

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**ANALIZAR LA DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE LOS HONGOS
MICORRIZÍCOS ARBUSCULARES (HMA) PRESENTES EN LA RIZÓSFERA
DE *Agave lechuguilla* Torr**

POR

CLAUDIA PATRICIA CHATÚ TOALÁ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO

DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

ANALIZAR LA DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE LOS HONGOS
MICORRIZICOS ARBUSCULARES (HMA) PRESENTES EN LA
RIZÓSFERA DE *Agave lechuguilla* Torr

POR
CLAUDIA PATRICIA CHATÚ TOALÁ

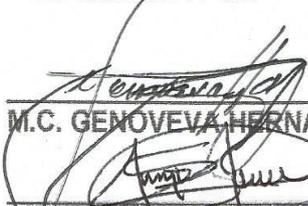
TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

APROBADA POR

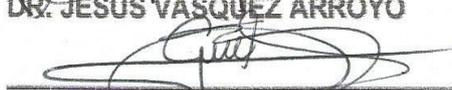
ASESOR PRINCIPAL:


M.C. GENOVEVA HERNÁNDEZ ZAMUDIO

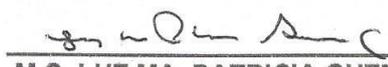
ASESOR:

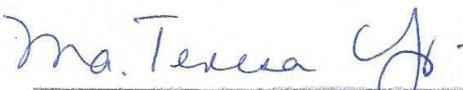

DR. JESUS VÁSQUEZ ARROYO

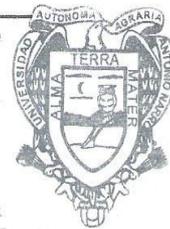
ASESOR:


M.C. GERARDO ZAPATA SIFUENTES

ASESOR:


M.C. LUZ MA. PATRICIA GUZMAN CEDILLO


DRA. MA. TERESA VALDES PEREZGASGA
COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS



Unidad de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

ANALIZAR LA DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE LOS HONGOS
MICORRIZÍCOS ARBUSCULARES (HMA) PRESENTES EN LA
RIZÓSFERA DE *Agave techuguilla* Torr

POR
CLAUDIA PATRICIA CHATÚ TOALÁ

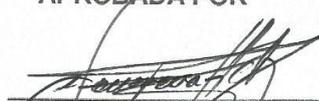
TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

APROBADA POR

PRESIDENTE:


M.C. GENOVEVA HERNÁNDEZ ZAMUDIO

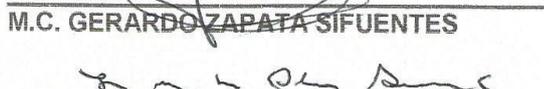
VOCAL:

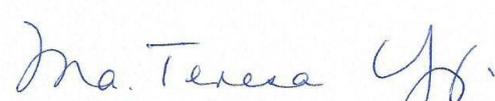

DR. JESÚS VÁSQUEZ ARROYO

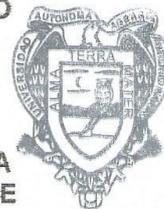
VOCAL:


M.C. GERARDO ZAPATA SIFUENTES

VOCAL SUPLENTE:


M.C. LUZ MA. PATRICIA GUZMAN CEDILLO


DRA. MA. TERESA VÁLDES PEREZGASGA
COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2014

AGRADECIMIENTO

Primero que nada gracias a **Dios** por darme la vida, amor, salud, felicidad, por derramar siempre bendiciones en mí haciendo posible culminar con esta etapa de mi vida, por darme la fuerza y la paciencia en cada momento de mi vida y por darme una familia maravillosa.

A mis padres Francisco Javier Chatú Hernández y Nolverida Toalá Gumeta por darme esta oportunidad de ser una profesionista y superarme en la vida, dándome confianza y amor para salir adelante en todo momento, gracias por las enseñanzas que me brindaron, así como valorar y respetar a las personas que me rodean, mil gracias Los amo.

A mis hermanos Edilia, Julio Cesar, Nolverida Guadalupe y Blanca Yuridia, por apoyarme en todo momento, por esas enseñanzas que siempre me han dado en todo momento, y por confiar en mí para hacer realidad mis sueños, gracias hermanos, Los quiero.

A mis abuelitos gracias por esos sabios consejos que me ayudaron mucho para salir adelante y por ese cariño que siempre tuve presente de ustedes.

A mis tíos y primos gracias por el apoyo brindado durante esta etapa de mi vida, por esos consejos que me fortalecieron para dar por concluido este logro.

A mi Alma Terra mater gracias por abrirme las puertas dándome hospitalidad ofreciéndome sus instalaciones que fueron parte de mi formación como profesionistas, siendo mi segunda casa por más de cuatro años.

A M.C Sarain Gómez de la Cruz por esa personita que me brindó su apoyo incondicional, por estar conmigo en las buenas y en las malas siempre motivándome a salir adelante, por ese inmenso amor que ha perdurado, Te Amo cariño.

A la M.C Genoveva Hernández Zamudio gracias por esa confianza y paciencia que deposito en mí durante mis estudios profesionales, y en todo el trabajo de investigación, siempre guiándome y aconsejándome por un buen camino, de todo corazón gracias.

Al Dr. Jesús Vásquez Arroyo por sus grandes enseñanzas en mi formación académica, así como los consejos que me proporcionó siendo mi tutor por más de cuatro años gracias.

Al M.C Gerardo Zapata Sifuentes le agradezco por ser uno de mis profesores que formo parte de mi estancia en esta universidad y por todos esos conocimientos transmitidos, siempre con esa chispa de alegría que contagia a todos.

A la M.C. Luz Ma. Patricia Guzmán Cedillo, gracias por el apoyo brindado, por ser parte de mi formación profesional guiándome por un buen camino, por esa dedicación de sus clases, de los que siempre estaré agradecida.

Y a todos los maestros de mi Alma Terra Mater que de una u otra manera fueron parte de mi formación profesional gracias, y a esas personas que me brindaron su amistad les doy las gracia, y a mis amigos que me son imposibles de mencionar, saben que siempre los tendré presentes.

DEDICATORIA

A ti **Dios** te dedico este logro cumplido, por acompañarme toda la vida, principalmente en todos mis estudios profesionales y por las bendiciones derramadas sobre mí.

A mis Padres Francisco Javier Chatú Hernández y Nolverida Toalá Gumeta, siendo ustedes un ejemplo a seguir, un espejo en el cual me veo reflejada por esos principios y consejos que día a día me alimentan y me encaminan a ser una mejor persona, por regalarme esos momentos de amor, cariño y paciencia y por sus gran apoyo moral en los momentos difíciles, quiero que sepan que este logro también es de ustedes por lo cual les viviré siempre agradecida.

¡Los Amo Papitos!

A mis hermanos Edilia, Julio Cesar, Nolverida Guadalupe y Blanca Yuridia por contar con su apoyo y por darme esos ánimos para salir adelante que Dios los bendiga y cuide en todo momento, Los quiero mucho.

A mis sobrinos José María y Francisco de Jesús por ser unos lindos querubines los cuales me han dado momentos de felicidad, por esas sonrisas que me fortalecen y me motivan a seguir adelante, los adoro hermosos.

A mis abuelitos Juan Chatú Consospo, Otelina Hernández Pérez, Mariano Toalá Suchiapa y Etelvina Gumeta Santos (†), quienes me brindaron su apoyo incondicional, su confianza y esos valores que desde pequeña los tengo siempre presente, por esos sabios consejos, Los quiero mucho.

A mis tíos y primos por ese apoyo que me brindaron motivándome para salir adelante, por esos consejos y por esos momentos de alegrías y tristezas que hemos pasado juntos, siempre lo tendré presente.

Al amor de mi vida Sarain Gómez de la Cruz por todo su apoyo, amor, cariño, paciencia y confianza, por compartir juntos tantas experiencias, ayudándome a salir adelante en los momentos más difíciles, gracias por llegar a mi vida en el momento indicado y ser parte de este logro obtenido, Te Amo corazón, Dios te bendiga siempre.

A mis amigos Luis Alexis Gamboa Cruz y Fátima Carolina Luna Ávila, por brindarme su amistad, por compartir juntos momentos inolvidables de alegrías y tristezas, por esos ánimos que me impulsaron a salir adelante, estando conmigo en las buenas y en las malas, que sus vidas este llena de éxito y Dios los cuide donde quiera que vayan, Los quiero.

A todos mis compañeros de la generación 2010-2014 que me brindaron su amistad y por esos momentos agradables que compartimos como grupo.

INDICE

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	III
INDICE DE CUADROS	IX
INDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General.....	2
1.1.1 Objetivos específicos	2
1.2 Hipótesis.....	2
II. LITERATURA REVISADA	3
2.1 Conceptos Generales de Micorrizas	3
2.2 Clasificación de las Micorrizas	3
2.2.1 Ectomicorrizas.....	4
2.2.2 Ericoides	5
2.2.3 Ectendomicorrizas.....	5
2.2.4 Monotropides	5
2.2.5 Endomicorrizas.....	6
2.2.6 Orquidáceas.....	6
2.2.7 Arbusculares	6
2.3 Hongos Micorrizícos Arbusculares (HMA)	7
2.3.1 Taxonomía de los HMA.....	8
2.3.2 Estructuras de los HMA.....	9
2.3.2.1 Vesículas	9
2.3.2.1 Arbúsculos.....	9
2.3.2.1 Esporas	9

2.3.3 HMA de los ecosistemas semiáridos.....	10
2.4 <i>Agave lechuguilla</i> Torr	11
2.4.1 Descripción de <i>Agave lechuguilla</i> Torr.....	11
2.4.2 Taxonomía de <i>Agave lechuguilla</i> Torr.....	11
2.4.2 Habitat.....	12
2.4.3 Distribución	12
2.4.4 Usos	12
2.4.4.1 Industrial	12
2.4.4.2 Artesanal	13
2.4.4.3 Cosméticos.....	13
2.4.5 Temporada de Recolecta	13
2.4.5 Producción de <i>Agave lechuguilla</i> Torr.....	13
2.4.5.1 En México	13
2.4.5.2 En Coahuila	14
2.5 Áreas Naturales Protegidas	15
2.5.1 Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco (REM-SCJ)	15
2.5.2 Características del Área.....	15
2.5.3 Problemática de los ecosistemas de desierto	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1 Localización del Área de Estudio.....	17
3.2 Vegetación.....	18
3.3 Sitio de Muestreo	18
3.3.1 Zonas núcleo.....	18
3.3.1.1 Zona B	19
3.3.1.2 Zona C	19
3.4 Muestreo.....	19

