



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

**Caracterización de morfotipos arbutoides asociados a *Arbutus xalapensis*
Kunth., en suelos volcánicos del Corredor Biológico Chichinautzin**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA:

Abigail Díaz Armendáriz

DIRECTORA DE TESIS: Dra. María del Pilar Ortega Larrocea
Instituto de Geología, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR: Dra. Edith Garay Serrano
INECOL, Xalapa, Veracruz

Dra. Frédérique Reverchon
INECOL, Xalapa, Veracruz

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX

ENERO, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



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

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Posgrado en Ciencias de la Tierra por brindarme la oportunidad de formarme académicamente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada que hizo posible la realización de mis estudios.

Este trabajo de investigación contó con el financiamiento del PROGRAMA PAPIME PEI108-915, DGAPA-UNAM y del Programa de Apoyo PAEP- 2017, UNAM.

A la Dra. María del Pilar Ortega Larrocea por su apoyo constante, compromiso y dedicación en cada etapa de esta investigación. Gracias por adentrarme al mundo maravilloso del microcosmos bioedáfico, por su pasión y entrega en este campo de investigación.

A los miembros de Comité: Dra. Edith Garay Serrano y Dra. Frédérique Reverchon por su tiempo y observaciones en la elaboración de este proyecto.

A los miembros del Jurado: Dra. Silke Cram Heydrich, Dr. Gerardo Cruz Flores y a la Dra. Rosalva García Sánchez, por sus valiosas aportaciones a este trabajo.

A la M. en C. Iris Suárez Quijada por todo su apoyo y constante dedicación técnica durante la realización de este trabajo.

A la M. en C. Kumiko Shimada Miyasaka y a la Técnico Laboratorista Lucero Verónica López Cabrera, por su apoyo en el análisis de las muestras de suelo.

A la Dra. María Colín por haberme permitido hacer uso del equipo Axio Imager.M2 Zeiss semimotorizado con sistema Apotome. 2 y software ZEN 2.3 pro.

A todos los profesores que me impartieron clases, que con sus enseñanzas constituyeron parte de mi formación académica.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio Microcosmos Bioedáfico y del Geopedregal por su apoyo en campo y laboratorio por los momentos que compartimos.

A las secretarías María Luisa Reyes Ochoa y Gloria Benítez Alba, gracias por su valioso apoyo en todos los trámites de cada semestre, así como en el proceso de titulación.

A mis compañeros y amigos de clases Eliuth Romero, Emmanuel Anaya y Gina Molina por su amistad, y a los chic@s de la sala de estudiantes por hacer de esta experiencia agradable.

A mis amigos de siempre Alejandra Huautla, Juan Carlos Paéz, Laura Galván y Erika Abundio.

Dedicatoria

A mi familia: padres, hermana, tíos, primos y sobrinos. A mis padres por todo su apoyo incondicional y por su respaldo a lo largo de todo este proceso.

A mi hermana Sarai por su compañía y por formar parte de este trayecto porque estuvo ahí en todo momento, eres la mejor.

A mi familia en general, gracias.

Índice

Agradecimientos.....	3
Dedicatoria	5
Índice.....	6
Índice de figuras.....	8
Índice de cuadros	9
1. Resumen.....	11
2. Introducción.....	13
3. Marco teórico.....	15
3.1 Familia Ericaceae.....	15
3.2 Micorrizas en Ericáceas	18
4. Antecedentes	22
4.1 Micorriza arbutoide.....	22
4.2 Hongos ectomicorrízicos en el Corredor Biológico Chichinautzin	29
4.3 Influencia de las propiedades edáficas en las micorrizas	31
5. Justificación.....	34
6. Hipótesis.....	35
7. Objetivos	36
8. Sitio de estudio.....	37
9. Materiales y métodos	41
9.1 Recolecta en campo y procesamiento	41
9.2 Caracterización morfológica y anatómica de las micorrizas.....	42
9.3 Análisis de estructura de la comunidad de las micorrizas ARB	43
9.4 Análisis fisicoquímico de los suelos	44
10. Resultados	44
10.1 Caracterización morfológica y anatómica de los morfotipos	44
10.2 Riqueza de los morfotipos arbutoides	80
10.3 Abundancia absoluta y relativa	83
10.4 Diversidad	87
10.5 Análisis de similitud de los morfotipos ARB entre los sitios de muestreo... 87	

10.6 Relación entre las micorrizas ARB y los tipos de suelo	88
10.7 Correlación de análisis de suelo y la abundancia de ápices ARB.....	90
11. Discusión.....	93
12. Conclusiones.....	99
13. Recomendaciones.....	100
14. Literatura citada.....	101
15. Anexos	112
Anexo 1.....	112
Anexo 2.....	117
Anexo 3.....	122
Anexo 4.....	123
Anexo 5.....	125
Anexo 6.....	126
Anexo 7.....	127

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de micorrizas: A) ectomicorrizas, B) arbuscular, C) ericoide, D) orquideoide, E) arbutoide, F) monotropoide y G) ectendomicorriza (Tomado de: University of Coimbra, 2009)	19
Figura 2. Tipos de micorrizas en Ericáceas. A) micorriza arbutoide, B) micorriza cavendishae, C) micorriza ericoide D) micorriza monotropoide. Estructuras de las micorrizas: manto (m), colonización intracelular (ci), red de Hartig (rH) (Peterson <i>et al.</i> , 2004; Setaro <i>et al.</i> , 2006)	21
Figura 3. Morfotipos ARB y ectomicorrízicos de <i>Arbutus unedo</i> , <i>Arbutus menziessi</i> y <i>Picea abies</i>	28
Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo en la Sierra Chichinautzin (ArcGis 10.2)	40
Figura 5. Morfotipo ARB 1 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	45
Figura 6. Morfotipo ARB 2 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	47
Figura 7. Morfotipo ARB 3 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	48
Figura 8. Morfotipo ARB 4 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	50
Figura 9. Morfotipo ARB 5 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	52
Figura 10. Morfotipo ARB 6 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	54
Figura 11. Morfotipo ARB 7 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	56
Figura 12. Morfotipo ARB 8 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	58
Figura 13. Morfotipo ARB 9 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	59
Figura 14. Morfotipo ARB 10 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	61
Figura 15. Morfotipo ARB 11 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	63
Figura 16. Morfotipo ARB 12 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	64
Figura 17. Morfotipo ARB 13 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	66
Figura 18. Morfotipo ARB 14 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	68
Figura 19 Morfotipo ARB 15 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	70
Figura 20. Morfotipo ARB 16 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	72

Figura 21. Morfotipo ARB 17 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	73
Figura 22. Morfotipo ARB 18 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	75
Figura 23. Morfotipo ARB 19 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	77
Figura 24. Morfotipo ARB 20 de la micorriza arbutoide de <i>Arbutus xalapensis</i>	79
Figura 25. Curva de acumulación de morfotipos ARB asociados a <i>Arbutus xalapensis</i> en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México	80
Figura 26. Número de morfotipos ARB asociados (riqueza) por árbol de <i>Arbutus xalapensis</i> en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.	82
Figura 27. Promedios de las abundancias de los ápices asociados a <i>Arbutus xalapensis</i> en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México. Letras distintas indican diferencias significativas entre sitios ($p < 0.05$).	84
Figura 28. Abundancia relativa de los morfotipos ARB asociados a <i>Arbutus xalapensis</i> en los cuatro sitios de muestreo.....	84
Figura 29. Distribución geográfica de <i>Arbutus xalapensis</i> . Tomado de: Rzedowski y colaboradores (2005).....	113
Figura 30. <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth in Humb., Bonpl. & Kunth var. <i>xalapensis</i> . Tomada de González y colaboradores (2014).	115
Figura 31. <i>Arbutus xalapensis</i> (Fotografía por: Díaz Armendáriz Abigail).	116

Índice de cuadros

Cuadro 1. Síntesis bibliográfica de trabajos realizados de la micorriza ARB en campo y laboratorio.....	23
Cuadro 2. Hongos micorrízicos (detectados por presencia de esporomas y detección del micobionte en ectomicorrizas) registrados en bosque de <i>Pinus montezumae</i> en el Corredor Biológico Chichinautzin México.....	29
Cuadro 3. Características y ubicación de los sitios de estudio en dos suelos de origen volcánico en localidades del eje Neovolcánico, México.....	38
Cuadro 4. Morfotipos ARB presentes en los sitios de estudio.	81

Cuadro 5. Análisis de varianza, prueba de Tukey y Fisher de la riqueza (número de morfotipos) asociados a <i>Arbutus xalapensis</i> en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.....	82
Cuadro 6. Abundancia absoluta (número de ápices) y relativa de los morfotipos ARB por núcleo asociados a <i>Arbutus xalapensis</i> en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.....	85
Cuadro 7. Análisis de varianza, prueba de Tukey y Fisher de la abundancia (número de ápices) asociados a <i>Arbutus xalapensis</i> en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.	86
Cuadro 8. Índice de diversidad de Shannon (H') en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México (Andosoles en Guespalapa y Leptosoles en el Chichinautzin y el Xitle).	87
Cuadro 9. Índices de Sørensen en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México	88
Cuadro 10. Análisis de varianza, prueba de Tukey y Fisher de la riqueza (número de morfotipos) asociados a <i>Arbutus xalapensis</i> en dos suelos de origen volcánico del eje Neovolcánico, México.	88
Cuadro 11. Análisis de varianza, prueba de Tukey y Fisher de la abundancia (número de ápices) asociados a <i>Arbutus xalapensis</i> en dos suelos de origen volcánico en el eje Neovolcánico, México.....	89
Cuadro 12. Características físicas y químicas de dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.....	91
Cuadro 13. Correlaciones de las variables edáficas y la abundancia de los ápices ARB en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.....	92

1. Resumen

A nivel mundial se han reportado 12 especies de *Arbutus* de las cuales 67% se distribuyen en México. En el Corredor Biológico Chichinautzin ubicado en el Eje Neovolcánico Transversal dominan bosques de pino-encino que albergan a *Arbutus xalapensis*, el cual presenta una micorriza específica asociada a este género denominada micorriza arbutoide. En todo el mundo la micorriza arbutoide ha sido poco estudiada; entre las especies fúngicas asociadas se reportan los géneros *Amanita*, *Boletus*, *Cenococcum*, *Lactarius*, *Leccinum*, *Pisolithus* entre otros; y en México ha sido completamente inexplorada. En este trabajo se caracterizaron los morfotipos micorrízicos arbutoides (ARB) asociados a *Arbutus xalapensis* en cuatro sitios de suelos volcánicos del Corredor Biológico Chichinautzin, con un clima templado con lluvias en verano, a altitudes de 3090 msnm. Los suelos se encuentran sobre derrames lávicos de tipo andesítico-basáltico que difieren en edad y grado de desarrollo, el Xitle (Leptosol mólico, 1670 ± 35 años A.P.), Chichinautzin (Leptosol hiperesquelético mólico, 1835 ± 55 años A.P.), Guespalapa A y Guespalapa B (Andosol vítrico mólico y Andosol vítrico léptico respectivamente, y de 2835 ± 75 a 4690 ± 90 en promedio 3800 años A.P.). En cada sitio se seleccionaron árboles de *Arbutus xalapensis* mayores a 5 m de altura en los cuales se colectaron con núcleos cilíndricos cuatro muestras de suelo a 30 cm de la base del tronco orientados hacia los cuatro puntos cardinales y se retiró el mantillo para el muestreo de suelo. En laboratorio se limpiaron las raíces y se caracterizaron de acuerdo a la metodología propuesta por Agerer (1987-2002) y con el sistema DEEMY de caracterización de ectomicorrizas disponible en línea (Agerer y Rambold, 2004-2014). Para cada sitio, se determinó la riqueza y abundancia de los morfotipos ARB con el índice de Shannon y se comparó la diversidad entre los sitios de muestreo con el índice de similitud de Sørensen, finalmente se analizó la correlación de los parámetros edáficos con la abundancia de los ápices micorrízicos ARB. Los resultados mostraron que la riqueza de morfotipos ARB asociados a *Arbutus xalapensis* en los cuatro sitios de muestreo fue de 20 morfotipos en total, se lograron identificar por sus características morfológicas y anatómicas, al

micobionte *Cenococcum geophilum* y a una morfoespecie del género *Tomentella*, estos hongos micorrízicos en asociación con pinos han mostrado ser abundantes. En cada sitio se encontró un morfotipo exclusivo (morfotipo ARB 5, 8, 12 y 16) que pueden ser sensibles a cambios en los parámetros del suelo. En cambio, tres morfotipos (ARB 1, 3 y 9) fueron los más abundantes y se presentaron en los cuatro sitios de estudio, estos hongos micorrízicos pueden ser utilizados en proyectos de restauración. La mayor riqueza de morfotipos ARB se presentó en el Guespalapa A (16) seguido por el Chichinautzin (14), el Xitle (11) y el Guespalapa B (10). Los valores de similitud mostraron que son similares desde el 57% hasta un 80% entre los sitios, lo cual muestra procesos de recambio en morfoespecies de hongos micorrízicos ARB en el sistema radical de *Arbutus xalapensis*. El análisis de correlación mostró que los ápices ARB respondieron de manera distinta a las variables edáficas, por lo que las diferencias pueden responder a distintas preferencias por los hongos asociados que se adecuen a micronichos particulares de cada sitio de estudio. Este trabajo muestra que no hubo relación estadística entre los morfotipos y abundancia de los ápices ARB asociados a *Arbutus xalapensis* con los suelos y sitios de estudio. Este es un primer acercamiento que permite conocer la diversidad micorrízica que alberga *Arbutus xalapensis* en suelos volcánicos en México.

Palabras clave: asociación micorrízica, ericáceas, madroño, micorriza arbutoide

2. Introducción

En la Faja Volcánica Transmexicana, confluyen elementos florísticos de las regiones Neártica y Neotropical, dando lugar al establecimiento de distintos tipos de vegetación; un ejemplo de ello es el género *Arbutus*, del cual se han reportado 12 especies en el mundo, y ocho de estas se encuentran distribuidas en México (González *et al.*, 2012). La Sierra Chichinautzin alberga también a *Arbutus xalapensis* Kunth., comúnmente llamado madroño, entremezclado en el bosque dominado por pino-encino (Morrone *et al.*, 2002; González *et al.*, 2012)

Pocas las especies de *Arbutus*, como *Arbutus unedo* L., y *Arbutus menziessi* Pursh., de la subfamilia Arbutoideae (Ericaceae) se han reportado estar asociados con una amplia gama de hongos micorrízicos (Rivett, 1924; Molina y Trappe, 1982; Acsai y Largent, 1983; Amaranthus y Perry, 1988; Richard *et al.*, 2005; Gomes *et al.*, 2013). Sin embargo, a nivel mundial, la micorriza arbutoide continúa siendo poco estudiada y en México este tipo de asociación ha sido completamente inexplorada. Se le ha denominado micorriza arbutoide a la asociación entre la raíz de especies de *Arbutus* y especies de hongos micorrizógenos, micorriza que se caracteriza por tener una ramificación simple, cruciforme o pinnada, con manto, red de Hartig de tipo paraepidérmica y presentar hifas inter e intracelulares, las cuales están restringidas a la epidermis de la raíz (Molina y Trappe, 1982; Münzenberger *et al.*, 1992; Osmundson *et al.*, 2007; Gomes *et al.*, 2013). La mayoría de los hongos involucrados en estas asociaciones arbutoides son hongos que participan también en la formación de ectomicorrizas (Molina y Trappe, 1982; Gomes *et al.*, 2016), los cuales pueden regular las interacciones entre las plantas arbutoides y los árboles que forman asociaciones ectomicorrízicas (Smith y Read, 1997).

La descripción morfológica y anatómica de las micorrizas es una herramienta que ha sido utilizado como primer acercamiento a la identificación del hongo asociado a la micorriza, y se ha utilizado a través del tiempo, siendo el reconocimiento morfológico, el medio utilizado en varios estudios de campo y laboratorio (Agerer,

1987-2002; Agerer y Rambold, 2004-2014; Brundrett, 2004). La observación microscópica y la determinación de aspectos como el color, forma y estructura del manto entre otras, confiere la posibilidad de identificar algunos de los hongos micorrízicos hasta género (Agerer, 1987-2002; Agerer y Rambold, 2004-2014). Actualmente con las técnicas de biología molecular se puede identificar el género o la especie fúngica asociada, y la caracterización morfológica y anatómica continúa siendo una herramienta importante en el estudio de la asociación micorrízica (Horton y Bruns, 2001).

En el presente trabajo se realiza la caracterización morfológica y anatómica de morfotipos micorrízicos arbutoides asociados a *Arbutus xalapensis*, relacionando la presencia de los morfotipos con las propiedades edáficas de dos suelos volcánicos en el Corredor Biológico Chichinautzin, México.

3. Marco teórico

3.1 Familia Ericaceae

Las ericáceas son un conjunto de plantas cosmopolitas conformadas aproximadamente por 120 a 160 géneros y 4100 a 4500 especies a nivel mundial, que se distribuyen desde regiones de clima templado a frío (González y González, 2014). Este grupo de plantas comprenden las siguientes subfamilias registradas: Arbutoideae, Enkianthoideae, Monotropeoideae, Cassiopoideae, Ericoideae, Harrimenelloideae, Styphelioideae y Vaccinioideae (Missouri Botanical Garden, 2017).

La importancia de esta familia botánica de plantas comprende aspectos ecológicos, económicos y etnobotánicos registrados en las zonas montañosas de México. Varias especies son utilizadas como plantas medicinales u ornamentales, otras son de uso comestible como los arándanos (*Vaccinium* spp.) que se cultivan en Canadá, Estados Unidos y Europa; sin embargo, algunos frutos pueden provocar intoxicación, tal es el caso de los madroños (*Arbutus* spp.), otras especies presentan un gran potencial en el ámbito ornamental, como los géneros *Arctostaphylos* y *Rhododendron* (azaleas) (Rzedowski *et al.*, 2005; González y González, 2014).

Además, se ha reportado que este grupo de plantas ha desarrollado una relación simbiótica con hongos micorrizógenos, formando micorrizas de tipo arbutoide, ericoide, monotropeide y, que ayudan a la adaptación de las plantas a suelos ácidos (Read, 1996).

Generalidades de las especies de *Arbutus*

La subfamilia Arbutoideae, es un grupo de la familia Ericaceae, el cual se caracteriza por la morfología en los frutos y flores, así como de su fotoquímica, entre otras características (Cox, 1948; Stevens, 1971). Se reconocen seis géneros: *Arbutus*,

Arctostaphylos, *Arctous*, *Comarostaphylis*, *Ornithostaphylos* y *Xylococcus* (Small, 1914; Stevens, 1971; Hileman *et al.*, 2001).

El taxón Arbutoideae conforma un grupo monofilético y diverso, que se distribuye en regiones del clima mediterráneo, en América en regiones circumpolares (*Arctous alpina*) y circumboreales (*Arctostaphylos uva-ursi*), Norte de África, Europa y medio oriente (*Arbutus* spp.) (Hileman *et al.*, 2001).

El género *Arbutus* L., comprende 12 especies registradas de árboles que son conocidos comúnmente como madroños, tres de estas especies se establecen en la Cuenca del Mediterráneo y a lo largo de la costa occidental de Europa; una especie en las Islas Canarias, y ocho en el Norte y Centro de América donde forman parte de bosques de pino encino (González y González, 1992).

En la región del Mediterráneo se distribuye *Arbutus unedo*, *Arbutus andrachne* L., en la región oriente del Mediterráneo (Miguel *et al.*, 2014), *Arbutus pavarii* Pampani, es endémica del noreste de Libia. Y en las Islas Canarias *Arbutus canariensis* Veill., la cual es endémica de ese lugar (Hileman *et al.*, 2001).

En el continente americano se distribuyen ocho especies; debido a la disyunta distribución entre los climas mediterráneos del oeste de Norte América y la Cuenca del Mediterráneo (Axelrod, 1975), donde *Arbutus* es un componente de la flora Madreña del Terciario, lo que explica que tenga una conexión entre los elementos florísticos de zonas boreales y áridas.

Hileman y colaboradores (2001) realizaron un estudio donde analizaron el DNA ribosomal de *Arbutus* y sus géneros emparentados, indicando que las especies de la Cuenca del Mediterráneo están relacionadas con las especies norteamericanas y que la separación entre los dos grupos se produjo entre los periodos del Paleógeno y el Neógeno.

En la costa occidental de Norte América, se distribuye *Arbutus menziessi* Pursh (madroño del Pacífico) y *Arbutus arizonica* (A. Gray) Sarg. Para México han sido descritas *Arbutus occidentalis* McVaugh & Rosatti, *Arbutus tessellata* Sørensen, *Arbutus madreñensis* S. González, *Arbutus mollis* H.B.K., *Arbutus xalapensis* y *Arbutus bicolor* S. González, M. González & P. D. Sørensen (Sørensen, 1987; González y González, 1992; González *et al.*, 2012).

En México las especies de *Arbutus* constituyen un elemento de los bosques templados de pinos y encinos (González y González, 1992; 2014; González *et al.*, 2012). El concepto de especie en el género *Arbutus* ha sido muy amplio y algunas especies han sido interpretadas como taxa polimórficos.

Las especies de *Arbutus* se caracterizan por ser árboles o arbustos, a veces postrados, siempre verdes; tronco y ramas con la corteza delgada, lisa o áspera, frecuentemente exfoliante, ramillas jóvenes glabras, con pubescencia glandular, o bien, esparcidamente tomentosas; hojas alternas, pecioladas, enteras o aserradas, coriáceas; inflorescencias en forma de panículas terminales; cáliz de 5 lóbulos escariosos, reflejos en la fructificación; corola urceolada, inflada en su base, con 5 lóbulos reflejos; estambres 10, inclusos, filamentos dilatados hacia la base, anteras con dos apéndices dorsales, dirigidos hacia abajo, de dehiscencia poricida; ovario súpero, con 2 a numerosos óvulos en cada lóculo, estilo terminal; baya globosa, con el epicarpio granuloso, de color anaranjado a rojo en la madurez, con varias semillas (Rzedowski *et al.*, 2005) (Anexo 1).

Estas especies se caracterizan por ser tolerantes a la sequía, se han registrado como especies que estabilizan al suelo y muestran la habilidad de regenerar los bosques después de los incendios forestales (Massicotte *et al.*, 1992; Massicotte *et al.*, 1994; Horton *et al.*, 1999; CONAFOR, 2014).

Estudios en *Arbutus unedo*, mencionan sus propiedades medicinales con acciones astringente, antiséptica, antioxidante, diurética, depurativa sanguínea,

descongestionante de las vías respiratorias, anticatarral, hipotensora, depurativa, antidiarreica, entre otras (Fortalezas *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2011; Miguel *et al.*, 2014). Las hojas contienen arbutósido y metilarbutósido con actividad antiséptica, además de taninos. El pigmento responsable de la coloración roja del fruto es el antocianósido glucosil-3-cianidina. (Guimarães *et al.*, 2013). Los frutos contienen hasta un 20% de azúcares, pero también ácido málico y pectinas, por lo que son adecuadas para la elaboración de mermeladas y otras confituras. Tienen igualmente un alto contenido de vitamina C (Barros *et al.*, 2010), su miel es amarga debido a los heterósidos fenólicos que contiene. En relación a los frutos, en algunos lugares realizan destilaciones para obtener aguardiente y alcohol, aunque se dice que su alcohol es dañino (Guimarães *et al.*, 2013).

En México, las especies de *Arbutus* son recolectados principalmente para autoconsumo y parece ser que no está sujeta a ninguna norma de aprovechamiento. El uso principal es la madera para leña; para uso artesanal, los tallos se utilizan para elaborar bateas, cucharas, cuellos de violín y otros artículos (CONAFOR, 2014).

3.2 Micorrizas en Ericáceas

Las micorrizas son una asociación que se establece entre las raíces de las plantas y ciertos hongos del suelo (Brundrett, 2004). Estas asociaciones son cosmopolitas ya que se encuentran en la mayoría de los hábitats y existe un amplio número de familias botánicas que pueden ser micorrizadas. De acuerdo con Smith y Read (1997) dividieron a las micorrizas en: endomicorriza (arbuscular, ericoide y orquideoide), ectomicorriza y ectendomicorriza (arbutoide, monotropoide y ectendomicorriza) (Figura 1). Los hongos micorrízicos juegan un papel crítico en el ciclo de los nutrientes y en la función del ecosistema ya que mejoran el crecimiento y la supervivencia de las plantas mediante una relación en la que los fotosintatos se intercambian por un mayor acceso al agua y nutrientes (Kernaghan, 2005).

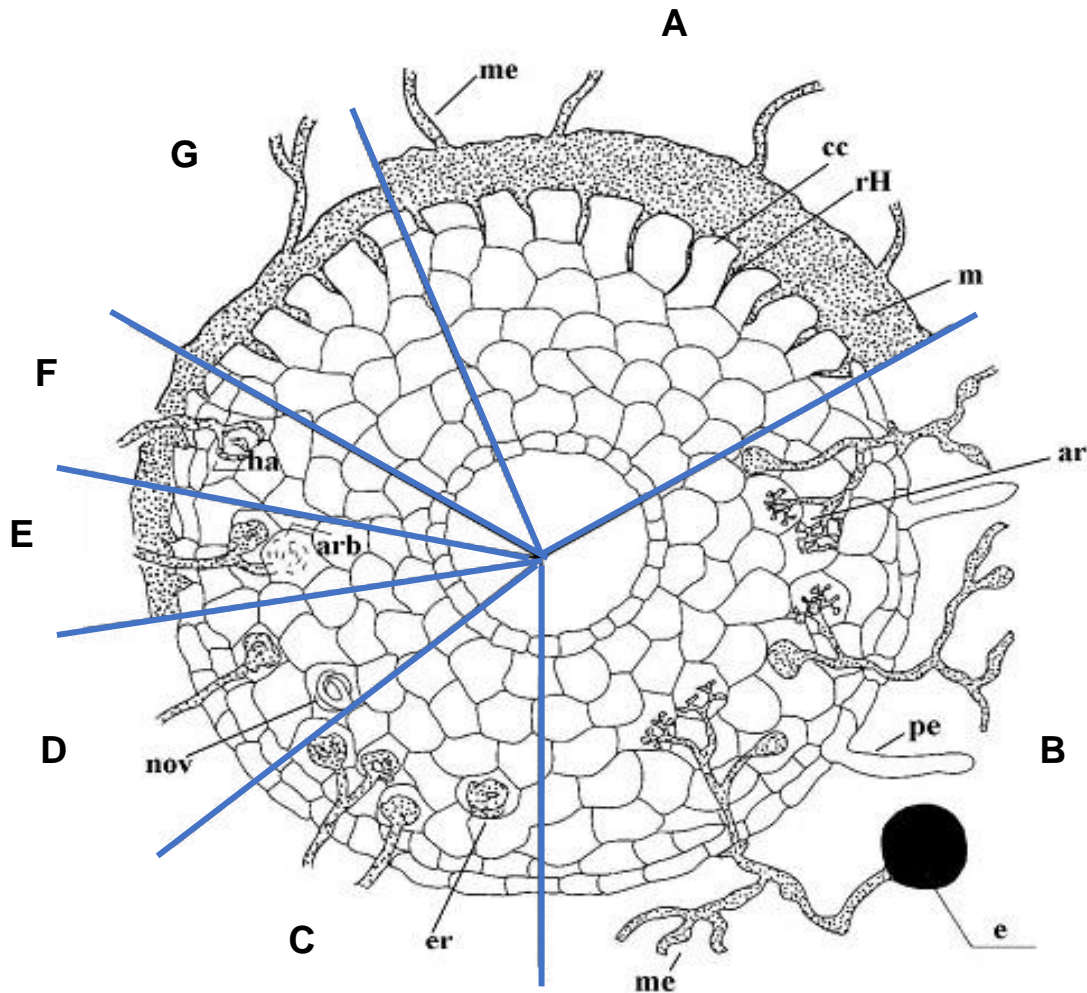


Figura 1. Tipos de micorrizas: A) ectomicorrizas, B) arbuscular, C) ericoide, D) orquideoide, E) arbutoide, F) monotropoide y G) ectendomicorriza. Estructuras de las micorrizas: arbuscúlo (ar), arbutoides (arb), célula cortical (cc), espora (e), enrollamientos (er), haustorios (ha), manto (m), micelio extraradical (me), ovillos (nov) y red de Hartig (rH) (Tomado de: University of Coimbra, 2009).

Las ericáceas son una familia botánica que han reportado que la mayoría de las especies presentan asociación micorrízica (Smith y Read, 1997; Brundrett, 2004; Read *et al.*, 2004). Las que se han documentado son la micorriza tipo arbutoide, cavendishia, ericoide y monotropoide (Peterson *et al.*, 2004; Setaro *et al.*, 2006b) (Figura 2). Como ejemplo, los arándanos (*Vaccinium corymbosum*) han establecido una asociación micorrízica ericoide que le confiere ventajas en cuanto al aprovechamiento de los nutrientes del suelo (Gorzalak *et al.*, 2012; Leopold, 2016).

La micorriza arbutoide se ha reportado en los géneros *Arbutus*, *Arctostaphylos* y *Comarostaphylis* (Molina y Trappe, 1982; Fusconi y Bonfante, 1984; Kühdorf *et al.*, 2015). Los hongos asociados son Basidiomicetos y Ascomicetos algunos de los géneros reportados son *Hebeloma*, *Laccaria*, *Lactarius*, *Piloderma*, *Pisolithus*, *Rhizopogon*, *Thelephora*, *Cenococcum* entre otros. Estudios previos indican que los hongos que participan en la formación de la micorriza arbutoide son capaces también de formar ectomicorrizas (Molina y Trappe, 1982). La micorriza arbutoide se caracteriza por presentar hifas creciendo inter e intracelularmente en las células epidérmicas de la raíz de la planta y por mostrar un manto cubriendo la raíz (Massicotte *et al.*, 1993). A nivel mundial, solo en *Arbutus menziessi* y *Arbutus unedo* han realizado estudios acerca de este tipo de micorriza (Kennedy *et al.*, 2012; Gomes *et al.*, 2013).

La micorriza cavendishia descrita en *Cavendishia nobilis* Lindley var. *capitata* de la subfamilia Vaccinioideae (Familia Ericaceae), se caracteriza por presentar manto, red Hartig y penetración intracelular de la capa epidérmica de las células de la raíz. Setaro y colaboradores (2006a) proponen el término micorriza cavendishia para este tipo de ectendomicorriza. Los hongos reportados en esta asociación son especies de *Sebacina* y Ascomicetos de Leotiomycetes (Setaro *et al.*, 2006a).

La micorriza ericoide se caracteriza anatómicamente debido a que las hifas del hongo envuelven la superficie de las células, y las hifas colonizan intracelularmente las células epidérmicas. Este tipo de micorriza se encuentra asociada a algunas especies de las familias Ericaceae y Epacridaceae, en cuanto a los hongos se han registrado géneros como *Hymenoscyphus* (Helotiales), *Oidiodendron* (Dothideomycetes), *Clavaria* (Clavariaceae, Agaricales) y *Tulasnella* (Cantharellales) (Bonfante *et al.*, 1981; Peterson y Massicotte, 2004).

Por su parte, la micorriza monotropoide se identifica anatómicamente por presentar manto, red de Hartig de tipo paraepidermal, las hifas de los hongos penetran las

células de la epidermis en forma de “fungal pegs”. Este tipo de asociación se ha reportado en plantas de la subfamilia Monotropoideae y entre los hongos asociados se mencionan géneros de Basidiomicetos como *Lactarius*, *Suillus* y *Russula* (Smith y Read, 1997; Peterson *et al.*, 2004; Read *et al.*, 2004; Kong *et al.*, 2015).

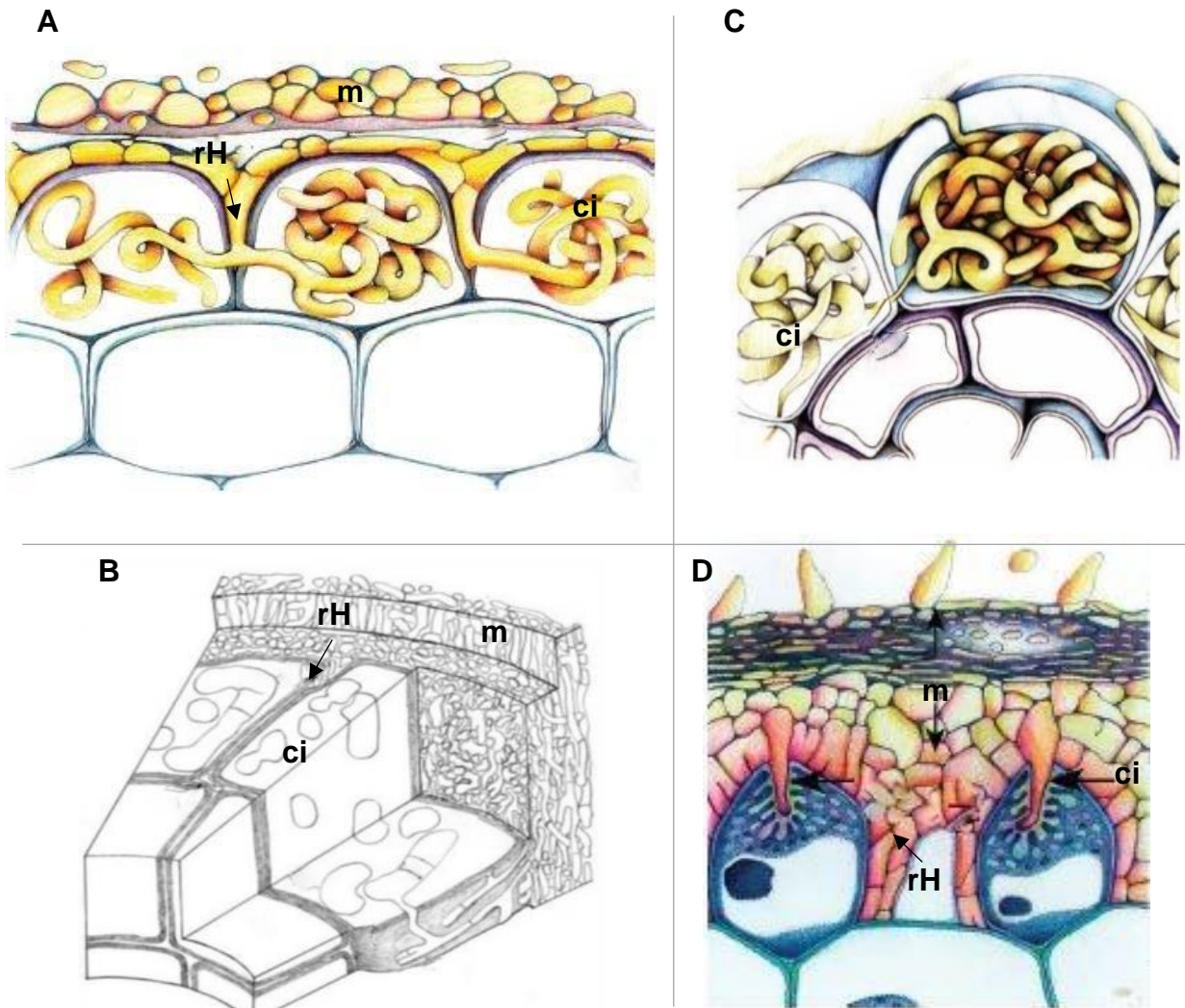


Figura 2. Tipos de micorrizas en Ericáceas. A) micorriza arbutoide, B) micorriza cavendishia, C) micorriza ericoide D) micorriza monotropoide. Estructuras de las micorrizas: manto (m), colonización intracelular (ci), red de Hartig (rH) (Peterson *et al.*, 2004; Setaro *et al.*, 2006).

