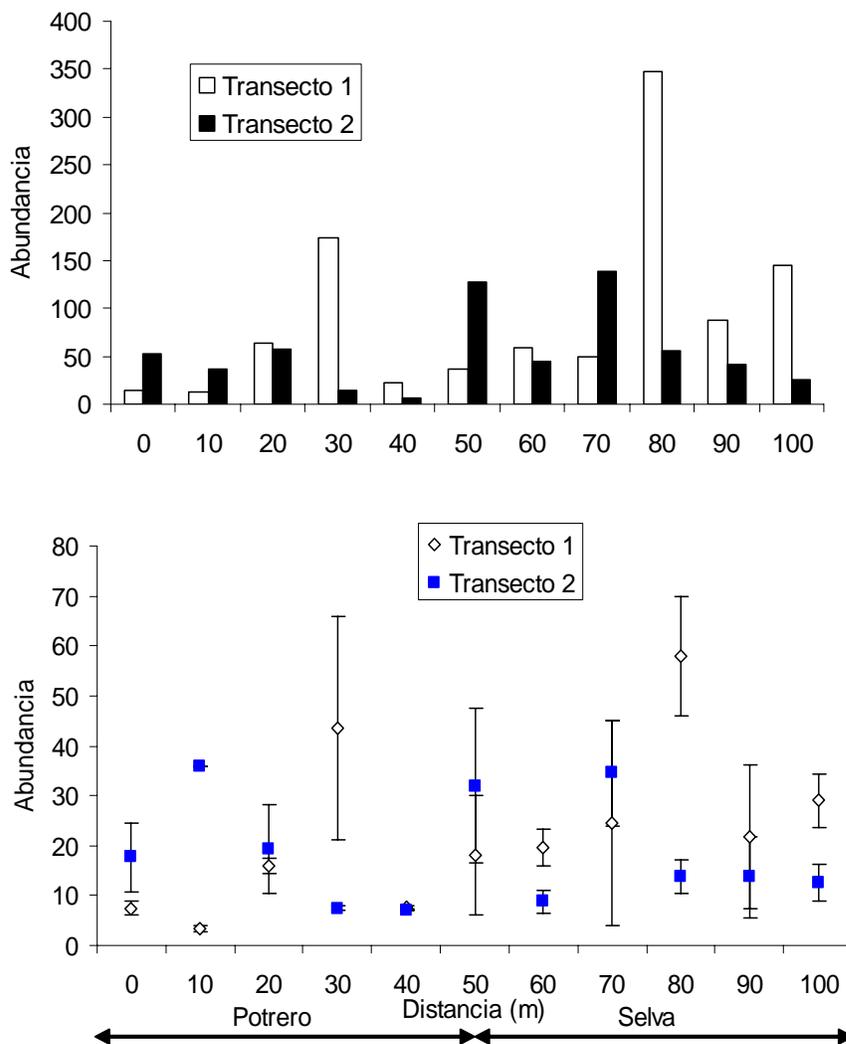


Fig. 18. Abundancia total (a) y promedio (b) de *Acaulospora* ( $\pm 1E.E$ ) en ambos transectos.

Al observar la abundancia y diversidad de este género en ambos transectos, la mayor diversidad fue hacia el interior de la selva encontrando puntos con 6 especies (80m) y 5 especies (60(2), 100m); el máximo fueron seis especies a los 80m. También se registraron varios sitios con 4 especies, los cuales fueron en el interior de la selva (70, 80(2), 90m), en el límite entre el potrero y la selva (50(2)) y en la zona de potrero (10, 20 y 30) de la misma parcela. El menor número de especies de este género se observó en la zona de potrero (Fig. 19).

*A. scrobiculata* y *A. apendiculata*, se registraron a lo largo de casi todo el transecto y presentaron las mayores abundancias en la zona de selva. *A. mellea* es otra especie que se encontró a lo largo de todo el transecto, con una mayor abundancia en el potrero.

*A. leavis* se encontró más hacia la parte externa del potrero y hacia el interior de la selva, es decir en puntos extremos. *A. foveata* es una especie que se encontró más en la zona del potrero, con una abundancia alta a comparación de otras especies (110). Dos morfoespecies de este género *Acaulospora* sp1 y sp2, se registraron en la zona intermedia de las parcelas hacia la zona de selva y las pocas que se encontraron en el potrero solamente fueron en el segundo transecto. En el caso de *Acaulospora* sp3 se presentó sólo en cuatro puntos y tres de ellos en el transecto uno (10, 40 y 80m) y uno en el transecto 2 (80m).

*A. spinosa* solamente se registró en tres puntos: dos en el transecto uno (40 y 50m) y uno en la parte de selva (90m) (Fig. 19).

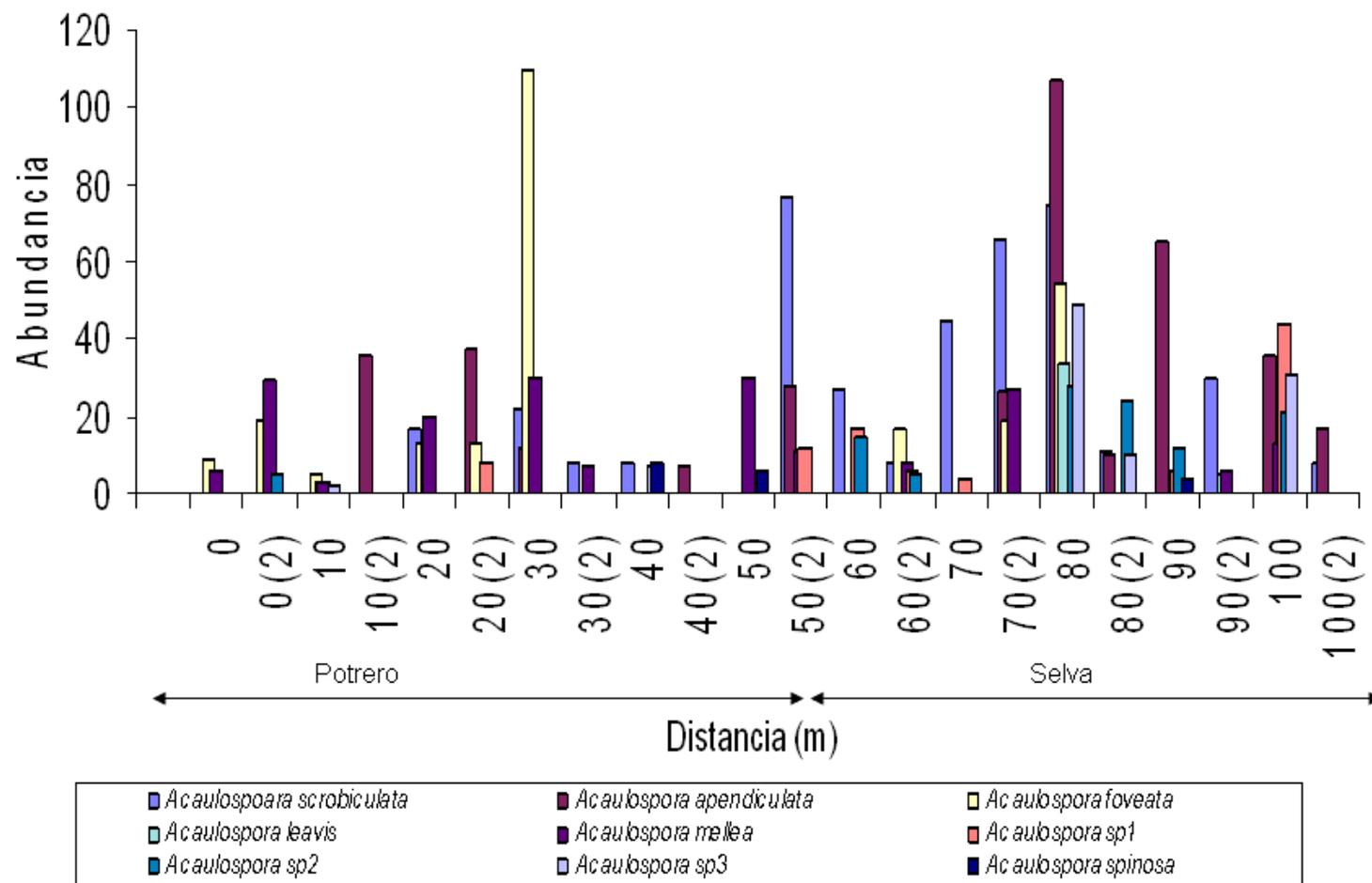


Fig. 19. Abundancia de las especies del género *Acaulospora* a lo largo de los transectos

### 6.3.1.2 *Gigaspora*

Sólo en dos puntos no se encontraron esporas de este género, (20 y 40 m), la mayor abundancia fue en el transecto uno teniendo un máximo de 26 (50 m), observándose una abundancia mayor en la selva que en el potrero donde el máximo fue de 6 esporas (Fig. 20).

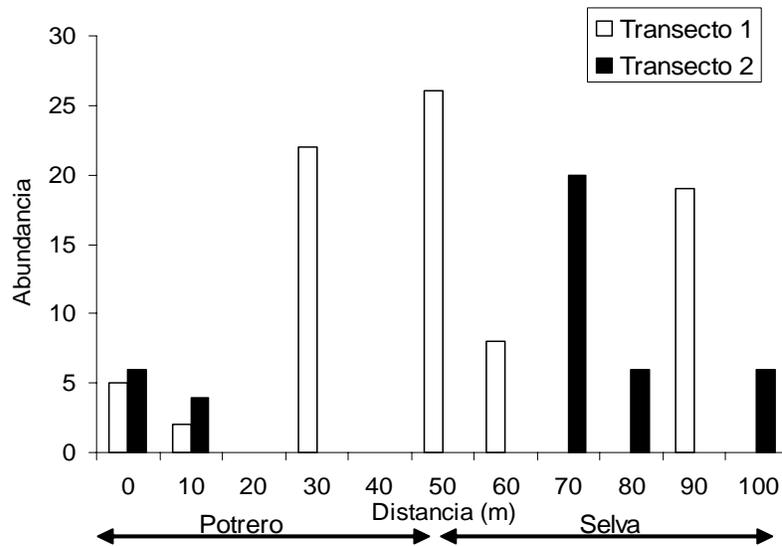


Fig. 20. Abundancia del género *Gigaspora* en los transectos.

Este género solamente presentó dos especies. Una de ellas fue un nuevo registro para la zona de Los Tuxtlas, *G. decipiens*, y la otra fue un morfo no identificado (*Gigaspora* sp1). En el caso de la primera, únicamente se presentó en el potrero en ambas parcelas con abundancias menores a 25 esporas; para el caso de la segunda especie solamente se registró en un punto del potrero (0 m) (Fig.21).

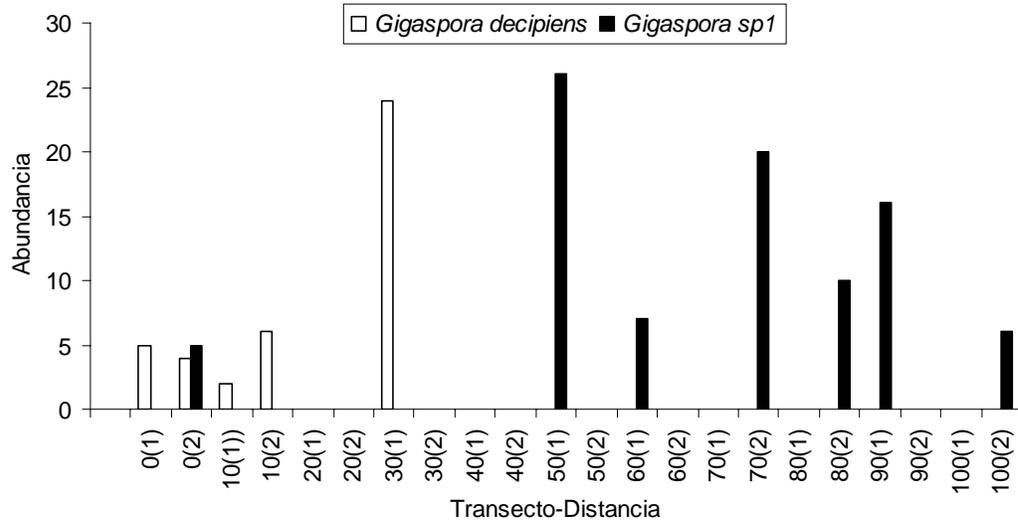


Fig. 21. Abundancia de las especies de *Gigaspora* en los transectos; se muestra el número del transecto entre paréntesis.

### 6.3.1.3 *Glomus*

Se identificaron 10 especies y dos morfoespecies de este género: *Glomus* aff. *deserticota*, *G.* aff. *scintillans*, *G. caledonium*, *G. claroideum*, *G. constrictum*, *G. etunicatum*, *G. fasciculatum*, *G. geosporum*, *G. magnicaule*, *G. moseae*, *Glomus* sp1. y *Glomus* sp2.

La abundancia total de esporas fue mayor en la zona de selva para ambos transectos, teniendo picos de hasta 350 esporas (Fig.22a).

En cuanto a la abundancia promedio, las mayores abundancias se cuantificaron en el interior de la selva, tanto en la parcela 1 (80 y 100 m) como en la parcela 2 (90 m). Por otro lado, se pudo observar un mayor número de esporas y de especies en la parte interna de la selva y menor en la zona de potrero (Fig. 22b).