3.4.1 Toma de muestras en campo.....	19
3.4.1.1 Raíces	19
3.4.1.2 Muestreo de la Rizósfera.....	19
3.6 Determinación y Metodología	21
3.6.2 Aislamiento de esporas e identificación de HMA	21
3.6.3 Medición de Riqueza Especifica	22
3.6.3.1 Índice de diversidad de Margalef	22
IV. RESULTADOS	23
4.1 Propiedades del Suelo.....	23
4.2 Porcentaje de Micorrización en Raíz de <i>Agave lechuguilla</i>	23
4.3 Riqueza de Géneros y Ubicación Taxonómica	24
4.3.1 Zona Núcleo B	24
4.3.1.1 Acaulospora.....	25
4.3.1.2 Archaeospora	26
4.3.1.3 Entrophospora	27
4.3.1.4 Gigaspora	28
4.3.1.5 Glomus	30
4.3.1.6 Sclerocystis.....	31
4.3.2 Zona Núcleo C	32
4.3.2.1 Acaulospora.....	33
4.3.2.2 Entrophospora	34
4.3.2.3 Gigaspora	35
4.3.2.4 Glomus	37
4.3.2.5 Sclerocytis	38
4.3.2.6 Rhizophagus.....	39
4.4 Riqueza Específica	39
4.4.1 Índice de diversidad de Margalef	39

4.4.1.1 Zona B	39
4.4.1.2 Zona C	40
V. DISCUSIÓN	41
VI. CONCLUSIÓN	43
VII. LITERATURA CITADA.....	44

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Puntos de georeferencia de las muestras obtenidas en las dos zonas núcleo de la Reserva Municipal Sierra y Cañón de Jimulco.	20
Cuadro 2: Análisis Físicos y Químicos de las muestras obtenidas de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> de las dos áreas núcleo.....	23
Cuadro 3: Esporas identificadas por géneros en 10 muestras de 100 g de suelo de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> Torr obtenidas en la Zona Núcleo B de la Reserva Municipal Sierra y Cañón de Jimulco.	24
Cuadro 4: Esporas identificadas por géneros en 10 muestras de 100 g de suelo de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> Torr obtenidas en la Zona Núcleo C de la Reserva Municipal Sierra y Cañón de Jimulco.	32

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de los diferentes tipos de micorrizas. Se muestra las estructuras características de cada uno de ellos (Castillo G, 2009).....	4
Figura 2: tipos de asociación Micorrízica Arbuscular. a) Tipo Arum, caracterizado por hifas que crecen de forma intercelular (cabeza de flecha). b) Tipo Paris, caracterizado por hifas con crecimiento intracelular (cabeza de flecha). Se aprecian vesículas (V); el apresorio (A); hifas (flechas) y arbuscúlos (dos cabezas de flechas) (Barrer, 2009).....	7
Figura 3: Clasificación de los Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA) del Phylum Glomeromycota.	9
Figura 4: Representación esquemática del efecto del micelio externo de los HMA en la estabilización de los agregados del suelo (Montaño et al., 2007)...	10
Figura 5: Diversos utensilios elaborados por los productores Coahuila, México (Castillo et al., 2005).	13
Figura 6: Productor en proceso de recolección de Agave lechuguilla en Coahuila, México (Castillo et al., 2005).....	14
Figura 7: Zonificación de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco.	17
Figura 8: Esporas del género <i>Acaulospora</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	25
Figura 9: Esporas del género <i>Archaeospora</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	26
Figura 10: Esporas del género <i>Entrophospora</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	27
Figura 11: Esporas del género <i>Gigaspora</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	28
Figura 12: Esporas del género <i>Glomus</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	29
Figura 13: Esporas del género <i>Glomus ambisporum</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	30

Figura 14: Esporas del género <i>Glomus constrictum</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	30
Figura 15: Esporas del género <i>Sclerocystis</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	31
Figura 16: Esporas del género <i>Acaulospora</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	33
Figura 17: Esporas del género <i>Entrophospora</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	34
Figura 18: Esporas del género <i>Gigaspora</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	35
Figura 19: Esporas del género <i>Glomus</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	36
Figura 20: Esporas del género <i>Glomus ambisporum</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	37
Figura 21: Esporas del género <i>Sclerocystis</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	38
Figura 22: Esporas del género <i>Rhizophagus</i> aislada de la rizósfera de <i>Agave lechuguilla</i> en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.	39

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue comparar la diversidad morfológica de los Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA) presentes en la rizósfera de las plantas de *Agave Lechuguilla* Torr. La investigación se llevó a cabo en dos áreas núcleo de la Reserva Municipal Sierra y Cañón de Jimulco en el mes de mayo, donde se muestrearon 10 plantas en cada zona núcleo (B y C) de la especie antes mencionada, obteniendo 500 g de suelo las cuales se procesaron en el laboratorio, la obtención de esporas fue por el método de decantación y tamizado. Se recolectaron las raíces más delgadas para su previa determinación del porcentaje de micorrización, también se realizó el análisis de suelo para determinar las características físico-químico. La identificación de esporas obtenidas se hizo en base a sus características morfo-anatómicas de las cuales para la zona B se presentaron los géneros *Acaulospora*, *Archaeospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus* y *Sclerocystis*, y para la zona C se encontró *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis* y *Rhizophagus*. El género *Glomus* fue el que más predominó en la mayoría de las muestras para ambas zona núcleo de acuerdo al ambiente extremo y a la adaptación de las condiciones salinas del suelo. En cuanto al porcentaje de micorrización el resultado fue cero debido a la estación del año en que se recolectaron las muestras. La diversidad específica se determinó con el índice de Margalef obteniéndose una alta diversidad para este ecosistema semiárido, 0.658 para la zona B y 7.28 para la zona C.

Palabras Claves: Hongos Micorrizicos Arbusculares, *Agave lechuguilla* Torr, Diversidad específica, *Glomus* e Índice de Margalef

ABSTRACT

The aim of this study was to compare the morphological diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) present in the rhizosphere of plants of *Agave Lechuguilla* Torr. The research was carried out in two core of the Municipal Reserve Jimulco Sierra and Canyon areas in May, where 10 plants were sampled in each core area (B and C) of the aforementioned species, obtaining 500 g of soil All were processed in the laboratory, the spores was obtained by decantation and sieving method. Thinner for prior determination of the percentage of mycorrhizal roots were collected soil analysis was also performed to determine the physico-chemical characteristics. The identification of spores obtained was based on their morpho-anatomical which for zone B genres *Acaulospora*, *Archaeospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus* and *Sclerocystis* were presented, and Zone C features *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora* found , *Glomus*, *Sclerocystis* and *Rhizophagus*. The genus *Glomus* was the most predominant in most of the samples for both core area according to extreme environment and adaptation of saline soil conditions. In terms of percentage of mycorrhization the result was zero due to the season in which the samples were collected. Species diversity was determined with the Margalef index obtaining a high diversity for this semiarid ecosystem, 0.658 for Zone B and 7.28 for the area C.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, *Agave lechuguilla* Torr, specifies Diversity, *Glomus* and Margalef index

I. INTRODUCCIÓN

Los Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA; Phylum Glomeromycota) son simbioses obligados de las raíces de las plantas de las cuales obtienen carbono, mientras le entregan a esta una serie de beneficios, tales como la mejora de la adquisición de nutrientes, la resistencia a patógenos y el estrés abiótico (Smith and Read, 2008a), estos son los simbioses más importantes de muchos ecosistemas (Lumini et al., 2011) que forman potencialmente asociaciones mutualistas con el 70-90% de las plantas terrestres (Wang and Qiu, 2006, Smith and Read, 2008b).

Los hongos Micorrizicos arbusculares (HMA) tienen un papel importante en los ecosistemas y son un factor clave para la supervivencia de las plantas en un entorno cambiante en el que las plantas son expuestas a circunstancias extremas (Calvo-Polanco et al., 2013) como son las zonas áridas y semiáridas, donde los principales problemas que se presentan es el agotamiento de los minerales, la sequía, la salinidad, metales pesados, entre otros (Gianinazzi et al., 2010) hay que destacar que existe una gran necesidad de proteger la diversidad de HMA por la conservación de los recursos naturales (Carballar-Hernández et al., 2012) como el *Agave Lechuguilla Torr.*

Hasta el 2 de enero de 2013 se habían descrito 241 morfoespecies del phylum Glomeromycota (Schüßler, <http://schuessler.userweb.mwn.de/amphylo/>), estudios realizados en *Agave angustifolia* de la sierra Sonorense reportaron 32 morfoespecies de HMA lo cual se refleja en el buen desarrollo de esta planta (Ochoa-Meza et al., 2009). Asimismo Carballar-Hernández et al. (2012) reporto 20 morfoespecies en un ecosistema semiárido trabajando con *Agave potatorum*.

En los ecosistemas áridos los HMA y sus composición de especies se ven afectados por las condiciones ecológicas bióticas y abióticas donde La conservación de la biodiversidad de los HMA parece crucial para el funcionamiento natural de las comunidades vegetales, la información sobre la distribución y diversidad son importantes en las diferentes áreas núcleo, sólo unos pocos estudios han informado de la ocurrencia de los HMA en ecosistemas áridos del país es por eso que el objetivo del presente trabajo fue

determinar la diversidad de los Hongos Micorrizicos arbusculares presentes en la rizósfera de *Agave lechuguilla Torr.* de dos distintas áreas núcleo de la reserva sierra y Cañón de Jimulco.

1.1 Objetivo General

Comparación de la diversidad morfológica de los Hongos Micorrizicos Arbusculares presentes en la rizósfera de las plantas de *Agave Lechuguilla Torr.* que crecen en el matorral xerófilo de dos áreas núcleo de la Reserva Municipal Sierra y Cañón de Jimulco.