4. Antecedentes

4.1 Micorriza arbutoide

Estudios han reportado la presencia de asociaciones micorrízicas con una amplia gama de hongos micorrízicos en especies de *Arbutus*, *Arctostaphylos* y *Comarostaphylis* de la subfamilia Arbutoideae (Ericaceae) Molina y Trappe, 1982; Acsai y Largent, 1983; Molina *et al.*, 1997; Read *et al.*, 2004; Mühlmann y Göbl, 2006; Krpata *et al.*, 2007; Osmundson *et al.*, 2007), interacción que ha sido denominada como micorriza arbutoide. Los hongos que se forman micorrizas arbutoides pertenecen principalmente a los Basidiomicetos y algunos Ascomicetos (Smith y Read, 1997). En el Cuadro 1, se muestra una síntesis bibliográfica acerca de los fitobiontes y micobiontes relacionados con la micorriza arbutoide y los estudios de laboratorio y campo en los que se ha estudiado.

Cuadro 1. Síntesis bibliográfica de trabajos realizados de la micorriza ARB en campo y laboratorio

Fitobionte	Micobionte	Metodología de análisis	Referencia
<i>Arbutus menziesii</i> , <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> , y especies de Pinaceae	<i>Thelephora terrestris</i> , <i>Corticium bicolor</i> , <i>Cenococcum graniforme</i> , <i>Pisolithus tinctorius</i>	Síntesis en cultivo puro	(Zak, 1976b)
<i>Arbutus menziesii</i> y <i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	<i>Amanita muscaria</i> , <i>Astraeus pteridis</i> , <i>Boletus edulis</i> , <i>Cenococcum geophilum</i> , <i>Fuscoboletinus aeruginascens</i> , <i>Gastroboletus subalpinus</i> , <i>Hysterangium separabile</i> , <i>Laccaria laccata</i> , <i>Lactarius deliciosus</i> , <i>Leccinum manzanitae</i> , <i>Melanogaster intermedius</i> , <i>Paxillus involutus</i> , <i>Pisolithus tinctorius</i> , <i>Rhizopogon cokeri</i> , <i>Rhizopogon fuscorubens</i> , <i>Rhizopogon occidentalis</i> , <i>Rhizopogon vinicolor</i> , <i>Scleroderma hypogaeum</i> , <i>Scleroderma laeve</i> , <i>Suillus brevipes</i> , <i>Suillus cavipes</i> , <i>Suillus grevillei</i> , <i>Suillus lakei</i> , <i>Tricholoma flavovirens</i> , <i>Truncocolumella citrina</i>	Síntesis en cultivo puro	(Molina y Trappe, 1982)
<i>Arbutus unedo</i>	Ascomiceto	Ultraestructura	(Fusconi y Bonfante, 1984)

<i>Arbutus unedo</i>	<i>Laccaria amethystea</i>	Síntesis en cultivo puro – descripción de ultraestructura y anatomía	(Münzenberger <i>et al.</i> , 1992)
<i>Arbutus menziessi</i>	<i>Pisolithus tinctorius</i> <i>Piloderma bicolor</i>	Síntesis en cultivo puro – estructuras e histoquímica	(Massicotte <i>et al.</i> , 1993)
<i>Arbutus menziesii</i> <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> y <i>Pinus ponderosa</i>	<i>Rhizopogon ellenae</i> <i>Rhizopogon occidentalis</i> <i>Rhizopogon subcaerulescens</i>	Síntesis en cultivo puro	(Molina <i>et al.</i> , 1997)
<i>Arbutus unedo</i>	<i>Tomentella</i> sp., <i>Inocybe</i> sp., <i>Laccaria</i> sp., <i>Thelephora</i> sp., <i>Russula</i> sp., <i>Amanita</i> sp., <i>Cortinarius</i> sp., <i>Tricholoma</i> sp., <i>Hygrophorus</i> sp., <i>Lactarius</i> sp., <i>Hebeloma</i> sp.	Trabajo en campo- Identificación molecular	(Richard <i>et al.</i> , 2005)
<i>Arbutus menziessi</i>	<i>Cenococcum</i> sp., <i>Piloderma</i> sp., <i>Wilcoxina</i> sp., <i>Inocybe</i> sp., <i>Cortinarius</i> sp., <i>Tomentella</i> sp., <i>Thelephora</i> sp., <i>Sebacina</i> sp., <i>Russula</i> sp.	Trabajo en campo- Identificación molecular	(Kennedy <i>et al.</i> , 2012)

<i>Arbutus unedo</i>	<i>Pisolithus arhizus</i> , <i>Cenococcum geophilum</i> , <i>Hebeloma</i> sp., <i>Thelephora</i> sp.	Síntesis en cultivo puro- Identificación molecular- Histología	(Gomes <i>et al.</i> , 2013)
<i>Arbutus unedo</i>	<i>Tuber borchii</i>	Trabajo en campo- Bioensayo en invernadero	(Lancellotti <i>et al.</i> , 2014)
<i>Arbutus unedo</i>	<i>Lactarius deliciosus</i>	Síntesis en cultivo puro- Identificación molecular- Histología	(Gomes <i>et al.</i> , 2016)
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	<i>Leccinum monticola</i>	Trabajo en campo- Caracterización de morfo anatómica- Identificación molecular	(Osmundson <i>et al.</i> , 2007)
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	<i>Sebacina</i> sp.	Identificación molecular y análisis filogenético	(Kühdorf <i>et al.</i> , 2014)
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	<i>Leotia</i> cf. <i>lubrica</i>	Trabajo en campo- Caracterización de morfo anatómica- Identificación	(Kühdorf <i>et al.</i> , 2015)

		molecular y análisis filogenético	
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>	<i>Cortinarius</i> sp.	Trabajo en campo- Caracterización de morfo anatómica- Identificación molecular y análisis filogenético	(Kühdorf <i>et al.</i> , 2016)

Rivett (1924) fue el pionero en investigar las micorrizas de *Arbutus unedo-Laccaria amethystea* el cual describió morfológicamente el patrón coraloide y anatómicamente por presentar manto e hifas inter e intracelulares que están restringidas en la epidermis. En 1984 Fusconi y Bonfante, detallaron la colonización intracelular, red Hartig y un manto fúngico delgado de las micorrizas formadas entre *Arbutus unedo* y un simbionte Ascomiceto. Posteriormente Molina y Trappe (1982) demostraron que los hongos que participan en la formación de ectomicorrizas son capaces de formar también micorrizas arbutoides y los reportó como hongos “generalistas” por su falta de especificidad con *Arbutus menziessi* y *Arctostaphylos uva-ursi* (Zak, 1974; Zak, 1976b; Zak, 1976a; Molina y Trappe, 1982; Richard *et al.*, 2005; Krpata *et al.*, 2007).

Investigaciones de anatomía y ultraestructura en *Arbutus unedo-Laccaria amethystea* fueron descritas por Münzenberger y colaboradores (1992), esta investigación proporciona evidencia de la presencia de la red de Hartig paraepidermal y suberina en las células hipodérmicas del fitobionte, así como un conjunto de hifas bien desarrollado (manto) que envuelve a la raíz. La morfología de las micorrizas arbutoides descritas, inicia de forma simple, posteriormente se ramifica de manera cruciforme y después presenta una ramificación coraloide.

Este tipo de caracterización morfológica y anatómica se ha realizado con base a la metodología propuesta por Agerer (1987-2002) para ectomicorrizas, la cual ha sido útil también para la descripción de la micorriza arbutoide (Massicotte *et al.*, 1993; Kühdorf *et al.*, 2014; Kühdorf *et al.*, 2016).

Además, los hongos formadores de ectomicorrizas que se asocian con especies de *Arbutus* pudieran ser similares en cuanto a su descripción morfológica con la micorriza arbutoide. La micorriza arbutoide puede mostrar un mismo tipo de ramificación aun cuando los fitobiontes sean distintos, como en *Arbutus unedo-Pisolithus tinctorius* que presenta una ramificación de tipo pinnada, así como también en *Arbutus menziessi-Pisolithus tinctorius* (Massicotte *et al.*, 1993). Sin embargo, en varios casos se ha

determinado que la ramificación de la micorriza depende del fitobionte asociado, tal es el caso de *Lactarius deliciosus* asociado a *Arbutus unedo* de ramificación pinnada (Gomes *et al.*, 2016) y con *Arbutus menziessi-Lactarius deliciosus* de ramificación coraloide con ápices cruciformes (Molina y Trappe, 1982). Otro ejemplo es *Arbutus unedo-Tuber borchii* de ramificación pinnada con ápices cruciformes (Lancellotti *et al.*, 2014). En relación a plantas como es el caso de *Picea abies*, con hongos formadores de ectomicorrizas como *Pisolithus tinctorius*, *Lactarius deterrimus*, *Lactarius picinus*, *Tuber puberulum* todas estas presentaron ramificación pinnada monopodial (Agerer, 1987-2002) (Figura 3).

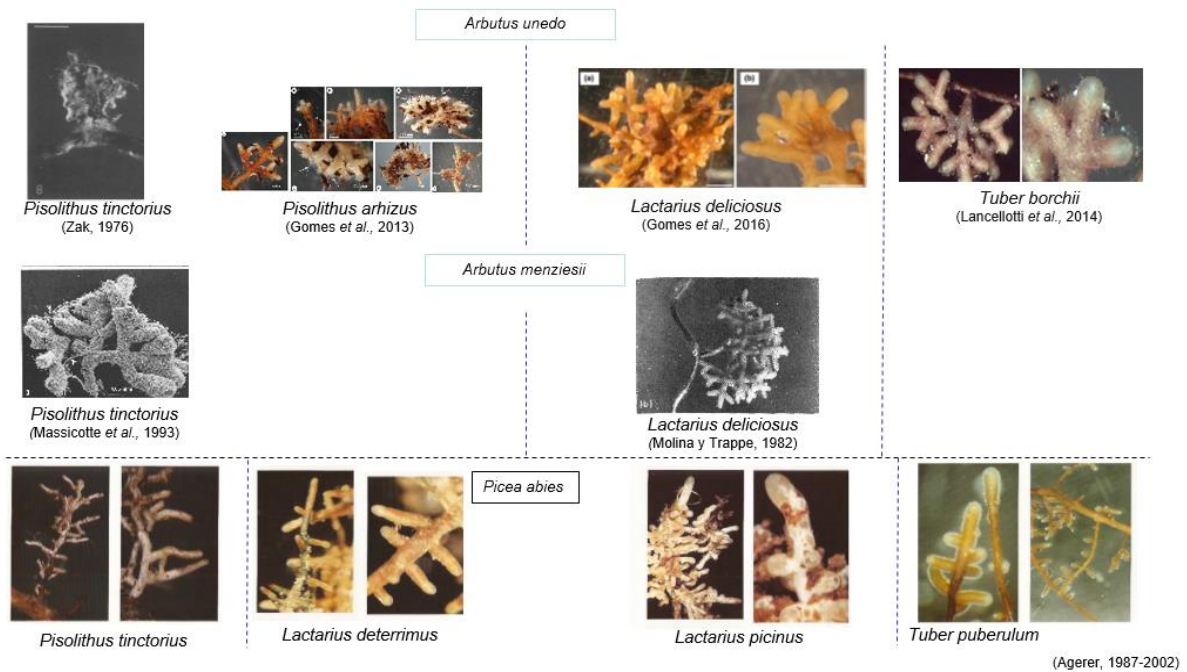


Figura 3. Morfotipos ARB y ectomicorrízicos de *Arbutus unedo*, *Arbutus menziessi* y *Picea abies*

4.2 Hongos ectomicorrízicos en el Corredor Biológico Chichinautzin

Anteriormente se mencionó que los hongos que forman asociación micorrízica arbutoide pueden también participar en la formación de ectomicorrizas. En el Corredor Biológico Chichinautzin se han reportado pocos estudios en relación a hongos ectomicorrízicos y los que hay se han conducido principalmente en la detección e identificación de esporomas y ectomicorrizas en bosques de *Pinus montezumae* Lamb, los cuales determinan la diversidad por medio de la colecta de esporomas, identificación de morfotipos por medio de técnicas moleculares de DNA de los hongos asociados a las micorrizas (Reverchon *et al.*, 2010; Reverchon *et al.*, 2012a; Reverchon *et al.*, 2012b; Reverchon *et al.*, 2015). En el Cuadro 2, se muestra una síntesis de estudios relacionados con hongos ectomicorrízicos en *Pinus montezumae* en los sitios Chichinautzin, Guespalapa y Pelado del Corredor Biológico Chichinautzin.

Cuadro 2. Hongos micorrízicos (detectados por presencia de esporomas y detección del micobionte en ectomicorrizas) registrados en bosque de *Pinus montezumae* en el Corredor Biológico Chichinautzin México (Reverchon *et al.*, 2010; Reverchon *et al.*, 2012a; Reverchon *et al.*, 2012b; Reverchon *et al.*, 2015).

Especie	Familia	Fuente	
		Esporoma	Ectomicorriza
<i>Amanita flavoconia</i> G.F. Atk.	Amanitaceae	✓	
<i>Amanita muscaria</i> (L.) Lam.	Amanitaceae	✓	
<i>Amanita rubescens</i> (Pers. ex Fr.) Gray	Amanitaceae	✓	
<i>Astraeus hygrometricus</i> (Pers.) Morgan	Diplocystidiaceae	✓	
<i>Boletus chrysenteron</i> Bull	Boletaceae	✓	
<i>Cantharellus cibarius</i> Fr.	Cantharellaceae	✓	
<i>Cenococcum geophilum</i> Fr.	Gloniaceae		✓
<i>Clavariadelphus</i> spp.	Clavariadelphaceae	✓	
<i>Clavulina coralloides</i> (L.) J. Schröt.	Clavulinaceae	✓	
<i>Cortinarius croceus</i> (Schaeff.) Gray	Cortinariaceae	✓	✓
<i>Cortinarius anthracinus</i> Fr.	Cortinariaceae	✓	✓
<i>Gomphus floccosus</i> (Schwein.) Earle	Gomphaceae	✓	
<i>Gyrodon</i> spp.	Paxillaceae	✓	
<i>Gyroporus</i> spp.	Gyroporaceae	✓	
<i>Hebeloma</i> spp.	Hymenogastraceae	✓	✓
<i>Hygrophorus</i> spp.	Hygrophoraceae	✓	
<i>Inocybe calamistrata</i> (Fr.) Gillet	Inocybaceae	✓	✓

<i>Inocybe cookei</i> Bres.	Inocybaceae	✓	✓
<i>Inocybe fastigiata</i> (Schaeff.) Quél.	Inocybaceae	✓	✓
<i>Inocybe geophylla</i> (Sowerby) P. Kumm.	Inocybaceae	✓	✓
<i>Laccaria amethystina</i> (Huds.) Cooke	Hydnangiaceae	✓	✓
<i>Laccaria bicolor</i> (Maire) P.D.Orton	Hydnangiaceae	✓	
<i>Laccaria laccata</i> (Scop.) Cooke	Hydnangiaceae	✓	
<i>Lactarius salmonicolor</i> Heim & Leclair	Russulaceae	✓	✓
<i>Leccinum</i> spp.	Boletaceae	✓	
<i>Lyophyllum decastes</i>	Lyophyllaceae	✓	
<i>Piloderma</i> spp.	Atheliaceae		✓
<i>Porphyrellus</i> spp.	Boletaceae	✓	
<i>Ramaria</i> spp.	Gomphaceae	✓	
<i>Rhizopogon fallax</i> A. H. Sm.	Rhizopogonaceae		✓
<i>Rhizopogon occidentalis</i> Zeller & C.W.Dodge	Rhizopogonaceae		✓
<i>Rhizopogon salebrosus</i> A. H. Sm.	Rhizopogonaceae		✓
<i>Rhizopogon subcaerulescens</i> A.H.Sm.	Rhizopogonaceae		✓
<i>Russula pulverulenta</i> Peck, Bull.	Russulaceae	✓	
<i>Sarcodon</i> spp.	Bankeraceae	✓	
<i>Sebacina</i> spp.	Sebacinaceae		✓
<i>Suillus</i> spp.	Suillaceae	✓	✓
<i>Thelephora</i> spp.	Thelephoraceae		✓
<i>Tomentella</i> spp.	Thelephoraceae		✓
<i>Tricholoma imbricatum</i> (Fr.) P.Kumm.	Tricholomataceae	✓	
<i>Tuber separans</i> Gilkey	Tuberaceae		✓
<i>Wilcoxina</i> spp.	Pyronemataceae		✓

4.3 Influencia de las propiedades edáficas en las micorrizas

Los hongos micorrízicos juegan un papel importante en el ciclo de los nutrimentos en el ecosistema (Kernaghan, 2005) además, los beneficios obtenidos no son iguales entre las diferentes composiciones de plantas y hongos. Los hongos micorrízicos pueden ayudar en la estructura de la comunidad vegetal y en las trayectorias sucesionales. En las asociaciones micorrízicas las plantas intercambian fotosintatos, no sólo por los nutrimentos minerales, sino también por una mayor resistencia a la enfermedad, la sequía y temperaturas extremas (Smith y Read, 1997).

Hay estudios que prueban la importancia de las condiciones del suelo en el control de las comunidades de hongos micorrízicos (Bruns, 1995). Los hongos ectomicorrízicos absorben los nutrimentos de los minerales del suelo y de la materia orgánica al producir enzimas extracelulares cuando reducen el pH de la rizosfera (Dutton y Evans, 1996). El pH del suelo influye en la población microbiana, así como en la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, entre otros nutrimentos (Berner y Cochran, 1998).

Los hongos requieren una gran cantidad de carbono en relación a otros nutrimentos, debido a la necesidad de obtener carbohidratos, aminoácidos, fenoles, entre otros para subsistir (Smith y Read, 1997; Gorissen y Kuyper, 2000; Kernaghan, 2005). El carbono es esencial para el crecimiento de las plantas, y lo obtiene de la atmósfera por medio de la fotosíntesis, sin embargo, cuando las plantas mueren, sus tejidos ricos en carbono vuelven al suelo y son degradados por microorganismos (Gorissen y Kuyper, 2000). La materia orgánica del suelo es por tanto la suma de los residuos orgánicos en diferentes grados de descomposición y funciona como un almacén de carbono y fuente de micro y macronutrimentos como son el nitrógeno y fósforo (Colpaert *et al.*, 1996; Ochs, 1996).

El nitrógeno es un elemento vital en la composición de aminoácidos, enzimas y ácidos nucleicos, los cuales las plantas obtienen a través de las asociaciones micorrízicas con los hongos (Kranabetter y MacKenzie, 2010). Los hongos ectomicorrízicos presentan una mayor influencia sobre el contenido de nitrógeno y menor respuesta en relación al fósforo (Smith y Read, 1997); ya que son capaces de absorber varias formas nitrogenadas: amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), aminoácidos, y otros nutrientes, y transferirlos a la raíz de la planta a través del micelio externo (Marschner, 1995).

El fósforo en el suelo puede encontrarse mineralógicamente como apatita y en formas orgánicas, sin embargo, se encuentra en concentraciones muy bajas en la solución del suelo (Wallender, 2000). Esto es debido a que el fósforo inorgánico se une a los coloides del suelo, se fijan a sales de hierro y aluminio volviéndose relativamente inmóviles (Jones, 1998). En las raíces de las plantas el fósforo se encuentra en forma de fosfatos de inositol los cuales son insolubles, pero al ser inducidos a formar soluciones mediante las fosfatasas de las raíces o de las hifas fúngicas (Van Breemen, 2000; Fontaine *et al.*, 2006). Las fosfatasas del suelo, pueden producirse, como respuesta adaptativa al estrés por deficiencia de fósforo, por raíces de plantas, microorganismos del suelo de vida libre como *Aspergillus* spp., y por bacterias como *Bacillus megaterium* y *Pseudomonas* spp. que se han reconocido por su efecto positivo por la producción de sustancias de crecimiento que estimulan el metabolismo de las plantas, que funcionan en forma antagónica ante organismos parásitos, además de producir hormonas del tipo de las giberelinas (Naseby *et al.*, 1999) incluso, los hongos ectomicorrízicos como *Pisolithus tinctorius* que contribuyen a la mineralización del fósforo (Naseby *et al.*, 1998). Además, la concentración de fosfatos en la solución del suelo se ha comprobado que está correlacionada con la concentración de ácido oxálico debido a que los hongos ectomicorrízicos excretan ácidos como el ácido cítrico y el oxálico para disolver la apatita (Gadd, 1999; Wallender *et al.*, 2002).

El potasio, catión que contribuye al potencial osmótico de las células, también es un activador de varias enzimas implicadas en la fotosíntesis y en la respiración como cofactor en la síntesis de las proteínas, equilibrio hídrico, entre otras funciones. Los

hongos micorrízicos obtienen el potasio de forma mineral para producir ácido cítrico, que es útil para las plantas (Wallender, 2000; Benito *et al.*, 2014). A pesar de la riqueza del conocimiento disponible sobre la nutrición del fósforo o nitrógeno en las plantas con micorrizas, aún se sabe muy poco acerca de cómo la homeostasis del potasio se ve afectada por la simbiosis (Smith y Read, 2008). Incluso el sodio estimula el crecimiento, la expansión celular y puede ser un sustituto parcial del potasio como soluto osmóticamente activo (Wallander y Wickman, 1999).

El calcio en el suelo puede encontrarse en plagioclasas ricas en calcio, el cual es absorbido en forma de ion Ca^{2+} , este catión permite la permeabilidad de las membranas celulares, es necesario para la división y crecimiento celular, y proporciona un material básico para la neutralización de los ácidos orgánicos (Tisdale y Nelson, 1988; Pritchett, 1991; Kunth *et al.*, 2000). Las plantas se benefician de la asociación con los hongos ectomicorrízicos cuando las hifas producen ácido oxálico y también son capaces de liberar el calcio que aprovechan las plantas (Wallender *et al.*, 2002).

El magnesio es parte esencial en la activación de las enzimas implicadas en la respiración, en la fotosíntesis y en la síntesis de DNA y RNA. Es necesario para varias enzimas relacionadas en la transferencia de grupos fosfato. Además, es constituyente de la clorofila en las plantas (Arocena, y Glowa, 2000). Las hifas de los hongos micorrízicos incrementan la adsorción de este catión en el suelo. La escasez de este elemento en las plantas provoca amarillento en las hojas y manchas pardas en las hojas (Kunth *et al.*, 2000).

La conductividad eléctrica (CE) es una medida que muestra la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. Es una propiedad de las soluciones que se encuentra relacionada con el tipo y valencia de los iones presentes. La determinación de la conductividad eléctrica es por lo tanto una forma indirecta de medir la salinidad de extractos de suelo (NOM-021-RECNAT-2000).

5. Justificación

A nivel mundial los trabajos relacionados con la identificación de la micorriza arbutoide son escasos, y sólo se han realizado en dos especies de *Arbutus*, reportados en las raíces de *Arbutus unedo* y *Arbutus menziessi*, al detectarse hongos Basidiomicetos y Ascomicetos que también participan en la formación de ectomicorrizas.

Al ser México un país que cuenta con 67 % de la diversidad en especies de *Arbutus*, y que no existe ningún estudio relacionado a este tipo de asociación micorrízica a pesar del papel tan importante que juegan las micorrizas en el ecosistema. En el Corredor Biológico Chichinautzin situado en el Eje Neovolcánico Transversal, confluyen elementos florísticos de las regiones Neártica y Neotropical, dando lugar al establecimiento de distintos tipos de vegetación, en los cuales dominan bosques de pino-encino donde se distribuye *Arbutus xalapensis*, la cual se decidió estudiar la presencia de micorriza arbutoide en suelos de origen volcánico, donde se conoce la presencia de hongos participantes en la formación de ectomicorrizas en los bosques de *Pinus montezumae* en el Chichinautzin y Guespalapa, hongos que pueden constituir también una asociación micorrízica de tipo arbutoide.

6. Hipótesis

La riqueza y diversidad de los morfotipos micorrízicos en *Arbutus xalapensis* Kunth., varían en función de las propiedades de dos suelos contrastantes de origen volcánico en el Corredor Biológico Chichinautzin, México.

7. Objetivos

General

Caracterizar los morfotipos de micorriza arbutoide asociados a *Arbutus xalapensis* Kunth., en dos suelos (Andosol y Leptosol) de origen volcánico en el Corredor Biológico Chichinautzin, México.

Específicos

Describir morfológica y anatómicamente los morfotipos micorrízicos en *Arbutus xalapensis*.

Evaluar la riqueza, abundancia y diversidad de los morfotipos micorrízicos en función de las características de los tipos de suelo.

8. Sitio de estudio

En la Faja Volcánica Transmexicana, en la Sierra Chichinautzin (Márquez *et al.*, 1999) se seleccionaron cuatro sitios de estudio de origen volcánico con diferentes edades de desarrollo edáfico: 1) el Chichinautzin que se formó hace 1835 ± 55 A.P. (Siebe *et al.*, 2004a); 2 y 3) el Guespalapa A y B que tiene una antigüedad de 2835 ± 75 a 4690 ± 90 en promedio 3800 años A.P. (Siebe *et al.*, 2004a), y 4) el Xitle que se originó en 1670 ± 35 A.P. (Siebe, 2000) (Cuadro 3 y Figura 4).

La Sierra del Chichinautzin está conformada por 221 volcanes de distintas edades que se distribuyen en la Ciudad de México, Estado de México y Morelos; cuyas erupciones han dado origen a suelos volcánicos de diferentes grados de evolución, donde el material parental que ha dado origen a los suelos son derrames lávicos de composición que va de andesítica a basáltica (Márquez *et al.*, 1999). En la Sierra Chichinautzin se han decretado diversas Áreas Naturales Protegidas (ANP; Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones, Corredor Biológico Ajusco-Chichinautzin, Parque Nacional Izta-Popo), Parques Ecológicos (El Parque Ecológico Recreativo de Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán (PERTMZ)), reservas forestales (volcanes Tláloc y Pelado), entre otros (Rzedowski *et al.*, 2005; CONAFOR, 2014).

Las características climáticas registradas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) son: clima templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w2) (w)(b)); precipitaciones de 1753 mm y una temperatura media que varía entre 10 y 14°C (Silva *et al.*, 1999). La vegetación dominante es Bosque de pino-encino con especies de *Pinus montezumae*, *Quercus rugosa* Née, *Quercus crassifolia* Bonpl y *Quercus laurina* Bonpl, acompañados por *Alnus* spp., *Arbutus* spp., y *Juniperus* spp., entre otros (Velázquez *et al.*, 2010; CONANP, 2017). Los sitios de estudio se ubicaron a una altitud de 3073 a 3107 msnm (Cuadro 3).

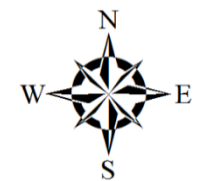
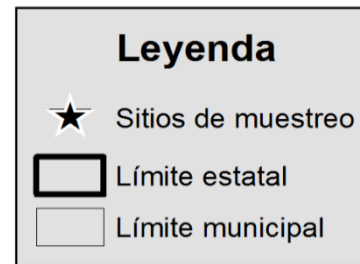
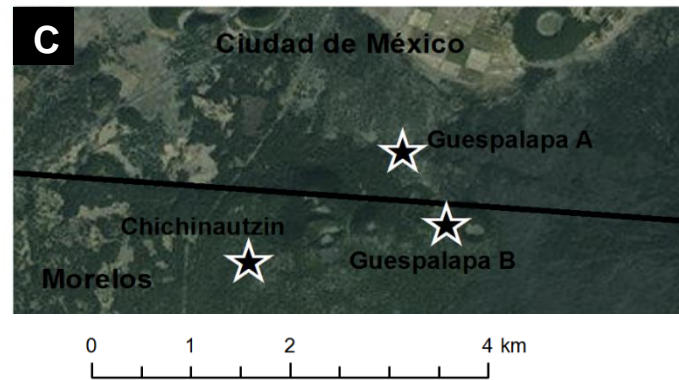
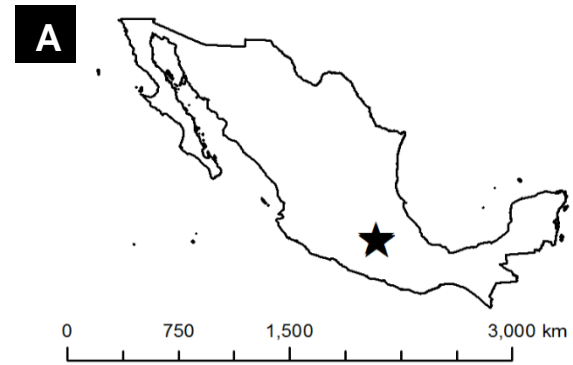
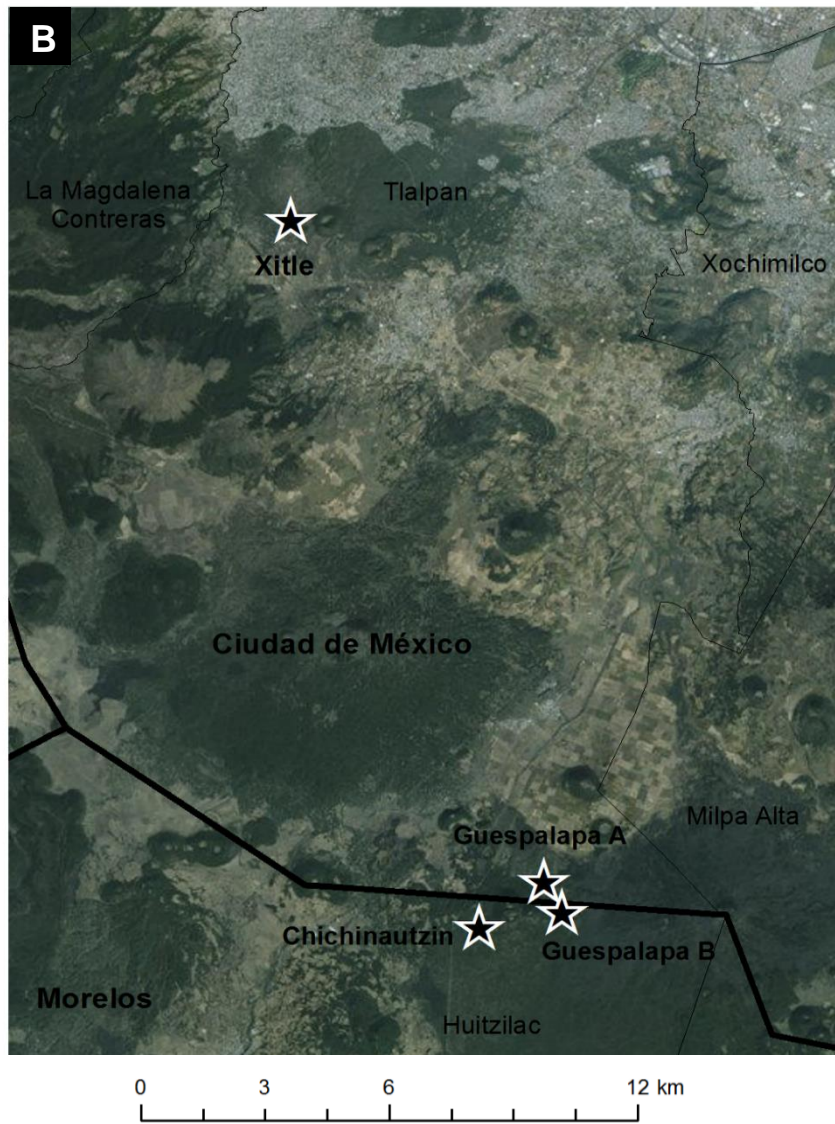
Cuadro 3. Características y ubicación de los cuatro sitios de estudio en dos suelos de origen volcánico en localidades del eje Neovolcánico, México.

Sitio de estudio	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)	Tipo de suelo	Edad (años A.P.)
Guespalapa A	99°10'29'' W 19°5'49'' N:	3073	Andosol vítrico mólico	2835 ± 75 a 4690 ± 90
Guespalapa B	99°10'17'' W 19°5'24'' N	3107	Andosol vítrico léptico mólico	2835 ± 75 a 4690 ± 90
Chichinautzin	99°11'20'' W 19°5'12'' N	3088	Leptosol hiperesquelético mólico	1835 ± 55
Xitle	99°13'43'' W 19°14'50'' N	3090	Leptosol mólico	1670 ± 35

Las descripciones y los análisis de las propiedades edáficas de los suelos del Chichinautzin, Guespalapa A y Guespalapa B fueron realizados por Peña y colaboradores (2009) con base a la WRB (2006); y para el Xitle se realizó la descripción del suelo en este trabajo (WRB, 2014) (Anexo 4). El material parental de los suelos está conformado por derrames lávicos de tipo andesítico-basáltico que difieren en edad (Siebe, 2000; Siebe *et al.*, 2004a; Siebe *et al.*, 2004b; Siebe y Macías, 2006; Peña *et al.*, 2009).

En el Guespalapa los suelos fueron clasificados como Andosol vítrico mólico y Andosol vítrico léptico mólico (Cuadro 3). Estos suelos fueron denominados Andosoles vítricos por presentar poco intemperismo en la neoformación de minerales, por lo que contienen cantidades importantes de vidrio volcánico. El termino mólico se debe a su alto contenido de materia orgánica y a su color oscuro, uniforme en apariencia y moderadamente ácido (5.7 en agua) especialmente si está húmedo. El adjetivo léptico se atribuye por ser un suelo somero. El suelo del sitio del Chichinautzin fue clasificado

como Leptosol hiperesquelético mólico, por ser un suelo somero, color oscuro, uniforme, muy pedregoso (puede alcanzar el 90%), contenido de materia orgánica extremadamente alto (56%); fuertemente ácido (4.8 en agua), estructura subangular en bloques finos. El suelo del Xitle se caracterizó como Leptosol mólico; el término leptosol hace referencia a ser un suelo somero, mólico por el contenido de materia orgánica muy alto (21 %); fuertemente ácido (5 en agua); estructura subangular en bloques, finos y comunes; estabilidad de agregados alta con densidad de raíces muy alta y posiblemente vítrico por presentar poco intemperismo en la neoformación de minerales. Donde el principal proceso pedogenético es la acumulación de la materia orgánica. El mantillo de tipo mull conformado principalmente por acículas de pino.



Datum: WGS84

Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo en la Sierra Chichinautzin (ArcGis 10.2)

9. Materiales y métodos

9.1 Recolecta en campo y procesamiento

En los sitios de muestreo se seleccionaron fragmentos de bosques con densidades de *Arbutus xalapensis* de más de 10 individuos que crecieron asociados a *Pinus montezumae* y *Quercus rugosa*. El muestreo de micorrizas se realizó en árboles de *Arbutus xalapensis* de altura mayor a 5 m y que estuvieran lo más aislado posible de otras especies de árboles. De cada sitio se muestrearon cuatro árboles, excepto en el Guespalapa B donde solamente se muestrearon tres árboles, resultando un total 15 árboles. Con el GPS Rino 530HCx Garmin se georreferenciaron los puntos de cada sitio de muestreo y se tomaron fotografías con la cámara Nikon D3100. En cada árbol se ubicaron los cuatro puntos cardinales y con una pala de jardinero se retiró cuidadosamente el mantillo para el muestreo del horizonte Ah donde se tomaron muestras de suelo con núcleos a 30 cm de la base del tronco del árbol. En los suelos someros que correspondieron al Chichinautzin, Guespalapa A y Xitle se utilizaron núcleos de 5 x 5 cm y en el Guespalapa B de 2.5 x 20 cm, con un volumen total de 98.17 cm³. Los núcleos con suelo fueron etiquetados, se almacenaron individualmente en papel aluminio y se trasladaron en una hielera para su procesamiento en el Laboratorio de Microcosmos Bioedáfico del departamento de Edafología del Instituto de Geología de la UNAM.