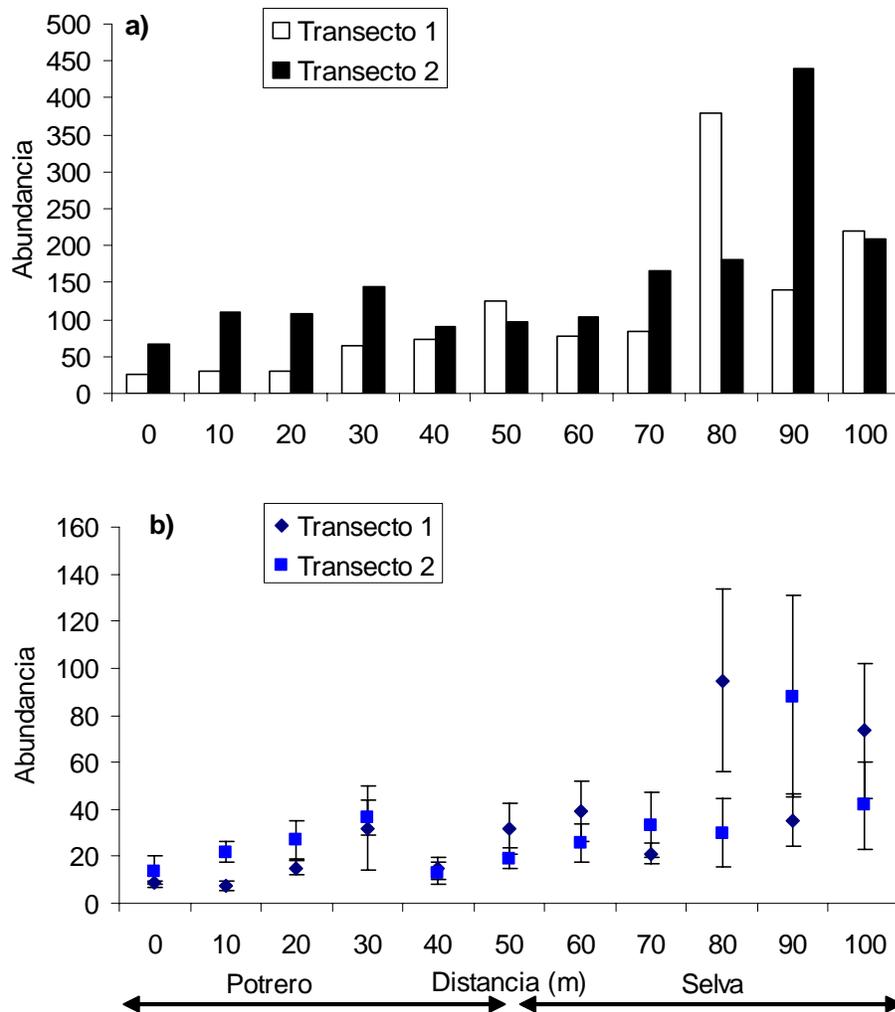


Fig. 22. Abundancia total (a) y promedio del género *Glomus* (b) ( $\pm 1$ E.E) en ambos transectos.

*Glomus caledonium*, *G. claroideum* y *G. constrictum* se registraron en todo el transecto. En el caso de la primera la mayor abundancia fue en la zona de potrero del segundo transecto (36 esporas (10m); para las otras dos especies se presentó la mayor abundancia en la zona de selva. *G. caledonium* y *G. geosporum*, presentaron un patrón parecido excepto que su presencia en el potrero sólo se detectó en la parte inicial de éste (Fig. 23).

*G. magnicaule* y *G. etunicatum* se encontraron sólo hacia la selva. *Glomus mossea* presentó una mayor abundancia en la zona intermedia de los transectos (30-50m), aunque también se registró en ambas zonas (Fig. 23).

*G. aff. deserticota*, *G. aff. scintillians*, *Glomus* sp1. y *Glomus* sp2, se registraron sólo aisladamente en algunos puntos. *G. fasciculatum* fue una especie que se registró en varios puntos del primer transecto del potrero (10, 30, 50, 70 y 100 m) (Fig. 20).

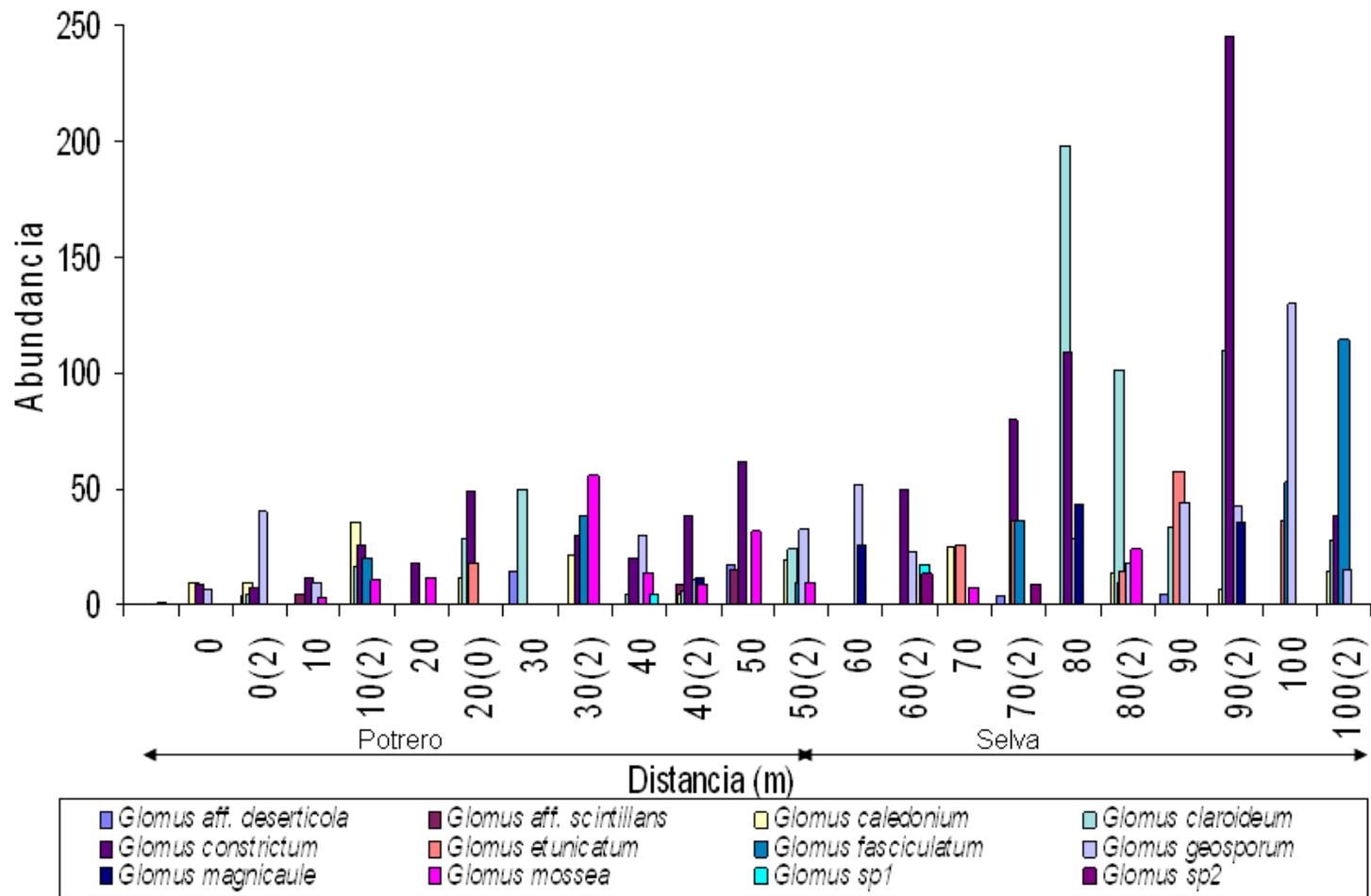


Fig. 23. Abundancia de las especies del género *Glomus* a lo largo de los transectos

### 6.3.1.4 *Scutellospora*

La distribución de este género se restringió fundamentalmente a la zona media de los transectos; la mayor abundancia se registró en el transecto uno con 74 esporas y la menor en el mismo transecto solamente con 7 esporas (Fig. 24).

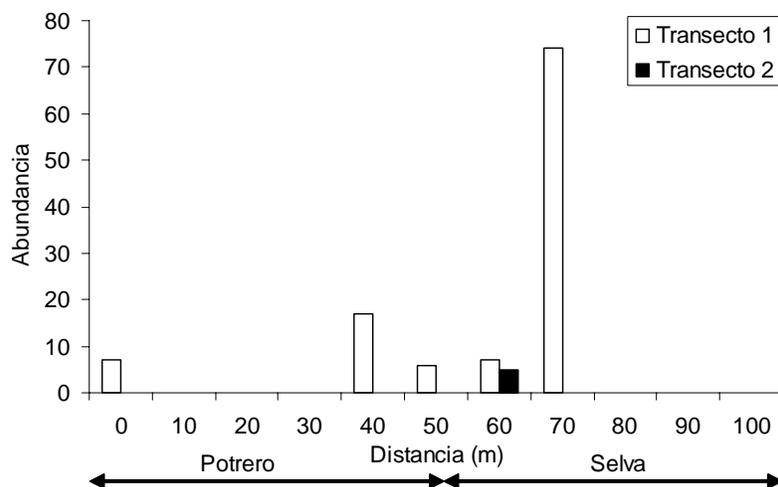


Fig. 24. Abundancia de *Scutellospora* en los transectos.

Al igual que en *Gigaspora*, solamente se presentaron dos especies *Scutellospora erythroa* y *S. verrucosa*, siendo la más abundante la segunda (60 esporas), mientras que de *S. erythroa* solo se encontraron 9 esporas. En ambos casos su distribución fue solamente en la zona de potrero (Fig. 25).

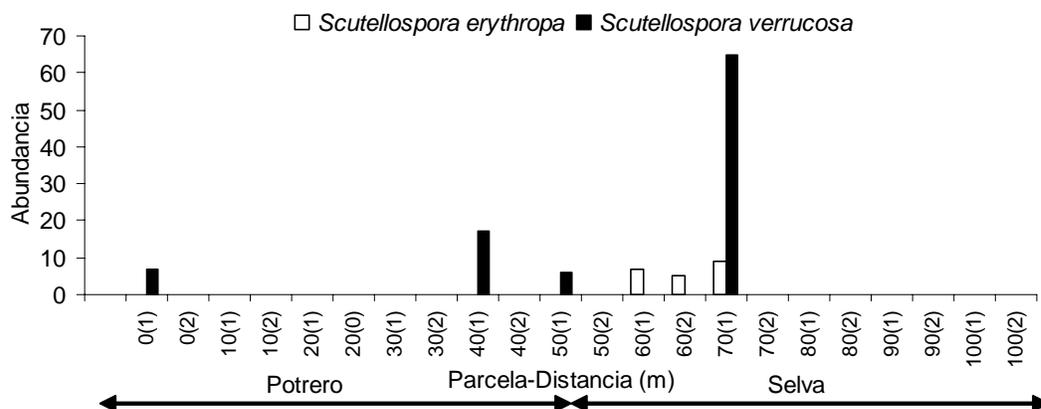


Fig. 25. Abundancia de las especies de *Scutellospora* en los transectos.

## 6.4 Índices de Diversidad

Se calculó el índice de diversidad para el total de especies y para los dos géneros más abundantes que fueron *Acaulospora* y *Glomus*.

Los mayores índices de diversidad se registraron en el intervalo del metro 40 al 80, seguido de los primeros puntos del potrero; el menor valor de diversidad se determinó en el punto 90 m del segundo transecto (Fig. 26b).

En el caso de *Acaulospora*, los mayores índices se presentaron del metro 50 al 80; en el caso de *Glomus*, los mayores valores de diversidad fueron en el metro 40 es decir más hacia la zona de potrero, en ambos transectos, y el menor índice en la zona de selva (Fig. 23).

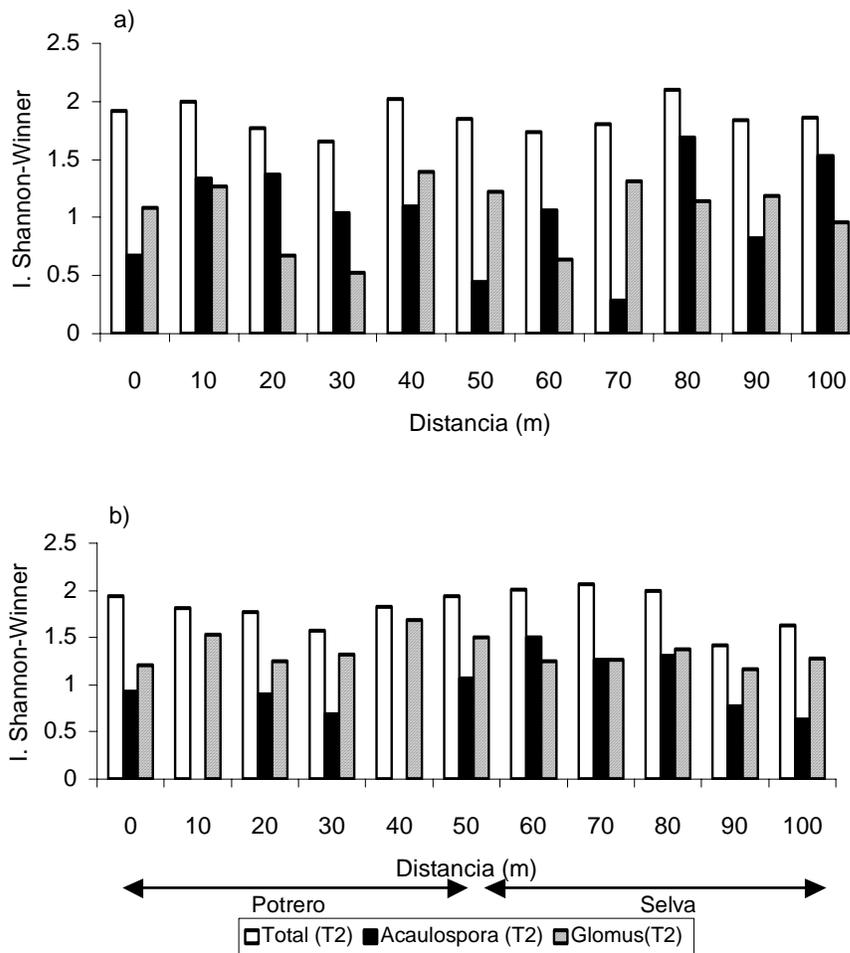


Fig. 26. Índices de diversidad, para el total de especies y para los géneros más abundantes en los dos transectos: T 1 (a) y T 2 (b).