1.1.1 Objetivos específicos

- ✓ Comparar el porcentaje de micorrización en la raíz de *Agave lechuguilla Torr.* para el área núcleo B y C
- ✓ Comparar la diversidad morfológica de las esporas de los HMA en la rizósfera de *Agave lechuguilla Torr.* en el área núcleo B y C

1.2 Hipótesis

Existe diferencia en la diversidad morfológica de los HMA de *Agave lechuguilla Torr.* Debido a las condiciones ambientales que presenta cada área núcleo.

II. LITERATURA REVISADA

2.1 Conceptos Generales de Micorrizas

Las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas que se establecen entre plantas y hongos del suelo, se trata del tipo de simbiosis más extendido en la biosfera, ya que 90% de las plantas terrestres son capaces de establecer algún tipo de micorriza (Smith and Read, 1997). El hongo ayuda a la planta a absorber nutrientes minerales del suelo y a cambio la planta le cede al hongo compuestos carbonados derivados de la fotosíntesis (González, 2005)

El establecimiento de la simbiosis micorrizica, es uno de los más antiguos mutualismos en la Tierra, ha demostrado ser una estrategia exitosa y extendida para maximizar el acceso de P a través de las raíces de las plantas en el suelo. La asociación MA es el tipo de micorrizas más extendido, e influye considerablemente en la nutrición de las plantas terrestres. La integración intraradical adicional morfológica de ambos simbiontes en asociaciones MA permiten el desarrollo de los micelios de hongos extrarradical, que funcionan como una estructura de absorción con eficacia en el suelo, y permite que el P pueda ser transferido del hongo para la planta a través los arbusculos (Barea et al., 2008)

Los Hongos simbióticos son un componente importante de la microbiota del suelo, especialmente en condiciones muy duras, es ahí donde se desarrolla correctamente una simbiosis mutua que mejora la supervivencia de las plantas, así como en las zonas contaminadas por las relaciones de adquisición de nutrientes y agua (Turnau et al., 2010)

2.2 Clasificación de las Micorrizas

En la naturaleza pueden reconocerse diversos tipos de micorrizas, los cuales se presentan en el ecosistema en función de características relacionadas con la presencia de fósforo y nitrógeno, tanto orgánico como inorgánico, y su relación con el tipo de vegetación dominante (Pérez- Moncada, 2011) . Dentro de éstos se encuentran La clasificación actual fue propuesta por Harley y Smith en 1983, y fue refrendada por Smith y Read en 1997. Reconoce siete diferentes tipos de micorriza, considerando tanto sus características

estructurales como el grupo taxonómico del hongo o la planta involucrada y las alteraciones morfológicas que experimentan las partes en el desarrollo de la nueva estructura (Andrade, 2010).

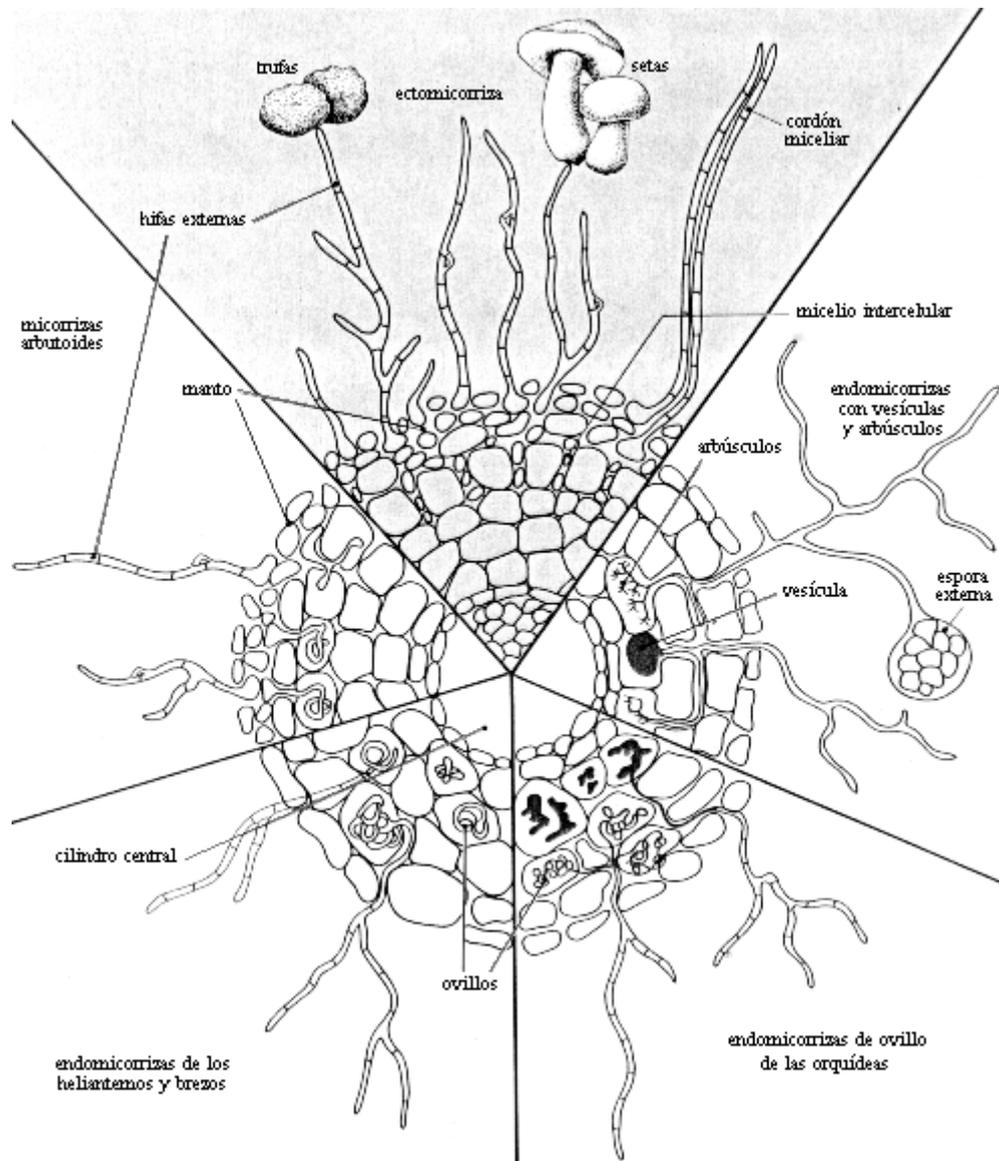


Figura 1: Esquema de los diferentes tipos de micorrizas. Se muestra las estructuras características de cada uno de ellos (Castillo G, 2009).

2.2.1 Ectomicorrizas

Las Ectomicorrizas (ECM) son asociaciones que implican la categoría más amplia de micorrizas . La diversidad se deriva de las asociaciones de más de 5.000 especies de hongos , principalmente Basidiomycetes , con un número limitado de Ascomycetes y Zigomicetos , haciendo que la relación sea muy

diversa, sin embargo son relativamente pocas las familias de las plantas tales como Fagaceae , Pinaceae , Betulaceae y Dipterocarpaceae que están implicados en las asociaciones de ECM (Marjanović and Nehls, 2008), que junto a la fertilización también aumentan el suministro de agua y elevan la resistencia contra las enfermedades y parásitos tolerando los efectos adversos del estrés ambiental (Futai et al., 2008)

2.2.2 Ericoides

Se encuentran en plantas del orden Ericales, el hongo coloniza las delgadas raicillas terminales de la planta, es aquí donde las hifas septadas penetran el córdex y dentro de las células forman un entretejido de micelio parecido a un ovillo, estos hongos capaces de formar esta simbiosis corresponden a los Ascomycetes, Deuteromycetes y en algunos casos a Basidiomycetes (Alonzo, 2005).

2.2.3 Ectendomicorizas

Este tipo de micorriza es especial, pues presenta características de las ectomicorizas (red de Harting y manto), pero simultáneamente presenta un cierto grado de penetración intracelular, como en las endomicorizas. En algunos casos no se forma el manto, pero siempre la red de Hartig. Esta interacción se presenta principalmente entre hongos de los grupos Basidiomycotina y Ascomycotina, y plantas coníferas del género Pinus, aunque también se ha reportado para algunas angiospermas (plantas con flores) (Andrade, 2010).

2.2.4 Monotropides

Es otro tipo de ectendomicorriza que se caracteriza por establecerse solamente entre plantas de la familia Monotropaceae (perteneciente al orden Ericales), la cual tiene 10 géneros de plantas pequeñas completamente aclorófilas (sin clorofila), por lo que depende mucho del hongo asociado para obtener nutrimentos, el hongo que forma micorriza monotropoide es capaz de colonizar las raíces de árboles cercanos (uno a dos metros) principalmente de los géneros pinus y picea, y transportar nutrimentos desde el árbol a las plantas aclorófilas (Andrade, 2010).

2.2.5 Endomicorrizas

Las endomicorrizas son la simbiosis predominante tanto en coberturas naturales como en coberturas antrópicas. Igualmente se ha observado que el fenómeno de dominancia de algunas especies es más evidente en zonas con climas fríos que en zonas de clima templado, el hongo crece dentro de las células corticales de la raíz y forma estructuras características. Existen dos tipos de endomicorrizas, el grupo más común se distingue por presentar hifas aceptadas, vesículas y estructuras ramificadas que le confieren el nombre de micorrizas vesiculo- arbusculares. El segundo grupo está constituido por hongos con hifas septadas que invaden las células de la raíz sin romper la membrana plasmática y crecen dentro de la célula formando estructuras globosas (León, 2006)

2.2.6 Orquidáceas

Corresponden a una simbiosis hongo-planta que puede establecerse en el embrión de una semilla o en las raíces de una planta adulta. Todas las Orquidáceas, en alguna fase de su vida son infectadas con hongos bajo condiciones naturales. Los hongos formadores de este tipo de micorriza corresponden a las clases Basidiomycetes, los cuales no desarrollan manto ni red de Harting, sino que las hifas septadas forman ovillos intracelulares en las raicillas de las plantas Orquidáceas (Alonzo, 2005).