En el laboratorio, los núcleos en refrigeración se procesaron al azar, tamizando el suelo (en una malla de 2 mm) bajo el chorro de agua para remover los agregados, teniendo cuidado de no maltratar las raíces. Las raíces se colocaron en recipientes etiquetados con agua en refrigeración para la caracterización de los ápices micorrízicos.

9.2 Caracterización morfológica y anatómica de las micorrizas

Las raíces fueron observadas en un microscopio estereoscópico Olympus SZX7 para identificar si estaban o no micorrizadas. Con ayuda de un pincel se limpiaron las raíces para remover los restos de materia orgánica adherida a las micorrizas.

Del total de las raíces, se separaron los distintos morfotipos de ápices micorrízicos turgentes para su caracterización morfológica y anatómica de acuerdo con Agerer (1987-2002) y con la clave online DEEMY (Agerer y Rambold, 2004-2014). Las micorrizas se describieron con base al tipo de ramificación, color, textura, rizomorfos, cistidios, etc (Anexo 2). En un microscopio estereoscópico con cámara Leica MZ12S se tomaron microfotografías y se utilizó el software Image Pro Plus 6.0 para realizar las mediciones de longitud y diámetro del sistema micorrízico, así como la longitud y diámetro de los ápices.

Para el estudio microanatómico de las micorrizas se realizaron cortes transversales y longitudinales de los ápices, a mano, con hojas de afeitar Gillette. Se realizaron preparaciones semipermanentes con PVLG (alcohol polivinílico) teñidos con fucsina ácida en lactoglicerol 1%. Las estructuras anatómicas registradas fueron el tipo de manto y elementos emergentes (hifas y cistidios), colonización intracelular y red de Hartig que se documentaron en campo claro a 40 × con el microscopio Axiolmager.M2 (ZEISS); las microfotografías y mediciones digitales se realizaron con el software ZEN Blue Pro.2 (ZEISS) (Anexo 7).

Después del procesamiento de los morfotipos con las mismas características morfoanatómicas (tipo de ramificación, color, textura, tipo de manto, rizomorfos etc.), se almacenaron aquellos que correspondieron a la micorriza arbutoide en alcohol 70% en tubos Eppendorf previamente etiquetados y se conservaron en refrigeración.

9.3 Análisis de estructura de la comunidad de las micorrizas ARB

La riqueza de la comunidad de micorrizas ARB se evaluó contando el número de morfotipos obtenidos para cada sitio. Se registró la abundancia absoluta (número de ápices de un morfotipo arbutoide con respecto al total de la población en un cada sitio de estudio) y la abundancia relativa (cantidad proporcional de los ápices de un morfotipo arbutoide con respecto al porcentaje observado de la población en cada sitio de muestreo). Las riquezas y abundancias se compararon entre sitios mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía (por suelo), previa confirmación de normalidad. Las diferencias significativas entre los tratamientos se determinaron con pruebas post-hoc (LSD) y Tukey utilizando el programa estadístico STATISTICA 12. Las curvas de acumulación de especies se realizaron a través de la representación del esfuerzo de muestreo.

Con base a la riqueza de los morfotipos ARB y la abundancia relativa se obtuvo la diversidad. Se aplicó el índice de Shannon que se utiliza para cuantificar la diversidad de ectomicorrizas (Teste *et al.*, 2004; Durall *et al.*, 2006) de acuerdo con la fórmula: $H' = -\sum p_i \ln p_i$, donde H' = índice de Shannon, p_i = abundancia relativa y \ln = logaritmo natural (Shannon y Weaver, 1949). Además, se utilizó el índice de Sørensen (1948) que es uno de los más empleados en investigaciones de micorrizas (Izzo *et al.*, 2005; Durall *et al.*, 2006), para determinar el grado de similitud entre los sitios de muestreo en la composición de los morfotipos (presencia/ausencia). Este índice se calcula de acuerdo a la fórmula: $I_s = \frac{2c}{a+b} \times 100$, donde I_s = índice de Sorensen, a = número de especies encontradas en la comunidad a , b = número de especies encontradas en la comunidad b , c = número de especies comunes en ambas localidades.

9.4 Análisis fisicoquímico de los suelos

Una muestra de suelo se analizó para cada sitio de estudio, las cuales fueron secadas a temperatura ambiente y tamizadas con una malla de 2 mm para su análisis. En laboratorio se analizó el pH activo en agua (relación 1:2.5) y conductividad eléctrica (CE) en un potenciómetro Hanna. El análisis de carbono y nitrógeno totales se evaluó con el analizador CNHS/O Flash 2000 Thermo, el fósforo disponible de Bray y Kurtz utilizando ácido ascórbico como reductor, y cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na) con el método del acetato de amonio 1N pH 7, la determinación de Ca y Mg con un espectrómetro Perkin Elmer PinAAcle 900H y K y Na con un espectrómetro de flama Sherwood 360.

Finalmente se realizó un análisis de correlación (Pearson) de las propiedades edáficas del suelo de cada sitio de estudio y la abundancia absoluta de los ápices micorrízicos ARB con el programa STATISTICA 12.

10. Resultados

10.1 Caracterización morfológica y anatómica de los morfotipos

En total se caracterizaron 20 morfotipos ARB de los cuatro sitios de muestreo (Anexo 3). La descripción morfológica y anatómica de los morfotipos se presenta a continuación, y se ilustra en las Figuras 4 a la 23. El morfotipo ARB 3 fue adscrito taxonómicamente a la especie *Cenococcum geophilum* Fr., (Agerer y Gronbach, 1988) (Figura 7) y el morfotipo ARB 14 afín al género *Tomentella* (Familia Thelephoraceae) (Agerer, 1987-2002) (Figura 18). Los otros morfotipos no pudieron determinarse taxonómicamente, para ello es necesario realizar técnicas de biología molecular para su identificación.

Los morfotipos de manera general presentaron tipos de ramificación coraloide, cruciforme, pinnada y sin ramificación.

Morfotipo ARB 1

Sistema micorrízico.- Ápices solitarios, sin ramificación, de 0.27 ± 0.01 mm de diámetro y 0.76 ± 0.03 mm de largo; color naranja claro; con puntas redondeadas a agudos. Puntas translúcidas de color blancuzco. Manto delgado y semitransparente que permite la observación de las células epidérmicas. Sin esclerocios.

Microanatomía.- Manto conformado por cinco a siete estratos de hifas (18.38 ± 1.29 μm); manto externo e interno plectenquimatoso de tipo E de acuerdo con Agerer (1987-2002); red de Hartig paraepidermal de tipo lobulada. Las células de la epidermis con colonización intracelular (Figura 5).

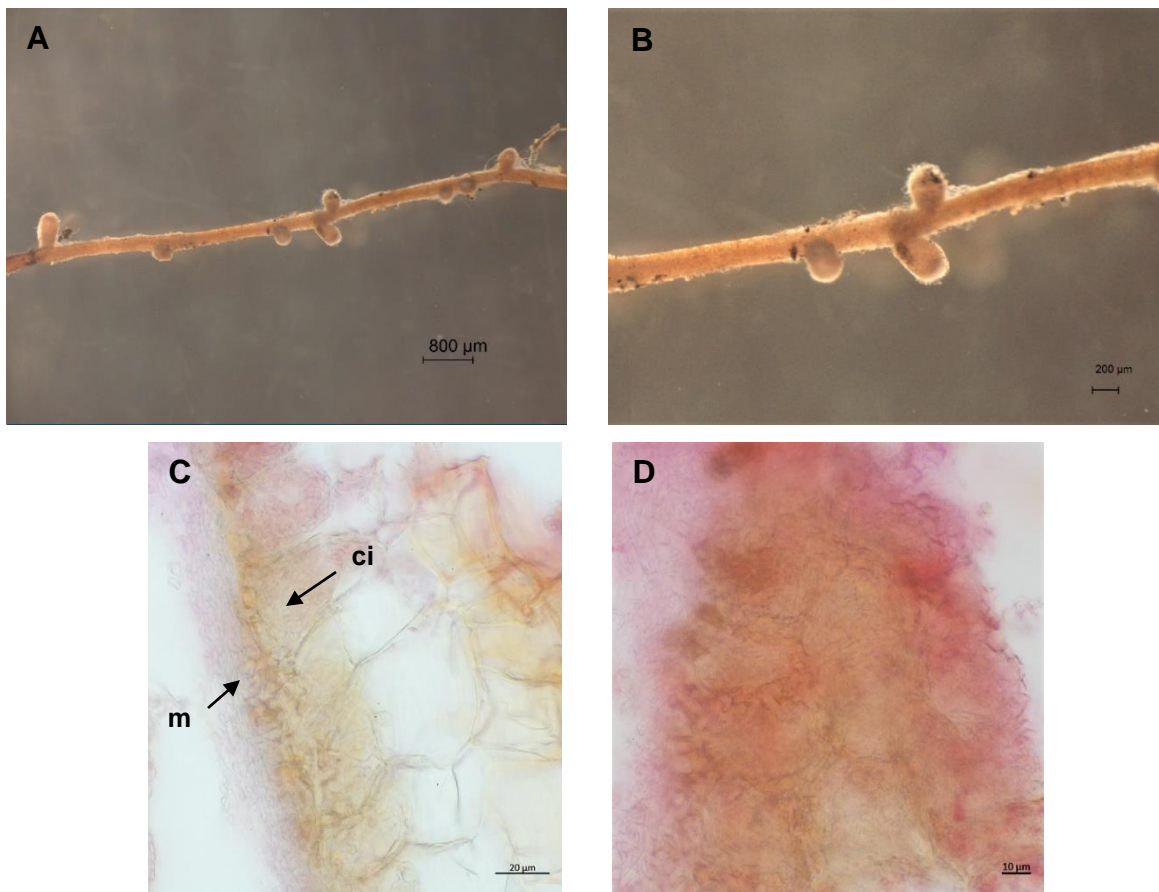
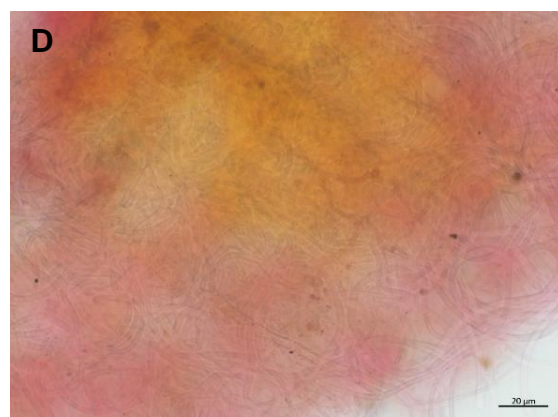
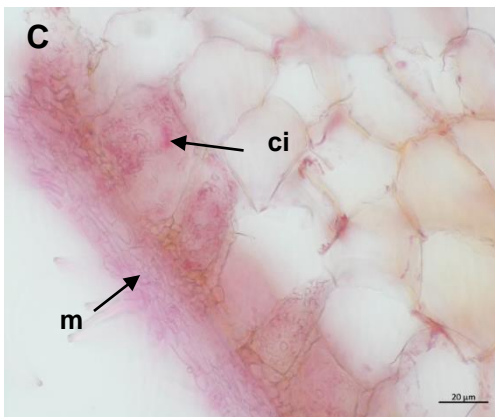


Figura 5. Morfotipo ARB 1 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo sin ramificación. C) Corte longitudinal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci); coloración café debido a la producción de taninos. D) Manto de tipo plectenquimatoso de tipo E de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 2

Sistema micorrízico.- Ramificación cruciforme de 0.27 ± 0.01 mm de diámetro y 1.37 ± 0.03 mm de largo; color naranja claro lustroso. Terminaciones no ramificadas con ápices agudos de color beige de 0.30 ± 0.01 mm de diámetro y 0.65 ± 0.04 de largo. Manto delgado que permite observar las células epidérmicas. Presencia de pocas hifas emergentes en la parte distal. Presencia de pocas hifas negras que rodean la parte media y distal. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto conformado por cinco a seis capas de hifas de 19.24 ± 0.26 μm ; manto externo e interno plectenquimatoso tipo C de acuerdo con Agerer (1987-2002), con hifas septadas y superficie lisa; red de Hartig de tipo lobulada y paraepidermal; células epidérmicas con colonización intracelular (Figura 6).



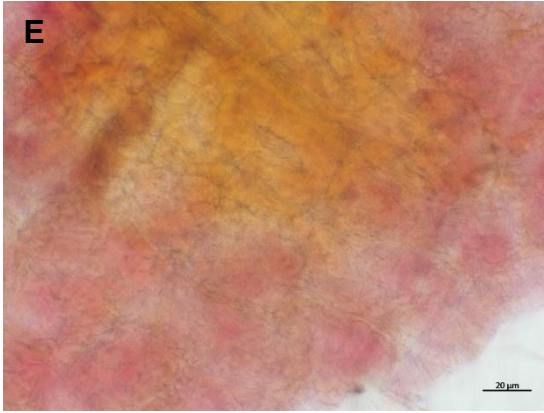


Figura 6. Morfotipo ARB 2 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo cruciforme. C) Corte longitudinal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci); se observa coloración café debido a la producción de taninos. (D y E) Manto externo e interno plectenquimatoso de tipo C de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 3 *Cenococcum geophilum* Fr

Sistema micorrízico.- Ápice no ramificado de 0.30 ± 0.01 mm de diámetro y 0.73 ± 0.02 mm de longitud; color negro carbonoso con pocas hifas negras fibrosas; puntas cilíndricas a redondeadas. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto conformado por una a dos capas de hifas de aproximadamente 13.65 ± 0.83 μm ; manto plectenquimatoso con hifas en forma de estrella tipo G (Agerer, 1987-2002); red de Hartig paraepidermal y colonización intracelular en las células epidérmicas (Figura 7).

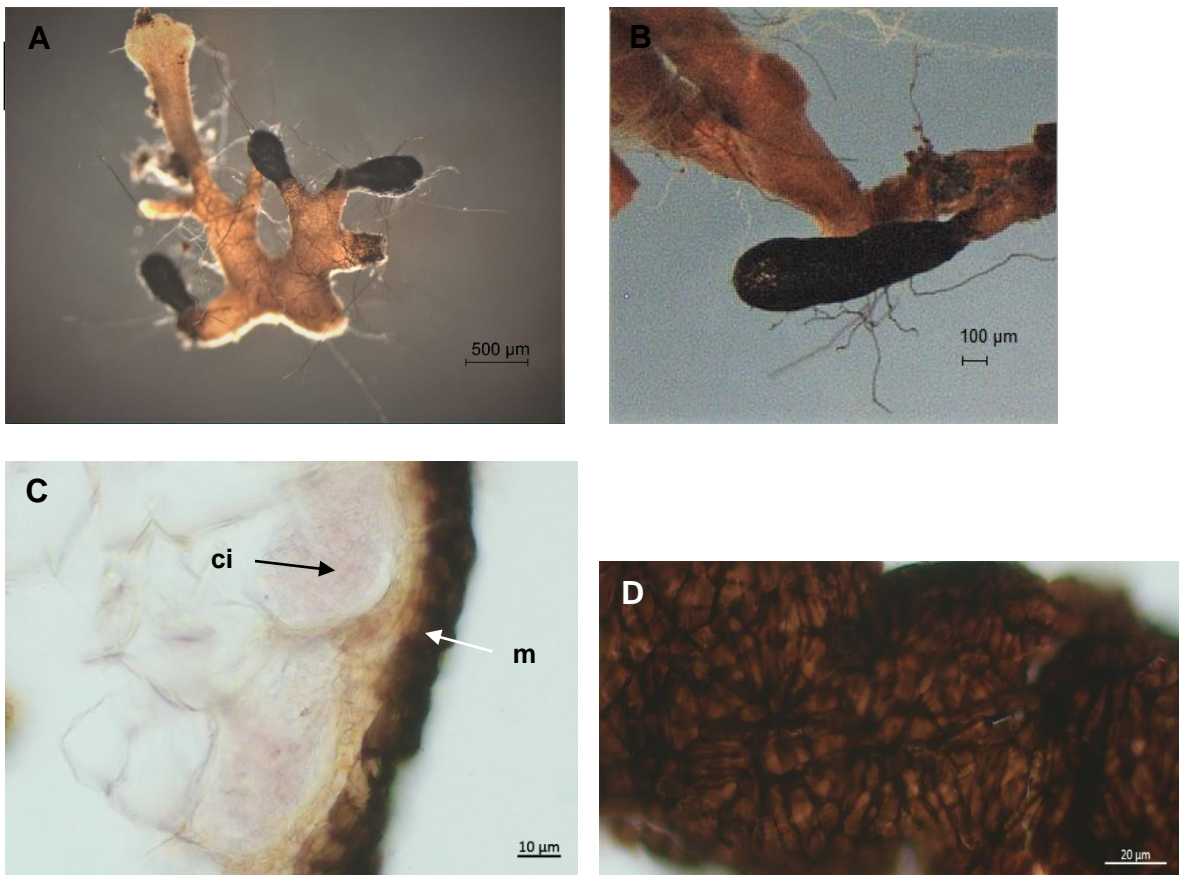
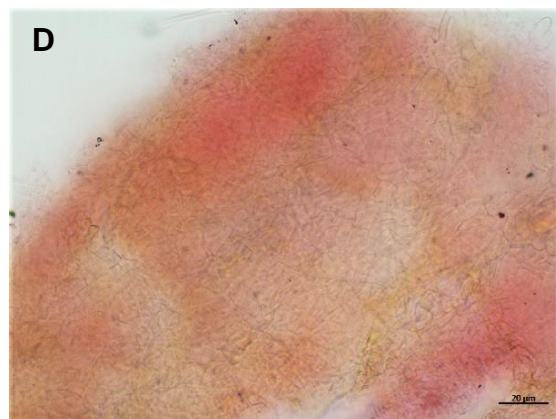
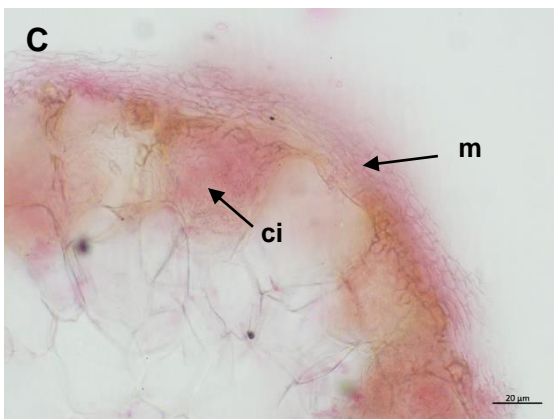


Figura 7. Morfotipo ARB 3 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo sin ramificación. C) Corte transversal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci). D) Manto plectenquimatoso con hifas en forma de estrella tipo G de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 4

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada con un orden de ramificación con 0.33 ± 0.07 mm de diámetro y 2.20 ± 0.02 mm de longitud; color naranja claro con una banda de color blanco-beige antes de las puntas; la punta apical dicotómica de color blancuzco a naranja claro. Terminaciones no ramificadas con ápices rectos de 0.84 ± 0.06 mm de diámetro y 1.91 ± 0.20 mm de longitud. Manto delgado con pocas hifas emergentes en la parte distal; células epidérmicas visibles. Sin esclerocios.

Microanatomía.- Manto conformado por cinco a siete capas de hifas de 16.24 ± 0.70 μm ; manto externo e interno de tipo transicional, entre plectenquimatoso y pseudoparénquima, de tipo H (Agerer, 1987-2002); red de Hartig lobulada y paraepidermal; colonización intracelular en las células epidérmicas de la raíz (Figura 8).



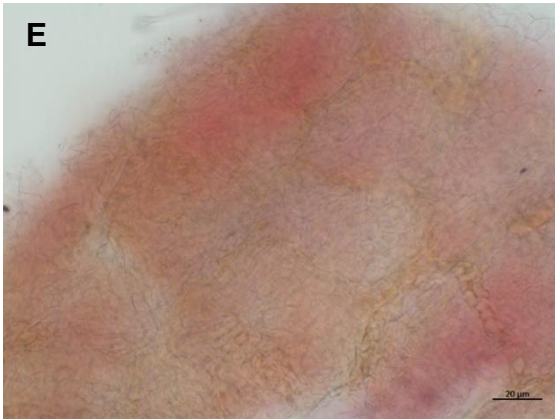
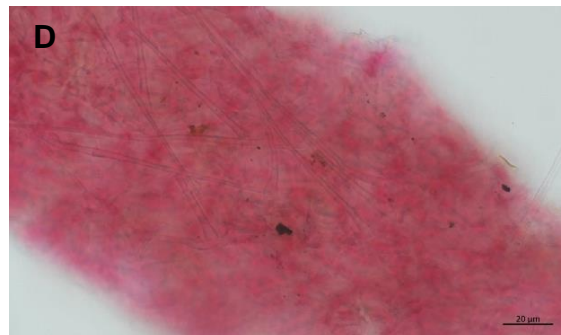
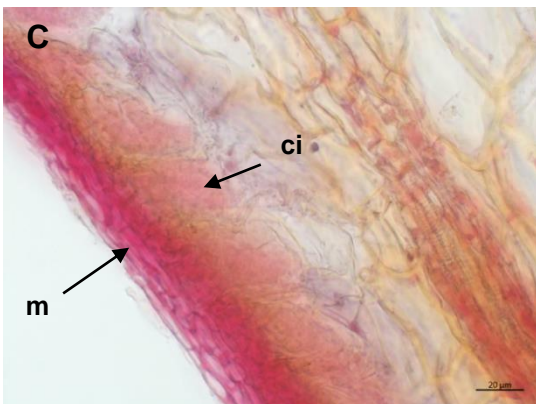
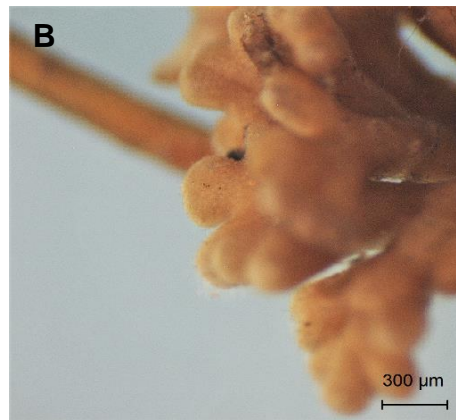


Figura 8. Morfotipo ARB 4 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada. C) Corte transversal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci); se observa coloración café debido a la producción de taninos. (D y E) Manto externo e interno de tipo H de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 5

Sistema micorrízico.- Ramificación coraloide con ramas dicotómicas de color naranja café claro de 0.40 mm de diámetro y 1.81 mm de longitud. Terminaciones no ramificadas con puntas redondeadas de color naranja claro de 0.35 mm de diámetro y 0.88 mm longitud; células epidérmicas visibles. Sin esclerocios.

Microanatomía.- Manto conformado por tres a cinco capas de hifas de 17.13 μm ; manto externo plecténquima con cistidios y manto interno de tipo pseudoparenquimatoso con células epidermoides tipo M de acuerdo con Agerer (1987-2002); red de Hartig de tipo lobulada con colonización intracelular restringida a las células de la epidermis (Figura 9).



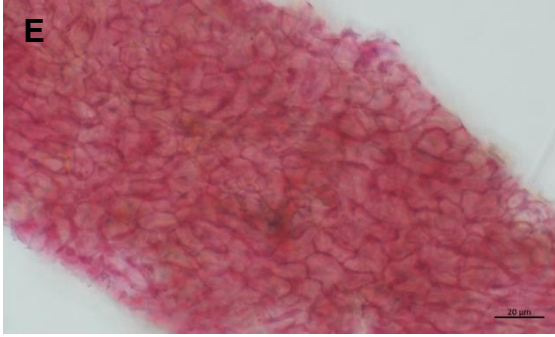
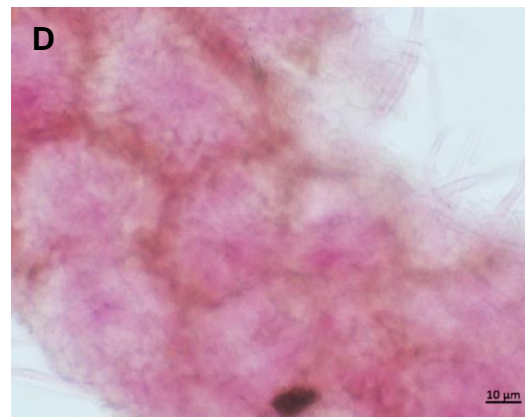
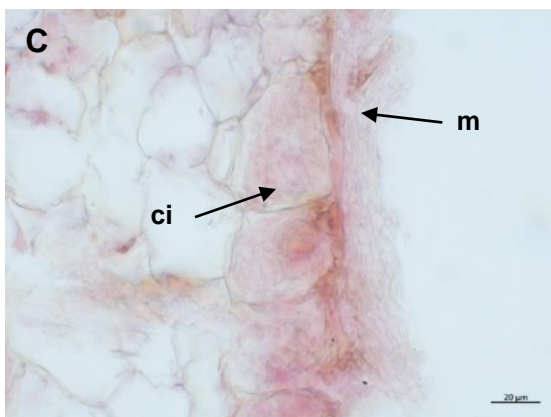
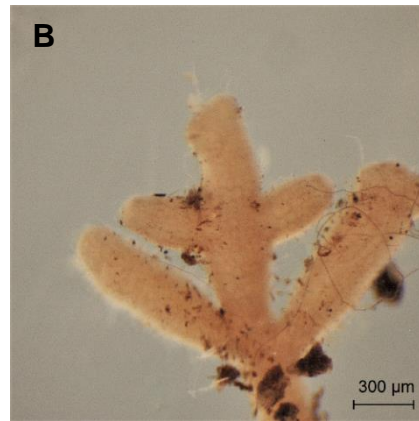


Figura 9. Morfotipo ARB 5 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo coraloide. C) Corte longitudinal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci). D) Manto externo e interno pseudoparenquimatoso tipo M de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 6

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada de 0.24 ± 0.01 mm de diámetro y 1.56 ± 0.09 mm de largo; con un orden de ramificación color naranja claro. Terminaciones no ramificadas con puntas cilíndricas, rara vez agudas, de color beige de 0.29 ± 0.02 mm de diámetro y 0.61 ± 0.05 mm de longitud. Manto delgado que permite observar las células epidérmicas y pocas hifas emergentes en la parte distal del ápice. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto conformado por cinco a seis capas de hifas de 16.09 ± 0.63 μm ; manto externo e interno de transición entre plectenquimatoso y pseudoparénquima con hifas lisas tipo H (Agerer, 1987-2002); red de Hartig de tipo lobulada y paraepidermal con células epidérmicas que presentan colonización intracelular (Figura 10).



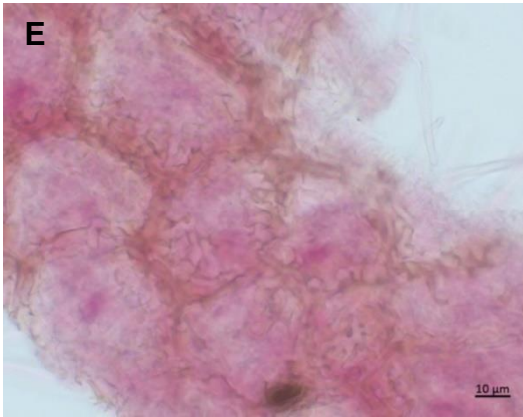
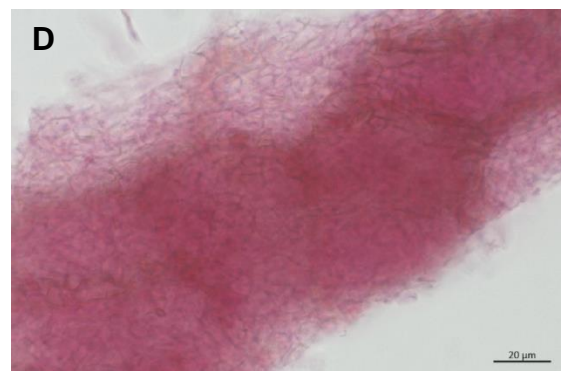
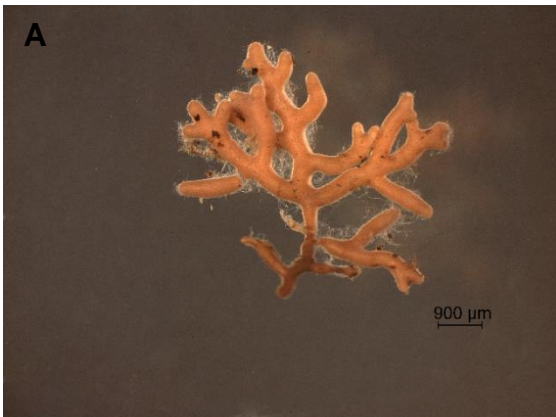


Figura 10. Morfotipo ARB 6 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada C) Corte longitudinal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci); se observa coloración café debido a la producción de taninos. (D y E) Manto externo e interno tipo H de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 7

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada sinuosa irregular con ramas de dicotómicas a pinnadas de 0.28 ± 0.07 mm de base y 3.43 ± 0.32 mm de largo; con dos a tres órdenes de ramificación; color naranja claro y brillante. Terminaciones no ramificadas con ápices de superficie lisa con hifas emergentes hialinas en la parte media y distal; ápices cilíndricos a agudos de color beige de 0.42 ± 0.03 mm de diámetro y 1.52 ± 0.15 mm de longitud con células epidérmicas visibles. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto de cinco a ocho capas de hifas de 17.27 ± 0.04 μm de espesor; manto externo e interno de transición entre plectenquimatoso y pseudoparénquima con hifas emergentes cortas de superficie lisa tipo H (Agerer, 1987-2002). Red de Hartig tipo lobulada y paraepidermal; células epidérmicas con colonización intracelular (Figura 11).



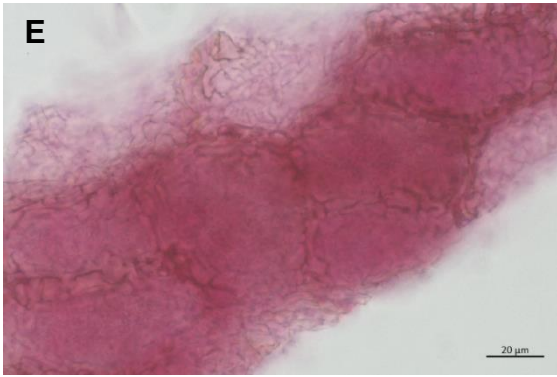
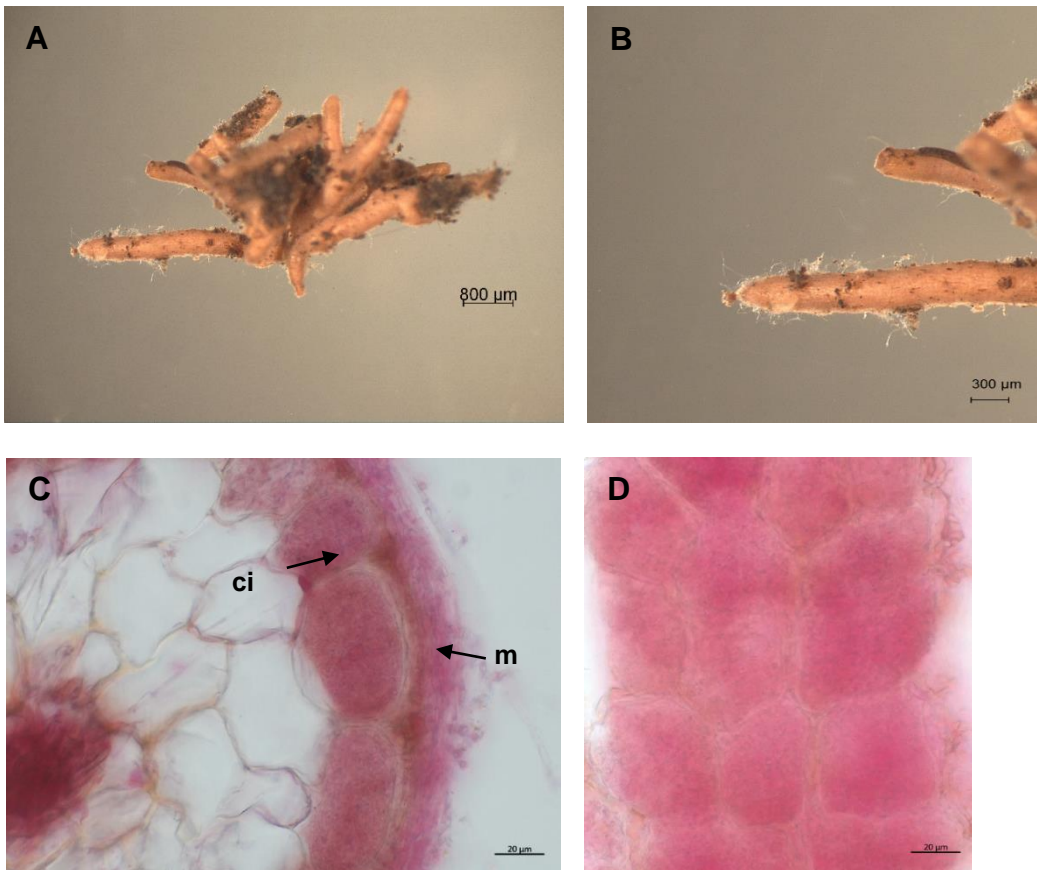


Figura 11. Morfotipo ARB 7 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada sinuosa. C) Corte longitudinal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci); se observa coloración rojiza debido a la producción de taninos. (D y E) Manto externo e interno tipo H de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 8

Sistema micorrízico.- Ramificación piramidal pinnada irregular con ramas simples a dicotómicas de color naranja café claro de 0.27 mm de diámetro y 1.18 mm de longitud. Terminaciones no ramificadas con ápices cilíndricos a agudos de 0.22 mm de diámetro y 0.57 mm de longitud; hifas emergentes cortas en la parte media y distal con células epidérmicas visibles. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto compuesto de cinco a siete capas de hifas de 14.39 μm de espesor; manto externo e interno de transición entre plectenquimatoso y pseudoparénquima tipo H (Agerer, 1987-2002), con hifas emergentes cortas de superficie lisa; red de Hartig tipo lobulada y paraepidermal; colonización intracelular en las células de la epidermis (Figura 12).