## 6.5 Caracterización microambiental de los transectos y las características del suelo

### 6.5.1 Resultados del Análisis de Correspondencia Corregido (DECORANA) microambiental (luz y humedad del suelo)

Al realizar el análisis entre las variables ambientales de luz y humedad a lo largo de los transectos, el valor de la raíz característica en el eje 1 fue de (0.41), lo que indica que se presenta una correlación significativa entre las parcelas y las condiciones microambientales; la longitud del primer eje (1.58) indica que hay un gradiente a lo largo de las parcelas debido al cambio en las condiciones microambientales (Tabla 6). Se puede hipotetizar que el primer eje corresponde al factor luz.

El segundo eje presentó un valor de (0.033) y la longitud de éste fue de (0.66) (Tabla 6). En este caso la humedad del suelo podría estar separando los puntos a lo largo de los transectos, ya que al incrementar la intensidad de luz disminuye la humedad del suelo. En la figura 27 se agrupan los puntos con mayor intensidad de luz que están hacia el potrero (0, 10, 20, 40, y 50 de ambos transectos A(1),B(2)). Un segundo grupo en el potrero presenta menor intensidad de luz (30 A y B), y finalmente se observa a las parcelas de selva en las cuales la intensidad de la luz disminuye (80B, 90 A y 60, 70 y 100 para ambos transectos), separándose dos parcelas (80A y 90B) por presentar las valores más altos de la humedad del suelo.

Tabla 6. Resultados del análisis de correspondencia corregido (DECORANA). Se presentan los valores de las raíces características o eigenvalores y la longitud del gradiente para las variables ambientales y los primeros ejes.

Ejes	1	2
Raíces características	0.41	0.62
Longitud del gradiente	1.55	0.033

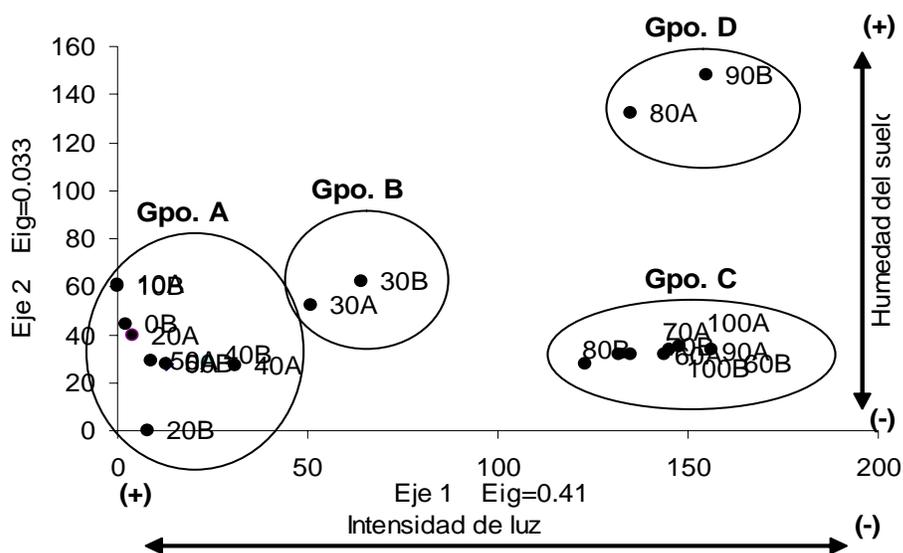


Fig. 27. Distribución de los puntos de muestreo, de acuerdo al análisis de DECORANA con las variables ambientales. (A) transecto 1 y (B) transecto 2.

### 6.5.2. Resultados del Análisis de Correspondencia Corregido (DECORANA) conforme a las características edáficas.

Se realizaron tres análisis de correspondencia: a) con todas las variables del suelo, (Textura, pH, materia orgánica (MO), estructura, estabilidad de agregados, densidad aparente (DA), densidad de raíces finas (DRF), humedad del suelo, estabilidad de agregados y poros; esta variable se dividió en forma del poro y tamaño por lo que fueron seis combinaciones). El segundo análisis se realizó sólo con los poros que están divididos en tubulares, vesiculares e intersticiales, (considerando el tamaño y abundancia), y el tercero se realizó, con todas las variables excepto los poros.

El primer análisis (todas las variables) mostró que el valor de la raíz característica fue de 0.02, en el primer eje con un largo del gradiente de 0.304, lo que representa una correlación significativa entre los transectos y las características edáficas; ello indica que hubo diferencias a lo largo del gradiente de selva a potrero. En el segundo eje el eigenvalor o raíz característica fue de 0.006 y el largo del gradiente fue de 0.317. Parece ser que la densidad aparente es el factor que está determinando la distribución

de las parcelas. El primer eje se relaciona con la densidad aparente y el segundo con la estabilidad de agregados y la textura.

La figura 28 muestra el arreglo de los puntos a lo largo de las parcelas y se presentan varios grupos. En el Grupo A se encuentran los puntos donde la densidad aparente es mayor, que es hacia la zona de potrero; en el Grupo B, también la densidad aparente es alta pero tiene diferencias en la estructura del suelo. Por otra parte, el Grupo C agrupa parcelas de la zona de selva con menor densidad aparente y una estabilidad de agregados mayor estructura del suelo.

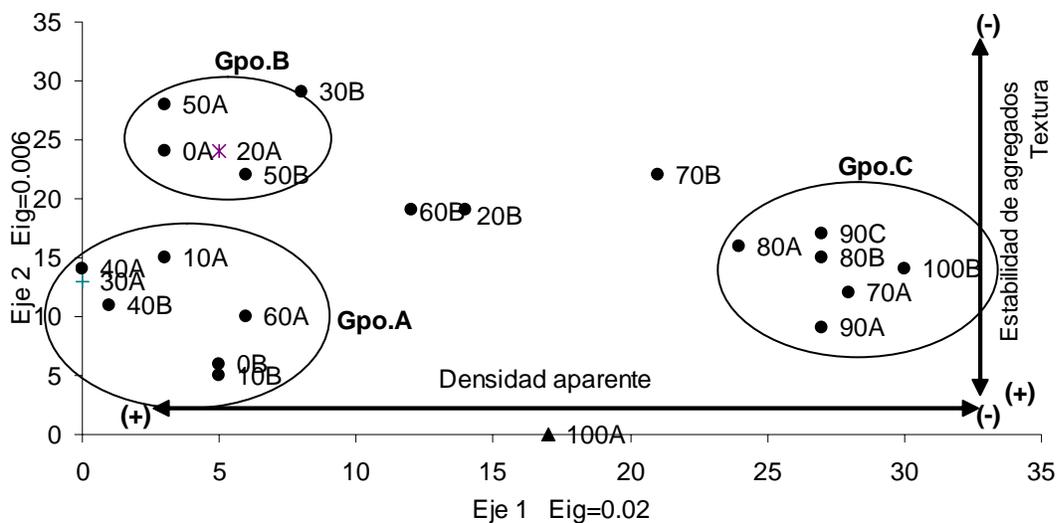


Figura 28. Distribución de las parcelas, de acuerdo al análisis de DECORANA con la todas las variables. (A) transecto 1 y (B) transecto 2.

Al realizar el DECORANA con las siguientes variables textura, pH, materia orgánica (MO), estructura, estabilidad de agregados, densidad aparente (DA), densidad de raíces finas (DRF) y humedad del suelo, la raíz característica del primer eje fue 0.01, encontrándose una correlación significativa en este eje; el largo del gradiente en este caso fue de 0.23, lo que indica que uno de los factores tiene una pequeña influencia en la ordenación de los puntos del interior de la selva al potrero. El segundo eje presentó un valor en la raíz característica de 0.001, lo cual refleja que el valor de este eje no es significativo y el largo del gradiente fue de 0.14. Por lo tanto, solamente el primer eje fue significativo, en donde las variables densidad aparente y la estructura, hipotéticamente

son las variables que están acomodando a las parcelas: por un lado la zona de la selva (100, 90 A y B y 70m A), la zona de potrero (0 (AB), 10B, 20A, 30A, 40m (AB)), y los puntos restantes se distribuyeron entre estos dos grupos (Fig.29).

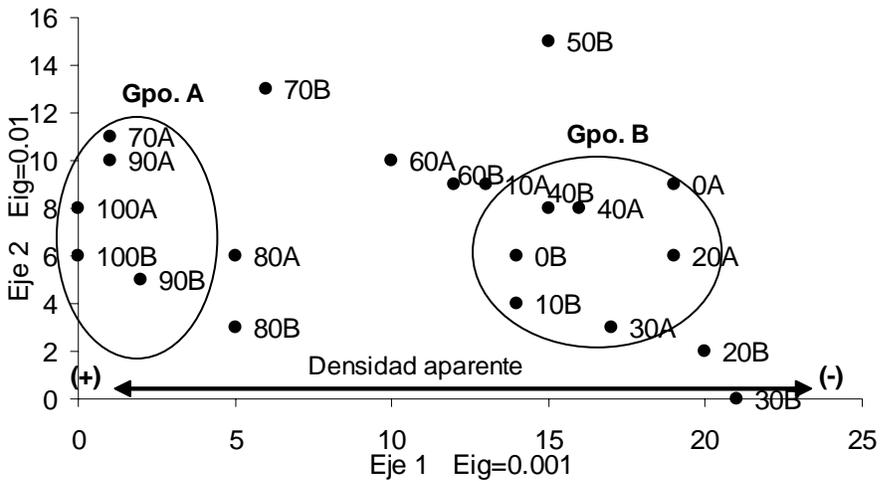


Figura 29. Posición de los puntos de muestreo de acuerdo a la textura, materia orgánica, estructura, estabilidad de agregados, densidad aparente, densidad de raíces finas y humedad del suelo. (A) transecto 1 y (B) transecto 2.

Al realizar el análisis para los poros por forma, tamaño y abundancia, el valor del primer eje o eigenvalor fue 0.11, que muestra una correlación significativa y el largo del gradiente es de 1.03; el segundo eje presentó un valor de 0.05 y el largo del gradiente de 0.94, lo que muestra que no hubo diferencias significativas. Ello indica que el primer eje distribuye los puntos a lo largo del gradiente selva-potrero de alguna forma por la abundancia y tamaño de los poros tubulares. En la figura 30 se muestra que los puntos se acomodaron en tres grupos: en el primero (Gpo.A), se agruparon puntos de la zona de potrero; el Grupo B esta formado por puntos intermedios y de selva, el tercer grupo (C) se formó por puntos del interior de la selva.

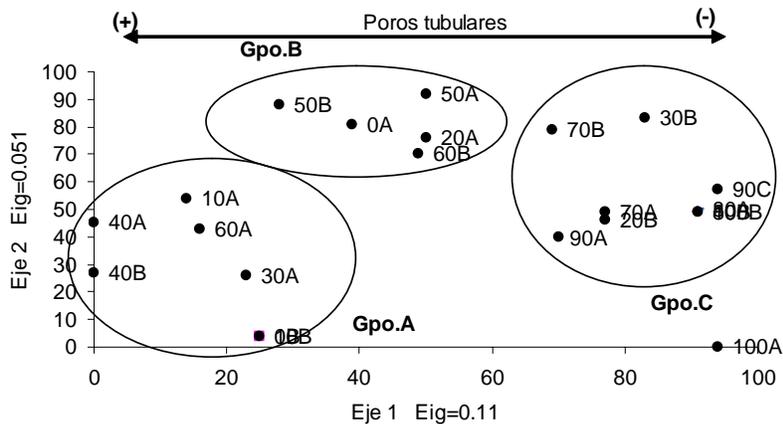


Fig. 30. Posición de los puntos de muestreo de acuerdo a la porosidad del suelo. (A) transecto 1 y (B) transecto 2.

### 6.6 Relación entre las variables edáficas y la riqueza de esporas

Al realizar el análisis canónico de correspondencia (CCA), se encontró una ordenación entre los factores ambientales, las especies y los puntos de muestreo a lo largo de los transectos (Fig. 31). Los valores de las raíces características de los dos primeros ejes, están indicando que hay una separación entre las especies de hongos micorrizógenos y los puntos a lo largo de los transectos asociada a las variables edáficas, encontrándose una varianza total del 23.8, explicada por los datos de las especies (Tabla 7).

Tabla 7. Valores de las raíces características, la correlación entre las especies, los factores edáficos y porcentaje de varianza explicada de hongos micorrizógenos.

	Eje 1	Eje 2
Valor eigen	0.313	0.269
Correlación especies-factores edáficos (Pearson)	0.958	0.928
Varianza en los datos de las especies		
Varianza explicada (%)	12.8	11
Varianza acumulada	12.8	23.8

En la figura 31 se observan en la parte superior derecha a especies como: *Glomus geosporum*, *G. etunicatum*, *Glomus* sp1, *G. magnicaule*, *Acaulospora* sp1 y sp2 y *A. appendiculata*, que se asocian con los sitios 60B, 100A, 90A, 20B y 90B; éstas se relacionan con la estructura del suelo y la densidad de raíces finas. En la parte inferior derecha de esta misma figura, se observan especies como *Acaulospora scrobiculata*, *A. spinosa*, *Scutellospora verrucosa*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus* sp2 y *Gigaspora* sp1, asociadas a los puntos, 40 y 50B, 40 y 70 A y 100B, que se relacionaron con la estabilidad de agregados. En la parte inferior izquierda se acomodaron las especies *Glomus deserticola*, *G. mosseae*, *G. constrictum*, *G. claroideum* y *Acaulospora mellea*. La porosidad del suelo muestra primero una relación con el tamaño de los poros vesiculares de los sitios: 0, 20 y 50A y 10B. Los puntos que se asociaron con los poros intersticiales y su abundancia son 10 A y B, 0 B, donde también se encuentra *Glomus aff. deserticola*. En el caso de los poros tubulares por ser de los más abundantes y el tamaño de los intersticiales parecen están vinculados con *Acaulospora foveata*, *Gigaspora decipiens*, *A. leavis*, *A. appendiculata* y *Glomus claroideum* y a los sitios 80, 20 y 90 del transecto 2 (B) y del transecto uno al punto 80(A).