2.2.7 Arbusculares

Se originan a partir de hifas que proceden de los propágulos existentes en el suelo (esporas maduras, fragmentos de raíz micorrizados, o plantas micorrizadas que crecen en conjunto). Cuando una hifa contacta con la superficie de una célula epidérmica de la raíz, forma un apresorio que originara seguidamente la hifa colonizadora que penetrara en dicha célula o atravesara el espacio intercelular (León, 2006).

Este tipo de micorriza se caracteriza por la penetración de las hifas del hongo en las células de la epidermis y cortex de la raíz y por la ausencia de manto sobre la superficie de la misma. Esta categoría abarca dos subtipos **Arum** donde existe la presencia de arbusculos y **Paris** presenta hifa que forma ovillos, formando coils-arbusculos (Castillo G, 2009).

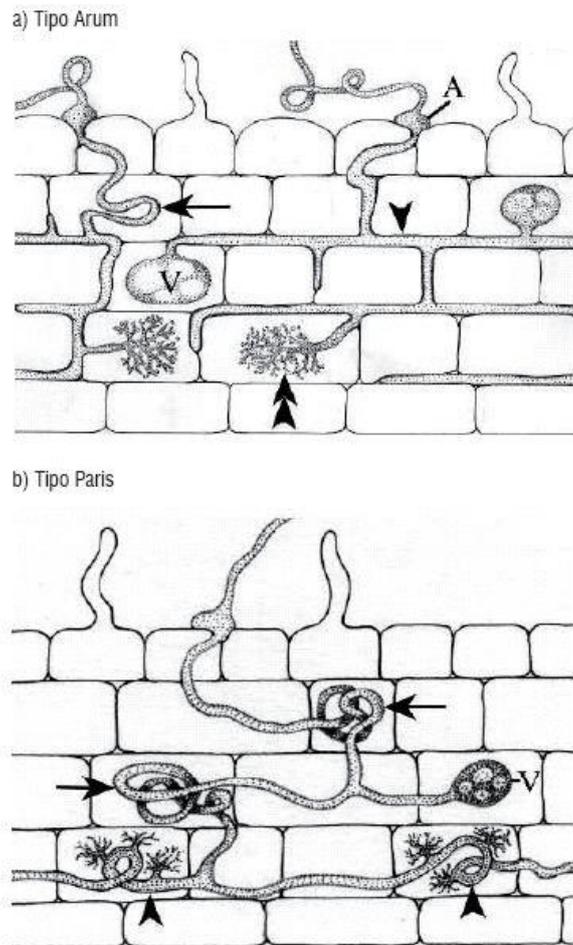


Figura 2: tipos de asociación Micorrízica Arbuscular. a) Tipo Arum, caracterizado por hifas que crecen de forma intercelular (cabeza de flecha). b) Tipo Paris, caracterizado por hifas con crecimiento intracelular (cabeza de flecha). Se aprecian vesículas (V); el apresorio (A); hifas (flechas) y arbusculos (dos cabezas de flechas) (Barrer, 2009).

2.3 Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA)

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son simbioses obligados que viven en las raíces de aproximadamente el 80%-90% de las especies de plantas, la mayoría forman esporas en el suelo que son capaces de germinar y crecer a partir de un estado de reposo, al igual que en respuestas a diferentes condiciones edáficas ambientales (Giovannetti et al., 2010), esta simbiosis es el intercambio recíproco de nutrientes que resulta un beneficio nutricional para ambos simbioses donde el hongo adquiere el carbono de la planta y la planta obtiene nutrientes minerales del hongo como Fósforo (P), Nitrogeno, Calcio, Zinc, Cobre (Harrison et al., 2010),) siendo una estrategia muy extendida por el cual las plantas facilitan la adquisición de elementos minerales del suelo (Neumann and George, 2010) reduciendo el daño causado por los patógenos

(Akhtar and Siddiqui, 2008) y aumentando la resistencia al estrés biótico y abiótico, estos HMA habitan en dos tipos de ambiente altamente contrastantes: la corteza de la raíz y del suelo. El suelo es muy variable en diferentes aspectos y en un amplio rango de escalas. en contraste con las interacciones de HMA con raíces (Jansa and Gryndler, 2010).

2.3.1 Taxonomía de los HMA

Los HMA se encuentran clasificados dentro del Phylum Glomeromycota, este grupo de hongos del suelo son bien conocidos para establecer asociaciones de micorrizas arbusculares en las plantas de tierra que se producen en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Stürmer et al., 2013), estas asociaciones con las raíces de las plantas, extienden sus hifas más allá de la superficie de la raíz colonizando la rizósfera y aumentando considerablemente el área de superficie disponible para la absorción de nutrientes. Esto tiene ventajas considerables para la captación de nutrientes para la planta, especialmente de fósforo y nitrógeno, que se ve reflejada en una mejor nutrición y buen crecimiento de las plantas (Smith and Read, 2008a).

La taxonomía o clasificación de los HMA se basa principalmente en la morfología de sus esporas microscópicas, cuyos diámetros pueden variar de 20 a 1000 μm , las cuales se pueden aislar del suelo cercano a raíces colonizadas. En la clasificación de los HMA se incluyen criterios morfológicos de las esporas, siendo las principales características, el detalle de la pared celular y su estructura que son de gran resistencia a condiciones ambientales adversas permitiendo permanecer en el suelo con vida latente, por largos periodos y en condiciones climáticas variables (Reyes, 2002).

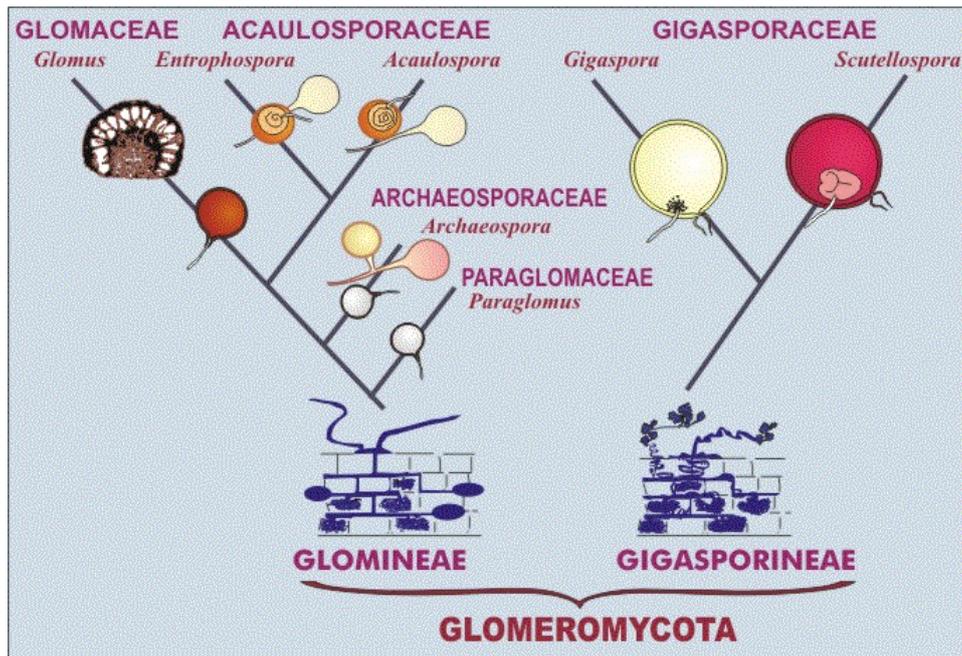


Figura 3: Clasificación de los Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA) del Phylum Glomeromycota.

2.3.2 Estructuras de los HMA

2.3.2.1 Vesículas

Son estructuras de almacenamiento cuya formación de sustancias (lípidos) es posterior a la de los arbusculos y tiene lugar a partir del hinchamiento de una hifa terminal (Castillo G, 2009).

2.3.2.1 Arbúsculos

Estas se forman a partir de hifas que son filamentos tubulares, que penetran la epidermis radicular hasta llegar a la endodermis sin atravesarla, allí comienza su ramificación, su vida aproximada es de 1 a 3 semanas después de lo cual se colapsa, una parte se reabsorbe hacia el citoplasma hifal y el resto permanece en la célula hospedera rodeados por el plasmalema, son responsables de la transferencia bidireccional de nutrientes (Castillo G, 2009).

2.3.2.1 Esporas

Las esporas son células morfológicamente especializadas las cuales no contribuyen directamente ni soportan actividades del desarrollo de la micorriza e interacciones hospedero-hongo. La función de la espora es llevar la información genética a nuevos hábitats e iniciar nuevos individuos espacialmente separados del organismo parental (León, 2006).

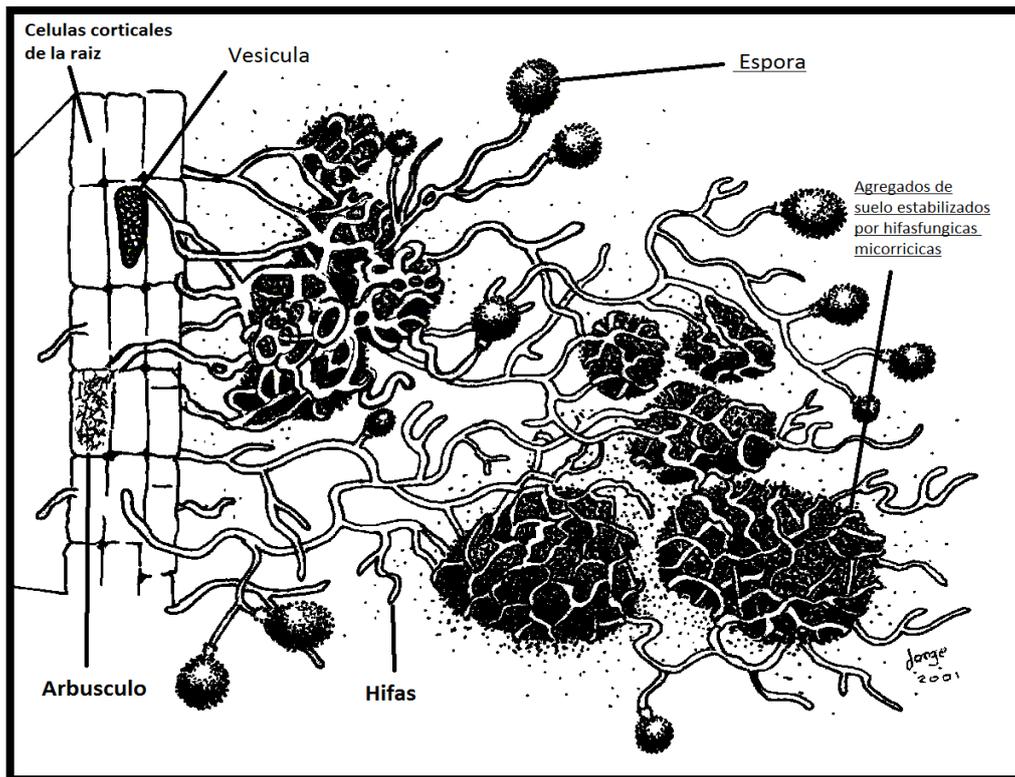


Figura 4: Representación esquemática del efecto del micelio externo de los HMA en la estabilización de los agregados del suelo (Montaño et al., 2007).