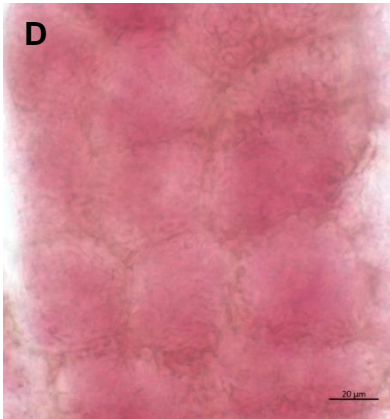


Figura 12. Morfotipo ARB 8 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo piramidal pinnada. C) Corte longitudinal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci); se observa coloración café debido a la producción de taninos. (D y E) Manto externo e interno tipo H de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 9

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada con dos órdenes de ramificación, ramas pinnadas de 0.34 ± 0.02 mm de diámetro y 2.26 ± 0.09 mm de longitud; color naranja amarillo claro; superficie de manto lisa brillante con células epidérmicas visibles. Terminaciones no ramificadas con puntas cilíndricas de color beige de 0.38 ± 0.06 mm de diámetro y 0.98 ± 0.08 mm de longitud. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto conformada por cinco a siete capas de hifas de 12.54 ± 1.65 μm de espesor; manto externo e interno de tipo pseudoparenquimatoso con células epidérmoides tipo M de acuerdo con Agerer (1987-2002); red de Hartig tipo lobulada; colonización intracelular en las células epidérmicas (Figura 13).

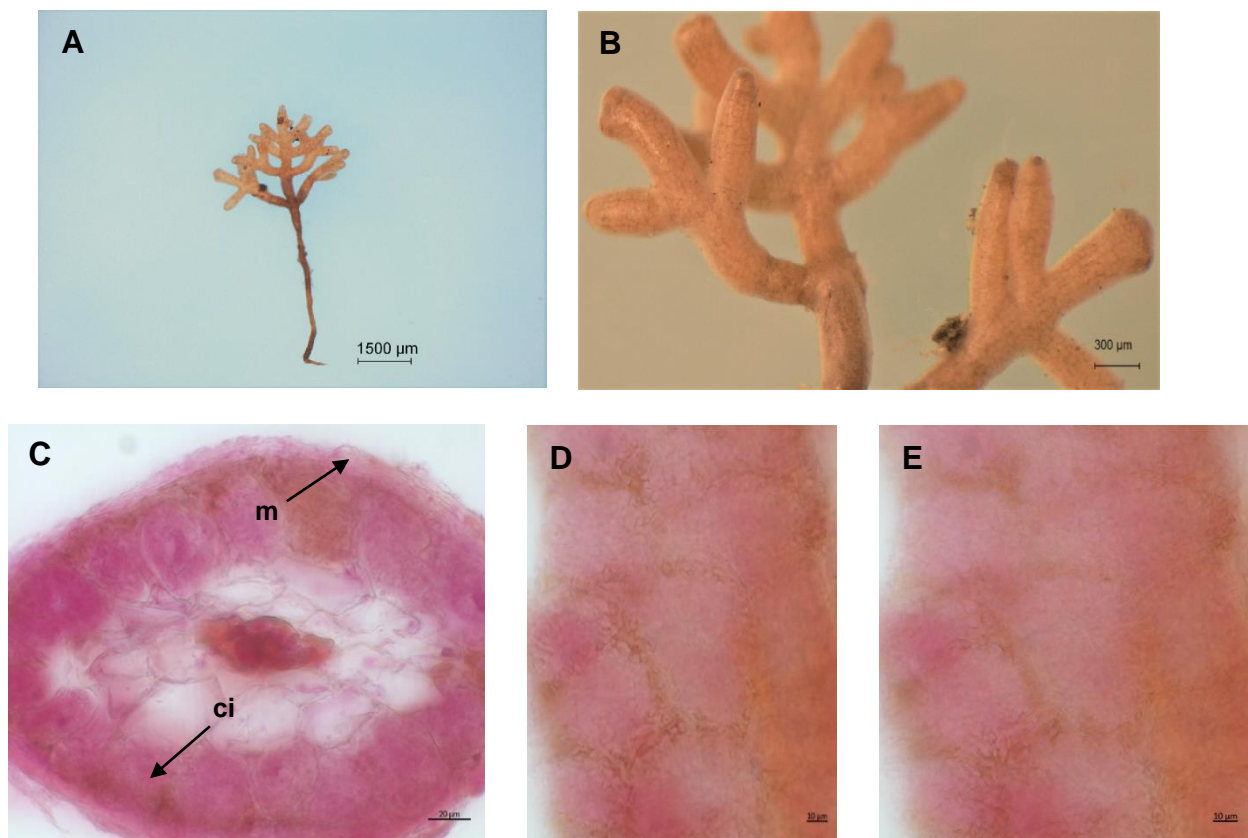
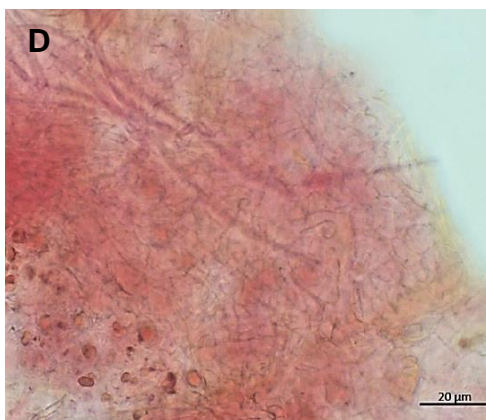
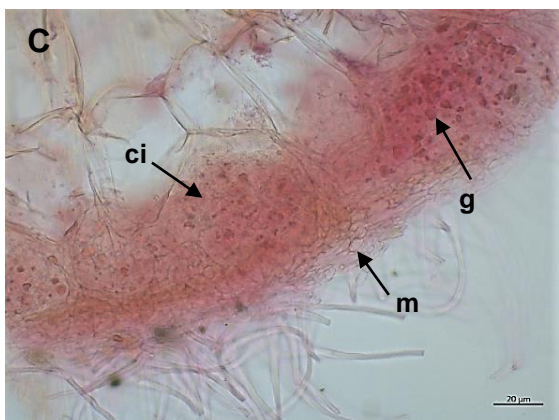
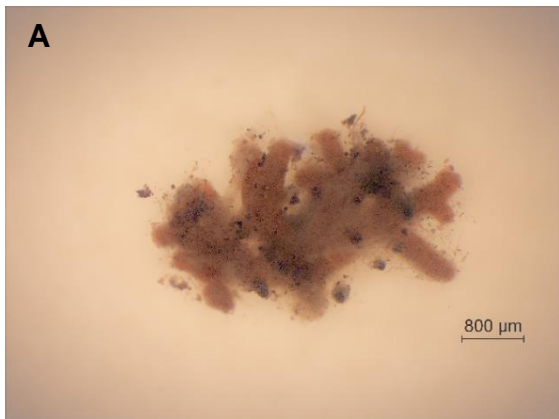


Figura 13. Morfotipo ARB 9 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada. C) Corte transversal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci); se observa coloración café rojiza debido a la producción de taninos. D) Manto de tipo pseudoparenquimatoso con células epidérmoides tipo M de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 10

Sistema micorrízico.- Ramificación coraloide con dos órdenes de ramificación, con terminaciones pinnadas de color naranja café claro de 0.30 ± 0.04 mm de diámetro y 1.55 ± 0.11 mm de longitud. Terminaciones no ramificadas con puntas cilíndricas a agudas de 0.36 ± 0.03 mm de diámetro y 0.76 ± 0.05 mm de longitud. Manto lanoso e hifas emergentes. Las células epidérmicas son visibles. Sin esclerocios.

Microanatomía.- Manto con cinco a siete capas de hifas de 16.73 ± 1.11 μm de espesor con hifas emergentes septadas de superficie lisa y gránulos; manto externo e manto interno plectenquimatoso tipo A de acuerdo con Agerer (1987-2002). Presenta colonización intracelular; red de Hartig lobulada y paraepidermal (Figura 14).



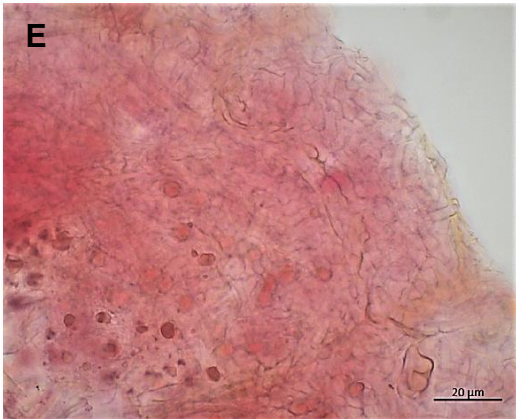
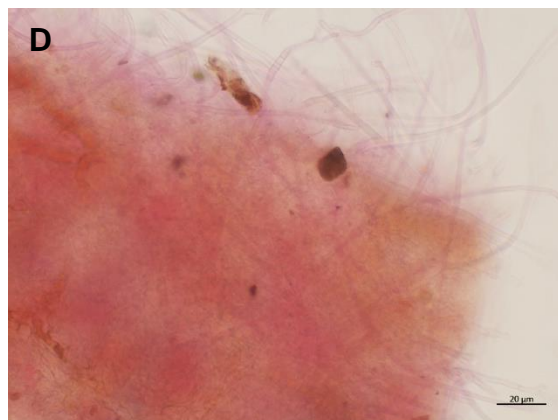
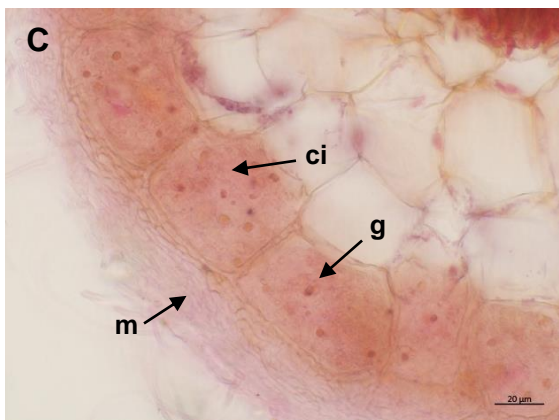
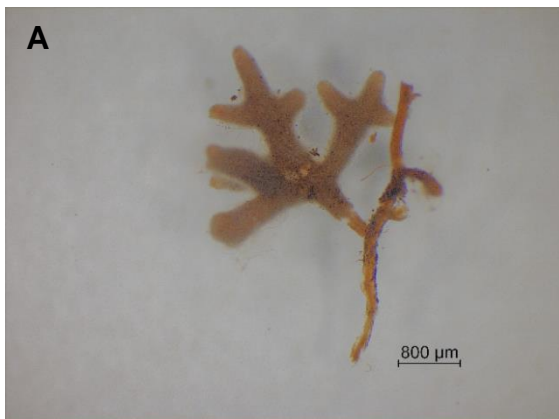


Figura 14. Morfotipo ARB 10 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo coraloide. C) Corte longitudinal que muestra el manto (m), gránulos (gr) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci), se observa coloración café debido a la producción de taninos. (D y E) Manto externo e interno de tipo plectenquimatoso tipo A de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 11

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada con terminaciones cruciformes; hasta un orden de ramificación; color naranja café oscuro; dimensiones 0.27 ± 0.07 mm de diámetro y 1.85 ± 0.06 mm de longitud. Terminaciones no ramificadas con puntas cilíndricas a gradualmente agudas de color naranja claro de 0.28 ± 0.04 mm de diámetro y 1.01 ± 0.14 mm de longitud. Las células epidérmicas son visibles. El manto es un poco lanoso y presenta hifas emergentes en la parte media a la distal. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto con cinco a ocho capas de hifas de 18.25 ± 1.66 μm de espesor se observan hifas emergentes con septos de superficie lisa y con gránulos; manto externo e interno de transición entre plectenquimatoso y pseudoparénquima tipo H (Agerer, 1987-2002). Red de Hartig de tipo lobulada y paraepidermal. Presenta colonización intracelular en la epidermis (Figura 15).



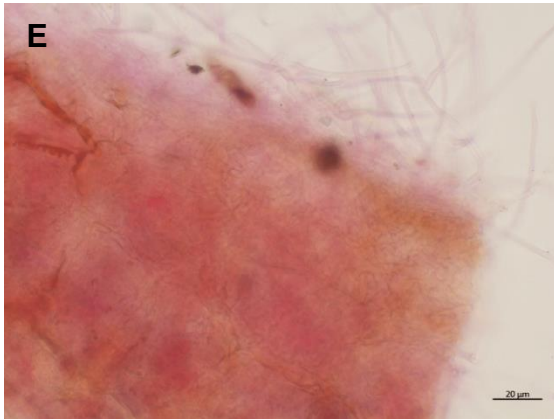


Figura 15. Morfotipo ARB 11 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada con terminaciones cruciformes. C) Corte transversal que muestra el manto (m), gránulos (gr) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci); se observa coloración café debido a la producción de taninos. (D y E) Manto externo e interno plectenquimatoso tipo H de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 12

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada con dos o hasta tres órdenes de ramificación, de 0.32 mm de diámetro y 2.08 mm de longitud, ápices terminales pinnados; color negro opaco con pocos rizomorfos que se originan de un punto de la superficie del manto y con pocas hifas emergentes, delgadas y dispuestas en la parte distal. Terminaciones no ramificadas con ápices redondeados, de 0.29 mm de diámetro y 1.22 mm de longitud. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto conformado por ocho a 12 capas de hifas de 19.80 μm de espesor; manto plectenquimatoso con matriz gelatinosa entre las hifas tipo C (Agerer, 1987-2002). Red de Hartig tipo lobulada y paraepidermal; colonización intracelular restringida a la epidermis (Figura 16).

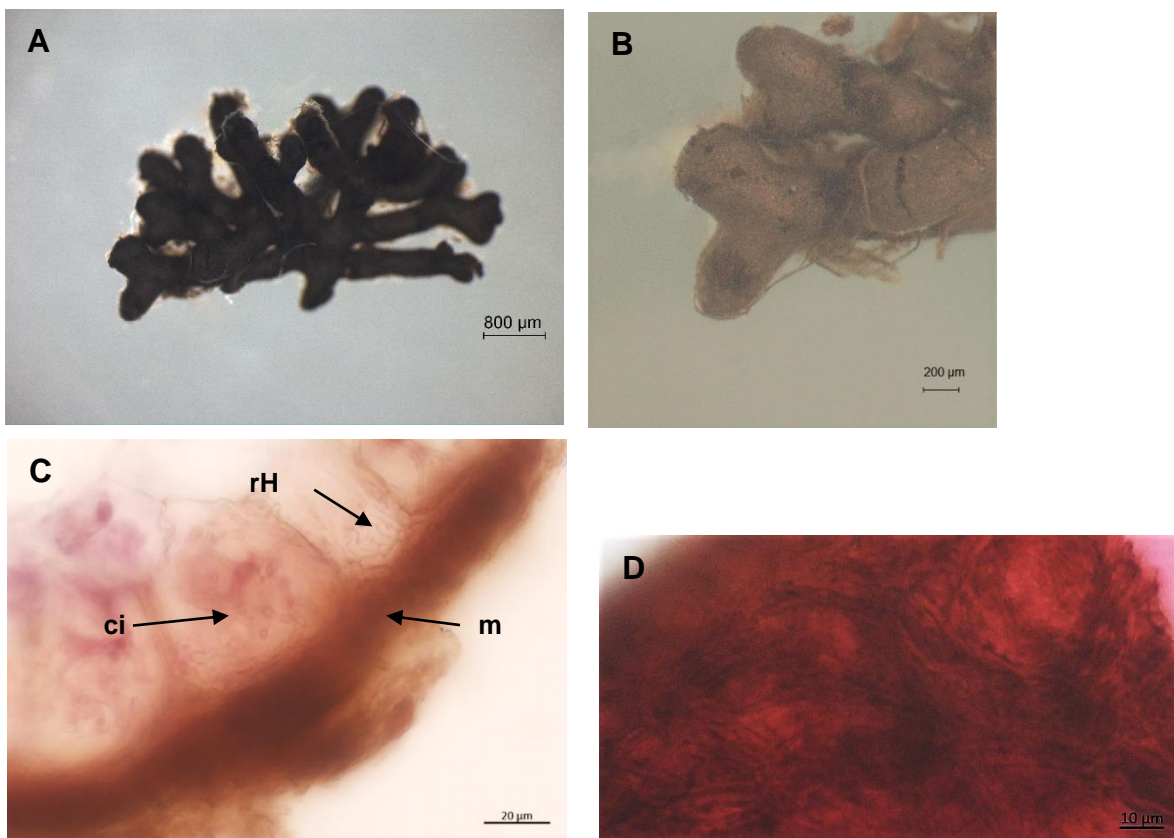


Figura 16. Morfotipo ARB 12 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada piramidal. C) Corte transversal que muestra el manto (m), red de Hartig lobulada (rH) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci). D) Manto plectenquimatoso tipo C de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 13

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada con terminaciones cruciformes de color ocre (naranja gris claro) de 0.26 ± 0.03 mm de diámetro y 1.55 ± 0.06 mm de largo, hasta un orden de ramificación. Terminaciones no ramificadas con puntas cilíndricas de color beige de 0.38 ± 0.01 mm de diámetro y 0.62 ± 0.03 mm de longitud; células epidérmicas visibles con algunas hifas emergentes en la parte distal y pocos rizomorfos localizados en un punto del manto. Presencia de algunas hifas negras que rodean la parte media y distal. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto con aproximadamente cinco a seis capas de hifas con 14.76 ± 0.56 μm de espesor; manto externo e interno de transición entre plectenquimatoso y pseudoparénquima tipo H (Agerer, 1987-2002) con hifas de superficie lisa; red de Hartig lobulada y colonización intracelular en la epidermis (Figura 17).

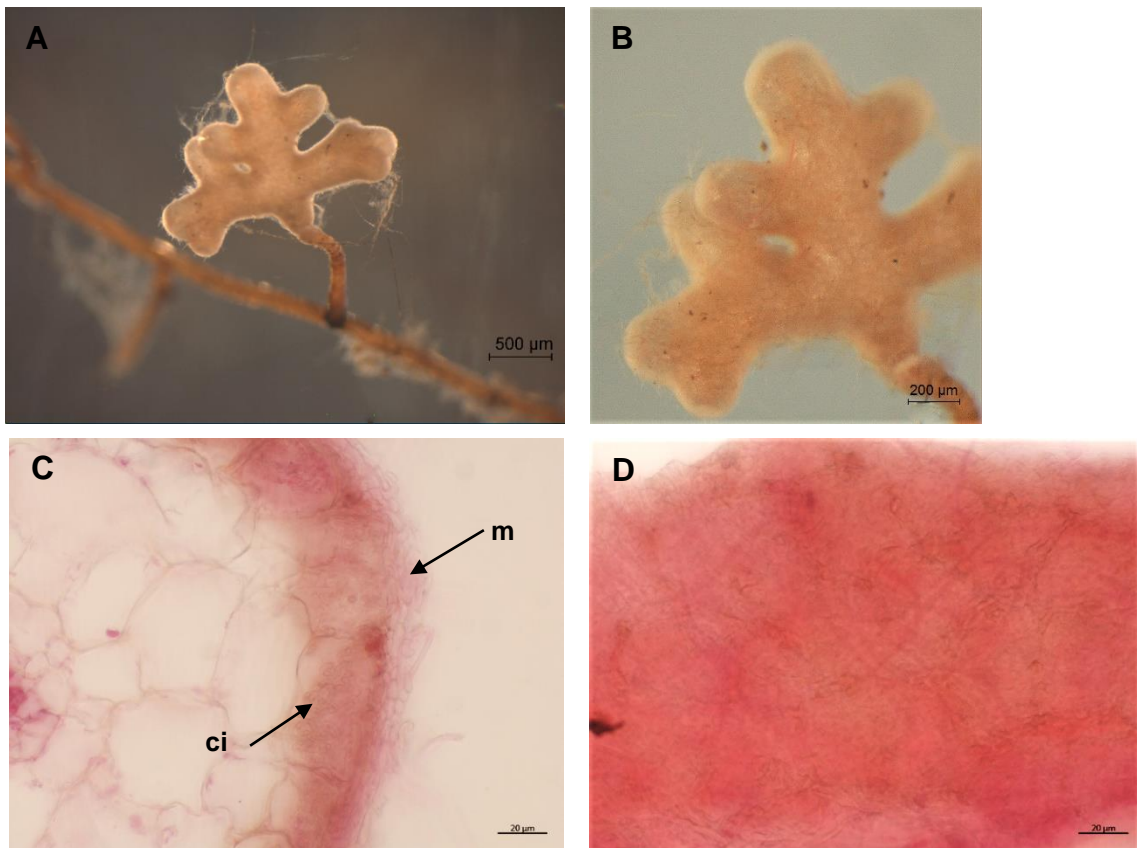
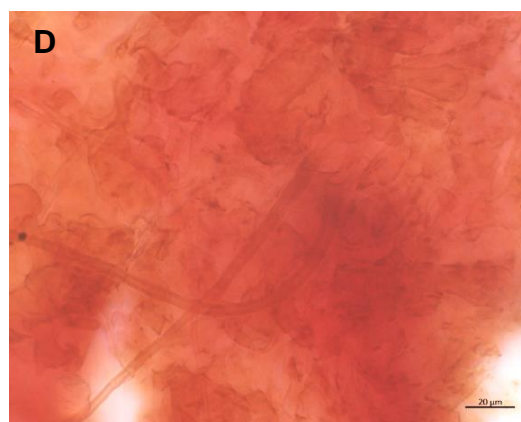
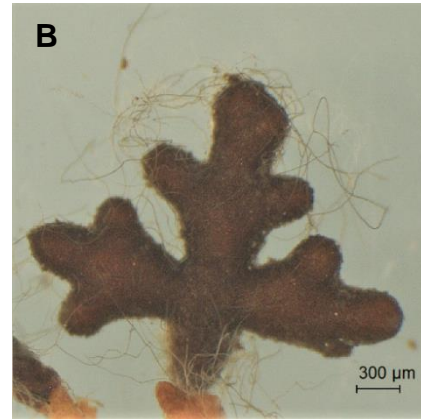




Figura 17. Morfotipo ARB 13 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada con terminaciones cruciformes. C) Corte transversal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci); se observa coloración café debido a la producción de taninos. (D y E) Manto externo e interno de tipo H de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 14 aff. *Toментella*

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada con un orden de ramificación y puntas cruciformes de color negro sobre ápices micorrízicos senescentes color café claro. Manto lanoso e hifas emergentes de color café claro y algunas hifas negras. Dimensiones de 0.29 ± 0.03 mm de diámetro y 2.45 ± 0.10 mm de longitud. Terminaciones no ramificadas con puntas gruesas a cilíndricas de 0.41 ± 0.05 mm de diámetro y 1.01 ± 0.09 mm de longitud. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto de cuatro a seis capas de hifas de 19.87 ± 1.89 μm de espesor; manto externo e interno pseudoparenquimatoso tipo M (Agerer, 1987-2002), con hifas de superficie lisa; red de Hartig lobulada y paraepidermal. Con colonización intracelular (Figura 18).



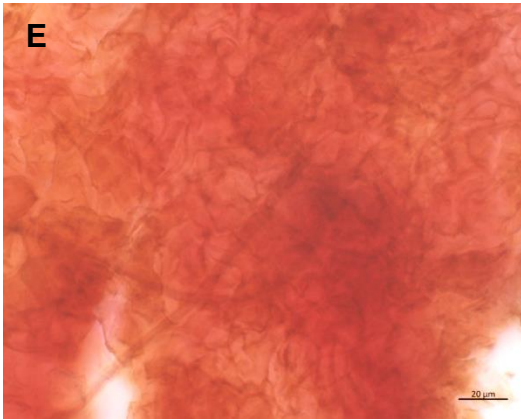
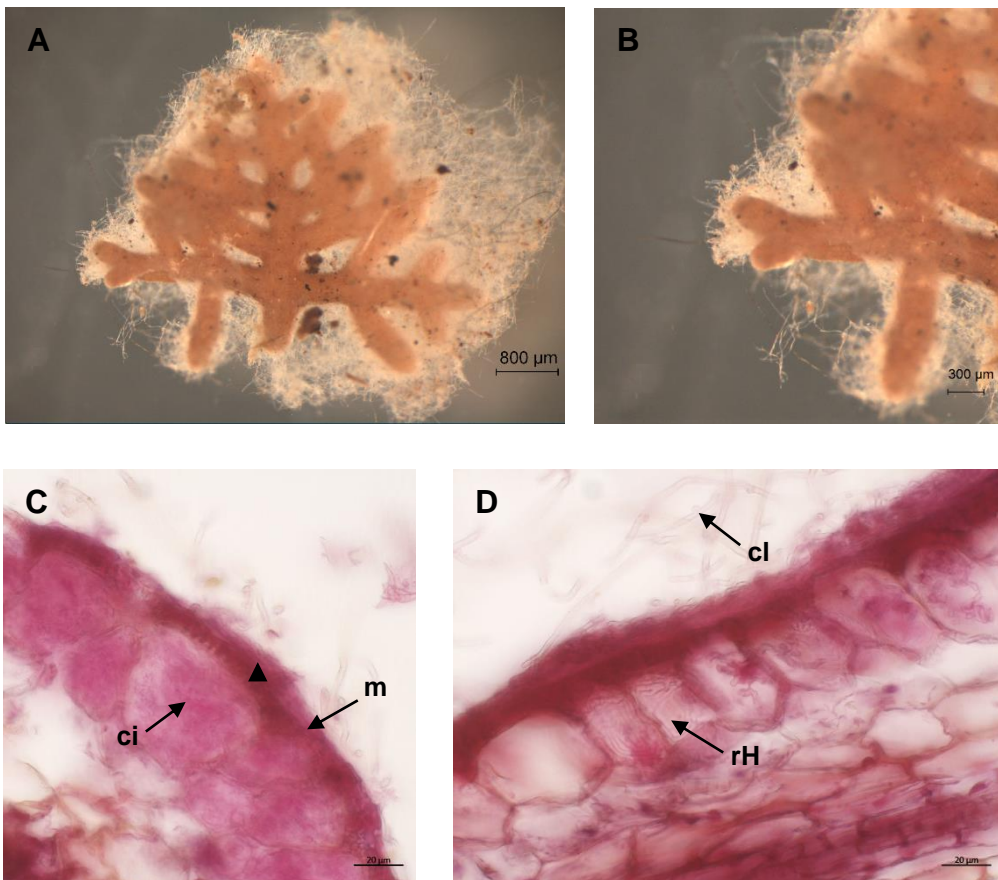


Figura 18. Morfotipo ARB 14 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada con ápices cruciformes. C) Corte longitudinal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci). (D y E) Manto de tipo pseudoparenquimatoso tipo M de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 15

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada con dos o hasta tres órdenes de ramificación, con terminaciones dicotómicas; color naranja claro con células epidérmicas visibles; dimensiones de 0.26 ± 0.02 mm de diámetro y 1.46 ± 0.08 mm de longitud. Terminaciones no ramificadas con puntas cilíndricas a agudas de 0.16 ± 0.03 mm de diámetro y 0.34 ± 0.05 mm de longitud. Manto hialino lanoso a algodonoso con algunas hifas color negro. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto con cinco capas de hifas de 11.25 ± 0.21 μm de espesor; hifas emergentes de superficie lisa, septadas y con fíbulas; manto externo e interno de tipo plectenquimatoso tipo B (Agerer, 1987-2002), con hifas irregulares. Red de Hartig restringida a las células epidérmicas y de tipo lobulada. Presenta colonización intracelular (Figura 19).



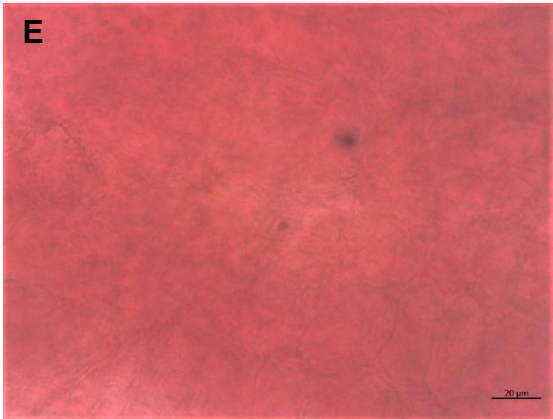
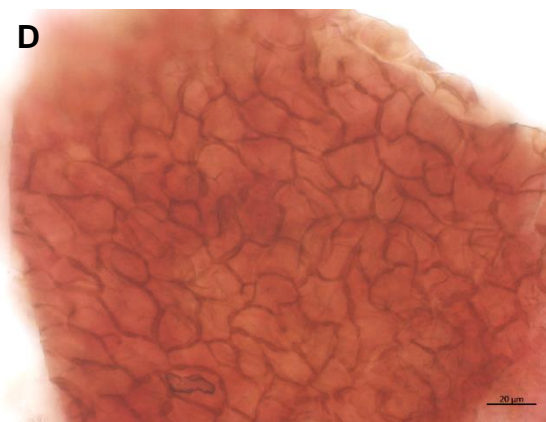


Figura 19. Morfotipo ARB 15 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada. C) Corte transversal que muestra el manto (m); colonización intracelular en las células epidérmicas (ci); se observa coloración rojiza debido a la producción de taninos (▲). D) Corte longitudinal que muestra la red de Hartig lobulada (rH) e hifas con clamps (cl) o fíbulas. E). Manto plectenquimatoso tipo B de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 16

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada piramidal irregular con tres a cuatro órdenes de ramificación, color café oscuro de 0.32 mm de diámetro y 3.08 mm de longitud. Terminaciones no ramificadas con puntas cilíndricas y algunas engrosadas en la parte media de 0.27 mm de diámetro y 2.28 mm de longitud. Manto poco lanoso e hifas emergentes de color café oscuro distribuidas en la parte media a distal proyectadas hacia el suelo. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto con cuatro a cinco capas de hifas de 16.68 μm de espesor; manto externo e interno de tipo pseudoparenquimatoso tipo M con células epidérmoides (Agerer, 1987-2002). Colonización intracelular en las células epidérmicas y red de Hartig tipo paraepidermal (Figura 20).



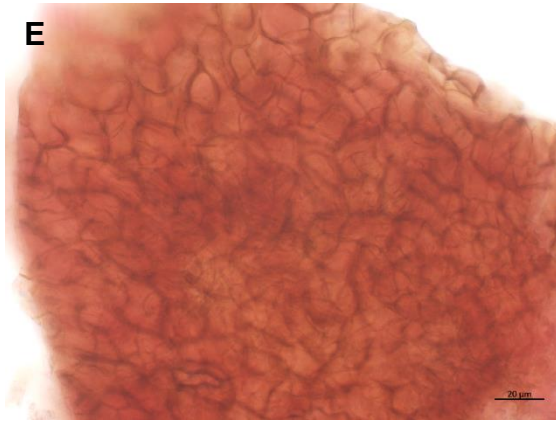


Figura 20. Morfotipo ARB 16 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada irregular. C) Corte transversal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci). (D y E) Manto externo e interno pseudoparenquimatoso tipo M de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 17

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada con dos a tres órdenes de ramificación con terminaciones dicotómicas a pinnadas de color negro con 0.31 ± 0.03 mm de diámetro y 1.70 ± 0.11 mm de longitud. Terminaciones no ramificadas con puntas cilíndricas de 0.22 ± 0.03 mm de diámetro y 0.70 ± 0.09 mm de longitud. Manto lanoso con hifas emergentes distribuidas desde la parte media a la distal de color café oscuro. Sin esclerocios. *Microanatomía.*- Manto con seis a siete capas de hifas de 22.76 ± 1.21 μm de espesor; manto externo e interno pseudoparenquimatoso tipo O (Agerer, 1987-2002), con células angulares. Colonización intracelular y red de Hartig paraepidermal (Figura 21).

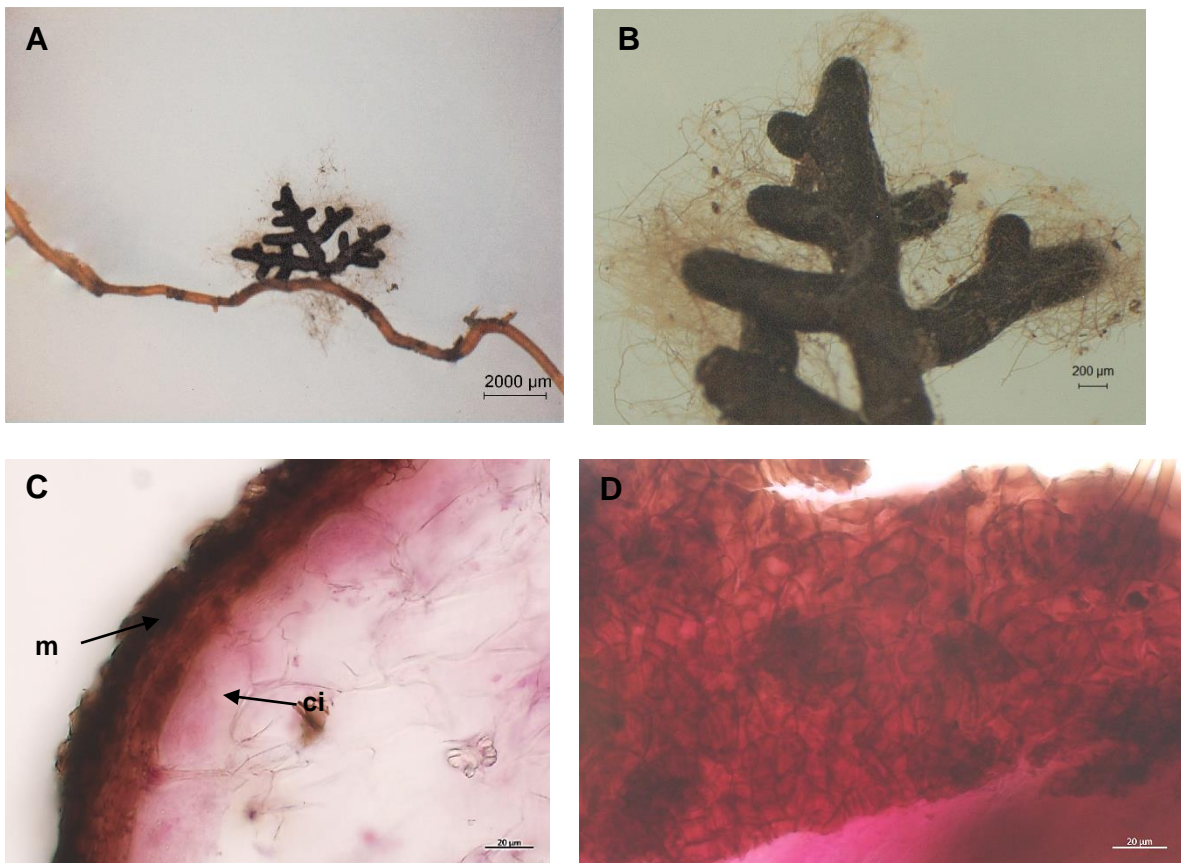
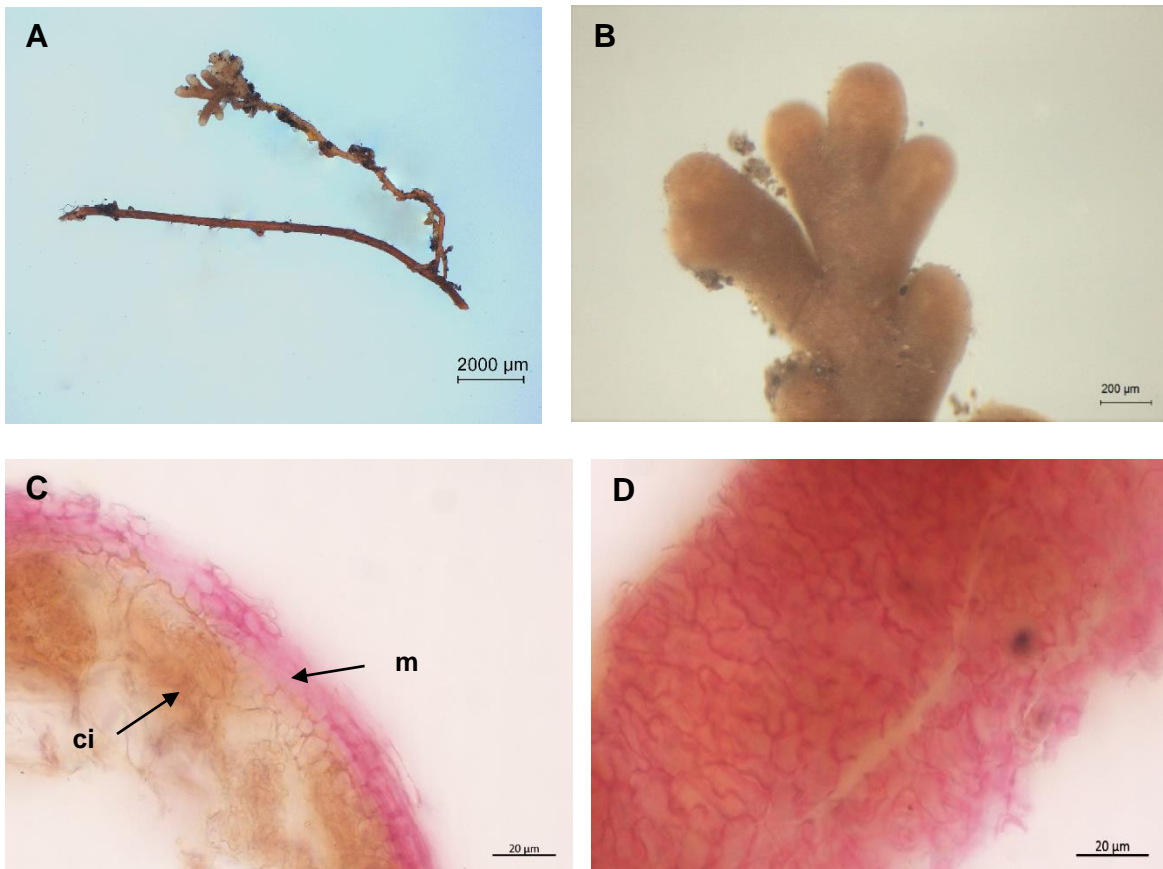


Figura 21. Morfotipo ARB 17 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada. C) Corte transversal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci). D) Manto pseudoparenquimatoso tipo O de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 18

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada irregular de color naranja oscuro de 0.35 ± 0.05 mm de diámetro y 1.86 ± 0.20 mm de longitud. Terminaciones no ramificadas con puntas cilíndricas de 0.25 ± 0.04 mm de diámetro y 0.88 ± 0.18 mm de longitud; color beige con células epidérmicas visibles y superficie lisa. Sin esclerocios.