Por último, con respecto a los poros tubulares por su abundancia y los intersticiales por su tamaño, parece que se agrupan *Acaulospora foveata*, *Gigaspora decipiens*, *A. leavis*, *A. appendiculata* y *Glomus claroideum* en los sitios 80, 20 y 90 m del transecto 2 (B) y del transecto uno en el punto 80m (A).

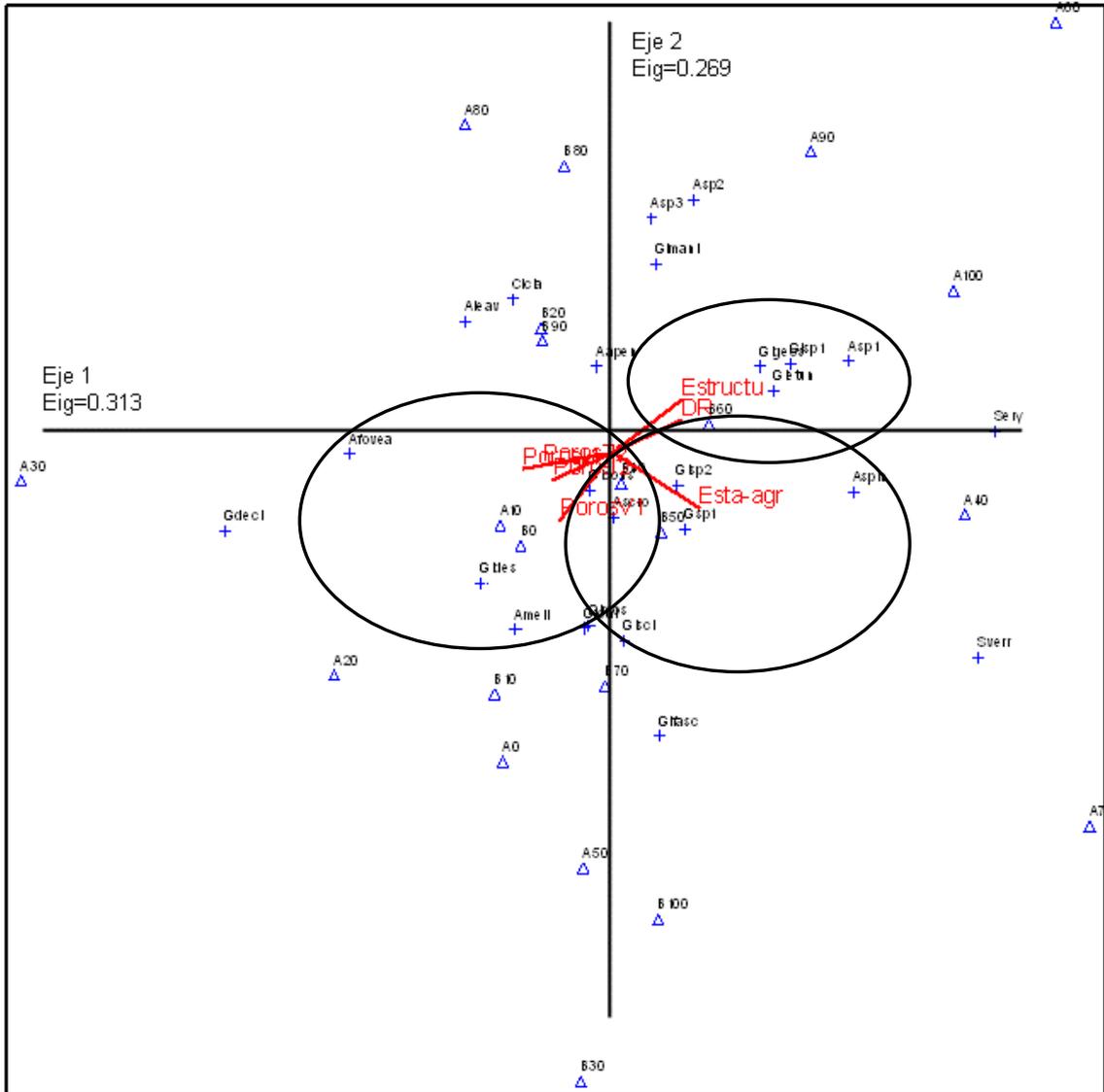


Figura 30. Análisis de CCA para todas las variables de suelo, las especies de hongos Micorrizógenos, ver apéndice 3 para las abreviaturas de las especies.

Al correr el CCA para las variables textura, pH, materia orgánica (MO), estructura, estabilidad de agregados, densidad aparente (DA), densidad de raíces finas (DRF) y humedad del suelo, se encontró una separación de puntos entre ambos transectos, determinándose una varianza de 19% de la variación acumulada y una correlación de 95% con las variables (Tabla 8).

Tabla 8. Valores de las raíces características, correlación entre las especies y los factores edáficos y el porcentaje de varianza explicada con relación a las especies de hongos micorrizógenos.

	Eje 1	Eje 2
Eigenvalor	0.276	0.186
Correlación especies-factores edáficos (Pearson)	0.943	0.850
Varianza en los datos de las especies		
Varianza explicada (%)	11.3	7.6
Varianza acumulada	11.3	19.0

En la figura 32 se observa que en la parte del cuadrante superior derecho la estructura del suelo y la densidad de raíces finas, son factores en los puntos 0, 30 y 40 del primer transecto(A), 0 y 50 del segundo transecto (B) que influyen en el ordenamiento de *Acaulospora scrobiculata*, *A. appendiculata*, *A. spinosa*, *Acaulospora* sp1, sp2 y sp3, *Glomus fasciculatum*, *G. geosprum*, *G. etunicatum*, *Gigaspora* sp1, y *Scutellospora verrucosa*. En el cuadrante inferior derecho se observan especies como *Glomus aff. deserticota*, *G. mosseae*, *G. scintillans*, *Glomus* sp1, *Glomus* sp2, *Acaulospora mellea* y *Scutellospora erythropha*, y los siguientes puntos del primer transecto (A) 50, 60, 90 y 100 y del segundo transecto (B) 30, 20 y 100, en los cuales son dominantes dichas especies.

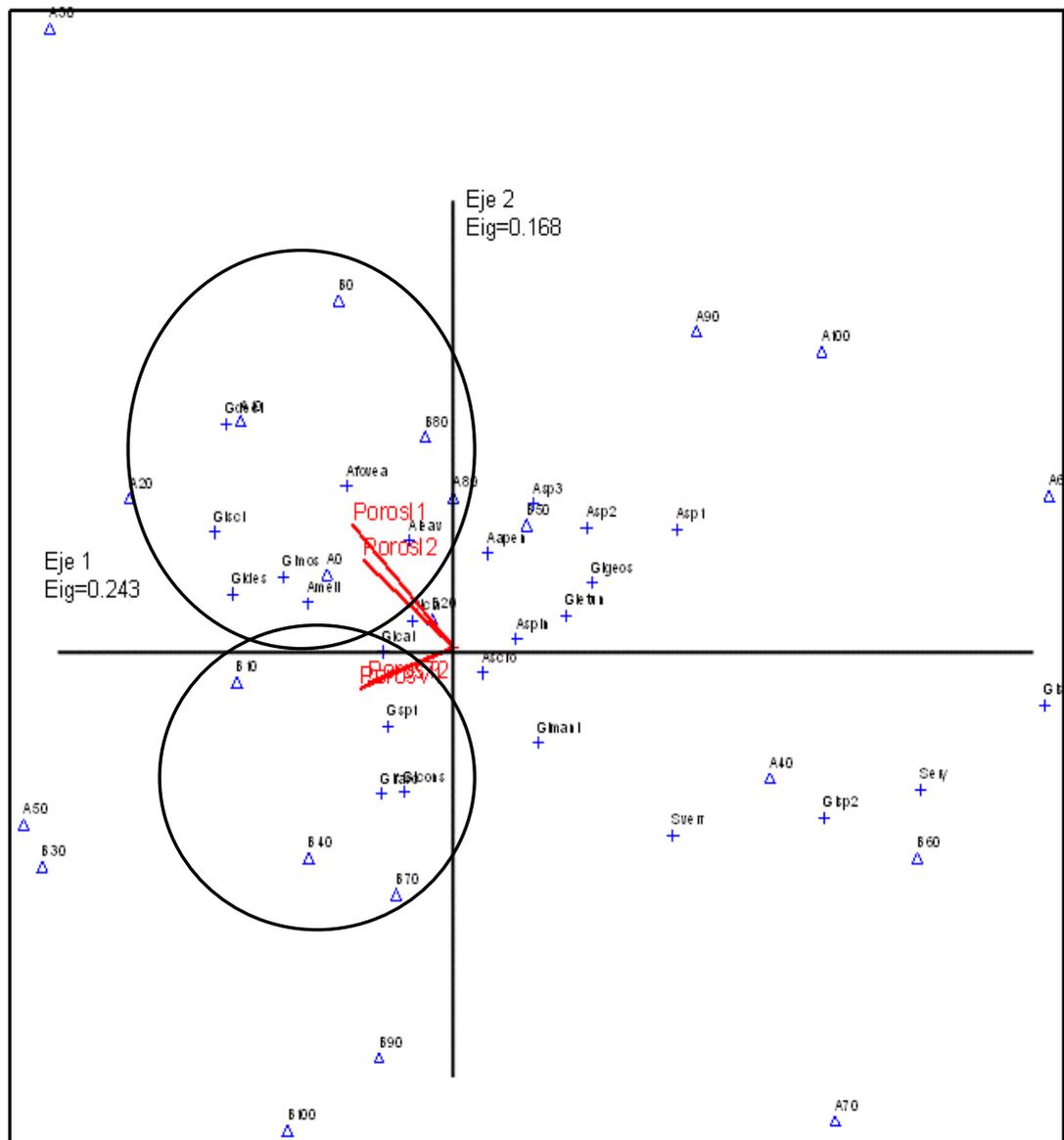


Figura 31. Análisis de CCA para la variable poros por forma, tamaño y abundancia, las especies de hongos micorrizógenos, ver apéndice 3 para las abreviaturas de las especies.

El resultado del CCA, solamente para los poros, mostró que para los valores de la raíz característica o eigenvalor presentan una varianza acumulada del 17% y una correlación del 91% (Tabla 9).

Tabla 9. Valores de las raíces características, la correlación entre las especies y los poros del suelo y el porcentaje de varianza explicada con relación a las especies de hongos micorrizógenos.

	Eje 1	Eje 2
Eigenvalor	0.243	0.168
Correlación especies-factores edáficos (Pearson)	0.906	0.836
Varianza en los datos de las especies		
Varianza explicada (%)	10	6.9
Varianza acumulada	10	16.9

Al observar la gráfica de esta ordenación (Fig. 33), En el cuadrante inferior izquierdo de la gráfica de esta ordenación se acomodaron *Glomus constrictum*, *G. fasciculatum* y *Gigaspora* sp1, en el punto 50 A del transecto uno, y los puntos 10, 30, 40 y 70 B del transecto dos, y donde los poros tubulares y vesiculares agruparon a estos puntos y a las especies. En el cuadrante superior izquierdo las especies que se agruparon fueron, *Glomus scintillans*, *G. aff. deserticota*, *G. mosseae*, *G. caledonium*, *G. claroideum*, *Acaulospora foveata*, *A. levais* y *Gigaspora decipiens*; los puntos con los que se ordenaron fueron del primer transecto (A) 0, 10 y 20, y del segundo transecto (B) los puntos 20 y 80, por el tamaño y la abundancia de los poros intersticiales.



## 7. DISCUSIÓN

### 7.1 Condiciones microambientales

El cambio en la estructura de la vegetación en el borde muestra una zona de transición (Gehlhausen 2000, Gehlhausen y Schwartz 2000) evidente, ya que se encuentran solamente pastos y algunos árboles remanentes en la parte del potrero (Guevara *et al.* 2004).

El cambio de uso de suelo de bosque a sistemas de potrero o agrícolas (Bender *et al.* 2003), la pérdida del dosel y por ende de la estructura vegetal, repercuten sobre las condiciones microambientales y en el suelo (Viana y Tabanez 1996); estos cambios ambientales ocurren gradualmente y llegan a delimitar la zona de efecto de borde. En este trabajo los resultados muestran la diferencia entre la intensidad de luz desde la parte interior de la selva hacia el potrero, con un incremento de luz entre el metro 80 al 60, tanto a un metro de altura como al nivel del suelo, encontrándose diferencias hasta de un 500% o más; estos cambios dependen de la hora del día ya que los extremos se registran hacia medio día y disminuyen hacia la tarde (Newmark 2001), cuando las plantas y los microorganismos del suelo presentan el mayor estrés en un periodo de ocho a diez horas.

Es importante resaltar que el efecto de borde depende en gran medida del tamaño y de la distancia con la matriz principal de la selva (Mesquita *et al.* 1999, Fahrig, 2003). Este trabajo se realizó en la Estación de Biología Tropical “Los Tuxtlas”, que es el fragmento de mayor tamaño donde la zona de borde se podría determinar de acuerdo con los valores de luz, observándose una zona intermedia entre la selva y el potrero que se presenta entre las parcelas del metro 50 al 80, en ambos transectos; estos cambios están dados por la estructura de la vegetación como lo señalan Osterhoorn y Kappelle (2000). Esto se debe a que hacia el interior de la selva se encuentran árboles más grandes, mientras que en la zona intermedia abundan más bien árboles de tamaños más pequeños (Delgadillo y Álvarez-Sánchez, datos no publicados), datos no, esta mayor apertura del dosel incrementa la cantidad de luz. En el límite del potrero desaparecen los árboles, dejando solamente algunos árboles remanentes con gran abundancia de pastos,

aumentando los valores de luz y por ende se incrementan también la temperatura del suelo y disminuye la humedad y la temperatura del ambiente.