2.3.3 HMA de los ecosistemas semiáridos

Los ecosistemas semiáridos se caracterizan por una precipitación baja e irregular a lo largo del año con periodos de sequía recurrentes durante los que las comunidades vegetales se ven sometidas a situaciones de elevado estrés hídrico. Los organismos que habitan en estos ecosistemas han desarrollado estrategias para superar estas condiciones adversas. En muchos casos establecen interacciones entre plantas y especies de HMA de manera que consiguen un mayor aprovechamiento del agua disponible. Por lo tanto las especies de HMA adaptados a suelos áridos captan de manera más eficaz los nutrientes y el agua en condiciones de sequía ayudando a las plantas a superar las condiciones adversas (Egerton-Warburton et al., 2007), como largos periodos de sequía, intensas temperaturas y evaporación, suelo con alto contenido de sales, suelos arenosos con alto grado de erosión, suelos con bajos niveles de nutrimentos y de agua, entre los factores principales, esto lleva a pensar que las HMA son un factor que permite a las plantas resistir estas condiciones, donde las hifas de los HMA son fisiológicamente más efectivas para la absorción de agua y nutrimentos que las raíces mismas. Esta

característica incrementa la tolerancia de las plantas a la sequía y a la captación de nutrimentos que son relativamente inmóviles como el P y, por lo tanto, son necesarias para el crecimiento y supervivencia de las plantas en el desierto (Montaño et al., 2007).

2.4 *Agave lechuguilla* Torr

2.4.1 Descripción de *Agave lechuguilla* Torr.

El *Agave lechuguilla* Torr. es una de las especies no maderables explotada en las regiones áridas y semiáridas del país que se utiliza principalmente en la extracción del ixtle a través del tallado (Hernández, et al., 2004) que se considera una de las especies más comunes en el desierto Chihuahuense (Castillo et al., 2005) es una planta sin tallo (acaule), con hojas carnosas, típicas de los agaves, que pueden medir hasta 70 cm de largas, hasta 20 – 30 cm de anchas en la base y 6 cm en la parte media, dispuestas en roseta. La planta adulta puede tener hasta 50 hojas. Las hojas se forman a partir de la yema apical conformando un cono apretado, al que se le denomina “cogollo”, formado por hojas jóvenes enrolladas sobre el eje central. Las hojas jóvenes son de color verde azulado y cuando maduran algunas veces presentan una franja longitudinal de color verde más claro en el haz y en las franjas estrechas de color verde oscuro. Las hojas son firmes, lanceoladas, entre difusas y erectas, algunas veces incurvadas y raramente falcadas (con curvatura semejante a la de la hoz), cóncavas en el haz y convexas en el envés (Blando-Navarrete and Marín, 2001).

2.4.2 Taxonomía de *Agave lechuguilla* Torr.

Reino: Metaphyta (Plantae)

Phylum: Spermatophyta (Embriophyta Siphonogama)

Subphylum: Angiospermas (Antophyta)

Clase: Monocotyledoneae

Orden: Agavales (Liliflorales, Liliales o Liliflorae)

Familia: Agavaceae (Amarylidaceae)

Género: Agave (Subgenero *Littaea*)

Especie: Lechuguilla Torr.

Clasificación taxonómica de *Agave lechuguilla Torr* Según Blando-Navarrete and Marín (2001).

2.4.2 Habitat

Esta especie es un elemento de las provincias altiplanicie y planicie del noroeste, de la región xerofítica mexicana (Agüero et al., 2000) se desarrolla en los sistemas áridos y semiáridos y es la más representativa en el desierto chihuahuense, principalmente en el matorral desértico rosetófilo y el matorral desértico micrófilo, crecen generalmente en suelos profundos de origen calizo arcilloso y de origen ígneo en pendientes pronunciadas, coluviales someros y pedregosos (Zamora et al., 2008) soportan largos periodos de sequía en regiones cuya precipitación oscila entre 200 a 500 mm y una altitud entre 200 a 2400 msnm (C.V, 2009)

2.4.3 Distribución

Presenta una distribución geográfica que se extiende desde el sureste de los Estados Unidos (Texas y Nuevo México) hasta el sur del desierto chihuahuense dentro del territorio mexicano. En México abarca los estados de Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Durango San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. Así mismo algunas poblaciones naturales se localizan en el sur del país, específicamente en los estados de Hidalgo, Oaxaca y México (Castillo et al., 2005); (Martinez et al., 2011).

2.4.4 Usos

2.4.4.1 Industrial

Se obtiene una fibra dura de alta resistencia y durabilidad que se utiliza como materia prima para la elaboración de diferentes productos domésticos como cepillos, estropajos, confección de lazos, cordelería, tapetes y filtros para automóviles (Zamora et al., 2008), brochas para maquillaje y como sustituto de cerdas de cepillos industriales y albañilería (Castillo et al., 2005).

2.4.4.2 Artesanal

Elaboración de bolsas, huaraches, cestos, flores, entre otros artículos, esta fibra de lechuguilla se obtiene principalmente del cogollo que es donde se obtiene la fibra de mejor calidad y de mayor valor comercial (CONAFOR, 2005).

2.4.4.3 Cosméticos

La raíz y el tallo se emplean en la elaboración de shampoos y jabones (Zamora et al., 2008)



Figura 5: Diversos utensilios elaborados por los productores Coahuila, México (Castillo et al., 2005).

2.4.5 Temporada de Recolecta

Se define en función de las necesidades económicas de los recolectores de la fibra y de la precipitación, se puede realizar prácticas todo el año, pero sobre todo en los meses secos, con el fin de mejorar la calidad de la fibra y evitar que se rompa durante el tallado lo cual es frecuente ya que la planta contiene una gran cantidad de agua, para la temporada de lluvia se obtiene menos fibra por lo que el productor suspende el aprovechamiento para dedicarse a la siembra de cultivos básicos (Zamora et al., 2008).

2.4.5 Producción de *Agave lechuguilla* Torr

2.4.5.1 En México

La lechuguilla es un recurso forestal económicamente importante que durante generaciones ha constituido una fuente importante de ingresos para los

habitantes de las regiones áridas y semiáridas del país, siendo una de las especies más comunes en el desierto chihuahuense (Castillo et al., 2005), donde se tiene que 7 estados del país son los que poseen las condiciones edafoclimáticas que permiten que la planta de *agave de lechuguilla* se reproduzca en forma natural, los municipios pertenecientes a estos estados donde se localiza la producción del *agave de lechuguilla* de forma legal, la mayor parte de ellos son considerados como de alta marginación (C.V, 2009). Presentándose una superficie cercana a los 100,000 km² (Martinez et al., 2011).

2.4.5.2 En Coahuila

En el estado de Coahuila, el aprovechamiento de la lechuguilla es una de las actividades de subsistencia para los productores del semidesierto Coahuilense que está ligada con actividades como la agricultura de temporal y la ganadería, pero en algunos casos, es comúnmente la única fuente de ingresos económicos, dado que los cultivos agrícolas bajo este sistema de producción son de bajo rendimiento debido a la mínima distribución y la poca cantidad de las lluvias, que difícilmente satisface los requerimientos hídricos de los cultivos establecidos (Castillo et al., 2005)



Figura 6: Productor en proceso de recolección de Agave lechuguilla en Coahuila, México (Castillo et al., 2005).

2.5 Áreas Naturales Protegidas

Una Área Natural Protegida (ANP) es una porción del territorio (terrestre o acuático) cuyo fin es conservar la biodiversidad representativa de los distintos ecosistemas para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos y cuyas características no han sido esencialmente modificadas, son manejadas bajo el instrumento político con mayor definición jurídica para la conservación, regulando sus actividades bajo el marco normativo de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, estando sujetas a regímenes de protección, conservación, restauración y desarrollo, según categorías establecidas en la Ley (Semarnat, 2010).

Las ANP tienen como fin vigilar que el aprovechamiento de los recursos dentro de la zona se realice de manera sustentable, preservando la flora y fauna particular del ecosistema, permitir y propiciar la investigación y estudio de los ecosistemas con el fin de generar conocimiento y transmitir aquellas prácticas o tecnologías que permitan el aprovechamiento sustentable de los mismos y, a su vez, proteger el entorno de las zonas históricas, arqueológica y turísticos de valor e importancia cultural y recreativa (SEMARNAT, 2010).

2.5.1 Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco (REM-SCJ)

Esta Sierra se ubica geográficamente entre las coordenadas 25°06' - 25°23' N y 103°29' -103°07' W, Limita al N-E con el municipio de Viesca, Coah.; al S y al O con el Estado de Durango; con una superficie poco más de 64,000 ha y a una distancia aproximada de 75 km. de la ciudad de Torreón, Coah. (Gobierno del Estado de Coahuila, 2002).

2.5.2 Características del Área

La Sierra de Jimulco, localizada al suroeste del estado de Coahuila de Zaragoza, es la región más extrema de la Sierra Madre Oriental, presentando algunas cimas del desierto Chihuahuense superiores a 3,100 msnm que originan ecosistemas diversos (Sánchez et al., 2009). Gran porción de esta sierra, representa el 44.7% de la superficie total del municipio de Torreón, Coah. y se ha decretado como Reserva Ecológica Municipal "Sierra y Cañón de Jimulco" (Biodesert 2003) y 'Montaña Prioritaria' N° 61 (García 2006) por su

amplia superficie protegida para la conservación y manejo sustentable de sus recursos naturales

2.5.3 Problemática de los ecosistemas de desierto

La problemática en estos ecosistemas áridos y semiáridos, es debido a la escasez de agua con frecuencia limita o impide la creación y el crecimiento de la planta, provoca la erosión y la desertificación de paisajes áridos y semiáridos (Caravaca, Barea, et. al, 2003).