Microanatomía.- Manto conformado de tres a cinco capas de hifas de 15.65 ± 1.29 μm de espesor; manto externo e interno de tipo pseudoparenquimatoso tipo M (Agerer, 1987-2002), con células epidérmoides. Red de Hartig paraepidermal y colonización intracelular en las células epidérmicas (Figura 22).



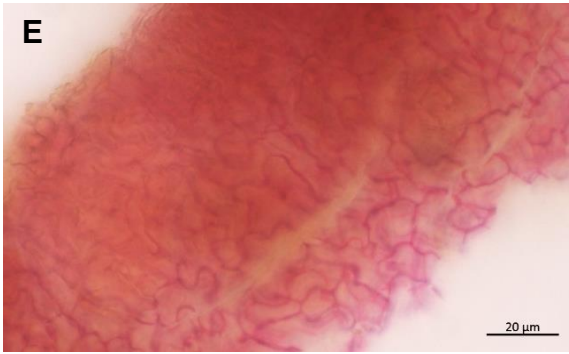
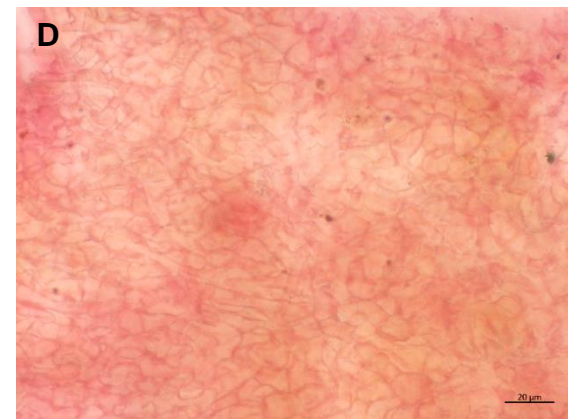
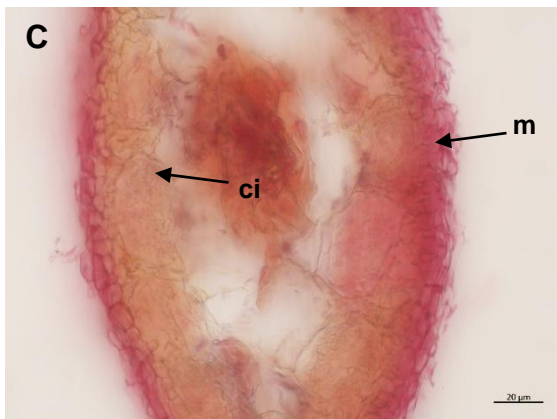
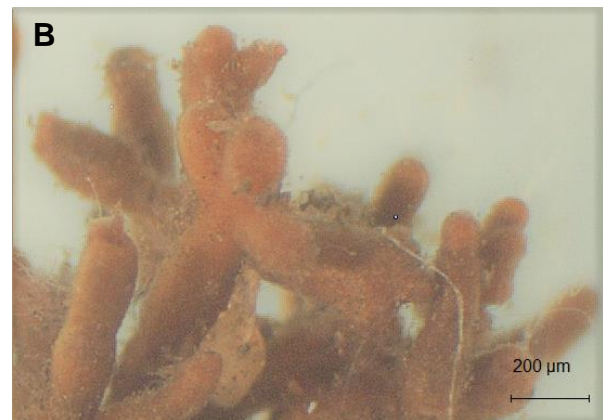


Figura 22. Morfotipo ARB 18 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo pinnada irregular. C) Corte transversal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci). (D y E) Manto externo e interno pseudoparenquimatoso tipo M de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 19

Sistema micorrízico.- Ramificación pinnada coraloide con ramas de tipo cruciforme; color naranja a café claro de 0.42 ± 0.05 mm de diámetro y 2.65 ± 0.14 mm de longitud. Terminaciones no ramificadas con puntas cilíndricas a agudas 0.40 ± 0.04 mm de diámetro y 1.66 ± 0.15 mm de longitud; color naranja a beige con pocas hifas emergentes en la parte distal y manto ligeramente lanoso. Sin esclerocios.

Microanatomía.- Manto de cuatro a seis capas de hifas de 14.28 ± 0.74 μm ; manto externo e interno de tipo pseudoparenquimatoso tipo M (Agerer, 1987-2002), con células epidermoides; red de Hartig paraepidermal y con colonización intracelular restringida a la epidermis (Figura 23).



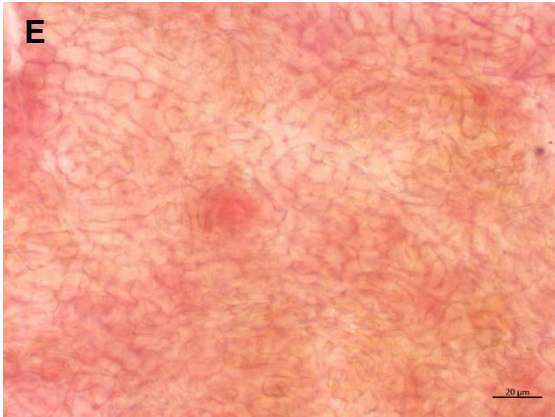
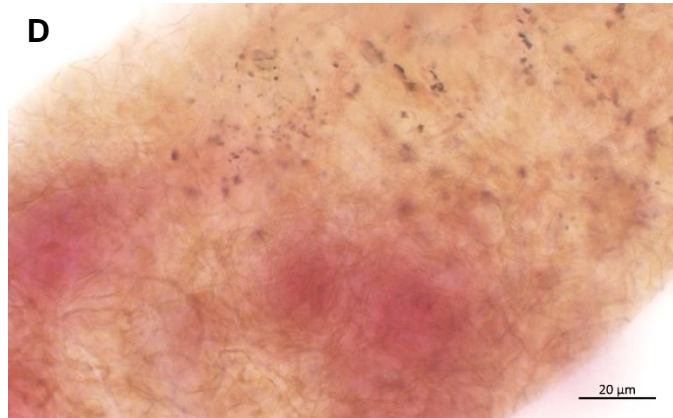
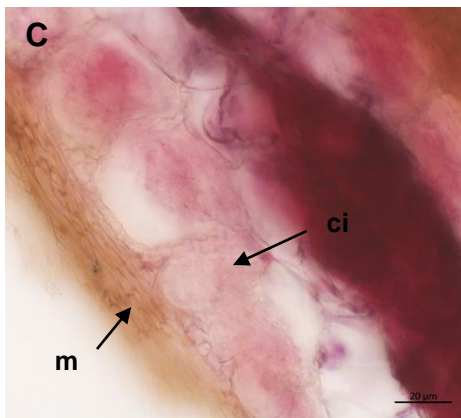


Figura 23. Morfotipo ARB 19 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo coraloide con terminaciones cruciformes. C) Corte transversal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci). (D y E) Manto externo e interno de tipo pseudoparenquimatoso tipo M de acuerdo con Agerer (1987-2002).

Morfotipo ARB 20

Sistema micorrízico.- Ramificación cruciforme de 0.31 ± 0.02 mm en la base y 1.48 ± 0.08 mm de largo de color negro a café claro; superficie ligeramente rugosa y en la parte media de color grisáceo. Terminaciones no ramificadas con puntas cilíndricas de 0.33 ± 0.01 mm de diámetro y 0.67 ± 0.08 mm de longitud. Hifas emergentes distribuidas de la parte media a la distal de color negro oscuro. Sin esclerocios.

Microanatomía.- Manto conformado por cinco a siete capas de hifas de 18.15 ± 1.27 μm de espesor; manto externo e interno pseudoparenquimatoso tipo Q (Agerer, 1987-2002). Colonización intracelular restringida en la epidermis (Figura 24).



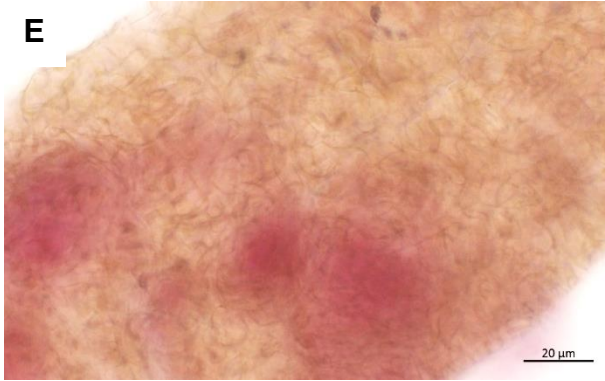


Figura 24. Morfotipo ARB 20 de la micorriza arbutoide de *Arbutus xalapensis*. A, B) Morfología del morfotipo cruciforme. C) Corte longitudinal que muestra el manto (m) y colonización intracelular en las células epidérmicas (ci). D) Manto de tipo pseudoparenquimatoso tipo Q de acuerdo con Agerer (1987-2002).

10.2 Riqueza de los morfotipos ARB

Se obtuvieron en total 20 morfotipos asociados a *Arbutus xalapensis*. La riqueza de morfotipos ARB por sitio se muestra en la Figura 25, donde el mayor número de morfotipos fue en el Guespalapa A con 16 morfotipos ARB, seguido del Chichinautzin con 14 morfotipos, el Xitle con 11 y por último el Guespalapa B con 10 morfotipos ARB. De acuerdo con la curva de acumulación de morfotipos ARB muestra que aún hay morfotipos que pueden ser encontrados ya que no se ha alcanzado la asíntota de la curva de acumulación de especies en ninguno de los sitios.

En el Cuadro 4, se muestran los morfotipos ARB presentes en cada sitio de muestreo, así como los morfotipos que fueron exclusivos en cada sitio de estudio, en el Guespalapa A el morfotipo ARB 5, en el Guespalapa B el morfotipo ARB 8, en el Chichinautzin el morfotipo ARB 12 y en el Xitle el morfotipo ARB 16.

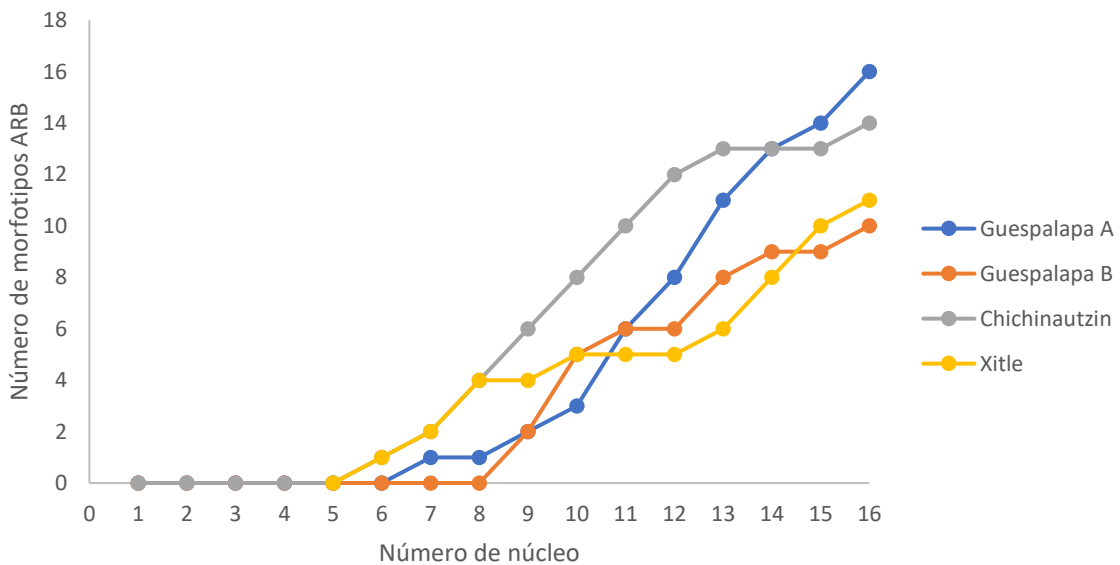


Figura 25. Curva de acumulación de morfotipos ARB asociados a *Arbutus xalapensis* en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.

Cuadro 4. Morfotipos ARB presentes en los sitios de estudio.

Morfotipo ARB	Guespalapa A	Guespalapa B	Chichinautzin	Xitle
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓
4	✓			✓
5	✓			
6	✓		✓	
7	✓	✓		
8		✓		
9	✓	✓	✓	✓
10	✓		✓	
11	✓	✓	✓	
12			✓	
13	✓	✓	✓	✓
14	✓		✓	
15		✓	✓	
16				✓
17	✓	✓	✓	✓
18	✓			✓
19	✓		✓	✓
20	✓		✓	✓

En la Figura 26 se muestra el número de morfotipos encontrados por árbol de *Arbutus xalapensis* en cada localidad de muestreo. Como se observa en la Figura 25, en el sitio Guespalapa B no se observaron morfotipos ARB en un árbol de *Arbutus xalapensis*. En los otros sitios de muestreo, todos los árboles presentaron una riqueza en morfotipos ARB de al menos tres hasta 11 morfotipos ARB.

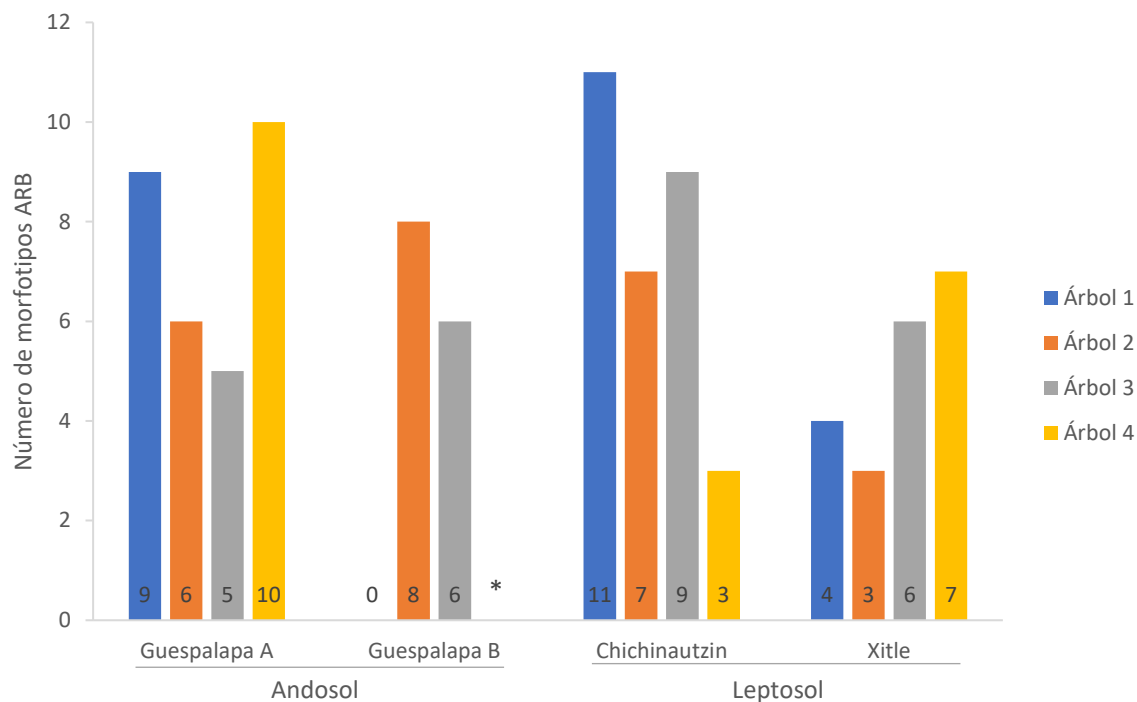


Figura 26. Número de morfotipos ARB asociados (riqueza) por árbol de *Arbutus xalapensis* en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México. * Árbol que no se muestreo en el Guespalapa B.

El análisis de varianza de un factor (ANOVA) demostró que no existen diferencias significativas en el número de morfotipos encontrados con las localidades del Corredor Biológico Chichinautzin (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza, prueba de Tukey y Fisher de la riqueza (número de morfotipos) asociados a *Arbutus xalapensis* en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P
Sitio	735.54	3	245.18	0.36	0.78

Error	37852.80	56	675.94
Total	38588.33	59	

Nivel de significancia $p < 0.05$

Fuente	Promedio	Error estándar	N
Guespalapa A	8.94	4.43	16
Guespalapa B	15.33	6.44	12
Chichinautzin	17.31	10.12	16
Xitle	10.38	3.59	16

Prueba de Tukey	Guespalapa A	Guespalapa B	Chichinautzin	Xitle
Guespalapa A	1.00	0.91	0.79	0.99
Guespalapa B	0.91	1.00	0.99	0.95
Chichinautzin	0.79	0.99	1.00	0.87
Xitle	0.99	0.95	0.87	1.00

Prueba de Fisher	Guespalapa A	Guespalapa B	Chichinautzin	Xitle
Guespalapa A	1.00	0.52	0.37	0.88
Guespalapa B	0.52	1.00	0.84	0.62
Chichinautzin	0.37	0.84	1.00	0.45
Xitle	0.88	0.62	0.45	1.00

10.3 Abundancia absoluta y relativa

En el Chichinautzin se registró la mayor abundancia de los ápices ARB con un promedio de 55.88, seguido del Guespalapa B (26.63), Guespalapa A (26.25) y por último el Xitle (25.38) (Figura 27).

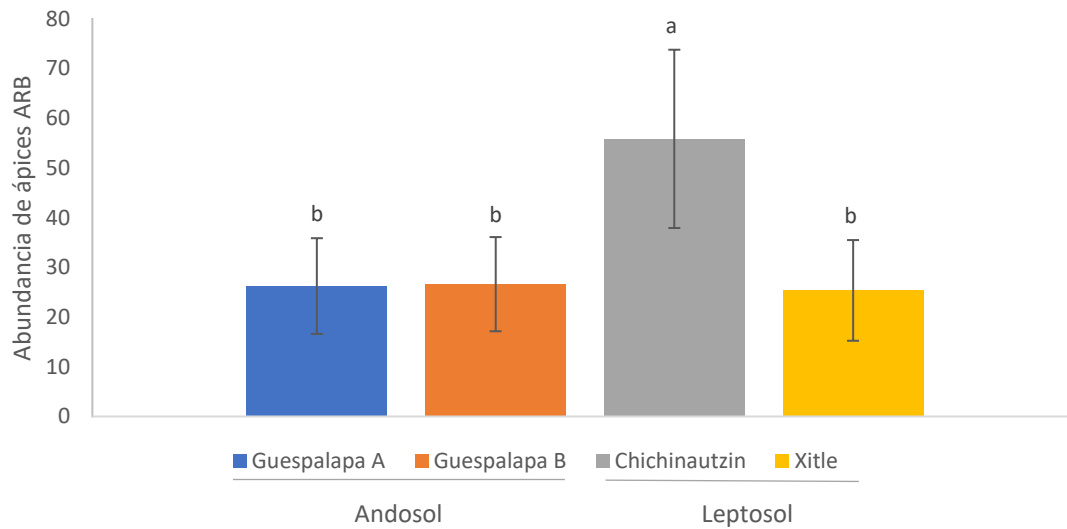


Figura 27. Promedios de las abundancias de los ápices asociados a *Arbutus xalapensis* en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México. Letras distintas indican diferencias significativas entre sitios ($p < 0.05$).

Los morfotipos ARB 1, 3 y 9 fueron los más abundantes en los cuatro sitios de muestreo (Figura 28). En el Cuadro 6 presenta la abundancia de los ápices ARB por núcleo.

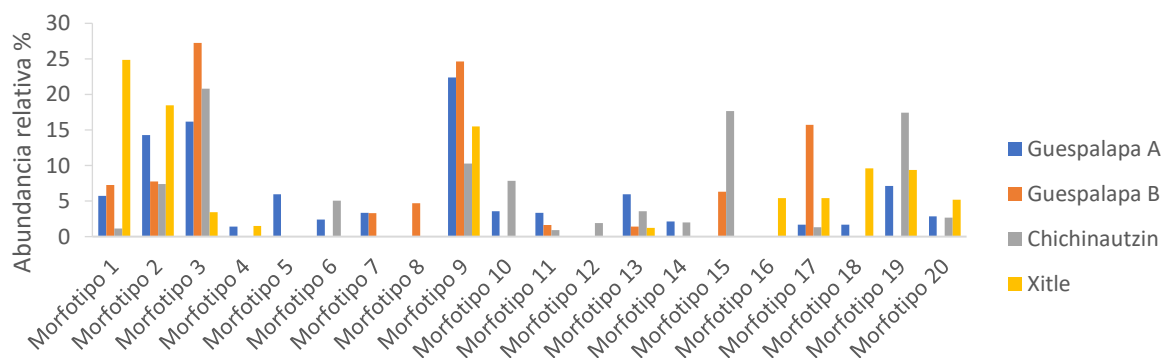


Figura 28. Abundancia relativa de los morfotipos ARB asociados a *Arbutus xalapensis* en los cuatro sitios de muestreo.

Cuadro 6. Abundancia absoluta (número de ápices) y relativa de los morfotipos ARB por núcleo asociados a *Arbutus xalapensis* en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.

		Núcleo															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Guespalapa A	Abundancia absoluta	142	0	6	46	46	0	0	0	0	0	9	47	3	37	13	71
	Abundancia relativa %	33.81	0.00	1.43	10.95	10.95	0	0	0	0	0	2.14	11.19	0.71	8.81	3.10	16.90
Guespalapa B	Abundancia absoluta	0	0	0	0	66	25	47	45	30	142	27	44	-	-	-	-
	Abundancia relativa %	0	0	0	0	15.49	5.87	11.03	10.56	7.04	33.33	6.34	10.33	-	-	-	-
Chichinautzin	Abundancia absoluta	0	101	82	102	24	109	16	0	34	175	235	0	3	13	0	0
	Abundancia relativa %	0	11.30	9.17	11.41	2.68	12.19	1.79	0	3.80	19.57	26.29	0	0.34	1.45	0	0
Xitle	Abundancia absoluta	11	22	5	0	0	15	23	0	156	0	5	7	0	66	38	58
	Abundancia relativa %	2.71	5.42	1.23	0	0	3.69	5.67	0	38.42	0	1.23	1.72	0	16.26	9.36	14.29

De acuerdo al análisis de varianza de una vía (ANOVA) no se encontraron diferencias significativas de la abundancia de ápices ARB con los sitios de estudio (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza, prueba de Tukey y Fisher de la abundancia (número de ápices) asociados a *Arbutus xalapensis* en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P
Sitio	9647.23	3	3215.74	1.26	0.29
Error	142035.50	56	2536.34		
Total	151682.73	59			

Nivel de significancia $p < 0.05$

Fuente	Promedio	Error estándar	N
Guespalapa A	26.25	9.64	16
Guespalapa B	35.50	11.62	12
Chichinautzin	55.88	17.94	16
Xitle	25.38	10.14	16

Prueba de Tukey	Guespalapa A	Guespalapa B	Chichinautzin	Xitle
Guespalapa A	1.00	0.96	0.35	1.00
Guespalapa B	0.96	1.00	0.71	0.95
Chichinautzin	0.35	0.71	1.00	0.32
Xitle	1.00	0.95	0.32	1.00

Prueba de Fisher	Guespalapa A	Guespalapa B	Chichinautzin	Xitle
Guespalapa A	1.00	0.63	0.10	0.96
Guespalapa B	0.63	1.00	0.29	0.60

Chichinautzin	0.10	0.29	1.00	0.09
Xitle	0.96	0.60	0.09	1.00

10.4 Diversidad

La diversidad de los ápices ARB utilizando el índice de Shannon, mostró que el sitio con mayor diversidad fue el Guespalapa A con 2.41, seguido del Chichinautzin con un valor de 2.23, el Xitle con 2.10 y el Guespalapa B con 1.94 (Cuadro 8). Además, en el Anexo 5 se muestran los valores de los índices de diversidad por árbol y por tipo de suelo. Donde los suelos no muestran diferencia en los índices de diversidad.

Cuadro 8. Índice de diversidad de Shannon (H') en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México (Andosoles en Guespalapa y Leptosoles en el Chichinautzin y el Xitle).

Sitio	Índice de Diversidad
Guespalapa A	2.41
Guespalapa B	1.94
Chichinautzin	2.23
Xitle	2.10

10.5 Análisis de similitud de los morfotipos ARB entre los sitios de muestreo

Los datos de similitud en morfotipos ARB, obtenidos con el índice de Sørensen fueron mayores del 50%. Los sitios con mayor similitud entre sí fueron el Guespalapa A y el Chichinautzin con un valor de 80%, ya que presentaron 11 morfotipos ARB en común y seis diferentes, continuando con los sitios Guespalapa A y Xitle con 74%. El Guespalapa B y el Chichinautzin mostraron una similitud del 67 % con ocho morfotipos en común y seis diferentes, seguido del Chichinautzin y el Xitle con un valor de similitud del 64% y el Guespalapa A y el Guespalapa B con una similitud de 62 %. Los sitios con un valor menor en similitud fueron el Guespalapa B y el Xitle con 57 % (Cuadro 9).

Cuadro 9. Índices de Sørensen en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.

	Guespalapa A	Guespalapa B	Chichinautzin	Xitle
Guespalapa A	-----	61.54	80.00	74.07
Guespalapa B	61.54	-----	66.67	57.14
Chichinautzin	80.00	66.67	-----	64.00
Xitle	74.04	57.14	64.00	-----

10.6 Relación entre las micorrizas ARB y los tipos de suelo

Ocho morfotipos ARB se localizaron en cada tipo de suelo, Andosol y Leptosol (Cuadro 4). El análisis de varianza de un factor (ANOVA) demostró que no existen diferencias significativas en el número de morfotipos encontrados con los suelos de muestreo de las localidades del Corredor Biológico Chichinautzin (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza, prueba de Tukey y Fisher de la riqueza (número de morfotipos) asociados a *Arbutus xalapensis* en dos suelos de origen volcánico del eje Neovolcánico, México.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P
Suelo	70.00	1	70.00	0.11	0.75
Error	38518.33	58	664.11		
Total	38588.33	59			

Nivel de significancia $p < 0.05$

Fuente	Promedio	Error estándar	N
Andosol	11.68	3.72	28
Leptosol	13.84	5.32	32

Prueba de Tukey	Andosol	Leptosol
Andosol	1.00	0.75
Leptosol	0.75	1.00

Prueba de Fisher	Andosol	Leptosol
Andosol	1.00	0.74
Leptosol	0.74	1.00

Con base al análisis de varianza de una vía (ANOVA) no se encontraron diferencias significativas en la abundancia de los ápices ARB con los suelos de estudio (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza, prueba de Tukey y Fisher de la abundancia (número de ápices) asociados a *Arbutus xalapensis* en dos suelos de origen volcánico en el eje Neovolcánico, México.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P
Suelo	1618.52	1	1618.52	0.63	0.43
Error	150064.21	58	2587.31		
Total	151682.73	59			

Nivel de significancia $p < 0.05$

Fuente	Promedio	Error estándar	N
Andosol	30.21	7.34	28
Leptosol	40.63	10.50	32

Prueba de Tukey	Andosol	Leptosol
Andosol	1.00	0.43
Leptosol	0.43	1.00

Prueba de Fisher	Andosol	Leptosol
Andosol	1.00	0.43
Leptosol	0.43	1.00

10.7 Correlación de análisis de suelo y la abundancia de ápices ARB

La correlación de las propiedades edáficas del suelo (Cuadro 12) con las abundancias de cada uno de los ápices arbutoides de cada sitio, mostró que existe relación significativa positiva del pH con los ápices ARB 2 (0.91) y ARB 20 (0.73) y de manera negativa con los ápices ARB 8 (-0.95) y ARB 17 (-0.90); el C presentó una correlación negativa con el ápice ARB 5 (-0.98) al igual que con el N (-0.99); la relación C:N presentó una correlación negativa en el ápice ARB 4 (-0.96); el P presentó una correlación positiva con la abundancia absoluta (0.96), el ápice ARB 3, ARB 6, ARB 10 (0.89), ARB 19 (0.87), ARB 12 (0.96) y ARB 15 (0.99); el Ca mostró una correlación negativa con ARB 7 (-0.73) y ARB 11 (-0.93); así como el Mg presentó correlación negativa con ARB 5 (-0.97) y el K (-0.96); y la CE presentó una correlación positiva en ARB 1 (0.90), ARB 16 (0.93), ARB 18 (0.86) y negativamente con ARB 9 (-0.84) y ARB 11 (-0.98). Con excepción a los ápices ARB 13 y 14 que no hubo una correlación hacia las propiedades del suelo. Por otra parte, otros elementos resultaron significativamente positivas como el carbono con el nitrógeno (0.95), el magnesio (0.98) y el potasio (0.98); el nitrógeno con el calcio (0.97); el magnesio con el potasio (0.99) y el sodio (0.95) y el potasio con el sodio (0.97) (Cuadro 13) (Anexo 6).

Cuadro 12. Características físicas y químicas de dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.

Sitio	pH (H ₂ O) 1:2.5	C total (%)	N total (%)	C: N	P Bray mg/kg	Cationes intercambiables cmol/kg				CE (uS/cm)
						Ca	Mg	K	Na	
Chichinautzin	5.32	24.35	1.28	19.02	48.90	20.52	5.44	1.10	0.14	216
Guespalapa A	5.69	7.06	0.48	14.70	9.61	8.00	1.89	0.64	0.09	106
Guespalapa B	4.53	24.02	1.17	20.52	21.77	19.20	6.34	1.22	0.17	221
Xitle	5.71	20.68	1.30	15.90	13.51	24.80	5.33	1.05	0.13	458

Cuadro 13. Correlaciones de las variables edáficas y la abundancia de los ápices ARB en dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México.

	Abundancia absoluta	Riqueza	Índice de Diversidad	ARB 1	ARB 2	ARB 3	ARB 4	ARB 5	ARB 6	ARB 7	ARB 8	ARB 9	ARB 10	ARB 11	ARB 12	ARB 13	ARB 14	ARB 15	ARB 16	ARB 17	ARB 18	ARB 19	ARB 20
pH	-0.02	0.59	0.74	0.37	0.91	-0.48	0.81	0.46	0.12	-0.42	-0.95	-0.71	0.11	-0.01	0.01	0.31	0.25	-0.16	0.48	-0.90	0.59	0.24	0.73
C	0.43	-0.73	-0.78	0.09	-0.18	0.44	-0.73	-0.98	0.23	-0.49	0.41	-0.02	0.24	-0.64	0.44	-0.27	-0.06	0.53	0.14	0.52	-0.04	0.32	0.07
N	0.37	-0.73	-0.72	0.34	0.09	0.22	-0.50	-0.99	0.17	-0.69	0.19	-0.32	0.18	-0.82	0.38	-0.34	-0.12	0.43	0.42	0.36	0.25	0.33	0.28
C:N	0.39	-0.57	-0.72	-0.38	-0.66	0.69	-0.96	-0.70	0.22	0.03	0.74	0.56	0.23	-0.15	0.37	-0.12	0.02	0.52	-0.40	0.73	-0.55	0.15	-0.37
P	0.96	0.06	-0.07	-0.53	0.05	0.89	-0.78	-0.52	0.89	-0.51	-0.06	0.25	0.89	-0.01	0.96	0.57	0.73	0.99	-0.37	-0.08	-0.49	0.87	0.41
Ca	0.20	-0.75	-0.70	0.56	0.22	-0.02	-0.28	-0.94	0.01	-0.73	0.10	-0.52	0.02	-0.93	0.22	-0.47	-0.26	0.25	0.62	0.30	0.47	0.22	0.33
Mg	0.23	-0.85	-0.90	0.19	-0.28	0.29	-0.67	-0.97	0.02	-0.37	0.54	-0.02	0.03	-0.69	0.23	-0.46	-0.26	0.34	0.20	0.67	0.02	0.11	-0.09
K	0.26	-0.83	-0.89	0.12	-0.33	0.35	-0.72	-0.96	0.05	-0.33	0.58	0.05	0.06	-0.64	0.26	-0.43	-0.23	0.37	0.13	0.69	-0.05	0.12	-0.12
Na	0.16	-0.83	-0.92	-0.01	-0.56	0.39	-0.79	-0.86	-0.04	-0.09	0.76	0.27	-0.03	-0.48	0.15	-0.45	-0.29	0.29	-0.05	0.83	-0.21	-0.03	-0.36
CE	-0.18	-0.65	-0.50	0.90	0.46	-0.51	0.25	-0.65	-0.31	-0.68	-0.13	-0.84	-0.31	-0.98	-0.15	-0.63	-0.50	-0.19	0.93	0.10	0.86	-0.06	0.38

Correlaciones significativas a $p < 0.05$

11. Discusión

En los cuatro sitios de muestreo se obtuvieron en total 20 morfotipos con características típicas de la micorriza arbutoide ya que presentaron un tipo de ramificación simple, cruciforme con una estructura ramificada compuesta y pinnada (Molina y Trappe, 1982, Massicotte *et al.*, 1993, Molina *et al.*, 1997; Osmundson *et al.*, 2007; Navarro *et al.*, 2009; Lancellotti *et al.*, 2014; Gomes *et al.*, 2016). Los morfotipos presentaron típica colonización intracelular en las células epidérmicas de la raíz, red de Hartig de tipo paraepidermal y lobulada algunos de tipo plectenquimatoso tipo E; registrado por Kühdorf y colaboradores (2015), o de tipo transicional tipo H (Kühdorf *et al.*, 2014), con células epidérmicas visibles debido a la presencia de un manto fúngico relativamente delgado, entre 20 a 30 μm de diámetro (Mühlmann y Göbl, 2006), sin cistidios ni esclerocios (Gomes *et al.*, 2016). Observaciones similares fueron descritas por Molina y Trappe (1982) para micorrizas establecidas en asociación con *Arctostaphylos uva-ursi* y *Arbutus menziesii*, y *Arbutus unedo* (Gomes *et al.*, 2013) Massicotte y colaboradores (1993) observaron también este tipo de características entre *Arbutus menziesii* en asociación con los basidiomicetos *Pisolithus tinctorius* y *Piloderma bicolor*.