## **7.2 Características edáficas**

Como ya se mencionó anteriormente, el cambio en la cobertura vegetal (Newmark 2001) a lo largo de la selva hacia el potrero ocasiona cambios ambientales a lo largo del borde, pero el cambio en la cobertura vegetal influye también a nivel del suelo ocasionando una disminución de la hojarasca; en este sentido, se registraron en algunos puntos de la selva hasta 3 cm de mantillo el cual favorece la conservación de la humedad del suelo. El mantillo junto con la cobertura vegetal mantiene valores de humedad del suelo mayores que en el potrero entre las parcelas del metro 80 al 100, otro intermedio 30 y 70 y la zona más externa en el potrero de 20 a los 0 m. Todos estos cambios en el ambiente en la parte del potrero se traducen en cambios en la humedad del suelo, lo cual afecta directamente a la diversidad de los microorganismos (Kapos 1989, Lean y Warrilow 1989), aunque hay que considerar que los valores altos de humedad que se registraron se debieron a que este análisis se llevó a cabo en la época de lluvias.

Los cambios en pH mostraron que la selva y la zona del potrero fueron dos zonas totalmente diferentes. La cantidad de materia orgánica y de hojarasca en la zona de selva es mayor, mientras que en la zona de potrero es escasa; se ha reportado que para las zonas de selva los valores de pH no cambian mucho, mientras que en los pastizales y zonas de cultivos pueden encontrarse valores que oscilan entre 4.5 y 8 (Carpenter *et al.* 2001).

La compactación del suelo fue mayor en la zona de potrero en los primeros metros y hacia la zona intermedia es parecida a la zona de selva debido a la compactación mecánica del suelo por el ganado. Al realizar los microperfiles se observaron cambios tanto en el número de horizontes, como en sus dimensiones. En la zona de selva se observó desde un horizonte con mantillo, el cual desaparece hacia la zona de pastizal, lo cual se debe principalmente a la pérdida de cobertura vegetal y a la cantidad de que se deposita en el suelo (Sizer *et al.* 2000, Harper y Macdonald 2002). Se determinó también una reducción en el número de horizontes,

siendo en algunos casos en la selva hasta 4 o 5 y en la zona de potrero de 2 a 3, ello debido también a la pérdida de vegetación y la compactación del suelo.

Por otra parte, ocurrieron cambios en la textura del suelo ya que hacia el interior se encontró una estructura que va de franco-arcillo-arenosa en la selva, mientras que hacia el potrero fue franca-arcillo-limosa y franca; esto puede explicarse por la pérdida de la vegetación y a la compactación por el paso del ganado que cambia tanto la textura como la estructura del suelo, así como también por la mayor estabilidad de los agregados (Didman y Lawton 1999, Sizer y Tanner 1999, Laurance 2004).

Las raíces finas se observaron en casi todos los horizontes de la zona de selva, debido seguramente a la gran cantidad de especies vegetales presentes; en cuanto nos acercamos a la zona de potrero solamente se encontraron en el primer horizonte, debido principalmente a que en las zonas de potrero y pastizal en “Los Tuxtlas” la mayor cantidad de plantas corresponde a los pastos (Lira-Noriega 2003), cuyas raíces son más superficiales y muy ramificadas de tipo graminoide (Baylis 1975). La porosidad está muy relacionada con la abundancia y el crecimiento de las raíces, ya que por su actividad son formadoras de poros por lo general tubulares, espacios que van siendo ocupados por los microorganismos del suelo (Dezseo *et al.* 2004).

### **7.3 Riqueza y abundancia de esporas**

Los cambios que se detectaron tanto micro ambientales como edáficos, por el cambio de uso de suelo, y el efecto de borde que se presenta entre la selva y el potrero siempre se les relaciona con la vegetación (Mesquita, 1999). En este trabajo se analiza la abundancia y diversidad de HMA, que como se ha mencionado, están relacionados con la diversidad que se presenta sobre el suelo (Klironomos 2002 y van der Heijden 1998a). La abundancia de esporas fue mayor en la zona de selva, encontrándose diferencias con el potrero del 100% en cuanto a la cantidad de esporas. Parece ser que tanto las condiciones del suelo, como la diversidad vegetal (Van der Heijden *et al.* 1998a, b) permiten al hongo tener un mayor éxito en la producción de esporas, como ocurriría en esta zona, mientras que al haber

condiciones más estresantes en la zona de potrero y con una menor diversidad vegetal la abundancia de los hongos es menor.

Se observó la mayor diversidad de HMA en la zona intermedia, lo cual está relacionado con la diversidad de la vegetación en ese espacio en particular (Van der Heijden *et al.* 1998a, Harth y Klironomos 2002); en la zona de potrero se determinó la menor diversidad de morfoespecies de HMA.

Los géneros más abundantes y diversos fueron *Acaulospora* y *Glomus*, los cuales están presentes a todo lo largo de los transectos. Se puede decir que son géneros que fácilmente se asocian con las especies vegetales presentes. También se encontró que hay especies de estos géneros que están presentes a lo largo de todo el transecto (*A. scrobiculata*, *A. appendiculata*, *Glomus caledonium*, *G. claroideum* y *G. constrictum*), lo cual indica que son especies que resisten los cambios en las condiciones microambientales (temperatura, humedad) y edáficas (compactación, temperatura, humedad, pH, etc.) (Pawloswska y Chatrv 2002) en el borde, ante las cuales germinan y son capaces de colonizar a las especies vegetales.

Por otro lado, *G. magnicaule*, *G. etunicatum* y *A. mellea* sólo se encontraron en la zona de selva tolerando un rango de estrés mínimo, o bien se pudieron asociar sólo con las especies vegetales que se encuentran en esta zona (Van der Heijden *et al.* 1998a, 2002). Lo anterior también puede estar pasando con las especies de la zona de potrero (*A. foveata* y *G. fasciculatum*), ya que la presencia de esporas en esta zona se puede deber a que son más exitosas en su reproducción en las condiciones microambientales de esta zona. Es decir, dependiendo de la comunidad de plantas, la comunidad de hongos puede ser más exitosa para colonizar y posteriormente esporular (Klironomos *et al.* 2000).

Para el caso de los otros dos géneros, *Gigaspora* tuvo una especie registrada únicamente en la selva y otra en el potrero, mientras que *Scutellospora*, solamente se presentó en la parte intermedia de los transectos; ello podría indicar que estas especies son más específicas a ciertas condiciones microambientales.

Al comparar este trabajo con otros que se han realizado en la estación (Apéndice 2) por Guadarrama y Álvarez-Sánchez (1999) y Ramírez-Gerardo *et al.* (1998), se comparten con ellos cuatro especies. En un estudio con fragmentos de selva de diferentes dimensiones (1.8 a 3.5ha) se reportaron 27 especies (Mangan *et*

*al.* 2004); en este trabajo se encontraron 25. Por otro lado, se compartieron pocas especies con un matorral xerófilo (Hernández Cuevas *et al.* 2003) (seis), lo cual era de esperarse dadas las diferencias ambientales entre los sitios.

#### **7.4 Relación entre las características ambientales y edáficas con los HMA.**

Las partes extremas del gradiente en el borde, que en esta caso son las de la selva y el potrero, se acomodaron en grupos diferentes con respecto a la variable luz, pero para las zonas intermedias (con vegetación secundaria y con especies pioneras) estos valores comienzan a ser más homogéneos (Ooserhoorn y Kappell, 2000). Así, el acomodo de las parcelas a lo largo de los transectos mediante el análisis de la luz y la humedad del suelo, mostró que la variable que influyó de manera más importante en el ordenamiento fue la luz. En una selva como la de este estudio, el factor limitante es la luz (Martínez-Ramos 1985). Parece ser que ante la pérdida gradual en el borde de la cobertura vegetal (Gehlhausen 2000, Gehlhausen y Schwartz 2000), los cambios microambientales también son graduales, encontrándose una zona de transición entre la selva y la zona de potrero como lo es el borde (Dirham 199, Newmark 2001).

En lo que respecta al cambio en las características del suelo, se observó en el análisis de ordenamiento las parcelas tuvieron una distribución de acuerdo al cambio principalmente de la densidad aparente, la estabilidad de agregados y la porosidad del suelo (Carpenter *et al.* 2001). Los resultados mostraron que la distribución de las especies de HMA en el análisis de ordenación muestra una relación con estas variables lo cual repercute sobre la riqueza y la abundancia de los hongos. Entry *et al.* (2002) mencionan que los cambios en las características del suelo por medios antrópicos, afectan el crecimiento radical y el desarrollo de las plantas, por lo que afectan la formación de la micorriza cambiando la composición de la comunidad de HMA en estos sitios. Se ha mencionado que las características del suelo y el cambio en la estructura de la vegetación influyen en el establecimiento de los HMA (Klironomos 2002).

Todos estos cambios ambientales que se registraron por el cambio de uso de suelo, tienen una fuerte repercusión sobre la riqueza y abundancia HMA. Seguramente el tiempo que ha transcurrido desde el cambio de uso de suelo a potrero, así como las presiones adicionales a las cuales se enfrenta el suelo (como por ejemplo los herbicidas y la actividad del ganado), podrían tener un efecto directo sobre el establecimiento de la vegetación. Ello repercute en las condiciones que pueden determinar el establecimiento de los microorganismos, y por lo tanto en la composición de la comunidad de HMA.

## 8 CONCLUSIONES.

- Se presentaron cambios ambientales a lo largo de los transectos, los cuales reflejan que la zona de borde entre la selva y el potrero está determinada por los cambios en la humedad del suelo y luz.
- En el caso del potrero, los cambios son consecuencia del cambio de uso del suelo. Los cambios en la densidad aparente del suelo demuestran el efecto de la compactación del mismo; por la misma razón, la estabilidad de agregados fue mayor en la parte de selva.
- La abundancia y riqueza de HMA fueron mayores en la zona de selva que en el potrero, lo cual se explica por la mayor estabilidad de las condiciones ambientales y probablemente por la mayor riqueza y diversidad de especies vegetales.
- Especies de HMA que podrían considerarse generalistas, por su presencia a lo largo de todo el transecto fueron: *A.scrobiculata*, *A. appendiculata*, *Glomus caledonium*, *G. claroideum* y *G. constrictum*.
- Por otro lado, se consideran a especies de HMA especialistas por registrarse solo en la selva a: *G. magnicaule*, *G. etunicatum* y *A. mellea*,
- Especies de HMA exclusivas del potrero fueron *A. foveata* y *G. fasciculatum*; esto podría deberse a una mayor tolerancia al estrés ambiental de estas especies.

## 9 LITERATURA CITADA

Anderson, C.P. y P.T. Rygielwicz. 199. Stress interaction and mycorrhizal plant: responses Understanding carbon allocation patterns. *Environmental Pollution* 73:217-244.

Asbjorsen H., Ashton S.M., Vogt J. D. y Palacios S. 2004. Effects of habitat fragmentation on the buffering capacity of edge environments in a seasonally dry tropical oak forest ecosystem in Oaxaca, Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment* 103:481-495.

Barni E. y C. Siniscalco. 2000. Vegetation dynamics and arbuscular mycorrhizal in old-field successions of the western Italian Alps. *Mycorrhiza*. 10:63-72.

Bayliss G.T.S. 1975. The Magnolioid mycorrhiza in roots systems derived from it. Pp: 366-384. En: Endomycorrhizas. Sanders E y B. Mosse (eds.) Academia Press, London.

Becker B., M. Terrones y P. Horchler. 1998. *Especies indicadoras de la flora acompañante en campos de cultivo de los Andes*. <http://www.condesan.org/memoria/docsagrobiolod.html>.

Bellgard S.E. 1993. The topsoil as the major store of propagules of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in southeast Australian sandstone soils. *Mycorrhiza* 3:19-24.

Bender D.J., Contretras T.A. y Fahrig L. 2003. Habitat loss and population decline: A meta-analysis of the patch size effect. *Ecology* 79:517-533.

Bongers, F., J. Pompa, J. Meave del Castillo y J. Carabias. 1988. Structural and floristic composition of the lowland rain forest of Tuxtla, Mexico. *Vegetatio* 74:55-80.

Boodington, C. y J. Dodd. 2000. The effect of agriculture on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi, I. Field studies in an Indonesian ultisol. *Plant and Soil*. 218/2:137-144.

Brundett M. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances in Ecological Research*. 21:171-313

Brundett M. N. Bougher, B. Dell, T. Grove y N. Malajczuk. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. BPD Graphic Associates, Canberra, Australia. 374p.

Carpenter F.L., S.P. Mayorga, E.G. Quintero y M. Schroeder. 2001. Land-use and erosion of a Costa Rican Ultisol affect soil chemistry, mycorrhizal fungus and early regeneration. *Forest Ecology and Management* 144:1-17.

Cuenca G., Z. De Andrade y G. Escalante. 1998a. Arbuscular mycorrhizae in the rehabilitation of fragile degraded tropical lands. *Biology and Fertility of Soils* 26:107-111.

Cuenca G., Z. De Andrade y G. Escalante. 1998b. Diversity of glomalean spores from natural, disturbed and revegetated communities growing on nutrient-poor tropical soils. *Soil Biology and Biochemistry* 30:711-719.

Dezseo N., N. Chacon, E. Sanoja y G. Pico. 2004. Changes in soil properties and vegetation characteristics along a forest savanna gradient in southern Venezuela. *Forest Ecology and Management* 200:183-193.

Didham, R.K. y J.H. Lawton. 1999. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. *Biotropica* 31: 17-30.

Entry, J.A., P.T. Rygielwicz, L.S. Watrud y P.K. Donnelly. 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular mycorrhizas. *Advances in Environmental Research*. 7:123-138.

Estrada A. R. Coates-Estrada, A.D. Anzures y P. Cammarano. 1998. Dung and carrion beetles in tropical rain forest fragments and agricultural habitats at Los Tuxtlas, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*. 14: 577-593.

Estrada, A. P. Cammarano y R. Coates-Estrada. 2000. Bird species richness in vegetation fences and in strips of residual rain forest vegetation at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and conservation*. 9: 1399-1416.

Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 34:487-515.

Fischer, R. C., D. Janos, D. Perry, R. Linderman y P. So 1994. Mycorrhiza inoculum potentials in tropical secondary succession. *Biotropica* 26:369-377.