Las funciones ecológicas clave que desempeñan en los suelos y las plantas de AM simbiosis, una comunidad diversa de HMA es necesaria para el desarrollo y mantenimiento de la diversidad vegetal (Estrada, Beltran, et., al, 2013).

El éxito de plantas nativas en suelos degradados tales como ecosistemas áridos y semiáridos puede estar limitado por la baja densidad de propágulos, que representan un factor significativo para la fertilidad del suelo por el que rige los ciclos de los principales nutrientes de las plantas (Caravaca et al., 2003). El impacto ecológico de la HMA es relevante para los ecosistemas estos ecosistemas permiten una mayor tolerancia de las plantas de las tensiones del medio ambiente característico de estos ecosistemas, HMA mejora el crecimiento y la estructura del suelo (Estrada et al., 2013).

Las micorrizas ayudan a las plantas a prosperar en condiciones áridas, aumentando el aporte de nutrientes a la planta (especialmente P) la mejora de la agregación del suelo en suelos erosionados y reducir el estrés de agua (Caravaca et al., 2003). La evaluación de la composición de las especies nativas es un tema importante como HMA juegan un papel importante en el vigor de las comunidades vegetales y la restauración de los ecosistemas perturbado (Estrada et al., 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del Área de Estudio

La Reserva Ecológica Municipal “Sierra y Cañón de Jimulco” (REM-SCJ), se localiza en la parte suroeste del estado de Coahuila de Zaragoza dentro del municipio de Torreón. Geográficamente se ubica entre los paralelos 24°56'18” y 25°17'52” de latitud norte, y entre los meridianos 103°30'34” y 103°05'15” de longitud oeste, a una altura de 1,150 a 3,120 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el municipio de Viesca; al sur y al oeste con el Estado de Durango. Se localiza a una distancia aproximada de 265 km. de la capital del estado (Gobierno del Estado de Coahuila, 2002) (Figura 7).

El clima en la zona es de dos tipos principales; el clima seco o estepario (BSo) y el muy seco o desértico (BW). Éste último clima es el que ocupa una mayor superficie dentro del área ocupando el 56.63%, y se localiza sobre sierras, valles, bajadas y llanuras. El clima de tipo seco o estepario se encuentra cubriendo una superficie de 43.37% y se localiza principalmente en la parte central del área, distribuido principalmente sobre sierras en una franja horizontal de este a oeste (2003)

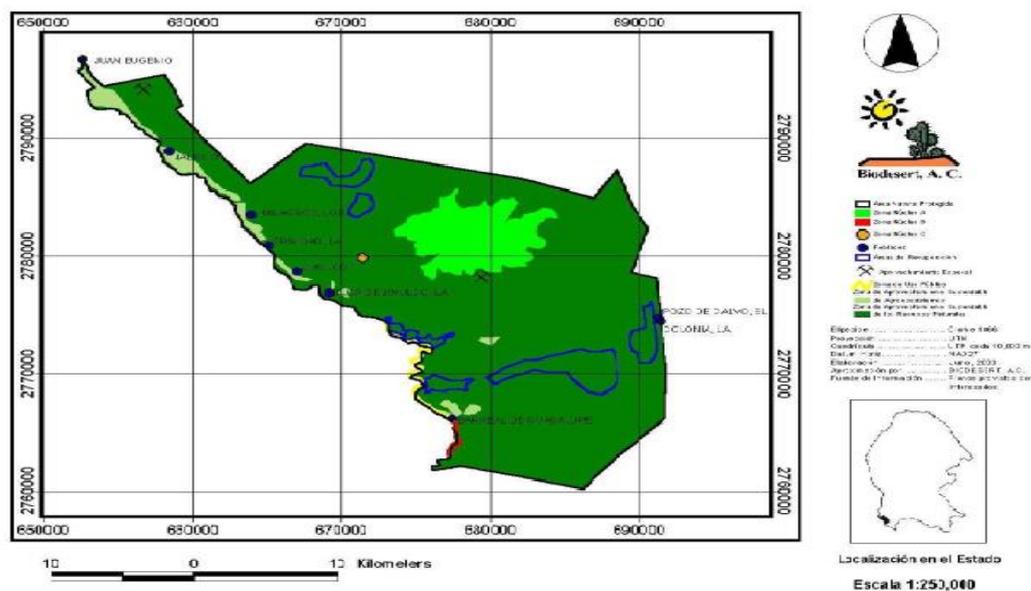


Figura 7: Zonificación de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco (Ramos, 2013).

La precipitación anual oscila entre 100 y 300 mm, es escasa durante la mayor parte del año, su promedio anual varía desde 146 hasta 632 mm (García, 1987, Vidal, 2005), en las porciones altas de la sierra el valor es superior a 650 mm. La temporada con mayor precipitación se presenta entre los meses de julio a octubre. Las temperaturas medias fluctúan entre 10° y 18 °C; sin embargo, es variable, desde - 8 °C durante la época invernal en las partes más elevadas hasta 38 °C en el verano para las áreas con menor altitud. La humedad atmosférica en gran parte del territorio es baja y la evaporación elevada (Vidal, 2005).

3.2 Vegetación

La sierra presenta en conjunto tres ecosistemas vegetales elementales, 1) matorral, con tres modalidades, xerófilo, micrófilo y rosetófilo, 2) chaparral y 3) bosque de encino-pino. En los matorrales las especies más frecuentes son *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua*, *Parthenium incanum* y *Prosopis glandulosa*, así como *Agave lechuguilla* y *Dasyilirion cedrosanum*, incluyendo amplia diversidad de cactáceas. En el chaparral, comunidad representada principalmente por arbustos esclerófilos, desarrollo vegetativo y coberturas densas, destacan las especies *Rhus virens*, *Mortonia greggi*, *Cercocarpus fothergilloides* ssp. *montanus*, *Purshia plicata*, *Lindleya mespilioides*, *Juniperus flaccida* y *Quercus* spp.; el bosque de encino-pino, es una asociación localizada en las cimas de la Sierra y en cañones húmedos y sombreados, cuyos representantes principales son *Pinus cembroides* y *Quercus* spp., (Rzedowski, 1978, Villarreal and Valdés, 1992-1993, Flores, 2002, Sánchez et al., 2009). Se presentan zacatales que se desarrollan en valles con suelos profundos o en laderas bajas, con frecuencia mezclados con otro tipo de vegetación.

3.3 Sitio de Muestreo

3.3.1 Zonas núcleo

Comprenden aquellas áreas que por su diversidad, grado de conservación o por la presencia de especies bajo protección especial, deben ser consideradas como prioritarias para su protección (Figura 7).

3.3.1.1 Zona B

Con fundamento en la población de *Agave victoriae-reginae* T.Moore (noa) especie reportada en la NOM-069-SEMARNAT-2010 como endémica y en peligro de extinción, el Cañón de la Cabeza, principalmente sus acantilados del lado oriental, conforman esta zona núcleo de la REM-SCJ. La cubierta es típica de matorral xerófilo, dominando nuevamente los crasirosulifolios con los géneros *Hechtia* y *Agave*, acompañados por cactáceas y otros elementos del matorral micrófilo (Biodesert, 2003).

3.2.1.2 Zona C

Esta es la zona núcleo de menor tamaño, se localiza a escaso un kilómetro del Ejido La Flor de Jimulco, por encima del sitio conocido como “Jimulquillo”. Su importancia radica en la considerable población de *Leuchtenbergia principis*, (palmilla de San Pedro, biznaga) especie endémica y amenazada de acuerdo a la NOM-069-SEMARNAT-2010(SEMARNAT, 2010). Comprende unas 30 hectáreas de terrenos poco utilizados como agostadero (Biodesert, 2003).

3.4 Muestreo

Se eligió una sola especie de planta (*Agave Lechuguilla Torr*) en cada una de las áreas núcleo. Las muestras de suelo y raíz fueron recolectadas en la estación de primavera en el mes de mayo del 2014 colectándose así un total de 40 muestras.

3.4.1 Toma de muestras en campo

3.4.1.1 Raíces

Se identificó la especie a muestrear en cada una de las áreas núcleo, todas las plantas se tomaron con el mismo desarrollo vegetativo. Se tomó una muestra de raíz por planta, esto para determinar el porcentaje de micorrización para lo cual las raíces ya limpias se pusieron en KOH al 10% para su traslado y posterior procesamiento en el laboratorio.

3.4.1.2 Muestreo de la Rizósfera

Las muestras de suelo de cada una de las plantas se tomaron de la rizósfera con una barrena de 5 cm de diámetro de 0-30 cm de profundidad obteniendo aproximadamente 500 g por planta, colocándolas inmediatamente en bolsas de

polietileno para la determinación morfológica, que se llevará al laboratorio a una temperatura de 5 °C hasta su procesado, de cada área núcleo se recolectaron dos kg de suelo previo a los análisis físico-química requeridos.

Cuadro 1: Puntos de georeferencia de las muestras obtenidas en las dos zonas núcleo de la Reserva Municipal Serra y Cañón de Jimulco.