Dos de los morfotipos se lograron determinar al comparar las características morfológicas y anatómicas, el morfotipo ARB 3 con *Cenococcum geophilum* (Agerer y Gronbach, 1988) y el morfotipo ARB 14 afín al género *Tomentella* de la familia Thelephoraceae. *Cenococcum geophilum* es fácil de identificar por su color negro con hifas emanantes (gruesas y rectas) y superficie del manto compacto y granuloso al microscopio estereoscópico, como lo descrito por Ingleby y colaboradores (1990). Este tipo de micorrizas también se observaron en las raíces de *Arbutus unedo* (Richard *et al.*, 2005); incluso esta se reportó asociado con *Pinus montezumae* en el Chichinautzin y Guespalapa (Reverchon *et al.*, 2010). Por otro lado, *Tomentella* se ha registrado como simbionte en la micorriza arbutoide en árboles de *Arbutus unedo* en bosques del mediterráneo (Richard *et al.*, 2005) y especies de este género también se han encontrado en los mismos sitios de estudio, aunque asociado a *Pinus montezumae*

(Reverchon *et al.*, 2010). En *Arbutus unedo*, Richard y colaboradores (2005) detectaron molecularmente que 25% de la diversidad la familia Thelephoraceae la más representada. Courty y colaboradores (2008) analizaron en un bosque templado de roble la estructura de hongos ectomicorrízicos, e identificaron al micobionte por técnicas moleculares. Estos investigadores hallaron que la comunidad estaba dominada por especies de las familias Tomentellaceae, Russulaceae, Cortinariaceae y Boletales; y solo cuatro especies: *Lactarius quietus*, *Tomentella sublilacina*, *Cenococcum geophilum* y *Russula* sp1, fueron los más abundantes; esto muestra que la distribución de las especies ectomicorrízicas e incluso ARB, podrían explicarse por sus preferencias ecológicas, impulsadas por factores como la longevidad de las raíces de las plantas, la competencia por los recursos y la resistencia a la variabilidad ambiental. En otro estudio realizado en bosques de roble, investigadores analizaron las especies de una comunidad ectomicorrízica, y encontraron 36 morfotipos identificados por medio de la secuenciación de DNAr; dentro de los morfotipos ectomicorrízicos encontraron que los géneros *Tomentella* y *Lactarius* fueron predominantes (Buée *et al.*, 2007).

Aun cuando la caracterización morfológica de los ápices se describió morfológica y microscópicamente, la identificación taxonómica del hongo asociado a la micorriza arbutoide no pudo ser determinada, ya que poco se conoce de los simbiontes fúngicos que forman micorriza arbutoide (Galindo *et al.*, 2015). Para obtener la identidad del micobionte, es necesario realizar análisis moleculares que, al comparar con bases de genes, dilucidan las especies o géneros fúngicos asociados y que además permitan llevar a cabo la identificación del hospedero (Gardes y Bruns, 1993; Horton y Bruns, 2001; Osmundson *et al.*, 2007; Galindo *et al.*, 2015; Kühdorf *et al.*, 2016). En este estudio se identificó al hospedero como *Arbutus xalapensis* porque las raíces colonizadas por micorrizas ARB presentaron coloración de la epidermis pardo-rojiza, acentuándose este último tono con corteza muy delgada y se presenta agrietada en algunas partes longitudinalmente (Berdonces y Serra, 2010).

El estudio anatómico detallado de los morfotipos arbutoides asociados a *Arbutus xalapensis* sí permitieron reconocer distintas morfoespecies en los sitios de muestreo. Cuatro de los morfotipos (ARB 5, 8, 12 y 16) fueron exclusivos, uno en cada sitio de muestreo en particular. Por otro lado, tampoco es absoluto decir que estos morfotipos ARB exclusivos no pudieran ser encontrados en los otros sitios de estudio, dado que no se alcanzó a conocer la riqueza total de morfoespecies según lo indicó la curva de acumulación de morfotipos ARB, además de que no hay trabajos realizados en campo en relación al esfuerzo de muestreo.

En cuanto a la abundancia de los ápices ARB, tres fueron los más abundantes (morfotipos ARB 1, 3 y 9). El morfotipo 3, *Cenococcum geophilum*, se presentó en los dos suelos de los cuatro sitios muestreo. Se sabe que esta especie es cosmopolita y de muy amplia distribución en todo tipo de suelos: a través del análisis molecular en *Arbutus unedo* en un bosque mediterráneo dominado por *Quercus ilex*, *Cenococcum geophilum* fue la especie dominante entre 30 plantas muestreadas (Richard *et al.*, 2005). El género es el taxón de hongos más abundantes debido a su capacidad de resistir condiciones xéricas por la formación de esclerocios, tolerando altos niveles de estrés hídrico en época de sequía (Trappe, 1962; Pigott, 1982; Ingleby *et al.*, 1990; Hasselquist *et al.*, 2005; Gonçalves *et al.*, 2009; Obase *et al.*, 2014). El papel de este hongo ha sido intrigante para los investigadores ya que podría proporcionar protección contra las sequías a las raíces de las plantas (Jany *et al.*, 2003). Además, esta especie también se ha reportado en asociación con *Pinus montezumae* en estos mismos sitios de manera abundante (Reverchon *et al.*, 2010). En un estudio realizado por Matsuda y colaboradores (2009) analizaron la comunidad ectomicorrízica en cuatro sitios de estudio en suelos de bosques de *Pinus thunbergii*, y obtuvieron que la frecuencia de *Cenococcum geophilum* varió de 20 a 62.6% en los sitios estudiados, mencionado que *Cenococcum geophilum* es el hongo ectomicorrízico dominante ya que se distribuye de forma extendida en los bosques de pino costeros de Japón; relacionando este trabajo, la abundancia de *Cenococcum geophilum* en los sitios de estudio fue de 3.45 a 27.23% menor que el reportado por Matsuda y colaboradores (2009).

Otros trabajos realizados en suelos serpentinos la presencia de *Cenococcum geophilum* mostró tolerancia significativamente mayor al níquel (Gonçalves *et al.*, 2009), esto es a que los suelos serpentinos se caracterizan por un nivel desproporcionado de magnesio en relación con el calcio y contienen niveles fitotóxicos de níquel disponible. Estos factores pueden representar un estrés para las plantas y hongos que colonizan estos suelos. Estudios mencionan que *Cenococcum geophilum*, conocido por su amplio rango cosmopolita, proporcionando protección contra la sequía (Panaccione *et al.*, 2001).

La diversidad de los sitios fue mucho menor que en estudios similares llevados a cabo en bosques del mediterráneo con presencia de *Quercus ilex* y *Arbutus unedo* realizados con estudios moleculares, que además han sugerido que la diversidad de los árboles favorece la diversidad de hongos ectomicorrízicos a escala local (Richard *et al.*, 2005). El sitio más diverso fue el Guespalapa A, mientras que el sitio menos diverso fue el Guespalapa B, aun cuando ambos tipos de suelo presentaron características ándicas, vítricas y mólicas similares (Peña *et al.*, 2009). Además, se conoce que los suelos someros como los Leptosoles fueron más diversos en morfotipos de hongos ectomicorrízicos precisamente porque el estrés promueve que haya un mayor número de especies adaptadas y en menor abundancia (Ortega *et al.*, 2001; Reverchon *et al.*, 2010; Reverchon *et al.*, 2012), no así en los Andosoles donde la riqueza de especies es menor y con una mayor abundancia en bosques de *Pinus montezumae* en el Corredor Biológico Chichinautzin (Reverchon *et al.*, 2010).

Por otro lado, los índices de similitud entre los sitios de muestreo indican que la mitad de las especies se comparten (54%) y que fueron semejantes hasta un 80% en cuanto a su composición en morfotipos ARB. Sin embargo, estos valores son una aproximación al estudio de este tipo de micorriza ARB en México ya que se pudo observar que no se exploró la riqueza completa en este muestreo y estas similitudes pudieran ser posiblemente más bajas. Por lo que, en el ámbito ecológico el conocimiento de los distintos morfotipos ARB contribuye al entendimiento de los procesos de sucesión o recambio de especies de hongos micorrízicos en el sistema

radical de *Arbutus xalapensis*. Estos procesos repercuten en el establecimiento y supervivencia de la planta hospedera bajo distintas condiciones ambientales (Galindo *et al.*, 2015; Buée *et al.*, 2007)

Entre las variables edáficas estudiadas, solamente la concentración de fósforo (P) soluble influenció la abundancia total de los morfotipos. Los datos de la correlación muestran que la variación en la abundancia absoluta y de algunos ápices ARB (3, 6, 10, 12, 15 y 19) se relaciona positivamente con el P, pocos estudios en el mundo relacionados con micorriza ARB han explorado si este elemento sea uno de los que favorecen la abundancia de los hongos simbiotes. Sin embargo, existen estudios en ectomicorrizas, tal es el trabajo que realizaron Liu y colaboradores (2004), que aplicaron roca fosfórica a un suelo deficiente de P (Andosol) a plántulas de *Pinus radiata* de un año cultivadas, durante 10 meses en macetas y aplicaron las siguientes cantidades: 0, 50, 100 y 150 μg de suelo P g^{-1} , lo que observaron fue que a 50 $\mu\text{g P g}^{-1}$ había una mayor densidad de ápices micorrizadas, indicando que las raíces de las plántulas indujeron significativamente más la actividad de la fosfatasa en la rizosfera. Estos resultados sugieren que la conversión inducida por la raíz, de micorrizas de P orgánico a P inorgánico es uno de los principales procesos de suministro de P a las plántulas de *Pinus radiata* en suelos alófanos deficientes en P. En el presente estudio los resultados de P disponible en los sitios fueron altos; sin embargo, el muestreo del suelo en este trabajo fue algo exploratorio y es necesario realizar muestreos por núcleo o por árbol para conocer el P disponible en los suelos analizados. Los ápices ARB respondieron de manera distinta a las variables edáficas, casi todos presentaron una correlación positiva o negativa con los parámetros edáficos, por lo que las diferencias pueden responder a distintas preferencias por los hongos asociados que se adecuen a micronichos particulares de cada sitio de estudio. Aquellos morfotipos ARB (5, 8, 12 y 16) exclusivos en cada sitio pueden estar condicionados a ciertos parámetros edáficos e incluso a la estacionalidad (Becerra *et al.*, 2005; Kranabetter *et al.*, 2009). Estudios involucrados en analizar la comunidad de hongos ectomicorrízicos y su relación con los parámetros del suelo en *Alnus acuminata*, encontraron doce morfotipos ectomicorrízicos, y que además no encontraron diferencias significativas en

dos temporadas (otoño y primavera) con el suelo, además realizaron una correlación de los parámetros edáficos (pH, capacidad de campo, conductividad eléctrica, P disponible, N total y materia orgánica), donde encontraron que dos morfotipos ectomicorrízicos (*Naucoria escharoides* y *Lactarius* sp.) se correlacionaron con las dos estaciones; lo que demuestra que *Alnus acuminata* se ve afectada por algunos parámetros químicos edáficos, y además indican que estos morfotipos ectomicorrízicos pueden ser sensibles a cambios en la estacionalidad y los parámetros del suelo (Becerra *et al.*, 2005). Este estudio posiblemente fundamenta que aquellos morfotipos ARB exclusivos pudiesen ser sensibles a cambios de estacionalidad y variables edáficas. Incluso la identificación de aquellos morfotipos ARB (5, 8, 12 y 16) que no fueron exclusivos y que se localizaron en los cuatro sitios de muestreo, pueden funcionar como especies generalistas lo cual podría permitir su uso en programas de reforestación como inóculo (Nara, 2006). Las relaciones proporcionales entre el contenido de carbono, nitrógeno, magnesio y potasio muestran que la actividad biológica es alta y su balance de nutrimentos es eutrófico debido a que los análisis se hicieron en muestras del horizonte orgánico donde se establecen las micorrizas (Smith y Read, 1997; Lilleskov y Bruns, 2001; Kernaghan, 2005; Bois *et al.*, 2006; Kranabetter y MacKenzie, 2010).

Como se muestra en este trabajo no se encontraron diferencias significativas en la riqueza de los morfotipos entre los distintos suelos y sitios, pero sí se observó diferencia de la abundancia de los ápices ARB entre el Chichinautzin y los demás sitios.

Es importante indicar que pocas investigaciones en el mundo mencionan la contribución ecológica de los arbustos y árboles de los géneros *Arbutus* y *Arctostaphylos* en el mantenimiento de la diversidad de hongos formadores de ectomicorrizas, los cuales tienen un gran espectro de huéspedes con los cuales se pueden asociar, (Trappe, 1962; Molina *et al.*, 1992; Smith y Read, 1997) como con especies de la familia Pinaceae y otras (Amaranthus y Perry, 1988; Perry y Amaranthus, 1989; Richard *et al.*, 2005). Otras investigaciones comprueban que los géneros *Arbutus* y *Arctostaphylos* presentan una baja especificidad micorrízica y

pueden desempeñar un papel importante en la sucesión forestal proporcionando las redes de micorrizas compartidas que apoyan el establecimiento de árboles como *Pseudotsuga menziesii* (Molina y Trappe, 1982; Massicotte *et al.*, 1993; Horton *et al.*, 1999; Nara, 2006; Kennedy *et al.*, 2012).

Este es el primer trabajo que permite conocer la diversidad micorrízica de tipo ARB que alberga *Arbutus xalapensis* en los suelos de estudio y en México. Estudio de relevancia tomando en cuenta que este país alberga la mayor diversidad (67%) de especies de *Arbutus* en el mundo y que no existe ningún estudio respecto a este tipo de simbiosis en México. Se debe considerar que en México existen altas tasas de deforestación en los bosques y que *Arbutus xalapensis* podría funcionar como una especie facilitadora en el establecimiento de *Pinus montezumae* en los suelos del Corredor Biológico Chichinautzin. La continuación de este trabajo es emplear herramientas moleculares para identificar los simbiontes asociados las distintas micorrizas ARB registradas.

12. Conclusiones

La caracterización de los morfotipos asociados al madroño (*Arbutus xalapensis*) fueron 20, de los cuales solo dos se identificaron por sus características morfológicas y anatómicas, el morfotipo ARB 3 *Cenococcum geophilum* y el morfotipo ARB 14 afín al género *Tomentella*.

Existen morfotipos que fueron exclusivos en cada sitio en el Guespalapa A (morfotipo ARB 5), Guespalapa B (morfotipo ARB 8), Chichinautzin (morfotipo ARB 12) y el Xitle (morfotipo ARB 16). Los sitios de muestreo mostraron al menos un 57% de parecido en relación a la riqueza de morfotipos ARB llegando hasta 80% de similitud.

El sitio con un alto índice de diversidad fue el Guespalapa A. Los morfotipos ARB 1, 3 y 9 fueron los más abundantes en ambos suelos, sin embargo, el Chichinautzin

presentó la mayor abundancia de ápices ARB que los otros sitios; por lo que estos pueden emplearse como especies generalistas en proyectos de reforestación en los bosques del Corredor Biológico Chichinautzin.

Este trabajo demuestra que no existe relación estadística entre los morfotipos y abundancia de los ápices ARB asociados a *Arbutus xalapensis* con los suelos y sitios de estudio.

Este proyecto es una aproximación inicial en el conocimiento de la riqueza y diversidad de los morfotipos micorrízicos ARB asociadas a *Arbutus xalapensis* en el Corredor Biológico Chichinautzin. A pesar de las limitaciones de este estudio, los datos generados son de gran importancia dado que no existe información acerca de este tipo de asociación en *Arbutus xalapensis*. Sería interesante estudiar a fondo las especies de hongos que forman este tipo de asociación y poder trabajar en programas de reforestación para facilitar el establecimiento de *Pinus montezumae* en el Corredor Biológico Chichinautzin.

13. Recomendaciones

Realizar la identificación de la especie fúngica que se asocia a cada morfotipo ARB descrito por medio de técnicas moleculares de DNA.

Para llegar a la asíntota de la curva de acumulación de los morfotipos ARB por sitio pueden realizarse muestreos en más de cuatro árboles de madroño, considerando las características fenológicas del madroño.

Realizar muestreos y análisis físico-químicos de suelo por núcleo o por árbol para elaborar un análisis estadístico de correlación con los nutrientes del suelo y los morfotipos ARB.

14. Literatura citada

- Acsai J, Largent DL. 1983.** Fungi Associated with *Arbutus menziesii*, *Arctostaphylos manzanita*, and *Arctostaphylos uva-ursi* in Central and Northern California. *Mycologia* **75**(3): 544-547.
- Agerer R. 1987-2002.** *Colour Atlas of Ectomycorrhizae*. Einhorn -Verlag. Schwäbisch Gmünd, Alemania.
- Agerer R, Gronbach E. 1988.** *Cenococcum geophilum*. In: Agerer, R. (ed.). *Colour Atlas of Ectomycorrhizae*, plate 11. Einhorn-Verlag, Schwäbisch Gmünd, Alemania.
- Agerer R, Rambold G. 2004-2014.** DEEMY - An Information System for Characterization and Determination of Ectomycorrhizae. www.deemy.de, fecha de consulta: 10 de enero de 2018:
- Amaranthus MP, Perry DA. 1988.** Interaction effects of vegetation type and Pacific madrone soil inocula on survival, growth, and mycorrhiza formation of Douglas-fir. *Canadian Journal Forest* **19**: 550-556.
- Arocena JM, Glowa KR. 2000.** Mineral weathering in ectomycorrhizosphere of subalpine fir (*Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt.) as revealed by soil solution composition. *Forest Ecology. Management.* **133**: 61–70.
- Axelrod DI. 1975.** Evolution and biogeography of MadreanTethyan sclerophyll vegetation. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **62**: 280-334.
- Barros L, Carvalho AM, Morais JS, Ferreira ICFR. 2010.** Strawberry-tree, blackthorn and rose fruits: Detailed characterisation in nutrients and phytochemicals with antioxidant properties. *Food Chemistry* **120**(1): 247-254.
- Becerra A, Pritsch K, Arrigo N, Palma M, Bartoloni N. 2005.** Ectomycorrhizal colonization of *Alnus acuminata* Kunth in northwestern Argentina in relation to season and soil parameters. *Annals of Forest Science* **62**(4): 325-332.
- Benito B, González-Guerrero M. 2014.** Unravelling potassium nutrition in ectomycorrhizal associations. *New Phytologist* **201**(3): 707-709.
- Berdonces JL, Serra JLB. 2010.** *Gran enciclopedia de las plantas medicinales: diccionario de plantas medicinales*: Océano Ámbar.
- Berner RA, Cochran MF. 1998.** Plant-induced weathering of Hawaiian basalts. *Journal of Sedimentary Research* **68**: 723–726
- Bonfante FP, Berta G, Gianinazzi PV. 1981.** Ultrastructural aspects of endomycorrhizas in the Ericaceae II. *New Phytologist* **89**(2): 219-224.

- Bois GJ, Bigras F, Bertrand A, Piché Y, Fung MYP, Khasa DP. 2006.** Ectomycorrhizal fungi affect the physiological responses of *Picea glauca* and *Pinus banksiana* seedlings exposed to an NaCl gradient.
- Brundrett M. 2004.** Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews* **79**(3): 473-495.
- Bruns TD. 1995.** Thoughts on the processes that maintain local species diversity of ectomycorrhizal fungi. *Plant and Soil* **170**: 63-73.
- Buée M, Courty PE, Mignot D, Garbaye J. 2007.** Soil niche effect on species diversity and catabolic activities in an ectomycorrhizal fungal community. *Soil Biology and Biochemistry* **39**(8): 1947-1955.
- Colpaert JV, van Tichelen KK. 1996.** Decomposition, nitrogen and phosphorus mineralization from beech leaf litter colonized by ectomycorrhizal or litterdecomposing basidiomycetes. *New Phytologist* **134**: 123-132.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2014.** Diagnóstico fitosanitario de la vegetación en ecosistemas prioritarios de Aguascalientes. SEMARNAT. Aguascalientes. 84pp.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2017.** Corredor Biológico Chichinautzin. <http://chichinautzin.conanp.gob.mx/>, fecha de consulta: 10 de enero de 2018.
- Courty PE, Franc A, Claude PJ, Garbaye J. 2008.** Temporal Changes in the Ectomycorrhizal Community in Two Soil Horizons of a Temperate Oak Forest. *Applied and environmental microbiology AEM* (18).
- Cox HT. 1948.** Studies in the Comparative Anatomy of the Ericales. II. Ericaceae-Subfamily Arbutioideae. *The American Midland Naturalist* **40**(2): 493-516.
- Dutton MV, Evans CS. 1996.** Oxalate production by fungi: Its role in pathogenicity and ecology in the soil environment. *Canadian Journal Microbiology*. **42**: 881–895.
- Durall DM, Gamiet S, Simard SW, Kudrna L, Sakakibara SM. 2006.** Effects of clearcut logging and tree species composition on the diversity and community composition of epigeous fruit bodies formed by ectomycorrhizal fungi. *Canadian Journal of Botany* **84**(6): 966-980.
- Durall RD. 2004.** Mycorrhizal fungi and their multifunctional roles. *Mycologist* **18**: 91-96.
- Fontaine L, Thiffault N, Paré D, Fortin JA, Piché Y. 2016.** Phosphate-solubilizing bacteria isolated from ectomycorrhizal mycelium of *Picea glauca* are highly efficient at fluorapatite weathering. *Botany* **94**(12): 1183-1193.

- Fortalezas S, Tavares L, Pimpao R, Tyagi M, Pontes V, Alves PM, McDougall G, Stewart D, Ferreira RB, Santos CN. 2010.** Antioxidant Properties and Neuroprotective Capacity of Strawberry Tree Fruit (*Arbutus unedo*). *Nutrients* **2**: 214-229.
- Fusconi A, Bonfante FP. 1984.** Ultrastructural aspects of host-endophyte relationships in *Arbutus unedo* L. mycorrhizas. *New Phytologist* **96**: 397-410.
- Gadd GM. 1999.** Fungal production of citric and oxalic acid: Importance in metal speciation, physiology and biogeochemical processes. *Advances in Microbial Physiology* **41**: 47–92.
- Galindo FG, Castillo GC, Campos LA, Lara C. 2015.** Caracterización de las ectomicorrizas formadas por *Laccaria trichodermophora* y *Suillus tomentosus* en *Pinus montezumae*. *Botanical Sciences* **93**: 855-863.
- Garbaye J. 1994.** Helper bacteria – a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* **128**: 197-210.
- Gardes M, Bruns TD. 1993.** ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular ecology* **2**(2): 113-118.
- Gomes F, Machado H, San Martin E, Portugal A, Canhoto JM. 2013.** Mycorrhizal synthesis between *Pisolithus arhizus* and adult clones of *Arbutus unedo* in vitro and in nursery. *Journal of Forestry Research* **24**(4): 659–670
- Gomes F, Suárez D, Santos R, Silva M, Gaspar D, Machado H. 2016.** Mycorrhizal synthesis between *Lactarius deliciosus* and *Arbutus unedo* L. *Mycorrhiza* **26**(3): 177-188.
- Gonçalves SC, Martins LMA, Freitas H. 2009.** Evidence of adaptive tolerance to nickel in isolates of *Cenococcum geophilum* from serpentine soils. *Mycorrhiza* **19**(4): 221-230.
- González EMS, González EM. 1992.** Una nueva especie de *Arbutus* (Ericaceae, Arbutoideae) de la Sierra Madre Occidental, México. *Acta Botánica Mexicana* **17**: 7-12.
- González EMS, González EM. 2014.** Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes: Familia Ericaceae. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 128 pp.
- González EMS, González EM, Sørensen PD. 2012.** *Arbutus bicolor* (Ericaceae, Arbuteae), a new species from Mexico. *Acta Botánica Mexicana* **99**: 55-72.

- Gorissen A, Kuyper ThW. 2000.** Fungal species-specific responses of ectomycorrhizal Scots pine (*Pinus sylvestris*) to elevated [CO₂]. *New Phytologist* **146**: 163–168.
- Gorzalak MA, Hambleton S, Massicotte HB. 2012.** Community structure of ericoid mycorrhizas and root-associated fungi of *Vaccinium membranaceum* across an elevation gradient in the Canadian Rocky Mountains. *Fungal Ecology* **5**: 36-45.
- Guimarães R, Barros L, Dueñas M, Carvalho AM, Queiroz MJRP, Santos-Buelga C, Ferreira ICFR. 2013.** Characterisation of phenolic compounds in wild fruits from Northeastern Portugal. *Food Chemistry* **141**(4): 3721-3730.
- Hasselquist N, Germino MJ, McGonigle T, Smith WK. 2005.** Variability of *Cenococcum* colonization and its ecophysiological significance for young conifers at alpine–treeline. *New Phytologist* **165**(3): 867-873.
- Hileman LC, Vasey MC, Parker VT. 2001.** Phylogeny and Biogeography of the Arbutioideae (Ericaceae): Implications for the Madrean-Tethyan Hypothesis: American Society of Plant Taxonomists. *Systematic Botany* **26**(1): 131–143.
- Horton TR, Bruns TD. 2001.** The molecular revolution in ectomycorrhizal ecology: peeking into the black-box. *Molecular ecology* **10**(8): 1855-1871.
- Horton TR, Bruns TD, Parker VT. 1999.** Ectomycorrhizal fungi associated with *Arctostaphylos* contribute to *Pseudotsuga menziesii* establishment. *Canadian Journal of Botany* **77**(1): 93-102.
- Ingleby K, Mason PA, Last FT, Fleming LV. 1990.** Identification of ectomycorrhizas. Institute of Terrestrial Ecology Research, Publication no. 5, HMSO, Edinburgo.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2008.** Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2006. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- IUSS Working Group WRB. 2014.** World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Izzo A, Agbowo J, Bruns TD. 2005.** Detection of plot-level changes in ectomycorrhizal communities across years in an old-growth mixed-conifer forest. *New Phytologist* **166**(2): 619-630.
- Jany J, Martin F, Garbaye J. 2003.** Respiration activity of ectomycorrhizas from *Cenococcum geophilum* and *Lactarius* sp. in relation to soil water potential in five beech forests. *Plant and Soil* **255**: 487-494.
- Jones DL. 1998.** Organic acids in the rhizosphere –a critical review. *Plant Soil* **205**: 25–44.

- Kennedy PG, Smith DP, Horton TR, Molina RJ. 2012.** *Arbutus menziesii* (Ericaceae) facilitates regeneration dynamics in mixed evergreen forests by promoting mycorrhizal fungal diversity and host connectivity. *American Journal Of Botany* **99**(10): 1691-1701.
- Kernaghan G. 2005.** Mycorrhizal diversity: Cause and effect? *Pedobiologia* **49**: 511-520.
- Kong A, Cifuentes J, Estrada TA, Guzmán DL, Garibay OR, Buyck B. 2015.** Russulaceae Associated with Mycoheterotroph *Monotropa uniflora* (Ericaceae) in Tlaxcala, Mexico: A Phylogenetic Approach. *Cryptogamie, Mycologie*. **36**(4): 479-512.
- Kranabetter JM, Durall DM, MacKenzie WH. 2009.** Diversity and species distribution of ectomycorrhizal fungi along productivity gradients of a southern boreal forest. *Mycorrhiza* **19**: 99-111.
- Kranabetter JM, MacKenzie WH. 2010.** Contrasts Among Mycorrhizal Plant Guilds in Foliar Nitrogen Concentration and $\delta^{15}\text{N}$ Along Productivity Gradients of a Boreal Forest. *Ecosystems* **13**: 108-117.
- Krpata D, Mühlmann O, Kuhnert R, Ladurner H, Göbl F, Peintner U. 2007.** High diversity of ectomycorrhizal fungi associated with *Arctostaphylos uva-ursi* in subalpine and alpine zones: Potential inoculum for afforestation. *Forest Ecology and Management* **250**(3): 167.
- Kühdorf K, Münzenberger B, Begerow D, Gómez-Laurito J, Hüttl RF. 2015.** *Leotia* cf. *lubrica* forms arbutoid mycorrhiza with *Comarostaphylis arbutoides* (Ericaceae). *Mycorrhiza* **25**(2): 109-120.
- Kühdorf K, Münzenberger B, Begerow D, Gómez-Laurito J, Hüttl RF. 2016.** Arbutoid mycorrhizas of the genus *Cortinari* from Costa Rica. *Mycorrhiza* **26**(6): 497-513.
- Kühdorf K, Münzenberger B, Begerow D, Karasch WC, Gómez LJ, Hüttl R. 2014.** *Sebacina* sp. is a mycorrhizal partner of *Comarostaphylis arbutoides* (Ericaceae). *Mycological Progress* **13**(3): 733.
- Kunth AJ, Schrönder WH, Bauch J. 2000.** The kinetics of calcium and magnesium entry into mycorrhizal spruce roots. *Plants* **210**: 488-496.
- Lancellotti E, Iotti M, Zambonelli A, Franceschini A. 2014.** Characterization of *Tuber borchii* and *Arbutus unedo* mycorrhizas. *Mycorrhiza* **24**: 481-486.
- Leopold DR. 2016.** Ericoid fungal diversity: Challenges and opportunities for mycorrhizal research. *Fungal Ecology* **24**: 114-123.

- Lilleskov EA, Bruns TD. 2001.** Nitrogen and ectomycorrhizal fungal communities: what we know, what we need to know. . *New Phytologist* **149**: 154-158.
- Liu Q, Loganathan P, Hedley MJ, Skinner MR. 2004.** The mobilisation and fate of soil and rock phosphate in the rhizosphere of ectomycorrhizal *Pinus radiata* seedlings in an Allophanic soil. *Plant and Soil* (1/2): 219.
- Márquez A, Verma SP, Anguita F, Oyarzun R, Brandle JL. 1999.** Tectonics and volcanism of the Sierra Chichinautzin: extension at the front of the Central TransMexican Volcanic Belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (93): 125-150.
- Massicotte HB, Melville LH, Li CY, Peterson RL. 1992.** Structural aspects of Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] tuberculate ectomycorrhizae. *Trees* **6**(3): 137-146.
- Massicotte HB, Melville LH, Peterson RL, Molina R. 1993.** Structure and histochemistry of mycorrhizae synthesized between *Arbutus menziesii* (Ericaceae) and two basidiomycetes, *Pisolithus tinctorius* (Pisolithaceae) and *Piloderma bicolor* (Corticaceae). *Mycorrhiza* **3**(1): 1-11.
- Massicotte HB, Molina R, Luoma DL, Smith JE. 1994.** Biology of the Ectomycorrhizal Genus, *Rhizopogon*. II. Patterns of Host- Fungus Specificity Following Spore Inoculation of Diverse Hosts Grown in Monoculture and Dual Culture: Cambridge University Press. 677.
- Matsuda Y, Hayakawa N, Ito S. 2009.** Local and microscale distributions of *Cenococcum geophilum* in soils of coastal pine forests. *Fungal Ecology* **2**(1): 31-35.
- Miguel MG, Faleiro L, Guerreiro AC, Antunes MD. 2014.** *Arbutus unedo* L.: Chemical and Biological Properties. *Molecules* **19**: 15799-15823.
- Missouri Botanical Garden. 2017.** Ericaceae. <http://www.missouribotanicalgarden.org>, fecha de consulta: 10 de enero de 2018.
- Molina R, Smith JE, McKay D, Melville LH. 1997.** Biology of the ectomycorrhizal genus, *Rhizopogon*. III. Influence of co-cultured conifer species on mycorrhizal specificity with the arbutoid hosts *Arctostaphylos uva-ursi* and *Arbutus menziesii*. *New Phytologist* **137**: 519-528.
- Molina R, Trappe JM. 1982.** Lack of mycorrhizal specificity by the Ericaceous hosts *Arbutus menziesii* and *Arctostaphylos uva-ursi*. *New Phytologist* **90**(3): 495.
- Montoya PLE. 2016.** Estudio demográfico de *Arbutus xalapensis*, Kunth (Ericaceae) en el Bosque de Tlalpan, Distrito Federal, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, México.

- Morrone JJ, Espinosa O, David, Llorente B, Jorge. 2002.** Mexican Biogeographic Provinces: Preliminary scheme, general characterizations, and synonymies. *Acta Zoológica Mexicana* **85**: 83-108.
- Morte A, Díaz G, Rodríguez P, Alarcón JJ, Sánchez BM. 2001.** Growth and water relations in mycorrhizal and nonmycorrhizal *Pinus halepensis* plants in response to drought. *Biologia. Plantarum* **44**(2): 263-267.
- Mosele JI, Macià A, Romero MP, Motilva MJ. 2016.** Stability and metabolism of *Arbutus unedo* bioactive compounds (phenolics and antioxidants) under in vitro digestion and colonic fermentation. *Food Chemistry* **201**: 120-130.
- Mühlmann O, Göbl F. 2006.** Mycorrhiza of the host-specific *Lactarius deterrimus* on the roots of *Picea abies* and *Arctostaphylos uva-ursi*. *Mycorrhiza* **16**(4): 245-250.
- Münzenberger B, Kottke I, Oberwinkler F. 1992.** Ultrastructural investigations of *Arbutus unedo*-*Laccaria amethystea* mycorrhiza synthesized in vitro. *Trees* **7**(1): 40-47.
- Nara K. 2006.** Ectomycorrhizal Networks and Seedling Establishment during Early Primary Succession. *New Phytologist* **169**: 169-178.
- Naseby DC, Lynch JM. 1998.** Soil enzymes and microbial population structure to determine the impact of wild type and genetically modified *Pseudomonas fluorescens* in the rhizosphere of pea. *Molecular Ecology* **7**:617–625.
- Naseby DC, Pascual JA, Lynch JM. 1999.** Carbon fractions in the rhizosphere of pea inoculated with 2,4 diacetylphloroglucinol producing and non-producing *Pseudomonas fluorescens* F113. *Journal of Applied Microbiology* **87**(1): 173-181.
- Navarro GA, Sánchez BMJ, Morte A, Bañón ÁSdP. 2009.** The influence of mycorrhizal inoculation and paclobutrazol on water and nutritional status of *Arbutus unedo* L. *Environmental and Experimental Botany* **66**: 362-371.
- Navarro GA, Bañón ÁSdP, Morte A, Sánchez BMJ. 2011.** Effects of nursery preconditioning through mycorrhizal inoculation and drought in *Arbutus unedo* L. plants. *Mycorrhiza* **21**: 53-64.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.** Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Segunda sección. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial. 2002.
- Obase K, Douhan GW, Matsuda Y, Smith ME. 2014.** Culturable fungal assemblages growing within *Cenococcum sclerotia* in forest soils. *FEMS Microbiology Ecology* **90**(3): 708-717.