Flores-Delgadillo L., I. Sommer-Cervantes, J.R. Alcalá-Martínez y J. Álvarez-Sánchez. 1999. Estudio morfogénético de algunos suelos de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 16:81-88.

Fox, B.J., J.E. Taylor, M.D. Fox y C. Williams, 1997. Vegetation change across edges of rainforest remmanants. *Biological Conservation*. 82:1-13

Gehlhausen, S., M.W. Schwartz y C.K. Augspurger. 2000. Vegetation and microclimatic edge effects in two mixed-mesophytic forest fragments. *Plant Ecology*. 147: 21-35.

Guevara S., J. Laborde y G. Sánchez-Ríos. 2004. Rain forest regeneration beneath the Canopo of fig trees isolated in pastures of Los Tuxtlas, Mexico. *Biotropica* 36: 99-108.

Guadarrama M. P. 1998. *Influencia de la colonización micorrízica en el crecimiento de plántulas de especies arbóreas de una selva húmeda tropical bajo condiciones de competencia*. Tesis de Maestría. Fac. Ciencias. UNAM.

Guadarrama, P. y F.J. Alvarez-Sánchez. 1999. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, México. *Mycorrhiza* 8: 267-270.

Guadarrama P., Álvarez-Sánchez J. y O. Briones. 2004a. Seedling growth of two pioner tropical tree spicies in competition: The role of arbuscular mycorrhizae. *Euphytica* 138:113-121.

Guadarrama P., J. Álvarez-Sánchez y A. Estrada-Torres. 2004b. Phosphorus dependence in seedlings of a tropical pioneer tree: The role pf arbuscular mycorrhizae. *Journal of Plant Nutrition* 27:2159-2174.

Haig, M.S., L.W. Oring, P.M. Sanzenbacher y O.W. Taft. 2002. Space use, migratory connectivity, and population segregation among willets breeding in the western Great Basin. *Condor* 104:620-630.

Harper, K.A. y S.E. Macdonald. 2002. Structure and composition of edges next regeneration clear-cuts in mixed-wood boreal forest. *Journal of Vegetation Science*. 13:535-546.

Hart M. y Klironomos. 2002. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem functioning. P.p. 225-242. En: Mycorrhizal ecology. Van der Heijden y I.R. Sanders (eds.) Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.

Hedlund, K. y D. Gormsen 2002. Mycorrhizal colonization of plants in set-aside agricultural land. *Applied Soil Ecology*. 19:71-78.

Hernández-Cuevas L., S. Castillo, P. Guadarrama, Y. Martínez, M.A. Romero e I. Sánchez. 2003. Hongos micorrizógenos arbusculares del Pedregal de San Ángel. Fac. de Ciencias, UNAM. La prensa de las ciencias. México D.F.

Hoagland, R.E., R.M Zablutowicz y M.A. Locke. 1997. An integrated phytoremediation strategy of chloroacetamide herbicides in soil. En: Phytoremediation of soil and water contaminants. Kruger E.L, T.A. Anderson y J.R. Coats (eds.). American Chemical Society Press. Washington D.C. pp: 92-105.,.

Hughes, F. J. B. Kaufman y V.J. Jaramillo. 2000. Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of Mexico. *Ecological Applications* 10: 515-527.

Janos, P .D. 1980. Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica* 12: 56-64.

Kattan, G.H. 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. Pp.561-590. En: M.R. Guariguata y G.H Kattan (eds). Ecología y conservación de bosques neotropicales. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Kapos, V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*. 5:173-185.

Klironomos J.N., J. McCune y M.N. Hart. 2000. The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. *Ecological Letters*. 3:137-141.

Koske, R.E. 1987. Distribution of VA mycorrhizal fungi along a latitudinal temperature gradient. *Mycologia*. 79:55-68.

Laurance, W.F. 2004. Forest-climate interactions in fragmented tropical landscapes. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*. 359:345-352.

Lean J, y D.A. Warrilow. 1989. Simulation of the regional climatic impact of Amazon Deforestation. *Nature*: 342:411-413.

Lira Noriega A. 2003. La vegetación de los potreros del norte de la sierra de "Los Tuxtlas.". Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias UNAM. 98 pp.

MacCune B. Y Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological Data (V.4.0) Gleneden Beach, Oregon MjM.

Magan A.S., A. Eom, G.H. Adler, J.B. Yavitt y E.A. Herre. 2004. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi across a fragmented forest in Panama: insular spore communities differ from mainland communities. *Oecologia*. 141:687-700.

Magurran A.E. 1998. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton, N.J.

Manjunath, A., y M. Habte. 1991. Relationship between mycorrhizal dependency and rate variables associated with P uptake, utilization and growth. *Communication Soil Science Plant Anal* 22: 1423-1437.

Marschner, H. y B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159: 89-102.

McAleece N., Lamshead P.J.D., Paterson G.L.J. & Cage J.D. 1997 Biodiversity Pro (V.2.0). Natural History Museum and Scottish Association for Marine Science.

Mesquita, R., R. Delamónica y W. F. Laurence. 1999. Effect of surrounding vegetation on edge-related tree mortality in Amazonian forest fragments. *Biological Conservation* 91: 129-134.

Miranda, F. y X.E. Hernández. 1963. Los tipos de vegetación de México y su descripción. *Boletín de la Sociedad de México*. 28:29-72.

Morton, J.B. y G.L. Benny. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new Order, Glomales, two new Suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37:471-491.

Murcia, C. 1995. Edge effects in fragments forest: implications for conservation. *Trends in ecology and evolution* 10: 58-62.

Nadian, H., S.E. Smith, A.M. Alston, R.S. Murray y B.D. Siebert. 1998. Effects of soil compactation on phosphorus uptake and growth of *Trifolium subterraneum* colonized by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*. 140:155-165.

Newmark W.D. 2001. Tanzanian forest edge microclimatic gradients: Dynamic patterns. *Biotropica* 33:2-11.

Olivera Morales D. 2005. *Crecimiento de plántulas bajo diferentes condiciones de micorrización y sustrato, en una Selva Tropical Húmeda de los Tuxtlas, Veracruz*. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias. UNAM.

Ooserhoorn, M. y M. Kappelle. 2000. Vegetation structure and composition along an interior-edge-exterior gradient in a Costa Rican montane cloud forest. *Forest Ecology and Management*. 126:291-307.

Pawlowska T. E. y I. Charvat 2002. Influence of edaphic and environmental factors of arbuscular mycorrhizae. Pp-105-134 En: Arbuscular Mycorrhizae Interactions in plants rhizosphere and soils. Sharma A.K. y B.N. Johri. (eds.) Science publishers, Inc., Enfield, NH. USA.

Peña Becerril .J:C: 2005. *Efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en el crecimiento y supervivencia de plántulas de especies persistentes en el borde de una selva tropical húmeda*. Tesis. Maestro en Ciencias Biológicas. Fac. de Ciencias. UNAM. 80 p.

Picone, C. 2000. Diversity and abundance on arbuscular mycorrhizal fungus spores in tropical forest and pasture. *Biotropica*. 32:734-750.

Power A.G.1996. Arthropod diversity in forest patches and agroecosystems of tropical landscape. En: Forest patches in tropical landscapes. J. Schelhas y G. Russell (Eds.) 91-110 pp.

Redecker, D. 2002. Molecular identification and phylogeny of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and soli*. 244:67-73.

Redhead, J. F. 1968. Mycorrhizal associations in some nigerian forest trees. *Transaction of British Mycological Society* 51: 377-387.

Rygielwics, P.T. y C.P. Andersen. 1999. Mycorrhizae akter quality of carbon allocated below ground. *Nature* 369:58-60.

Rudel, T.K., D. Bates y R. Machinguiashi. 2002. A tropical forest transition? Agriculture change, out-migration, and secondary forests in the Ecuadorian Amazon. *Annals of the Association of American Geographers*. 92:87-102.

Sánchez-Gallén, I. 1999. *Efecto de la luz, de la micorrización y de los nutrientes en el crecimiento de plántulas de especies arbóreas con historias de vida contrastantes en una selva húmeda*. Tesis de Maestría. Fac. Ciencias. UNAM.

Sánchez-Gallén, I. y P. Guadarrama. 2003. El papel de las asociaciones micorrízicas en el crecimiento y la competencia de las plántulas. En: *Ecología del Suelo en la Selva Tropical Húmeda de México*. Álvarez-Sánchez, J. y E. Naranjo (Eds.). Instituto de Ecología A.C. Instituto de Biología y Facultad de Ciencias, UNAM. Xalapa, Veracruz, México (En prensa).

Schmidt S.K. y K.M. Show 1986. Mycorrhizal fungi aon the Galapagos Islands. *Biotropica* 92:193-201.

Schinner F., R. Öhlinger, E. Kandeler y R. Margesin. 1995. *Method in soil biology*. Berlin, New York, Springer. 426p

Schübler A., D. Schwarzott y C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota; phylogeny and evolution. *Mycological Research*. 105:1413-1421.

Siebe, C., R. John y K. Stahr. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Publicación especial No. 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. México. DF. 57 pp.

Siqueira, J.O. y O.J. Saggin-Júnior. 2001. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. *Mycorrhiza*. 11:245-255.

Sizer, N. y E.V.J. Tanner.1999. Responses of woody plant seedlings to edge formation in a lowland tropical rainforest, Amazonia. *Biological Conservation*. 91:135-142.

Sizer N., E.V.J. Tanner y I.S Kossmann Ferraz. 2000. Edge effects on litterfall mass and nutrient concentrations in forest fragments in central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*. 16:853-863.

Smith, S. E. y D. J. Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, San Diego. 605 pp.

Stevens K.J. y R.L. Peterson 1996. The effects water gradient of the vesicular arbuscular mycorrhizal status of *Lythrum salicaria* L. (purple loosestrife). *Mycorrhiza* 6: 99-104.

Streitwolf-Engel, R., T. Boller, A. Wiemkem Y I.R. Sanders. 1997. Clonal growth traits of two *Prunella* species are determined by co-occurring arbuscular mycorrhizal fungi from a calcareous grassland. *Journal of Ecology*. 85:181-191.

Tabarelli, M., W. Mantovani y C.A. Peres. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biological Conservation* 91: 119-127.

Ter Braak, C.J.F. 1987. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio* 69:69-77.

Van der Heijden, M.G.A., T. Boller, A. Wiemken y I.R. Sanders. 1998a. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology*. 79:2082-2091.

Van der Heijden, M.G.A., J.N. Klironomos, M. Ursic, P. Moutoglis, R. Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiemken e I.R. Sanders. 1998b. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*. 396:69-72.

Viana, V.M. y A.A.J. Tabanez. 1996. Biology and conservation of forest fragments in the Brazilian Atlantic moist forest. Pp. 151-167. En: J. Schelhas y R. Greenberg, (eds). *Forest patches in tropical landscapes*. Island Press.

Whitmore, T.C. 1997. Tropical forest disturbance, disappearance, and species loss. Pp.3-12 En. W.F. Laurance y R.O. Bierregaard (eds). *Tropical forest remnants: Ecology, management, and conservation of fragmented communities*. The University of Chicago Press.

Wilson, E.O. 1988. The current state of biological diversity. Pp. 3-18. En E.O. Wilson (eds). *Biodiversity*. National Academy Press.

Zar J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

## **Apéndice 1: Descripción detallada de los microperfiles, del interior de la selva a la zona más externa del potrero.**

### **Transecto 1**

#### **Perfil 1**

**Horizonte A:** de 0-3 cm, textura franco-arcillo-arenosa, el color por lo general siempre fue el mismo, el pH 6, la materia orgánica registró valores del 11%, los poros son tubulares muchos finos y vesiculares comunes y pocos, la estabilidad de agregados es alta, la densidad aparente de 1, y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte Ah:** 3-10 cm, textura arcillo-arenosa, pH de 6, materia orgánica de 10%, estructura de sub-angular a sub-angular fina, estabilidad de agregados media, poros muchos tubulares finos y vesiculares pocos comunes, densidad aparente de 1.2, la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte AB:** 10-30 cm, textura arcillo arenosa, pH 6, M.O. de 7%, estructura sub-angular a sub-angular moderada, estabilidad de agregados media, poros tubulares finos comunes, vesiculares comunes medianos, densidad aparente de 1.2 y densidad de raíces finas baja.

#### **Perfil 2**

**Horizonte L:** 0-2 mantillo.

**Horizonte A:** 0-7 cm con textura franco-arcillo-arenosa, pH de 6, M.O. del 10%, la estructura es sub-angular que rompe en sub-angular moderada, la estabilidad de agregados es alta, los poros son tubulares muchos finos y medianos y poros vesiculares comunes finos, la densidad aparente es de 1.2 y la de raíces fina es alta.

**Horizonte Ah:** 7-35 cm, textura franco-arcillo-arenosa, el pH de 6, la M.O. del 10%, la estructura es granular sub-angular que rompe en sub-angular y granular media, la estabilidad de agregados es alta, los poros son tubulares mucho finos y vesiculares comunes finos, la densidad aparente es 1.2 y la densidad de raíces finas es mediana.

#### **Perfil 3**

**Horizonte L:** 3-0 cm, compuesto por mantillo.

**Horizonte A:** va de los 0-7cm, la textura es franco-arcillo-arenosa, el pH es de 5.5, la M.O. de 10%, la estructura es granular sub-angular que rompe en sub-angular y granular moderada, la estabilidad de agregados es alta, los poros son tubulares muchos finos y medianos, poros vesiculares comunes medianos e intersticiales comunes y medianos, la densidad aparente es de 1 y la densidad de raíces finas es alta.

**Horizonte Ah:** 7-20 cm, presentó una estructura franco-arcillo-arenosa, pH de 5.5, la M.O. de 10%, la estructura del suelo es granular sub-angular que rompe en sub-angular y granular moderada, la estabilidad de agregados es media, los poros son tubulares muchos finos y vesiculares comunes finos, la densidad aparente es de 1 y las de las raíces es mediana.