Muestras	Georeferencias	
Zona B	Latitud Norte	Latitud Oeste
1	24.99190°	103.24723°
2	24.99190°	103.24723°
3	24.98377°	103.24488°
4	24.98023°	103.24796°
5	24.97828°	103.24984°
6	24.96917°	103.25238°
7	24.96900°	103.25319°
8	24.96884°	103.25390°
9	24.96047°	103.25748°
10	24.96047°	103.25748°
Zona C		
1	25.11.487°	103.30936°
2	25.11.487°	103.30981°
3	25.11532°	103.30971°
4	25.11561°	103.30962°
5	25.11623°	103.30981°
6	25.11665°	103.30965°
7	25.11600°	103.30897°
8	25.11370°	103.30981°
9	25.11202°	103.31157°
10	25.11002°	103.31559°

3. 5 Caracterización físico-química del suelo

El análisis de la textura del suelo se midió el tamaño de partícula por medio del método del hidrómetro (Bouyoucos, 1962). La conductividad eléctrica y el pH se midieron con un medidor de pH de vidrio-electrodo en una 1: relación de suelo a agua 2,5 (w / v). El porcentaje de carbono orgánico (C) se determinó por el método húmedo-oxidación de Walkley y Black (1934), mientras que el porcentaje total de Nitrógeno (N) se midió por el método de micro-Kjedahl (Jackson 1967). El porcentaje de la materia orgánica se determinó con el contenido de carbono orgánico multiplicado por el factor 1,72. La Capacidad de Intercambio catiónico se realizó por el método de Conttente (1980). El P disponible se ensaya por el método de Bray y Kurtz (1945).(Velazquez et al.,

2013, Hu et al., 2013, Carballar-Hernández et al., 2013, Carballar-Hernández et al., 2012).

3.6 Determinación y Metodología

3.6.1 Determinación de la formación y desarrollo de la micorrización

Las raíces se lavaron cuidadosamente con agua del grifo y se cortaron en segmentos de 1 cm de largo. Se tomó una cantidad de 0,5 g, los segmentos de raíz se clarearon en KOH 10% (w / v) a 90 ° C, posteriormente en baño maría persistió durante 60 min. Después de enfriar, las muestras de raíces se lavaron y se teñieron con azul de tripano al 0,05% (Gai et al., 2012). Las raíces clareadas y teñidas se colocaron en cajas Petri con suficiente lactoglicerol. En portaobjetos y utilizando agujas de disección se colocaron 10 segmentos de aproximadamente 1 cm de largo, paralelamente unos a otros. Sobre las raíces se adicionaron gotas de lactoglicerol, colocando posteriormente el cubreobjetos. Se eliminaron las burbujas de aire y cada laminilla se selló con esmalte transparente. Para realizar la evaluación de las estructuras morfológicas características de la micorriza arbuscular, se realizaron observaciones en el microscopio óptico a través del objetivo seco débil y seco fuerte. Para ello se efectuaron tres pasajes equidistantes por laminilla. Al revisar un campo óptico donde se encontraba un segmento que contenía hifas, vesículas o arbusculos, independientemente de la intensidad de micorrización, se le otorgó el valor de uno para la evaluación total y por estructuras (Phillips and Hayman, 1970).

3.6.2 Aislamiento de esporas e identificación de HMA

Las esporas de HMA se extrajeron de 100 g de suelo seco de la rizósfera de cada planta muestreada. Se utilizará el método de tamizado en húmedo y decantación (Gerdemann and Nicolson, 1963), seguido por centrifugación en gradiente de sacarosa (Walker et al., 1982). Las esporas sanas se colocaron en una placa de Petri para la observación directa bajo un microscopio estereoscópico. Donde se separaron en base a sus características morfo-anatómicas. Para identificación, cada tipo de esporas se montó en polivinílico-ácido láctico-glicerina (PVLG) (Koske and Tessier, 1983) y PVLG 1: 1 (v / v) mezcla de reactivo de Melzer (Brundrett et al., 1999). La identificación se

basaron en los criterios taxonómicos aceptados actualmente para la estructura de tamaño, color, ornamentación superficial y la pared de la espora, siguiendo las claves de Schenck and Pérez (1988) y las que se encuentran disponibles en los sitios web de la Colección Internacional de Cultura (vesicular): Los hongos micorrízicos arbusculares (<http://invam.caf.wve.edu/>), Janusz Blaszkowski de la Universidad de Agronomía de Szczecin (<http://www.agro.ar.szczecin.pl/~jblaszkowski/>) y la filogenia Glomeromycota (<http://www.lrz-muenchen.de/schuessler/amphylo/>).

3.6.3 Medición de Riqueza Específica

La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies (S) obtenido por un censo de la comunidad. Esto es posible únicamente para ciertos taxa bien conocidos y de manera puntual en tiempo y en espacio. La mayoría de las veces tenemos que recurrir a índices de riqueza específica obtenidos a partir de un muestreo de la comunidad mediante el índice de Margalef (Moreno, 2001).

3.6.3.1 Índice de diversidad de Margalef

Número de géneros esperados: (S)

Número de géneros encontrados: (S)

Número total de esporas dentro de los diferentes géneros

$$Dmg \frac{S - 1}{\ln N}$$

S= Número de especies

N= Número total de individuos

IV. RESULTADOS

4.1 Propiedades del Suelo

Los resultados obtenidos de los análisis de suelo (**Cuadro 2**), indican un suelo Franco Arenoso para ambas zonas núcleo (B y C), asimismo para el pH presentó un valor ligeramente alcalino. Por otro lado la Conductividad Eléctrica nos muestra que son ligeramente salinos, mientras que la Materia Orgánica se encuentra en un rango mediano, por otra parte el Fosforo indica un nivel alto para ambas zonas. La Capacidad de Intercambio Catiónico se encontró baja para las dos zonas, sin embargo para la medición del porcentaje de Nitrógeno Total se presentó en un rango bajo para la zona núcleo C, mientras que para la zona núcleo B presentó un rango medio.

Cuadro 2: Análisis Físicos y Químicos de las muestras obtenidas de la rizósfera de Agave lechuguilla de las dos áreas núcleo.

Parámetros	RESULTADOS OBTENIDOS	
	Zona B	Zona C
Textura	29.44	25.44
pH en extracto	7.86	7.88
Conductividad Eléctrica en extracto mS/cm	2.15	2.14
Materia Orgánica %	1.92	1.79
Nitrógeno Total %	0.11	0.08
Fósforo ppm	20.4	12.6
Capacidad de Intercambio Catiónico Meq/100 g	9	11

4.2 Porcentaje de Micorrización en Raíz de *Agave lechuguilla*

Los resultados obtenidos para el porcentaje de micorrización realizado, por el método empleado por Phillips y Hayman (1970), en las 10 muestras de raíces de *Agave lechuguilla* recolectadas de cada zona núcleo (B y C) fue cero.

4.3 Riqueza de Géneros y Ubicación Taxonómica

4.3.1 Zona Núcleo B

En el cuadro 3 se observa que para la zona núcleo B (El Cañón de la Cabeza) los géneros identificados fueron, *Acaulospora*; *Archaeospora*; *Entrophospora*; *Gigasporas*; *Glomus* de las cuales se identificaron dos especies de *Glomus*, *ambisporum* y *constrictum*; y por último el género *Sclerocystis* donde se tuvo la especie *sinuosa*.

Dentro de esta zona núcleo, la muestra que presentó mayor número de esporas fue la muestra siete con un total de 320 esporas, seguido de la muestra ocho con un total de 310, siendo el menor la muestra 10 con una cantidad de 100 esporas. Los géneros más persistentes fue *Glomus* observándose un total de 860 esporas de las cuales se obtuvieron en la mayoría de las muestras, posteriormente el género *Gigaspora* obteniéndose una cantidad de 410 esporas, teniendo al género *Sclerocystis* de la especie *sinuosa* como el menor con un total de 50 esporas presentándose en las muestras dos, tres y cinco.

Cuadro 3: Esporas identificadas por géneros en 10 muestras de 100 g de suelo de la rizósfera de *Agave lechuguilla* Torr obtenidas en la Zona Núcleo B de la Reserva Municipal Sierra y Cañón de Jimulco.

Muestra	<i>Acaulospora</i>	<i>Archaeospora</i>	<i>Entrophospora</i>	<i>Gigaspora</i>	<i>Glomus</i>	<i>Sclerocystis</i>	Total
1	60	-	30	30	50	-	170
2	-	40	30	80	30	30	210
3	10	50	40	80	-	10	190
4	20	40	-	130	10	-	200
5	70	-	10	40	40	10	170
6	-	-	-	-	190	-	190
7	-	-	50	-	270	-	320
8	20	-	70	30	190	-	310
9	30	-	30	20	40	-	120
10	30	-	30	-	40	-	100
Total	240	130	290	410	860	50	1980