- Ochs M. 1996.** Influence of humified and nonhumified natural organic compounds on mineral dissolution. *Chemical Geology*. **132**: 119–124.
- Oliveira I, Baptista P, Bento A, Pereira JA. 2011.** *Arbutus unedo* L. and its benefits on human health. *Journal of Food and Nutrition Research* **50**(2): 73-85.
- Ortega, LMdP, Siebe C, Bécard G, Méndez I, Webster R. 2001.** Impact of a century of wastewater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal spores in the soil of the Mezquital Valley of Mexico. *Applied Soil Ecology* **16**(2): 149-157.
- Osmundson TW, Halling RE, den Bakker HC. 2007.** Morphological and molecular evidence supporting an arbutoid mycorrhizal relationship in the Costa Rican páramo. *Mycorrhiza* **17**(3): 217-222.
- Panaccione DG, Sheets NL, Miller SP, Cumming JR. 2001.** Diversity of *Cenococcum geophilum* Isolates from Serpentine and Non-Serpentine Soils. *Mycologia* **93**(4): 645-652.
- Peña RVM, Vázquez SL, Siebe C. 2009.** Soil organic carbon stocks and forest productivity in volcanic ash soils of different age (1835–30,500 years B.P.) in Mexico. *Geoderma* **149**: 224-234.
- Perry DA, Amaranthus MP. 1989.** Interaction effects of vegetation type and Pacific madrone soil inocula on survival, growth, and mycorrhiza formation of Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research* **19**(5): 550.
- Peterson RL, Massicotte HB. 2004.** Exploring structural definitions of mycorrhizas, with emphasis on nutrient-exchange interfaces. *Canadian Journal of Botany* **82**(8): 1074-1088.
- Peterson RL, Melville LH, Massicotte HB. 2004.** *Mycorrhizas : Anatomy and Cell Biology*. NRC Research Press. Ottawa. 182 pp.
- Pritchett W. 1991.** Suelos forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial LIMUSA-Grupo Noriega Editores. México.
- Read DJ. 1996.** The Structure and Function of the Ericoid Mycorrhizal Root. *Annals of Botany* **77**(4): 365-374.
- Read DJ, Leake JR, Perez MJ. 2004.** Mycorrhizal fungi as drivers of ecosystem processes in heathland and boreal forest biomes. *Canadian Journal of Botany* **82**(8): 1243-1263.
- Reverchon F, Ortega LMdP, Bonilla RG, Pérez MJ. 2012a.** Structure and species composition of ectomycorrhizal fungal communities colonizing seedlings and adult trees of *Pinus montezumae* in Mexican neotropical forests. *FEMS Microbiology Ecology* **80**(2): 479-487.

- Reverchon F, Ortega LMdP, Pérez MJ. 2015.** Structure and diversity of ectomycorrhizal resistant propagules in *Pinus montezumae* neotropical forests and implications for seedling establishment. *Mycoscience* **56**(2): 214-223.
- Reverchon F, Ortega LMdP, Pérez MJ, Peña RVM, Siebe C. 2010.** Changes in community structure of ectomycorrhizal fungi associated with *Pinus montezumae* across a volcanic soil chronosequence at Sierra Chichinautzin, Mexico. *Canadian Journal of Forest Research* **40**(6): 1165-1174.
- Reverchon F, Ortega LMdP, Pérez MJ. 2012b.** Soil factors influencing ectomycorrhizal sporome distribution in neotropical forests dominated by *Pinus montezumae*, Mexico. *Mycoscience* **53**: 203-210.
- Richard F, Millot S, Gardes M, Selosse MA 2005.** Diversity and specificity of ectomycorrhizal fungi retrieved from an old-growth Mediterranean Forest Dominated by *Quercus ilex*. *New Phytologist* **166**: 1011–1023.
- Rivett MF. 1924.** The Root-tubercles in *Arbutus unedo*. *Annals of Botany* **38**(152): 661-677.
- Rocha VT, Granados MdCR, Valerio PD. 2014.** Influencia de la maduración del fruto de *Arbutus xalapensis* Kunth sobre la germinación de semillas y embriones cigóticos. *Polibotánica* (37): 79-92.
- Rzedowski GCdJ, Rzedowski J y colaboradores. 2005.** Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro (Michoacán). 1406 pp
- Setaro S, Kottke I, Oberwinkler F. 2006a.** Anatomy and ultrastructure of mycorrhizal associations of neotropical Ericaceae. *Mycological Progress* **5**(4): 243-254.
- Setaro S, Weiß M, Oberwinkler F, Kottke I. 2006b.** Sebacinales Form Ectendomycorrhizas with *Cavendishia nobilis*, a Member of the Andean Clade of Ericaceae, in the Mountain Rain Forest of Southern Ecuador. *New Phytologist* **169**(2): 355-365.
- Shannon CE, Weaver W. 1949.** The Mathematical Theory of Communication University of Illinois Press, Urbana.
- Siebe C. 2000.** Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **104**: 45-64.
- Siebe C, Macías JL. 2006.** Volcanic hazards in the Mexico City metropolitan area from eruptions at Popocatepetl, Nevado de Toluca, and Jocotitlán stratovolcanoes and monogenetic scoria cones in the Sierra Chichinautzin Volcanic Field. *Geological Society of America Special Papers* **402**: 253-329.

- Siebe C, Rodríguez LV, Schaaf P. 2004a.** Radiocarbon ages of Holocene Pelado, Guespalapa, and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico City: Implications for archaeology and future hazards. *Bulletin of Volcanology* **66**: 203-225.
- Siebe C, Rodríguez LV, Schaaf P, Abrams M. 2004b.** Geochemistry Sr-Nd isotope composition, and tectonic setting of Holocene Pelado, Guespalapa and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **130**: 197-226.
- Silva L, Romero FJ, Velázquez A, Almeida-Leñero L. 1999.** La vegetación de la región de la montaña del sur de la Cuenca de México. *Editado por*. A. Velázquez, D. F., México. 65-92.
- Small JK. 1914.** Ericaceae. *North American Flora* **29**: 33-102.
- Smith SE, Read DJ. 1997.** *Mycorrhizal symbiosis*. Segunda edición. Academic Press. Mew York. 181 pp.
- Sørensen PD. 1987.** *Arbutus tessellata* (Ericaceae), New from Mexico. *Brittonia* **39**(2): 263-267.
- Sørensen T. 1948.** A method of establishing group of equal amplitude in plant sociology based on similarity in species content and application to analyses of the vegetation on danish commons. *Danske Vidensk Selsk* **5**: 1-34.
- Stevens PF. 1971.** A classification of the Ericaceae: subfamilies and tribes. *Botanical Journal of the Linnean Society* **64**(1): 1-53.
- Tisdale S, Nelson W. 1988.** Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Editorial LIMUSA. México.
- Teste FP, Schmidt MG, Berch SM, Bulmer C, Egger KN. 2004.** Effects of ectomycorrhizal inoculants on survival and growth of interior Douglas-fir seedlings on reforestation sites and partially rehabilitated landings. *Canadian Journal of Forest Research* **34**(10): 2074-2088.
- Trappe JM. 1962.** *Cenococcum graniforme* - Its distribution, ecology, mycorrhiza formation, and inherent variation. Tesis de Doctorado. University of Washington.
- University of Coimbra. 2009.** Portugal/WEST GMT S132. https://www.uc.pt/grasses/Divers_fungica/tipos_de_micorrizas, fecha de consulta 10 de enero 2018.
- Van Breemen N. 2000.** Mycorrhizal weathering: A true case of mineral plant nutrition? *Biogeochemistry* **49**: 53-67.
- Velázquez A, Medina C, Reygadas D. 2010.** Síntesis geobotánica de las tierras Ajusco-Chichinautzin. *Investigación ambiental* **2**(1): 5-24.

- Wallander H, Wickman T. 1999.** Biotite and microcline as potassium sources in ectomycorrhizal and non-mycorrhizal *Pinus sylvestris* seedlings. *Mycorrhiza* **9**: 25–32.
- Wallander H. 2000.** Use of strontium isotopes and foliar K content to estimate weathering of biotite induced by pine seedlings colonised by ectomycorrhizal fungi from two different soils. *Plant and Soil* **222**: 215-229.
- Wallander H, Johanson L, Pallon J. 2002.** PIXE analysis to estimate the elemental composition of ectomycorrhizal rhizomorphs grown in contact with different minerals in forest soil. *Microbiology Ecology* **39**: 147-156.
- Zak B. 1974.** Ectendomycorrhiza of pacific madrone (*Arbutus menziesii*). *Transactions of the British Mycological Society* **62**(1): 202-216.
- Zak B. 1976a.** Pure culture synthesis of bearberry mycorrhizae. *Canadian Journal of Botany* **54**(12): 1297-1305.
- Zak B. 1976b.** Pure Culture Synthesis of Pacific Madrone Ectendomycorrhizae. *Mycologia* **68**(2): 362-369.

15. Anexos

Anexo 1

Descripción botánica de la especie en estudio *Arbutus xalapensis* Kunth in Humb., Bonpl. & Kunth. Tomado de Rzedowski y colaboradores (2005).

Sinonimia: *Arbutus glandulosa* Mart. & Gal., *Arbutus macrophylla* Mart. & Gal., *Arbutus prunifolia* Kl., *Arbutus varians* Benth.

Nombres comunes: madroños, manzanita, panan chén (lengua purépecha), panangsi, amazaquitl, flora de pulca, guayabillo, guayavillo, guijote, indio desnudo, ja'mal (lengua tzeltal), jarrito, korúvasi o kurúvasi (lengua tarahumara), madrón, madroña, madroño colorado, manzanita, niño encuero, nuzundu, nuzundu pách-sich-ách (lengua mixe), xoxocote, yaa yaana', ya-hatzii (lengua trique) (González y González, 2014).

Descripción. Árbol o arbusto perennifolio que puede medir de 3 a 6 (15) m de alto, su corteza es de tipo exfoliante que expone colores del tronco naranja, rosa, rojo intenso, canela e incluso gris. Presenta hojas simples, alternas, coriáceas, de oblongas a ovado-elípticas, de 5 a 11 cm de largo por 2 a 6 cm de ancho, tiene un ápice agudo u obtuso, haz glabro o pubescente y peciolo de 2 a 4 cm, base atenuada a subcordada, margen liso o irregularmente dentado, haz glabro o pubescente, con frecuencia densamente piloso hacia la base de la lámina y a lo largo de la nervadura central, el envés casi siempre pubescente, algunas veces densamente lanoso; inflorescencia en forma de panícula terminal. Produce flores pequeñas en racimos o panículas terminales de 6 a 9 mm de largo sobre peciolos rojizos, cada flor presenta una bráctea y dos pequeñas bractéolas con un cáliz cuyos lóbulos son agudos en el margen y una corola blanca o ligeramente rosa; anteras con un par de espolones (antofilos) finamente tuberculados; ovario con hasta 10 óvulos por lóculo. Sus frutos son bayas de 7 a 9 mm de diámetro, de color rojo brillante, naranja o amarillo. Cada fruto contiene

de una a diez semillas fusiformes de 2 a 3mm de largo de color marrón. Es perennifolio, florece durante abril y mayo, y fructifica entre julio y agosto (Montoya, 2016).

Distribución y asociación vegetal: Se distribuye desde el sur de Estados Unidos, hasta Nicaragua en Centroamérica, principales en bosques templados. En México se encuentra en bosques de encino y pino-encino en altitudes desde 1600 hasta 3370 m.s.n.m. (González, ES & González, EM, 1992; Rzedowski *et al.*, 2005; CONAFOR, 2014). Se distribuye en los estados de Chihuahua, Nuevo León, Durango, Sinaloa, Jalisco, Oaxaca, Michoacán, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Ciudad de México, Tlaxcala y Veracruz. Puede formar parte del matorral xerófilo, de los bosques de pino-encino o de encino sólo (González y González, 1992) (Figura 29).



Figura 29. Distribución geográfica de *Arbutus xalapensis*. Tomado de: Rzedowski y colaboradores (2005).

Usos: El nombre común que recibe *Arbutus xalapensis*, es “madroño”, tanto en el continente americano como en Europa. Trabajos realizados en Michoacán reportan que la madera es muy apreciada por lo artesanos de la región; para la fabricación de muebles, decoración de interiores, artesanías y artículos de cocina (González y González, 2014). Así como función como planta medicina, la infusión de hojas se

emplea como astringente en casos de diarrea, los frutos son recolectados para a la alimentación de aves canoras en cautiverio (Mosele *et al.*, 2016).

Estos árboles requieren un suelo bien drenado que retenga la humedad, rico en materia orgánica. Se presenta en suelos de origen volcánico comunes en el Eje Neovolcánico Transversal. Se puede establecerse en cañadas y laderas húmedas, aunque también se encuentra asociado en bosques de pino-encino (CONAFOR, 2014).

Actualmente sus poblaciones han disminuido presentando una distribución restringida y fragmentada, lo cual ha sido originado por diferentes factores como son la sobreexplotación de su madera, el sobrepastoreo y la presencia de plagas forestales, y como consecuencia disminución en la producción de frutos y semillas, lo cual implica una baja regeneración y con ello la pérdida del material genético nativo de esta especie (Rocha *et al.*, 2014). Por tanto, es de gran importancia realizar estudios que permitan proponer metodologías de propagación vegetal eficientes para salvaguardar este recurso. A pesar de que el madroño es una especie de importancia ecológica y económica, hasta el momento ha sido poco estudiada (Figura 30 y 31).

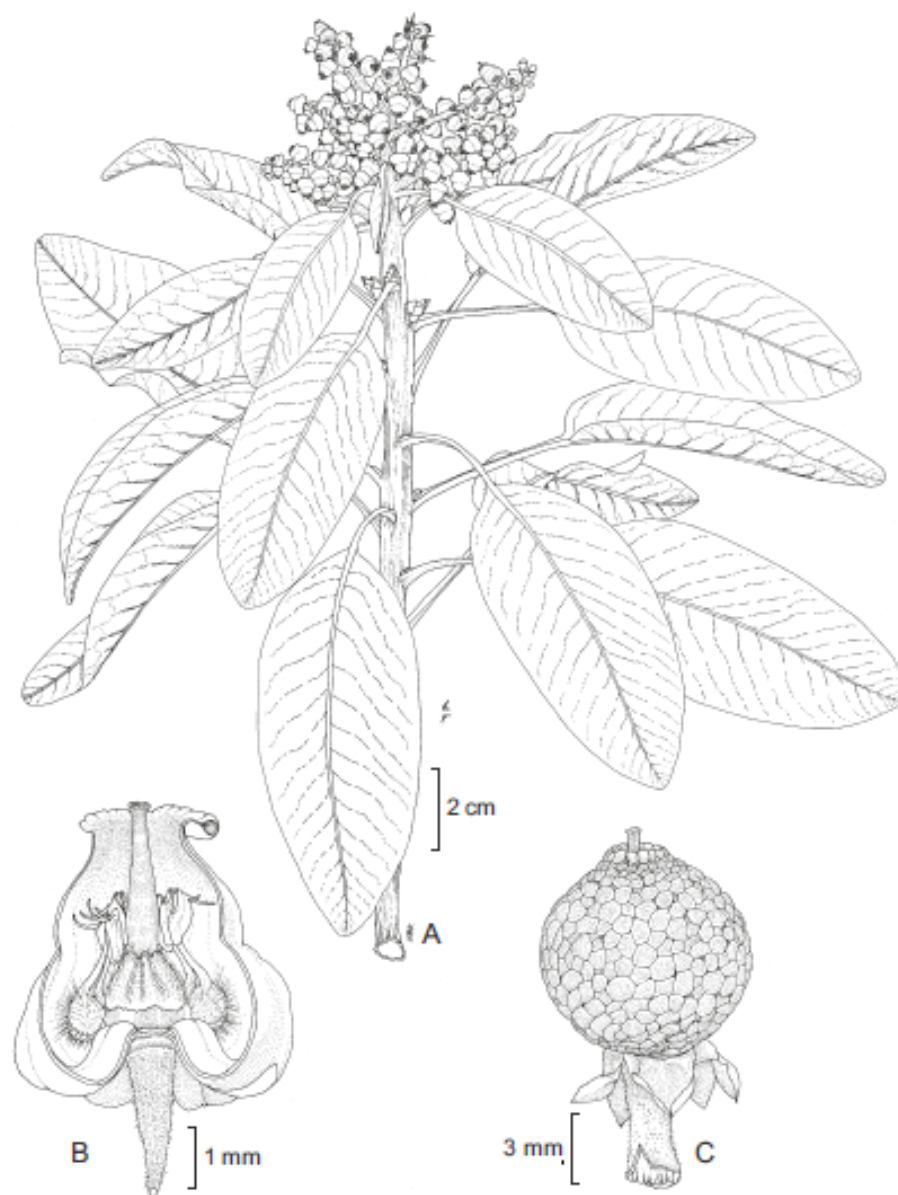


Figura 30. *Arbutus xalapensis* Kunth in Humb., Bonpl. & Kunth var. *xalapensis*. A. ramilla con hojas e inflorescencia; B. flor en corte longitudinal; C. fruto. Tomada de González y colaboradores (2014).

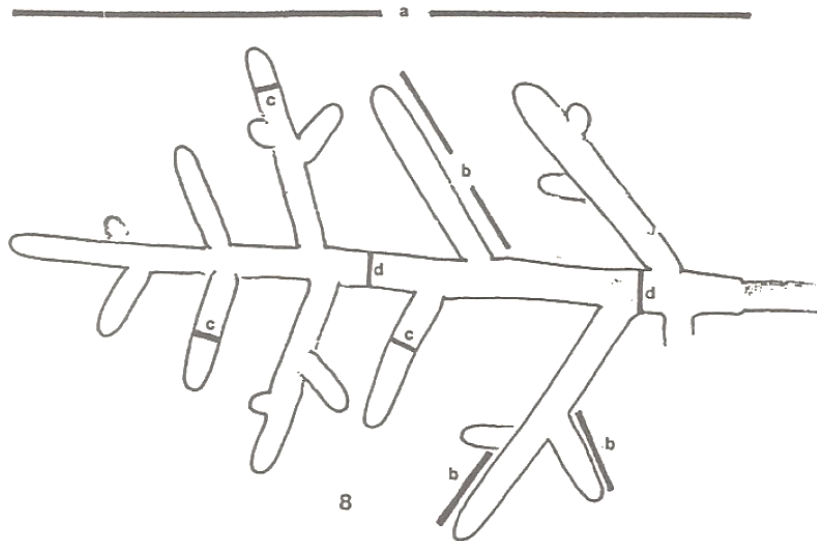


Figura 31. *Arbutus xalapensis* (Fotografía por: Díaz Armendáriz Abigail).

Anexo 2

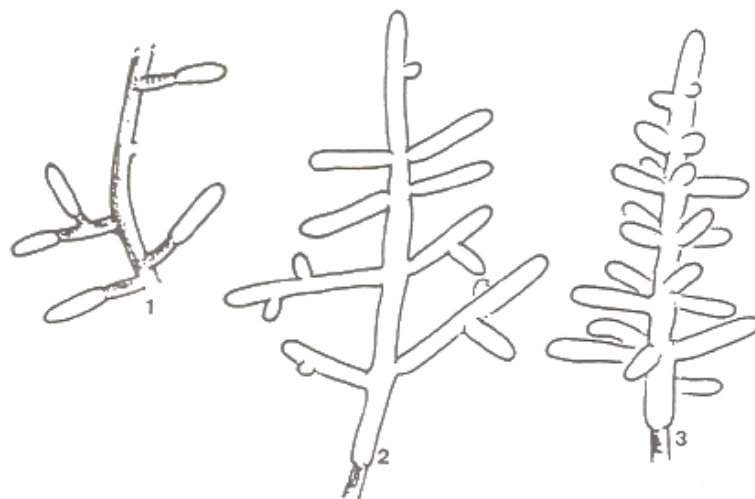
Características morfológicas y anatómicas utilizadas para la descripción de morfotipos arbutoides con base en las características usadas para describir las ectomicorrizas propuesta por Agerer (1987-2002).

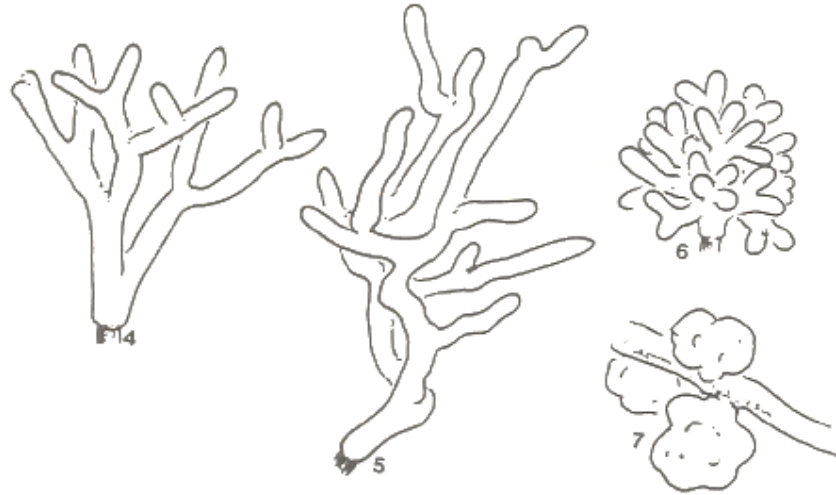
- Dimensiones



Dimensiones. a- Longitud del sistema micorrízico (mm). b- Longitud del ápice (mm). c- Diámetro del eje ápice (mm). d- Diámetro del eje (mm)

- Tipo de ramificación





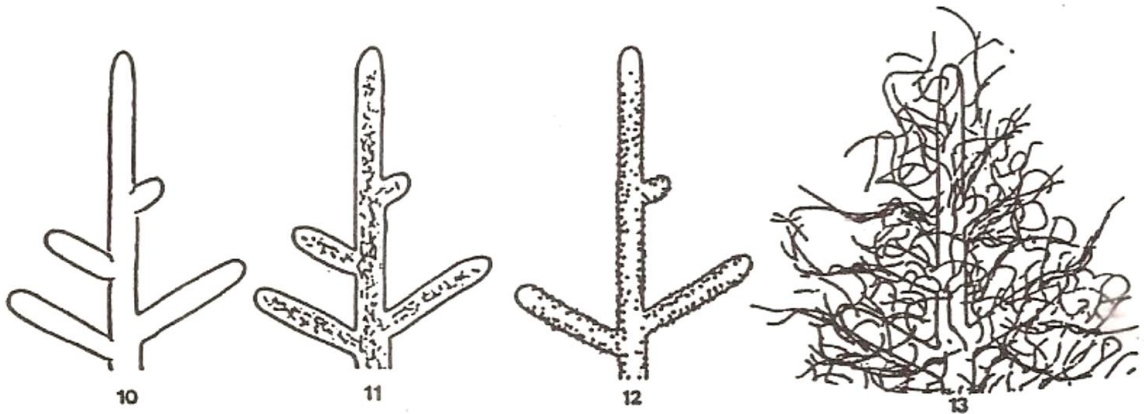
Tipos de ramificación. 1. Simple o sin ramificación. 2. Pinnada. 3. Pinnada piramidal. 4. Dicotómica. 5. Irregular pinnada. 6. Coraloide. 7. Tuberculada.

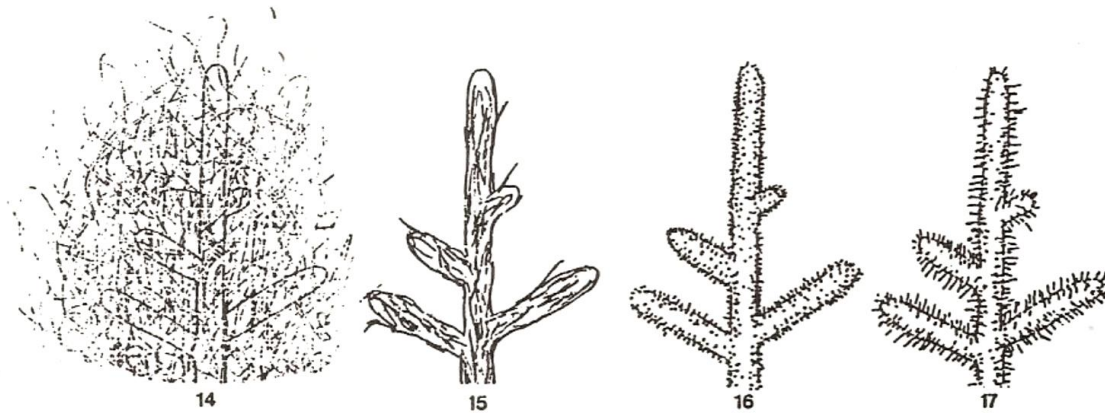
- Forma del ápice



Forma del ápice. 9a- Recta. 9b- Curvada o inclinada. 9c-Tortuosa. 9d- Cuerda.

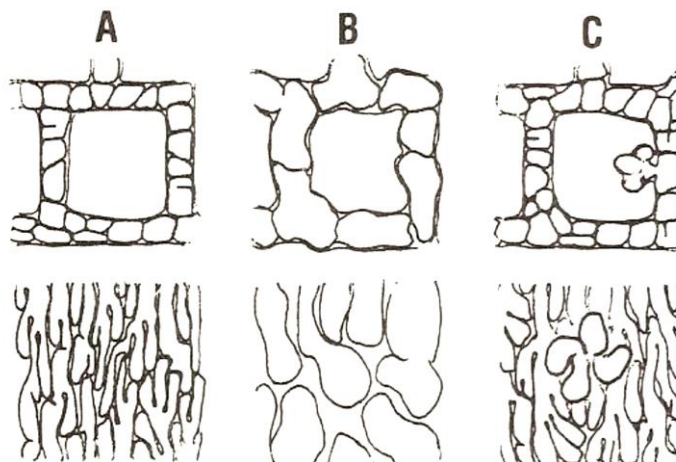
- Textura o superficie del manto





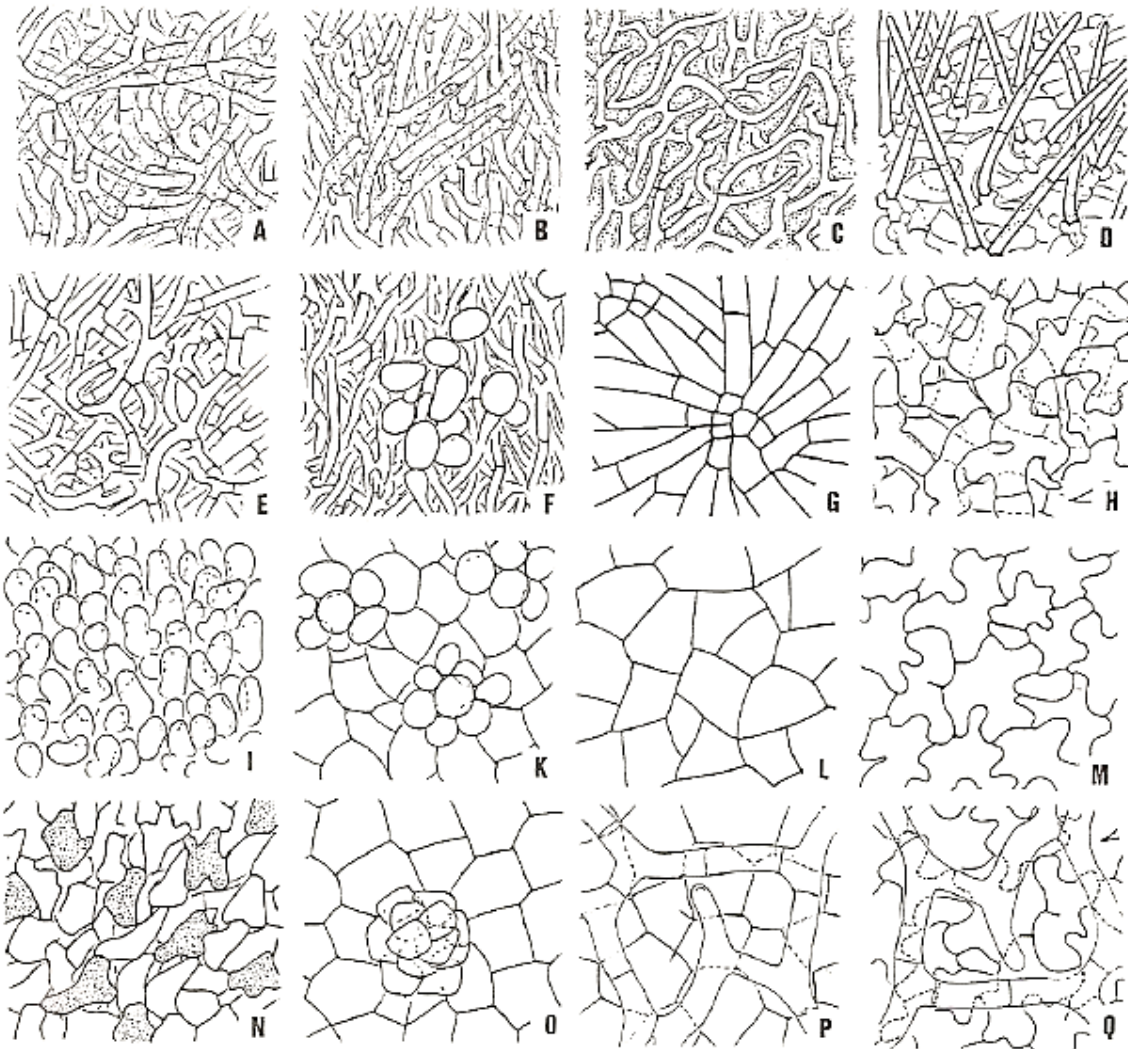
Textura o superficie del manto. 10- Lisa. 11- Reticulada. 12- Granosa. 13- Lanosa. 14- Algodonosa. 15- Fibrosa. 16- Espinoso de tamaño corto. 17- Espinoso de tamaño largo

- Tipos de red de Hartig



Tipos de red de Hartig. A- Tipo palmetti. B- Tipo lobulada. C- Tipo palmetti, pero con una estructura ramificada como haustorio

- Tipos de manto



A. Plectenquimatoso, con arreglos en forma de anillo.

B. Plectenquimatoso, con hifas irregulares, sin un patrón especial discernible, pero con hifas que crecen en direcciones longitudinales respecto a la orientación de la raíz.

C. Plectenquimatoso, con una matriz gelatinosa entre las hifas.

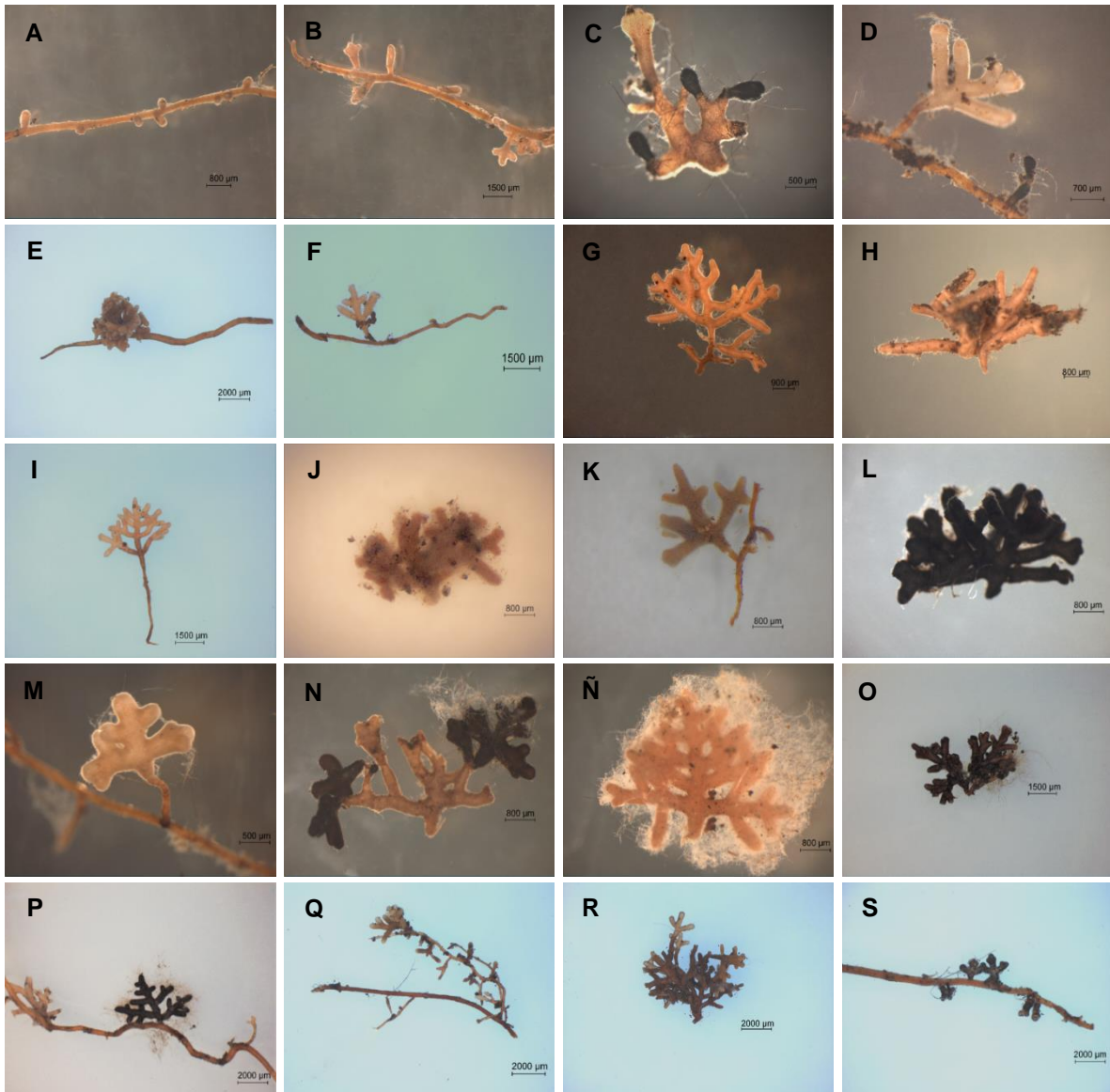
D. Plectenquimatoso, con hifas dispuestas en forma de red con cistidios.

E. Plectenquimatoso, con hifas en forma de red y ramificado en forma de cuadrado

- F.** Plectenquimatoso, ocasionalmente (parches) células redondeadas sobre un manto plectenquimatoso.
- G.** Plectenquimatoso, con hifas dispuestas en forma de estrella y fuertemente pegadas entre sí.
- H.** De tipo de transicional entre hifas plectenquimatosas y pseudoparenquimáticas, de forma irregular que forman una red gruesa.
- I.** Plectenquimatoso, con manto himeniforme, aproximadamente que sobresalen de forma perpendicular, las células robustas de las hifas curvadas, que están llenas con gotitas aceitosas.
- K.** Pseudoparenquimatoso, compuesto de células angulares, que llevan montículos de células redondeadas.
- L.** Pseudoparenquimatoso, mantos con células angulares.
- M.** Pseudoparenquimatoso, manto con células epidermoides.
- N.** Pseudoparenquimatoso, mantos con algunas células que contienen gotitas, teñidas en sulfo-vanillina; la forma de las células es variable.
- O.** Pseudoparenquimatoso, manto con células angulares y montículos de células planas.
- P.** Pseudoparenquimatoso, mantos con células angulares portando una delicada red de hifas.
- Q.** Pseudoparenquimatoso, con células epidermoides con una delicada red de hifas.