**Horizonte R:** 20-50cm, el último horizonte presentó rocas que ocuparon el 100% del horizonte.

#### **Perfil 4**

**Horizonte L:** 4-0 cm de mantillo.

**Horizonte A:** 0-9 cm, la textura es franco-arcillo-arenosa, el pH de 6, la M.O. del 10%, la estructura es de granular a sub-angular que rompe en sub-angular y granular mediana, la estabilidad de agregados es mediana, los poros son tubulares muchos finos y medianos, vesiculares comunes finos, la densidad aparente es de 1 y la densidad de raíces es alta.

**Horizonte AB:** 9-22 cm, arcillo arenosa, pH de 5.5, M.O. del 10%, la textura de sub-angular que rompió a sub-angular moderada, la estabilidad de agregados alta y los poros tubulares muchos finos, vesiculares comunes medianos e intersticiales comunes medianos, la densidad aparente de 1.2 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte B:** de los 22-30cm, con una textura franca, pH de 5.5, M.O del 9%, la estructura sub-angular rompió en sub-angular fina, la estabilidad de agregados mediana, poros vesiculares comunes muchos e intersticiales comunes finos, la densidad aparente de 1.2 y la de raíces finas mediana.

### **Perfil 5**

**Horizonte L:** 0-4 cm mantillo.

**Horizonte A:** 0-10 cm, la textura es franco-arcillo-limosa, el pH de 5.5 la M.O. del 11%, la estructura fue de sub-angular mediana que rompió en sub-angular mediana y moderada, la estabilidad de agregados mediana, los poros muchos tubulares finos y vesiculares comunes finos, la densidad aparente de 1 y de raíces finas mediana.

**Horizonte B:** 10-30 cm, la textura es franco-arcillo-limosa, el pH de 5.5, la M.O. del 11%, la estructura de sub-angular mediana rompió en sub-angular mediana y moderada, los poros tubulares comunes muchos e intersticiales medianos pocos, la densidad aparente de 1.2 y la de raíces finas mediana.

### **Perfil 6**

**Horizonte L:** 2-0 cm de mantillo.

**Horizonte A:** 0-6 cm, la textura franco-arcillosa, el pH de 6, la M.O. 9%, la estructura es granular y sub-angular que rompió en granular fina y sub-angular moderada, estabilidad de agregados mediana, los poros tubulares pocos finos y vesiculares medianos pocos, la densidad aparente de 1 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte AB:** 6-10 cm, la textura franca, el pH de 6, la M.O. de 9%, la estructura de sub-angular rompió a sub-angular media, la estabilidad de agregados alta, los poros tubulares muchos finos, vesiculares finos pocos e intersticiales pocos y finos, la densidad aparente de 1.2 y la de raíces fue mediana.

**Horizonte B:** 10-35 cm, la textura es franca, el pH de 5, la M.O. con un 9%, la estructura es sub-angular que rompe en sub-angular fina, la estabilidad de agregados es baja, los poros fueron intersticiales pocos y medianos y finos, densidad aparente 1.2 y densidad de raíces finas baja.

### **Perfil 7**

**Horizonte A:** 0-7 cm, la textura es franco-arcillo-limosa, el pH de 6, la M.O. fue del 10%, la estructura sub-angular que rompió a sub-angular y granular mediana, los poros tubulares pocos finos y medianos, vesiculares pocos medianos, densidad aparente de 1 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte AB:** 9-22 cm, la textura es franco-arcillo-limosa, el pH de 6 y la M.O. del 9%, la estructura sub-angular que rompió a sub-angular fina, la estabilidad de agregados fue moderada, los poros tubulares pocos finos y vesiculares pocos moderados, la densidad aparente de 1.2 y la densidad de raíces finas mediana.

**Horizonte B:** 22-40 cm, la textura arcillo-arenosa, con un 30% de volumen de piedras, pH de 6, M.O. del 9%, la estructura sub-angular que rompió a sub-angular fina, estabilidad de agregados es mediana, los poros son vesiculares pocos y medianos, la densidad aparente es 1.2, y la densidad de raíces es baja.

### **Perfil 8**

**Horizonte A:** 0-4 cm, la textura es franca, el pH de 6, la M.O. fue de 10%, la estructura sub-angular gruesa que rompió en sub-angular media y fina, la estabilidad de agregados alta, los poros fueron tubulares comunes finos e intersticiales comunes medianos, la densidad aparente de 1 y la densidad de raíces alta.

**Horizonte B:** 4-23 cm, la textura es arcillo arenosa, con un 10% de volumen de piedras, el pH de 6, la M.O. del 10%, la estructura sub-angular gruesa que rompió en sub-angular media y fina, la estabilidad de agregados mediana, los poros tubulares pocos medianos, vesiculares comunes y medianos e intersticiales comunes y finos, densidad aparente de 1.2 y la densidad raíces baja.

**Horizonte R:** 23-38 cm, la textura arcillo-arenosa, encontrando un volumen de piedras del 60%, el pH 6, la M.O del 8%, la estructura sub-angular mediana que rompió a sub-angular moderada, estabilidad de agregados media, los poros tubulares pocos medianos, vesiculares comunes y medianos, y densidad aparente de 1.2 y la densidad raíces baja.

### **Perfil 9**

**Horizonte A:** 0-12 cm, la textura es franco-arcillo-limosa, el pH 5.5, la M.O. del 8%, la estructura de sub-angular gruesa a sub-angular moderada, la estabilidad de agregados es alta, los poros son muchos tubulares y finos e intersticiales medianos y comunes, la densidad aparente es de 1.2 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte B:** 12-30 cm, la textura es franca, el pH 5.5, la M.O. del 8%, la estructura de sub-angular gruesa a sub-angular moderada, la estabilidad de agregados es alta, los poros son muchos tubulares y vesiculares comunes finos, la densidad aparente es de 1.2 y la densidad de raíces finas baja.

### **Perfil 10**

**Horizonte A:** 0-12cm, textura arcillo arenosa, el pH de 6, la M.O. del 10%, estructura de sub-angula a sub-angular fina, estabilidad de agregados alta, poros tubulares muchos finos y vehiculares pocos medianos, densidad aparente de 1.2 y densidad de raíces finas alta.

**Horizonte B:** 12-30cm, textura franco arcillo limosa, pH de 6, el contenido de M.O del 10%, estructura de sub-angular a sub-angular fina, estabilidad de agregados alta, poros tubulares pocos medianos y vesiculares pocos medianos, densidad aparente de 1.2 y densidad de raíces finas baja.

### **Perfil 11**

**Horizonte A:** 0-2 cm, textura arcillo arenosa, el pH de 6, la M.O. del 10%, estructura de sub-angula a sub-angular fina, estabilidad de agregados alta, poros tubulares muchos finos y vehiculares pocos medianos, densidad aparente de 1.2 y densidad de raíces finas alta

**Horizonte AB:** 2-25 cm, textura franco arcillo limosa, pH de 6, el contenido de M.O del 9%, estructura de sub-angular a sub-angular fina, estabilidad de agregados moderada, poros tubulares pocos medianos y vesiculares pocos medianos, densidad aparente de 1.2 y densidad de raíces finas baja.

**Horizonte B:** 25-30 cm, textura franco arcillo limosa, pH de 6, el contenido de M.O del 8%, estructura de sub-angular a sub-angular fina, estabilidad de agregados moderada, poros tubulares pocos medianos y vesiculares pocos medianos, densidad aparente de 1.2 y densidad de raíces finas baja.

## **Transecto 2**

### **Perfil 1**

**Horizonte L:** 3-0cm mantillo.

**Horizonte A:** 0-7cm, la textura es franco-arcillo-arenosa, el pH 5.5, el porcentaje de M.O. del 13%, la estructura de sub-angular a sub-angular y granular fina, la estabilidad de agregados moderada, los poros muchos tubulares finos y pocos vesiculares medianos, la densidad aparente 1 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte Ah:** 7-21cm, la textura franco arcillo arenosa, el pH de 6, el contenido de M.O. del 10%, la estructura de sub-angular a sub-angular moderada, estabilidad de agregados media, muchos poros tubulares finos y medianos, vesiculares comunes medianos, e intersticiales comunes medianos y finos, la densidad aparente de 1.3 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte C:** 21-35cm, la textura es arcillo-arenosa, el pH 6, M.O. 10%, la estructura de sub-angular a sub-angular moderada, la estabilidad de agregados media, los poros muchos tubulares finos, vesiculares comunes medianos, la densidad aparente de 1.2 y la densidad de raíces finas moderada.

### **Perfil 2**

**Horizonte L:** 4-0cm, mantillo.

**Horizonte A:** 0-5cm, textura franco-arcillo-arenosa, pH 6, el contenido de materia orgánica del 10%, la estructura de granular sub-angular a sub-angular y granular moderada, la estabilidad de agregados es alta, los poros son muchos tubulares y finos, vehiculares comunes finos, la densidad aparente de 1 y la densidad de raíces alta.

**Horizonte Ah:** 5-18cm, la textura franco-arcillo-limosa, el pH de 6, la M.O. del 10%, la estructura va de granular sub-angular a sub-angular y granular moderada, la estabilidad de agregados alta, los poros tubulares muchos y finos, vesiculares comunes finos e intersticiales moderados y medianos, la densidad aparente de 1 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte B:** 18-24cm, la textura arcillo arenosa, el pH 5.5, el contenido de M.O. del 10%, la estructura fue de granular sub-angular a sub-angular y granular media, la estabilidad de agregados alta, los poros tubulares pocos medianos e intersticiales pocos comunes, la densidad aparente de 1.3 y la densidad de raíces finas mediana.

**Horizonte C:** 24-35cm, la textura del suelo arcillo-arenosa, con un volumen de piedras del 30%, el pH ligeramente ácido del 5.5, la M.O. del 9%, la estructura granular sub angular a sub-angular y granular media, la estabilidad de agregados de media, los poros tubulares pocos y medianos e intersticiales pocos y comunes, la densidad aparente de 1.2 y la densidad de raíces finas baja.

### **Perfil 3**

**Horizonte L:** 0-5cm de mantillo.

**Horizonte A:** 0-8cm, la textura franco-arcillo-arenosa, el pH de 5.5, el porcentaje de materia orgánica del 10%, la estructura de granular sub-angular a sub angular y granular moderada, la estabilidad de agregados alta, los poros muchos tubulares finos, vesiculares comunes medianos e intersticiales comunes pocos, la densidad aparente de 1 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte B:** 8-25 cm, la textura arcillo-arenosa, pH de 5.5, con el 50% de piedras, la materia orgánica del 10%, la estructura de granular sub-angular a sub-angular y granular mediana, los poros muchos tubulares finos y vesiculares comunes medianos, la densidad aparente de uno y la densidad de raíces finas es mediana.

### **Perfil 4**

**Horizonte L:** 0-4cm de mantillo.

**Horizonte A:** 0-2cm, textura franco-arcillo-limosa, pH de 6, materia orgánica de 10%, la estructura de granular sub-angular a sub-angular y granular media, la estabilidad de agregados es media, los poros tubulares muchos y finos y vesiculares comunes finos, densidad aparente de 1 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte B:** de 2-6cm, textura franco-arcillo-limosa, pH un poco más ácido 5.5, el contenido de M.O. del 10%, la textura es sub-angular a sub-angular moderada, la estabilidad de agregados es alta, los poros son muchos tubulares finos, vesiculares comunes medianos e intersticiales comunes medianos, la densidad aparente es 1.2 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte C:** 6-22cm, la textura es franco-arcillo-limosa, presenta el 10% de volumen de piedras, el pH 5.5, la M.O. del 9%, la estructura es sub-angular a sub-angular moderada, la estabilidad de agregados es mediana, los poros son vesiculares comunes medianos e intersticiales comunes medianos, la densidad aparente es de 1.2 y la densidad de raíces finas es mediana.

**Horizonte D:** 22-35cm, la textura es franca, con un 20% de volumen de piedras, el pH de 5.5, el contenido de materia orgánica del 9%, la estructura es sub-angular a sub-angular moderada, la estabilidad de agregados es mediana, los poros son vesiculares comunes medianos e intersticiales comunes medianos, la densidad aparente de 1.2 y la densidad de raíces finas mediana.

### **Perfil 5**

**Horizonte A:** 0-4cm, textura franco-arcillo-limosa, con un 20% de volumen de piedras, el pH es de 5.5, el porcentaje de materia orgánica del 11%, la estructura sub-angular que a sub angular media y moderada, la estabilidad de agregados es mediana, los poros son mucho tubulares finos y vesiculares comunes finos, la densidad aparente de uno y la densidad de raíces fina es alta.

**Horizonte B:** 4-17cm, la textura es franco-arcillo-limosa, el pH es 5.5, la M.O. del 11%, el volumen de piedras del 30%, la estructura sub-angular que a sub-angular media y moderada, los poros son mucho tubulares finos y vesiculares comunes finos, la densidad aparente de 1.2 y la densidad de raíces finas es mediana.

**Horizonte C:** 17-30cm, la textura es franca, el pH de 5.5, el contenido de M.O. del 9%, la estructura es de sub-angular a granular fina y sub-angular mediana, la estabilidad de agregados baja, los poros son tubulares comunes e intersticiales pocos y medianos, la densidad es de 1.2 y la densidad de raíces finas es mediana.

#### **Perfil 6:**

**Horizonte L:** 0-1cm, mantillo.

**Horizonte A:** 0-7cm, textura franco arcillosa, pH de 6, el contenido de M.O del 10%, estructura granular y sub-angular a granular fina y sub-angular media, estabilidad de agregados alta, los poros son tubulares pocos finos, y vesiculares pocos medianos, la densidad aparente de 1 y la densidad de raíces finas mediana.

**Horizonte B:** 7-22cm, la textura es franca, el pH de 6, el contenido de materia orgánica 9%, la estructura de sub-angular a sub-angular fina, la estabilidad de agregados mediana, los poros tubulares comunes medianos, vesiculares finos pocos y e intersticiales pocos medianos, la densidad aparente 1.2, y la densidad de raíces finas mediana.

**Horizonte C:** 22-31cm, textura franca, pH más ácido 5%, volumen de piedras del 10%, la M.O. del 10%, la estructura sub-angular a sub-angular fina y angular mediana, la estabilidad de agregados baja, tubulares pocos finos, vesiculares pocos finos, densidad aparente de 1.2 y densidad de raíces finas baja.