Anexo 3

Morfotipos arbutoides analizados en cuatro suelos volcánicos.



Anexo 4

Descripción de perfil de suelo

I. Información acerca de la localidad

Sitio: Xitle

Edad: 1670 ± 35 años A.P.

Clasificación del suelo: Leptosol mólico

Fecha de descripción: 16 de octubre del 2016

Autor: Díaz Armendáriz Abigail

Localización: Sierra Chichinautzin

Coordenadas: Longitud: 99°13'43'' W, Latitud: 19°14'50'' N

Altitud: 3090 msnm

Posición fisiográfica: Hombro de la ladera (SH)

Forma del terreno circundante: Montañoso

Pendiente: Ligeramente inclinado (2%)

Exposición: E

Uso de suelo o vegetación: Bosque de pino

II. Información general acerca del suelo

Material parental: Cenizas volcánicas

Drenaje natural: Buen drenaje

Condiciones de humedad del perfil: Fresca (pF 3)

Presencia de rocas superficiales: Abundantes

Influencia humana: Tala

III. Descripción breve del perfil

Se trata de un perfil somero, bien drenado de color oscuro; pedregosidad nula; estructura subangular en bloques; estabilidad de agregados alta y tamaño de poros de finos a comunes. No presenta horizonte B. La densidad de raíces fue muy alta en el horizonte superficial y mantillo tipo mull.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Características
Ah	0-10	Color 10YR 2/1; textura franco arcillosa; contenido de materia orgánica muy alto (21 %); fuertemente ácido (5 en agua); estructura subangular en bloques, finos y comunes; estabilidad de agregados alta; pedregosidad nula; densidad aparente mediana; densidad de raíces muy alta; límite claro y uniforme.
R	10-	Derrame lávico

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

El perfil es somero y el principal proceso pedogenético es la acumulación de materia orgánica y formación de estructura. El mantillo es de tipo mull y está compuesto principalmente de hojas de *Arbutus xalapensis*.

Anexo 5

Índices de diversidad por árbol y por suelo de los ápices ARB en los sitios de estudio en el eje Neovolcánico, México.

	Guespalapa A				Guespalapa B			Chichinautzin				Xitle			
<i>Árbol</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Índice de Diversidad	2.01	1.32	1.19	2.06	0	1.98	1.42	2.04	1.44	1.69	0.70	1.33	0.85	1.62	1.77

Suelo	Índice de Diversidad
Andosol	1.42
Leptosol	1.43

Anexo 6

Correlación de la abundancia de los ápices ARB 1 al ARB 20, asociados a *Arbutus xalapensis* con las variables edáficas de dos suelos de origen volcánico en cuatro localidades del eje Neovolcánico, México (Andosoles en Guespalapa y Leptosoles en el Chichinautzin y el Xitle).

	Abundancia total	ARB 1	ARB 2	ARB 3	ARB 4	ARB 5	ARB 6	ARB 7	ARB 8	ARB 9	ARB 10	ARB 11	ARB 12	ARB 13	ARB 14	ARB 15	ARB 16	ARB 17	ARB 18	ARB 19	ARB 20	pH	C	N	C:N	P	Ca	Mg	K	Na	CE
Abundancia total	1.00	-0.54	0.25	0.84	-0.60	-0.33	0.98	-0.55	-0.31	0.16	0.98	0.11	1.00	0.74	0.87	0.99	-0.36	-0.35	-0.44	0.96	0.58	-0.02	0.43	0.37	0.39	0.96	0.20	0.23	0.26	0.16	-0.18
ARB 1	-0.54	1.00	0.45	-0.84	0.60	-0.29	-0.61	-0.40	-0.17	-0.87	-0.61	-0.82	-0.52	-0.73	-0.69	-0.57	0.98	0.03	0.97	-0.38	0.22	0.37	0.09	0.34	-0.38	-0.53	0.56	0.19	0.12	-0.01	0.90
ARB 2	0.25	0.45	1.00	-0.31	0.57	0.06	0.30	-0.77	-0.94	-0.83	0.30	-0.31	0.28	0.28	0.32	0.12	0.61	-0.84	0.65	0.49	0.93	0.91	-0.18	0.09	-0.66	0.05	0.22	-0.28	-0.33	-0.56	0.46
ARB 3	0.84	-0.84	-0.31	1.00	-0.87	-0.26	0.81	-0.06	0.18	0.66	0.81	0.37	0.82	0.63	0.72	0.89	-0.75	0.07	-0.83	0.67	0.04	-0.48	0.44	0.22	0.69	0.89	-0.02	0.29	0.35	0.39	-0.51
ARB 4	-0.60	0.60	0.57	-0.87	1.00	0.58	-0.47	0.00	-0.58	-0.64	-0.48	-0.05	-0.58	-0.17	-0.30	-0.71	0.58	-0.53	0.71	-0.37	0.24	0.81	-0.73	-0.50	-0.96	-0.78	-0.28	-0.67	-0.72	-0.79	0.25
ARB 5	-0.33	-0.29	0.06	-0.26	0.58	1.00	-0.12	0.58	-0.33	0.20	-0.13	0.78	-0.33	0.39	0.17	-0.41	-0.33	-0.49	-0.16	-0.25	-0.14	0.46	-0.98	-0.99	-0.70	-0.52	-0.94	-0.97	-0.96	-0.86	-0.65
ARB 6	0.98	-0.61	0.30	0.81	-0.47	-0.12	1.00	-0.47	-0.43	0.18	1.00	0.28	0.98	0.87	0.96	0.94	-0.43	-0.50	-0.47	0.96	0.60	0.12	0.23	0.17	0.22	0.89	0.01	0.02	0.05	-0.04	-0.31
ARB 7	-0.55	-0.40	-0.77	-0.06	0.00	0.58	-0.47	1.00	0.58	0.71	-0.48	0.65	-0.58	-0.13	-0.30	-0.50	-0.58	0.42	-0.50	-0.69	-0.88	-0.42	-0.49	-0.69	0.03	-0.51	-0.73	-0.37	-0.33	-0.09	-0.68
ARB 8	-0.31	-0.17	-0.94	0.18	-0.58	-0.33	-0.43	0.58	1.00	0.61	-0.43	-0.03	-0.33	-0.54	-0.52	-0.17	-0.33	0.97	-0.41	-0.54	-0.88	-0.95	0.41	0.19	0.74	-0.06	0.10	0.54	0.58	0.76	-0.13
ARB 9	0.16	-0.87	-0.83	0.66	-0.64	0.20	0.18	0.71	0.61	1.00	0.18	0.71	0.13	0.30	0.24	0.25	-0.95	0.42	-0.95	-0.07	-0.66	-0.71	-0.02	-0.32	0.56	0.25	-0.52	-0.02	0.05	0.27	-0.84
ARB 10	0.98	-0.61	0.30	0.81	-0.48	-0.13	1.00	-0.48	-0.43	0.18	1.00	0.27	0.98	0.86	0.96	0.95	-0.43	-0.49	-0.47	0.97	0.60	0.11	0.24	0.18	0.23	0.89	0.02	0.03	0.06	-0.03	-0.31
ARB 11	0.11	-0.82	-0.31	0.37	-0.05	0.78	0.28	0.65	-0.03	0.71	0.27	1.00	0.09	0.66	0.50	0.09	-0.84	-0.25	-0.73	0.04	-0.29	-0.01	-0.64	-0.82	-0.15	-0.01	-0.93	-0.69	-0.64	-0.48	-0.98
ARB 12	1.00	-0.52	0.28	0.82	-0.58	-0.33	0.98	-0.58	-0.33	0.13	0.98	0.09	1.00	0.74	0.87	0.99	-0.33	-0.37	-0.41	0.97	0.60	0.01	0.44	0.38	0.37	0.96	0.22	0.23	0.26	0.15	-0.15
ARB 13	0.74	-0.73	0.28	0.63	-0.17	0.39	0.87	-0.13	-0.54	0.30	0.86	0.66	0.74	1.00	0.97	0.67	-0.59	-0.69	-0.54	0.76	0.46	0.31	-0.27	-0.34	-0.12	0.57	-0.47	-0.46	-0.43	-0.45	-0.63
ARB 14	0.87	-0.69	0.32	0.72	-0.30	0.17	0.96	-0.30	-0.52	0.24	0.96	0.50	0.87	0.97	1.00	0.82	-0.52	-0.64	-0.51	0.88	0.56	0.25	-0.06	-0.12	0.02	0.73	-0.26	-0.26	-0.23	-0.29	-0.50
ARB 15	0.99	-0.57	0.12	0.89	-0.71	-0.41	0.94	-0.50	-0.17	0.25	0.95	0.09	0.99	0.67	0.82	1.00	-0.41	-0.21	-0.50	0.92	0.47	-0.16	0.53	0.43	0.52	0.99	0.25	0.34	0.37	0.29	-0.19
ARB 16	-0.36	0.98	0.61	-0.75	0.58	-0.33	-0.43	-0.58	-0.33	-0.95	-0.43	-0.84	-0.33	-0.59	-0.52	-0.41	1.00	-0.12	0.98	-0.17	0.42	0.48	0.14	0.42	-0.40	-0.37	0.62	0.20	0.13	-0.05	0.93
ARB 17	-0.35	0.03	-0.84	0.07	-0.53	-0.49	-0.50	0.42	0.97	0.42	-0.49	-0.25	-0.37	-0.69	-0.64	-0.21	-0.12	1.00	-0.22	-0.55	-0.80	-0.90	0.52	0.36	0.73	-0.08	0.30	0.67	0.69	0.83	0.10
ARB 18	-0.44	0.97	0.65	-0.83	0.71	-0.16	-0.47	-0.50	-0.41	-0.95	-0.47	-0.73	-0.41	-0.54	-0.51	-0.50	0.98	-0.22	1.00	-0.23	0.41	0.59	-0.04	0.25	-0.55	-0.49	0.47	0.02	-0.05	-0.21	0.86
ARB 19	0.96	-0.38	0.49	0.67	-0.37	-0.25	0.96	-0.69	-0.54	-0.07	0.97	0.04	0.97	0.76	0.88	0.92	-0.17	-0.55	-0.23	1.00	0.77	0.24	0.32	0.33	0.15	0.87	0.22	0.11	0.12	-0.03	-0.06
ARB 20	0.58	0.22	0.93	0.04	0.24	-0.14	0.60	-0.88	-0.88	-0.66	0.60	-0.29	0.60	0.46	0.56	0.47	0.42	-0.80	0.41	0.77	1.00	0.73	0.07	0.28	-0.37	0.41	0.33	-0.09	-0.12	-0.36	0.38
pH	-0.02	0.37	0.91	-0.48	0.81	0.46	0.12	-0.42	-0.95	-0.71	0.11	-0.01	0.01	0.31	0.25	-0.16	0.48	-0.90	0.59	0.24	0.73	1.00	-0.57	-0.32	-0.91	-0.26	-0.17	-0.64	-0.69	-0.85	0.21
C	0.43	0.09	-0.18	0.44	-0.73	-0.98	0.23	-0.49	0.41	-0.02	0.24	-0.64	0.44	-0.27	-0.06	0.53	0.14	0.52	-0.04	0.32	0.07	-0.57	1.00	0.95	0.82	0.64	0.86	0.98	0.98	0.91	0.48
N	0.37	0.34	0.09	0.22	-0.50	-0.99	0.17	-0.69	0.19	-0.32	0.18	-0.82	0.38	-0.34	-0.12	0.43	0.42	0.36	0.25	0.33	0.28	-0.32	0.95	1.00	0.61	0.53	0.97	0.93	0.91	0.77	0.71
C:N	0.39	-0.38	-0.66	0.69	-0.96	-0.70	0.22	0.03	0.74	0.56	0.23	-0.15	0.37	-0.12	0.02	0.52	-0.40	0.73	-0.55	0.15	-0.37	-0.91	0.82	0.61	1.00	0.62	0.42	0.82	0.86	0.93	-0.06
P	0.96	-0.53	0.05	0.89	-0.78	-0.52	0.89	-0.51	-0.06	0.25	0.89	-0.01	0.96	0.57	0.73	0.99	-0.37	-0.08	-0.49	0.87	0.41	-0.26	0.64	0.53	0.62	1.00	0.35	0.47	0.50	0.42	-0.11
Ca	0.20	0.56	0.22	-0.02	-0.28	-0.94	0.01	-0.73	0.10	-0.52	0.02	-0.93	0.22	-0.47	-0.26	0.25	0.62	0.30	0.47	0.22	0.33	-0.17	0.86	0.97	0.42	0.35	1.00	0.86	0.82	0.66	0.86
Mg	0.23	0.19	-0.28	0.29	-0.67	-0.97	0.02	-0.37	0.54	-0.02	0.03	-0.69	0.23	-0.46	-0.26	0.34	0.20	0.67	0.02	0.11	-0.09	-0.64	0.98	0.93	0.82	0.47	0.86	1.00	1.00	0.95	0.53
K	0.26	0.12	-0.33	0.35	-0.72	-0.96	0.05	-0.33	0.58	0.05	0.06	-0.64	0.26	-0.43	-0.23	0.37	0.13	0.69	-0.05	0.12	-0.12	-0.69	0.98	0.91	0.86	0.50	0.82	1.00	1.00	0.97	0.47
Na	0.16	-0.01	-0.56	0.39	-0.79	-0.86	-0.04	-0.09	0.76	0.27	-0.03	-0.48	0.15	-0.45	-0.29	0.29	-0.05	0.83	-0.21	-0.03	-0.36	-0.85	0.91	0.77	0.93	0.42	0.66	0.95	0.97	1.00	0.29
CE	-0.18	0.90	0.46	-0.51	0.25	-0.65	-0.31	-0.68	-0.13	-0.84	-0.31	-0.98	-0.15	-0.63	-0.50	-0.19	0.93	0.10	0.86	-0.06	0.38	0.21	0.48	0.71	-0.06	-0.11	0.86	0.53	0.47	0.29	1.00

Correlaciones significativas a $p < 0.05$

Anexo 7

Medidas de los morfotipos arbutoides (ARB) asociados a *Arbutus xalapensis* Kunth., en suelos volcánicos.

Morfotipo ARB 1

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Manto (μm)
0.59	0.33	19.61
0.25	0.35	19.03
0.34	0.26	25.80
0.32	0.30	17.22
0.37	0.30	19.04
0.33	0.28	17.22
0.26	0.25	11.51
0.32	0.24	10.77
1.43	0.29	17.17
1.73	0.39	13.72
1.12	0.26	27.28
1.06	0.30	25.93
1.21	0.45	22.59
1.30	0.39	17.26
1.57	0.37	19.07
1.17	0.42	10.90
1.96	0.28	
0.50	0.36	
0.57	0.55	
1.36	0.41	
1.11	0.19	
1.02	0.20	
0.79	0.16	
0.56	0.21	
0.87	0.13	
0.74	0.28	
0.91	0.25	
0.33	0.19	
0.84	0.21	
1.28	0.26	
0.65	0.32	

0.69	0.15
0.44	0.15
0.76	0.36
1.02	0.19
1.39	0.24
1.70	0.20
0.55	0.24
0.99	0.19
1.36	0.23
0.31	0.20
0.45	0.20
0.39	0.22
0.74	0.17
0.75	0.48
1.30	0.26
0.54	0.20
0.63	0.14
0.59	0.25
0.55	0.25
0.81	0.25
0.75	0.21
0.39	0.28
0.67	0.26
0.95	0.29
0.62	0.22
0.45	0.24
0.56	0.34
0.73	0.21
0.56	0.37
1.37	0.13
0.59	0.19
0.68	0.15
0.68	0.17
0.50	0.24
0.62	0.26
1.06	0.33
0.32	0.25
0.22	0.18
1.73	0.21
0.95	0.48
0.38	0.20
0.90	0.36
0.61	0.14

0.33	0.20
0.40	0.19
0.40	0.17
0.46	0.18
0.95	0.24
0.44	0.11
0.36	0.14
0.73	0.23
0.50	0.24
0.54	0.19
0.75	0.26
0.34	0.21
0.70	0.22
0.55	0.23
0.70	0.16
0.39	0.26
0.75	0.17
0.28	0.22
0.28	0.13
0.81	0.16
1.16	0.28
0.60	0.20
0.66	0.33
0.71	0.31
0.56	0.34
0.56	0.28
0.62	0.22
1.04	0.25
0.42	0.21
0.44	0.21
0.58	0.18
0.25	0.20
0.34	0.21
0.37	0.16
0.30	0.15
1.10	0.26
0.57	0.19
0.67	0.40
1.06	0.62
0.66	0.19
1.95	0.54
1.53	0.34
0.89	0.29

0.80	0.25
0.74	0.38
1.23	0.29
0.60	0.36
1.46	0.54
0.89	0.39
0.90	0.14
1.49	0.18
0.37	0.21
0.56	0.46
0.72	0.31
1.43	0.31
1.31	0.37
1.78	0.26
0.64	0.36
1.08	0.46
0.44	0.23
1.31	0.22
1.39	0.17
0.58	0.31
0.59	0.20
0.78	0.38
0.85	0.35
0.42	0.37
0.71	0.32
0.32	0.43
0.25	0.30
0.88	0.39
0.66	0.24
0.68	0.23
0.69	0.31
0.66	0.33
0.34	0.21
0.57	0.28
0.57	0.36
0.38	0.21
0.50	0.26
0.45	0.32
0.72	0.46
0.86	0.33
0.68	0.42
0.87	0.38
0.47	0.17

1.04	0.40
0.81	0.38
0.59	0.31
1.26	0.60
0.58	0.29
1.21	0.48

Morfotipo ARB 2

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
1.51	0.28	0.44	0.31	18.63
1.20	0.20	0.53	0.27	19.78
1.82	0.39	0.69	0.34	18.63
1.54	0.30	0.34	0.39	19.78
0.97	0.30	0.52	0.23	19.40
1.82	0.36	0.77	0.36	
1.18	0.25	0.57	0.31	
1.52	0.36	0.58	0.35	
1.57	0.44	0.33	0.31	
1.04	0.32	0.63	0.36	
1.23	0.28	0.78	0.34	
1.52	0.37	0.71	0.26	
1.56	0.26	0.39	0.35	
1.47	0.29	0.94	0.38	
1.42	0.20	0.62	0.17	
1.47	0.18	0.17	0.30	
1.52	0.23	0.43	0.29	
1.47	0.19	0.35	0.21	
1.76	0.33	0.53	0.47	
1.54	0.30	0.43	0.35	
1.97	0.17	0.30	0.23	
1.65	0.30	0.40	0.29	
1.85	0.22	0.75	0.42	
1.57	0.22	0.69	0.48	
1.68	0.23	0.90	0.37	
1.60	0.29	1.29	0.41	
1.69	0.24	1.03	0.29	
1.70	0.35	1.29	0.37	
1.69	0.19	0.85	0.35	
1.07	0.28	0.50	0.28	

0.77	0.19	0.32	0.17
1.18	0.21	2.55	0.27
1.88	0.41	1.26	0.31
1.42	0.17	0.42	0.28
1.69	0.33	0.82	0.34
1.17	0.30	0.34	0.25
1.62	0.28	0.74	0.48
1.22	0.25	0.58	0.33
1.09	0.18	0.86	0.35
1.50	0.16	0.39	0.32
1.14	0.22	0.40	0.27
0.89	0.23	0.34	0.24
1.11	0.29	0.46	0.29
1.30	0.34	0.40	0.29
1.57	0.19	0.55	0.29
1.16	0.32	0.38	0.47
1.65	0.17	0.31	0.28
1.23	0.21	0.31	0.36
1.28	0.15	1.65	0.32
1.02	0.28	0.68	0.29
1.74	0.45	0.50	0.42
1.46	0.35	1.09	0.40
1.12	0.26	0.59	0.22
1.21	0.29	0.94	0.19
1.76	0.33	1.20	0.26
1.36	0.30	0.44	0.30
1.43	0.21	0.36	0.33
1.31	0.24	0.23	0.22
1.07	0.28	0.88	0.23
1.19	0.18	0.22	0.19
1.05	0.35	0.18	0.25
1.19	0.26	0.55	0.19
1.05	0.35	0.36	0.25
1.29	0.19	0.82	0.32
1.06	0.28	0.68	0.25
1.35	0.26	0.32	0.19
1.28	0.30	0.58	0.25
1.09	0.28	0.46	0.18
1.19	0.23	0.85	0.28
1.28	0.16	0.74	0.22
1.23	0.25	0.85	0.18
1.21	0.27	0.99	0.22
1.09	0.18	0.85	0.28

1.17	0.25	0.79	0.31
1.31	0.32	0.98	0.36
1.06	0.19	0.78	0.29
1.25	0.28	0.68	0.31
1.71	0.22	0.55	0.33

Morfotipo ARB 3 *Cenococcum geophilum*

Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (μm)
0.64	0.13	17.36
0.44	0.14	15.83
0.40	0.14	13.32
0.75	0.18	11.01
0.14	0.09	12.06
0.70	0.21	18.38
0.34	0.14	13.97
0.46	0.15	13.47
0.46	0.22	16.27
0.33	0.09	19.07
0.39	0.11	14.12
0.89	0.24	13.69
0.64	0.25	14.05
0.52	0.16	8.10
0.48	0.17	8.21
0.61	0.19	9.52
0.38	0.16	
0.42	0.19	
0.35	0.17	
0.66	0.18	
0.95	0.25	
0.63	0.25	
0.72	0.18	
0.66	0.17	
0.53	0.26	
0.43	0.16	
0.90	0.20	
0.56	0.16	
0.85	0.28	
0.75	0.18	
0.73	0.27	

0.47	0.35
1.26	0.22
0.72	0.17
0.40	0.09
0.25	0.13
0.36	0.12
0.45	0.13
0.49	0.12
0.30	0.09
0.34	0.18
0.80	0.12
0.89	0.23
1.06	0.21
1.09	0.15
0.83	0.13
0.61	0.18
0.70	0.20
0.59	0.13
0.21	0.15
0.16	0.13
0.22	0.15
0.36	0.18
0.55	0.30
0.35	0.21
0.40	0.25
0.41	0.16
0.41	0.21
0.41	0.17
0.16	0.23
0.23	0.13
0.20	0.13
0.35	0.17
0.26	0.14
1.17	0.25
0.25	0.17
0.33	0.18
0.31	0.15
0.41	0.15
0.38	0.17
0.66	0.20
0.65	0.14
1.11	0.18
0.24	0.13

0.40	0.14
0.27	0.13
0.45	0.22
0.33	0.17
0.19	0.20
0.51	0.13
0.18	0.08
0.12	0.10
0.38	0.12
0.13	0.11
0.45	0.15
0.35	0.14
0.43	0.17
0.23	0.14
0.17	0.13
0.24	0.17
0.57	0.14
0.26	0.14
0.32	0.16
0.43	0.14
0.30	0.20
0.35	0.25
1.19	0.21
0.94	0.25
0.90	0.19
0.56	0.15
0.25	0.15
0.29	0.18
0.62	0.22
0.33	0.20
0.35	0.10
0.63	0.12
0.77	0.22
0.35	0.13
0.39	0.14
0.38	0.22
0.30	0.21
0.30	0.18
0.40	0.23
0.48	0.28
0.58	0.29
0.46	0.13
0.87	0.27

0.60	0.19
0.57	0.23
0.71	0.24
0.38	0.20
0.72	0.16
0.47	0.18
0.72	0.26
0.69	0.26
0.76	0.20
0.93	0.15
0.26	0.31
0.74	0.23
1.15	0.26
0.19	0.16
0.50	0.24
0.50	0.35
0.67	0.11
0.66	0.26
0.49	0.27
1.31	0.21
0.46	0.19
0.47	0.23
0.83	0.27
0.65	0.19
0.42	0.31
0.55	0.15
0.54	0.31
0.78	0.23
0.54	0.18
0.55	0.11
0.52	0.19
0.36	0.21
0.44	0.11
0.57	0.22
0.55	0.20
0.81	0.21
0.90	0.20
0.72	0.30
0.63	0.31
0.86	0.34
0.97	0.38
0.67	0.38
0.87	0.41

0.62	0.38
1.19	0.48
0.59	0.33
0.80	0.37
0.74	0.30
0.97	0.48
1.15	0.39
0.70	0.42
1.10	0.46
0.56	0.28
0.87	0.45
1.06	0.42
0.77	0.29
0.68	0.22
1.01	0.47
0.66	0.37
0.78	0.32
0.64	0.28
1.18	0.41
0.68	0.32
0.96	0.41
0.57	0.21
1.03	0.29
0.83	0.30
1.14	0.43
0.58	0.28
0.83	0.41
0.65	0.34
0.94	0.41
1.07	0.58
0.79	0.41
0.83	0.34
1.09	0.39
0.87	0.35
0.84	0.35
1.04	0.57
0.80	0.38
0.97	0.47
1.14	0.55
0.83	0.41
1.17	0.58
0.77	0.36
1.13	0.52

0.96	0.42
0.65	0.38
1.16	0.33
0.78	0.36
0.70	0.42
0.68	0.37
0.79	0.35
0.87	0.39
1.18	0.42
1.04	0.55
0.52	0.24
0.86	0.41
0.94	0.55
0.83	0.31
1.25	0.59
0.67	0.31
1.08	0.49
0.97	0.32
0.58	0.24
0.94	0.31
0.68	0.32
0.79	0.34
0.96	0.48
0.88	0.35
0.86	0.24
0.66	0.35
0.78	0.43
0.81	0.38
1.98	0.46
0.78	0.31
0.91	0.29
0.58	0.21
0.65	0.24
0.68	0.39
0.64	0.31
1.17	0.36
0.68	0.47
0.73	0.35
0.93	0.33
0.87	0.33
0.79	0.28
0.87	0.45
1.19	0.51

1.14	0.44
1.22	0.73
0.69	0.37
0.73	0.28
0.62	0.26
0.62	0.32
1.14	0.45
1.52	0.36
0.71	0.35
0.76	0.32
0.88	0.59
0.97	0.34
1.16	0.57
0.80	0.38
0.92	0.36
0.87	0.38
0.69	0.31
0.66	0.21
0.69	0.35
0.58	0.26
0.65	0.23
0.78	0.51
0.75	0.25
0.65	0.35
0.62	0.32
0.53	0.25
0.87	0.24
1.15	0.57
0.65	0.27
0.81	0.26
0.82	0.37
0.68	0.28
0.95	0.39
0.52	0.23
0.72	0.43
0.98	0.41
0.68	0.34
1.15	0.63
0.95	0.30
0.72	0.34
0.91	0.36
0.87	0.27
0.87	0.42

1.10	0.48
0.65	0.25
0.45	0.21
0.62	0.31
0.87	0.32
0.61	0.28
0.76	0.32
0.64	0.32
0.54	0.23
0.59	0.22
0.74	0.35
0.69	0.29
0.58	0.26
0.89	0.34
0.78	0.27
0.86	0.45
0.58	0.29
0.94	0.36
0.81	0.42
0.98	0.47
1.23	0.63
0.67	0.31
0.87	0.37
0.61	0.42
0.72	0.28
0.95	0.31
1.17	0.63
0.69	0.31
0.96	0.38
0.91	0.45
1.29	0.69
0.89	0.47
0.78	0.29
0.69	0.28
0.96	0.41
0.97	0.36
0.69	0.18
1.36	0.42
0.96	0.29
0.84	0.33
0.58	0.23
1.47	0.69
1.58	0.65

0.98	0.54
0.58	0.35
0.98	0.35
0.87	0.54
1.26	0.84
0.95	0.32
0.96	0.58
0.92	0.53
0.96	0.36
0.87	0.65
1.89	0.59
1.28	0.62
0.59	0.28
0.45	0.14
0.94	0.29
0.82	0.38
0.95	0.31
0.57	0.27
0.54	0.21
0.98	0.37
0.81	0.13
0.57	0.32
0.75	0.48
0.96	0.52
0.85	0.56
0.52	0.21
1.36	0.21
0.91	0.25
1.69	0.45
0.85	0.36
0.93	0.48
1.04	0.32
1.16	0.45
1.71	0.52
0.91	0.37
1.82	0.46
0.31	0.22
0.63	0.32
0.95	0.32
1.14	0.53
0.68	0.49
0.28	0.18
1.20	0.24

0.59	0.28
0.95	0.64
0.25	0.18
0.82	0.38
0.29	0.16
1.96	0.94
0.96	0.48
1.59	0.28
0.56	0.14

Morfotipo ARB 4

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
2.18	0.26	2.10	0.90	15.54
2.21	0.40	1.71	0.78	16.94

Morfotipo ARB 5

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
1.81	0.40	0.88	0.35	17.13

Morfotipo ARB 6

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
1.76	0.24	0.78	0.29	13.32
1.08	0.20	0.81	0.31	16.57
1.79	0.21	0.93	0.34	17.29
1.94	0.26	0.60	0.31	20.36
1.96	0.22	0.66	0.40	17.65
1.37	0.26	0.45	0.29	14.89
1.23	0.19	0.50	0.20	17.61
1.51	0.25	0.63	0.26	16.21
1.35	0.35	0.35	0.28	14.53
1.68	0.29	0.42	0.27	14.47

1.52	0.18	0.58	0.25	14.05
------	------	------	------	-------

Morfotipo ARB 7

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
3.11	0.21	1.37	0.45	17.31
3.75	0.35	1.66	0.39	17.23

Morfotipo ARB 8

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
1.18	0.27	0.57	0.22	14.39

Morfotipo ARB 9

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
2.63	0.19	1.08	0.30	9.67
2.82	0.28	1.45	0.33	15.40
2.31	0.33	1.23	0.33	9.67
2.22	0.41	1.11	0.67	15.41
2.07	0.31	0.74	0.31	
2.63	0.23	0.77	0.22	
2.25	0.17	0.34	0.34	
2.33	0.26	1.22	0.76	
2.09	0.23	0.58	0.30	
2.48	0.42	2.38	2.09	
2.84	0.36	1.15	0.44	
2.88	0.30	0.83	0.30	
2.17	0.23	0.72	0.29	
2.64	0.25	0.47	0.44	
2.17	0.41	0.49	0.16	
2.24	0.49	1.90	0.31	
1.93	0.30	0.67	0.27	
2.39	0.28	0.60	0.22	

2.01	0.44	0.49	0.39
2.17	0.56	1.32	0.80
2.95	0.43	1.24	0.32
2.53	0.26	1.34	0.20
0.26	0.32	1.04	0.11
2.12	0.23	0.59	0.13
2.01	0.52	1.48	0.17
2.77	0.37	0.41	0.16
2.48	0.29	1.28	0.39
2.15	0.55	1.03	0.26
1.98	0.48	1.02	0.35
2.06	0.35	1.15	0.21
1.87	0.41	1.05	0.28
1.79	0.19	0.30	0.19

Morfotipo ARB 10

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
1.43	0.31	0.91	0.34	15.62
1.81	0.30	0.88	0.45	18.94
1.28	0.23	0.69	0.39	15.62
1.94	0.44	0.71	0.39	
1.36	0.35	0.78	0.35	
1.45	0.19	0.59	0.26	

Morfotipo ARB 11

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
1.95	0.22	0.97	0.34	15.38
1.94	0.17	1.42	0.18	21.12
1.84	0.46	0.80	0.27	15.39
1.68	0.21	0.83	0.33	21.12

Morfotipo ARB 12

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
2.08	0.32	1.22	0.29	19.80

Morfotipo ARB 13

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
1.42	0.17	0.60	0.41	13.51
1.66	0.17	0.68	0.35	16.01
1.61	0.26	0.68	0.40	16.02
1.66	0.33	0.58	0.41	13.51
1.81	0.31	0.57	0.44	14.75
1.19	0.17	0.67	0.39	
1.72	0.34	0.57	0.45	
1.43	0.45	0.74	0.33	
1.45	0.28	0.54	0.38	
1.69	0.19	0.73	0.33	
1.36	0.23	0.45	0.31	

Morfotipo ARB 14

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
2.32	0.35	1.17	0.31	17.98
2.40	0.23	0.85	0.44	23.65
2.64	0.28	1.01	0.48	17.99

Morfotipo ARB 15

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
2.24	0.37	1.01	0.40	10.83
1.43	0.15	0.57	0.22	11.32
1.89	0.16	0.52	0.13	10.83

1.58	0.23	0.21	0.07	11.94
1.22	0.31	0.17	0.04	11.33
1.68	0.23	0.38	0.23	
1.60	0.17	0.69	0.21	
2.03	0.19	0.30	0.08	
1.59	0.19	0.33	0.07	
1.24	0.42	0.32	0.41	
1.85	0.28	0.14	0.23	
1.20	0.23	0.49	0.11	
1.54	0.31	0.43	0.15	
1.34	0.35	0.13	0.06	
1.17	0.31	0.17	0.06	
0.79	0.23	0.08	0.06	
1.12	0.46	0.12	0.23	
1.28	0.21	0.21	0.11	
1.01	0.20	0.22	0.11	

Morfotipo ARB 16

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
3.08	0.32	2.28	0.27	16.68

Morfotipo ARB 17

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
1.62	0.16	0.24	0.10	22.23
1.76	0.21	0.22	0.10	26.59
2.36	0.37	1.04	0.24	17.74
1.69	0.28	0.72	0.24	20.32
1.17	0.53	0.69	0.18	26.59
1.57	0.21	0.85	0.22	23.60
2.18	0.19	1.00	0.18	22.23
2.04	0.28	1.12	0.37	
1.86	0.47	0.68	0.20	
1.44	0.29	0.60	0.27	
1.59	0.32	0.25	0.12	
1.06	0.36	0.97	0.39	

Morfotipo ARB 18

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
1.91	0.28	0.98	0.34	12.17
1.38	0.31	0.45	0.32	15.57
1.48	0.26	0.64	0.11	15.78
1.90	0.44	0.79	0.35	12.18
1.18	0.23	0.23	0.14	18.06
2.53	0.67	1.88	0.18	20.16
2.79	0.28	1.09	0.20	
1.74	0.33	0.97	0.35	

Morfotipo ARB 19

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
3.12	0.61	2.12	0.46	14.32
2.33	0.20	1.60	0.47	15.94
2.68	0.50	1.18	0.24	15.94
2.43	0.19	1.27	0.22	14.32
2.49	0.43	1.68	0.45	10.99
2.21	0.57	1.54	0.40	14.15
2.53	0.44	1.45	0.44	
3.40	0.40	2.47	0.48	

Morfotipo ARB 20

Longitud del sistema micorrízico (mm)	Diámetro del eje (mm)	Longitud del ápice (mm)	Diámetro del ápice (mm)	Manto (µm)
0.82	0.23	0.37	0.30	15.60
1.58	0.27	0.86	0.29	20.69
1.63	0.43	1.41	0.30	14.82
1.29	0.31	0.66	0.44	15.60
1.78	0.30	0.98	0.37	21.49
2.31	0.23	1.43	0.42	20.69

1.82	0.55	0.81	0.39
1.37	0.30	0.67	0.35
1.06	0.32	0.38	0.30
1.54	0.38	0.47	0.38
1.81	0.37	0.49	0.34
1.11	0.28	0.27	0.40
0.99	0.27	0.28	0.32
1.04	0.24	0.40	0.23
1.48	0.34	0.36	0.31
1.43	0.22	0.49	0.29
1.58	0.31	0.89	0.28
1.74	0.28	0.86	0.25
1.70	0.27	0.70	0.31