#### **Perfil 7**

**Horizonte A:** 0-3cm, textura franco-arcillo-limosa, pH de 6, contenido de materia orgánica del 10%, textura sub-angular a sub angular y granular mediana, estabilidad de agregados moderada, poros tubulares pocos finos y vesiculares pocos medianos, densidad aparente de 1.2 y densidad de raíces finas alta.

**Horizonte B:** 3-11cm, textura franco-arcillos-limosa, pH 6, volumen de piedras del 15%, contenido de materia orgánica de 10%, estructura sub-angular a sub-angular fina, estabilidad de agregados moderada, poros tubulares pocos finos y vesiculares pocos moderados, densidad aparente 1.2, densidad de raíces finas mediana.

**Horizonte C:** 11-34cm, textura arcillo arenosa, el pH de 6, el contenido de M.O. del 9%, el volumen de piedras del 10%, la estructura es sub-angular a sub-angular fina, la estabilidad de agregados es mediana, los poros vesiculares pocos medianos, la densidad aparente de 1.2 y la densidad de raíces finas baja.

#### **Perfil 8**

**Horizonte A:** 0-11, textura franco-arcillo-limosa, pH de 6, el contenido de M.O. del 10%, la estructura de sub-angular gruesa a sub-angular mediana y fina, la estabilidad de agregados es mediana, los poros son tubulares comunes finos e intersticiales comunes medianos, la densidad aparente es de 1 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte B:** 11-17cm, textura arcillo-arenosa, el pH de 6, la M.O con el 10%, tiene un volumen de piedras del 10%, la estructura de sub-angular a sub angular mediana y fina, la estabilidad de agregados es mediana, poros tubulares pocos medianos, vesiculares comunes medianos e intersticiales comunes medianos, densidad aparente de 1.2 y densidad de raíces finas baja.

**Horizonte C:** 17-35cm, textura arcillo-arenosa, pH un poco más ácido 5.5, la M.O. del 8%, la estructura es sub-angular a sub-angular fina, la estabilidad de agregados es baja, los poros son tubulares pocos medianos e intersticiales y vesiculares comunes pocos, la densidad aparente es de 1.2 y la densidad de raíces finas es baja.

#### **Perfil 9.**

**Horizonte A:** 0-18cm, la textura es franco-arcillosa, pH ligeramente ácido 5.5, contenido de M.O. del 9%, estructura de sub-angular a sub-angular mediana, estabilidad de agregados alta, poros tubulares muchos y finos e intersticiales comunes medianos, densidad aparente 1.2 y densidad de raíces finas alta.

**Horizonte B:** 18-37cm, textura franco-arcillosa, pH de 5, la M.O. del 8%, la estructura va de sub-angular a sub-angular mediana y fina, la estabilidad de agregados media, los poros son tubulares pocos medianos y vesiculares comunes medianos, la densidad es de 1.2 y la densidad de raíces finas baja.

**Perfil 10.**

**Horizonte A:** 0-15cm, textura franco-arcillosa, pH de 5.5, la M.O. del 10%, estructura de sub-angular a sub-angular fina, estabilidad de agregados alta, poros tubulares muchos finos y vesiculares comunes medianos, densidad aparente 1.2 y densidad de raíces finas alta.

**Horizonte B:** 15-32cm, textura franco-arcillosa, pH de 5, el contenido de M.O. del 9%, el volumen de piedras es del 20%, estructura sub-angular a sub-angular mediana, estabilidad de agregados alta, poros tubulares pocos medianos y vesiculares comunes medianos, densidad del 1.2 y densidad de raíces finas baja.

**Perfil 11**

**Horizonte A:** 0-4cm, textura franco-arcillosa, pH de 5.5, la M.O. del 9%, la estructura va de sub-angular a sub-angular fina, la estabilidad de agregados es alta, los poros son tubulares muchos finos moderados y vesiculares comunes medianos, la densidad aparente de 1.2 y la densidad de raíces finas alta.

**Horizonte B:** 4-15cm, textura franco-arcillosa, pH de 5.5, la M.O. del 9%, la estructura va de sub-angular gruesa a sub-angular mediana y fina, la estabilidad de agregados es alta, los poros son tubulares pocos medianos y vesiculares comunes medianos, la densidad aparente de 1.2 y la densidad de raíces finas baja.

**Horizonte C:** 15-32cm, textura franca, pH más ácido de 5, el contenido de M.O. del 8%, estructura angular gruesa a sub-angular mediana y fina, estabilidad de agregados mediana, poros tubulares pocos medianos y vesiculares e intersticiales comunes y medianos, densidad aparente de 1.2 y densidad de raíces finas baja.



**Apéndice 2.** Listado de especies y trabajos donde se reportan. 1 (En el presente estudio), 2 (Guadarrama y Álvarez-Sánchez 2001), 3 (Ramírez-Gerardo et al. 1998), 4 (Hernández-Cuevas et al. 2003), 5 (Varela y Trejo 2001).

Espece	1	2	3	4	5
<i>Acaulospora appendiculata</i> Spain, Sieverdeing et Schenck	X			REPSA, Ver.	Edo. Méx (M, H, F, A)
<i>A. foveata</i> Trappe et Janos	X				Oax., Ver (PL, AZ)
<i>A. leavis</i> Gerdemann et Trape	X			REPSA, Tlx.,	Edo. Méx (MFC, M, H, F, A, MZ, C,P)
<i>A. mellea</i> Spain et Schenck	X			REPSA	Tlx. (M,H,F)
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	X	X	X	REPSA, Xal., Yuc., Tlx y Jal.	Chiapas, Edo. Méx. Y Ver. (AZ, Pastos, Dunas costeras y bosque lluvioso)
<i>A. spinosa</i> Walter et Trappe	X	X	X	REPSA, Xal., Yuc., Y Jal.	Ver., Tlx. (M, H, F,A,CF)
<i>Acaulospora sp1</i>	X				
<i>Acaulospora sp2</i>	X				
<i>Acaulospora sp3</i>	X				
<i>Gigaspora decipiens</i> Hall et Abbott	X				
<i>Gigaspora sp1</i>	X				
<i>Glomus aff. deserticota</i> Trappe, Bloss et Menge	X				
<i>G. aff. scintillans</i> Rose et Trappe	X				
<i>G. caledonium</i> (Nicol. et Gerd.) Trappe et Gerd.	X				
<i>G. claroideum</i> Schenck et Smith	X			REPSA, Tlx..Jal (SBC).	
<i>G. constrictum</i> Trappe	X	X	X		Chia., Hid. Tab., Ver. (CO)
<i>G. etunicatum</i> Becker & Gerdemann	X				Mor. Tlx. (AZ,M,H,F,A)
<i>G. fasciculatum</i> (Thaxter) Gerd. et Trappe emend. Walker & Koske	X				Ver. (CF)
<i>G. geosporum</i> (Nicolson et Gerdemann) Walker	X		X	REPSA, Jal (SBC), Yuc, Q.Roo;Tlax	Ver. (CF)
<i>G. magnicaule</i> Hall	X				Jal (SBC)
<i>G. mosseae</i> (Nicolson et Gerdemann) Gerdemann	X			REPSA, Jal. (SBC), Tlx.	Edo. Méx. (MFC, M, F, MZ, C)
<i>Glomus sp1</i>	X				
<i>Glomus sp2</i>	X				
<i>Scutellospora erythropha</i>	X				

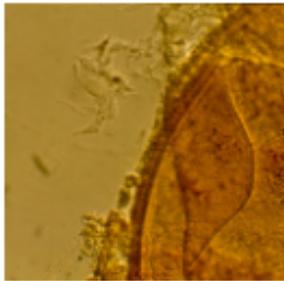
(Koske et Walker) Walker et Sanders					
<i>S. verrucosa</i> (Koske et Walker) Walker et Sanders	X				

A: alverjón; AZ: caña de azúcar, C: ciruelo; CF: café, CO: coco; F: frijol; H: haba; M: maíz; MCF: policultivo maíz-frijol- calabaza; MS: matorral secundario; MZ: manzano, P: papa; PL: plátano; SBC: selva baja caducifolia; REPSA: Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

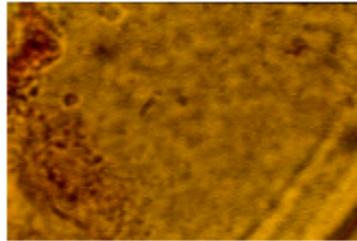
**Apéndice 3.** Abreviaturas de las especies de HMA y variables de suelo, utilizadas en el Análisis de Correspondencia Canónica.

<i>Especie</i>	<i>Abreviatura</i>	<i>Variable</i>	<i>Abreviatura</i>
<i>Acaulospora appendiculata</i>	Aapen	Poros tubulares tamaño	PT1
<i>A. foveata</i>	Afove	Poros tubulares abundancia	PT2
<i>A. leavis</i>	Alev	Poros vesiculares tamaño	PV1
<i>A. mellea</i>	Amell	Poros vesiculares abundancia	PV2
<i>A. scrobiculata</i>	Ascro	Poros intersticiales tamaño	PI1
<i>A. spinosa</i>	Aspin	Poros intersticiales abundancia	PI2
<i>Acaulospora sp1</i>	Asp1	Densidad aparente	DA
<i>Acaulospora sp2</i>	Asp2	Densidad raíces finas	DR
<i>Acaulospora sp3</i>	Asp3	Estabilidad de agregados	EA
<i>Gigaspora decipiens</i>	Gdeci	Matéria orgánica	MO
<i>Gigaspora sp1</i>	Gsp1		
<i>Glomus aff. deserticola</i>	Gldes		
<i>G. aff. scintillans</i>	Glsci		
<i>G. caledonium</i>	Glcal		
<i>G. claroideum</i>	Glcla		
<i>G. constrictum</i>	Glcon		
<i>G. etunicatum</i>	GletuX		
<i>G. fasciculatum</i>	Glfas		
<i>G. geosporum</i>	Glgeo		
<i>G. magnicaule</i>	Glmag		
<i>G. mosseae</i>	Glmos		
<i>Glomus sp1</i>	Glsp1		
<i>Glomus sp2</i>	Glsp2		
<i>Scutellospora erythropha</i>	Sery		
<i>S. verrucosa</i>	Sverr		

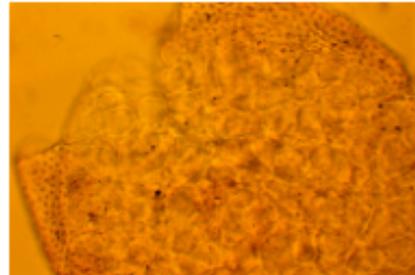
**Apéndice 4.** Laminas de las especies de HMA reportadas en este trabajo



*Acaulospora foveata* 40x campo claro detalle de la pared



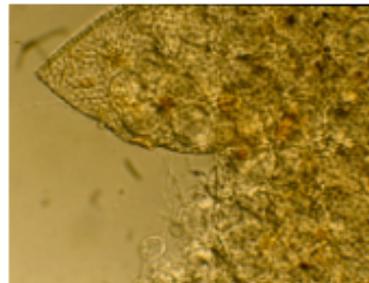
*A. foveata* 100x detalle de la pared (ornamentación)



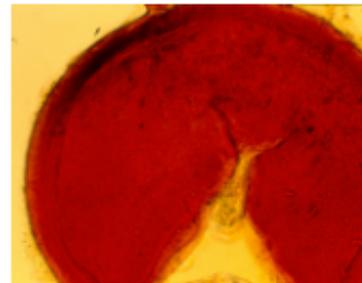
*A. scrobiculata* 40x detalle de la pared (ornamentación) campo claro



*A. spiroseta* 40x campo claro



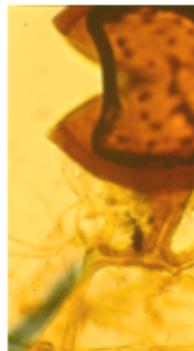
*A. scrobiculata* 40x detalle de la pared (ornamentación) contraste interferencial Nomarski



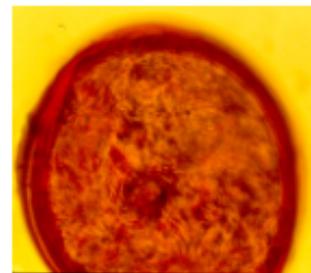
*Acaulospora sp1* 40x campo claro



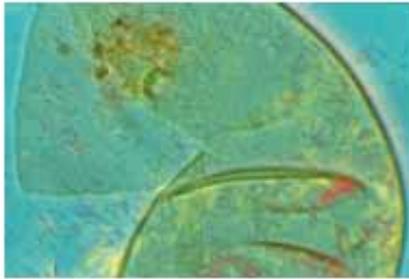
*Glomus geosporium* 40x campo claro



*G. constrictum* 20x campo claro



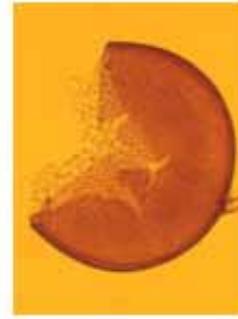
*G. caledonium* 40x campo claro



*Glomus roseae* 40x contraste interferencial Nomarski



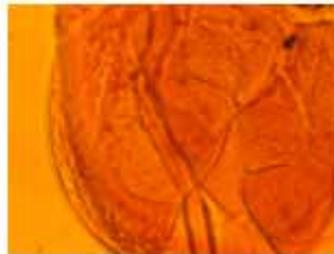
*G. etunicatum* 40x campo claro



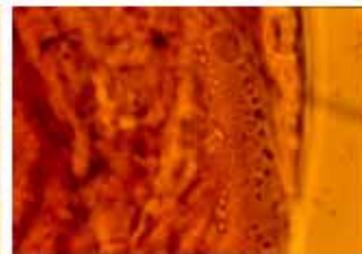
*G. calvoideum* 40x campo claro



*G. aff. deserticola* 40x campo claro



*Scutellospora verrucosa* 40x campo claro



*S. verrucosa* 40x detalle de la ornamentación campo claro



*Gigaspora decipiens* 40x campo claro