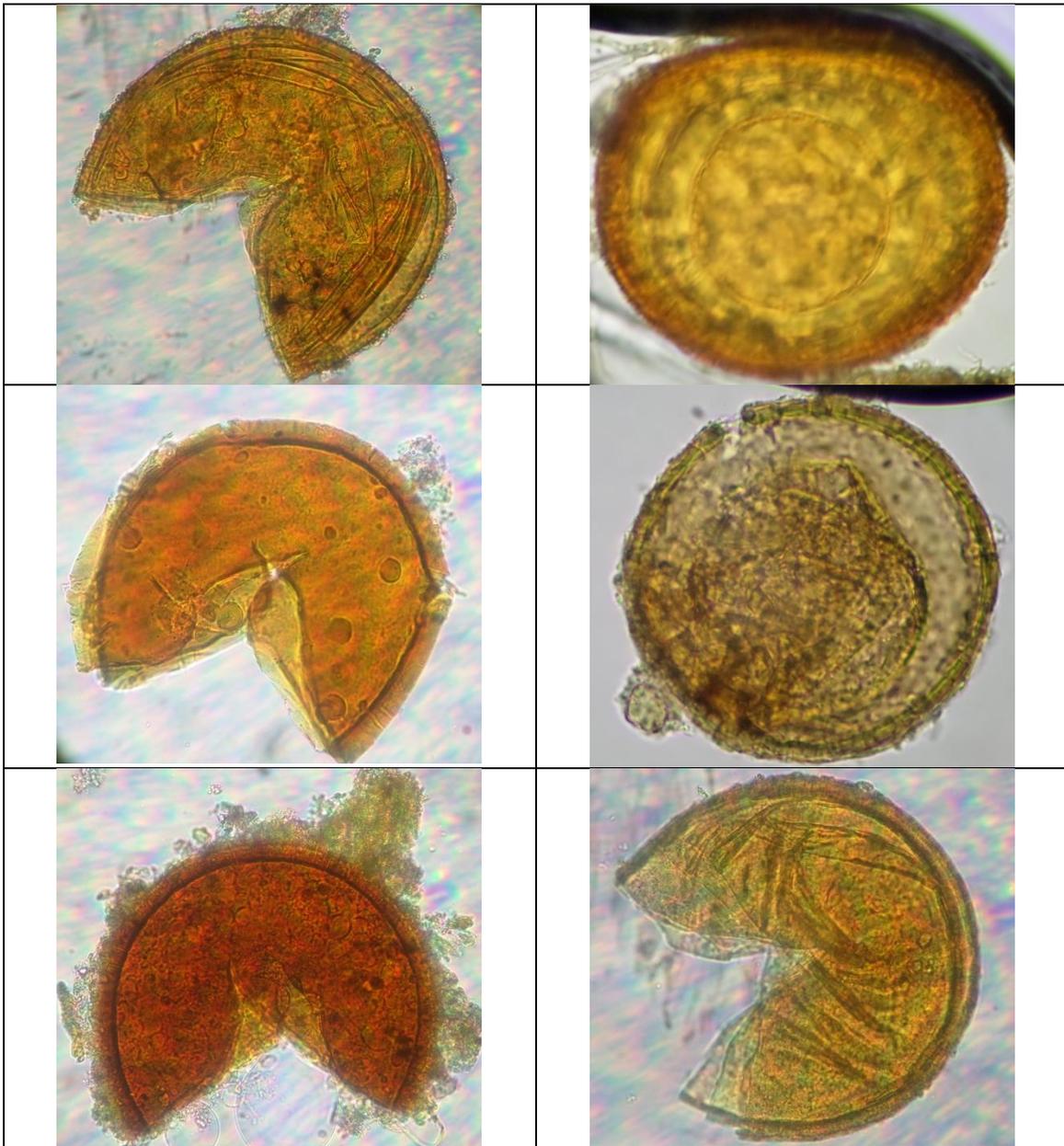


Figura 8: Esporas del género *Acaulospora* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P

4.3.1.1 *Acaulospora*

En la figura 8 muestra la diversidad de esporas del género *Acaulospora* presentadas en la zona núcleo B.

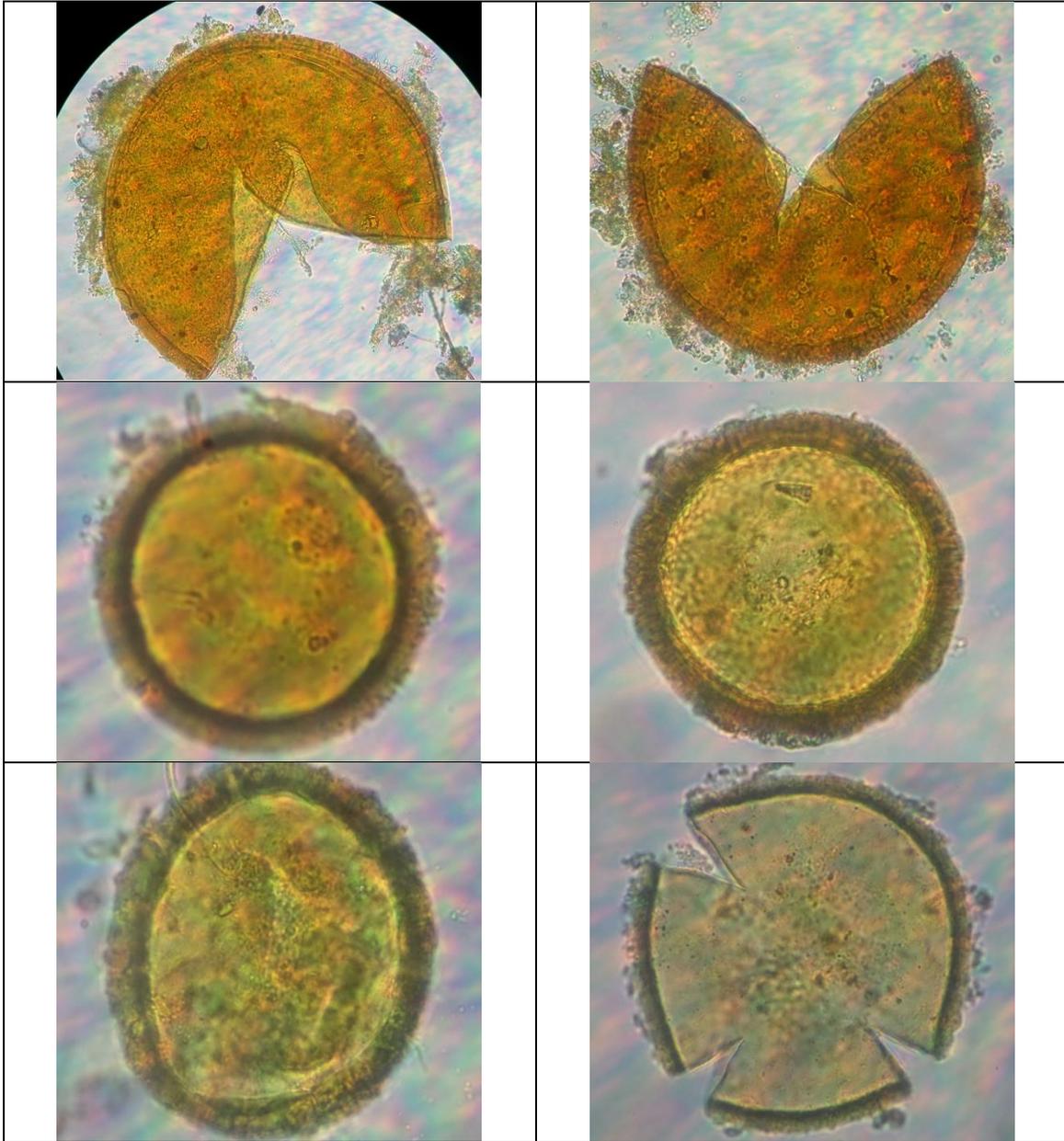


Figura 9: Esporas del género *Archaeospora* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

4.3.1.2 *Archaeospora*

La figura 9 se observa la diversidad de esporas del género *Archaeospora* identificadas en la zona núcleo B en 100 g de suelo de la rizósfera de *Agave lechuguilla*.

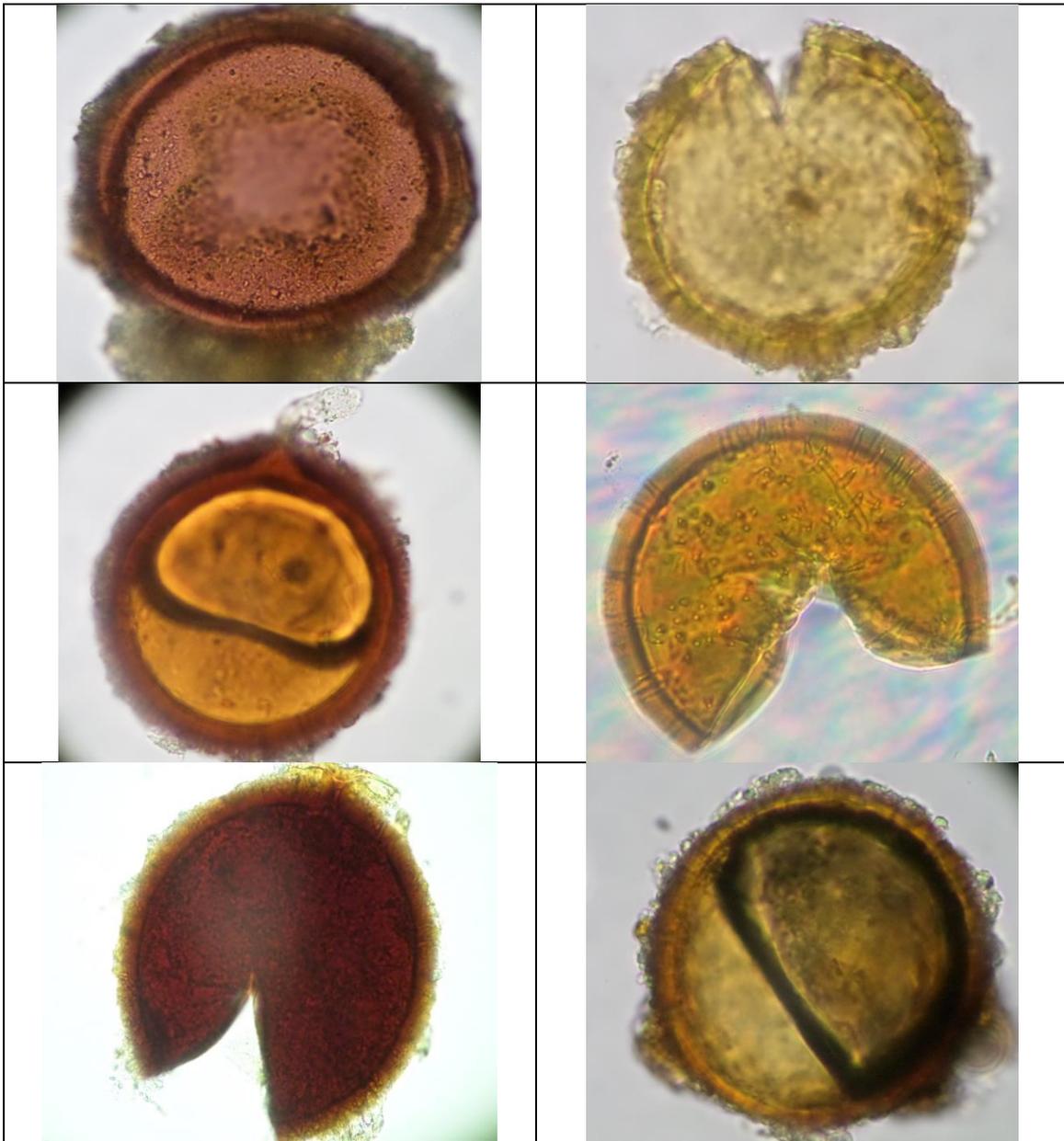


Figura 10: Esporas del género *Entrophospora* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

4.3.1.3 *Entrophospora*

En la Figura 10 se muestran las diferentes esporas obtenidas del genero *Entrophospora* presentes en la rizósfera de *Agave lechuguilla* de la zona núcleo B.

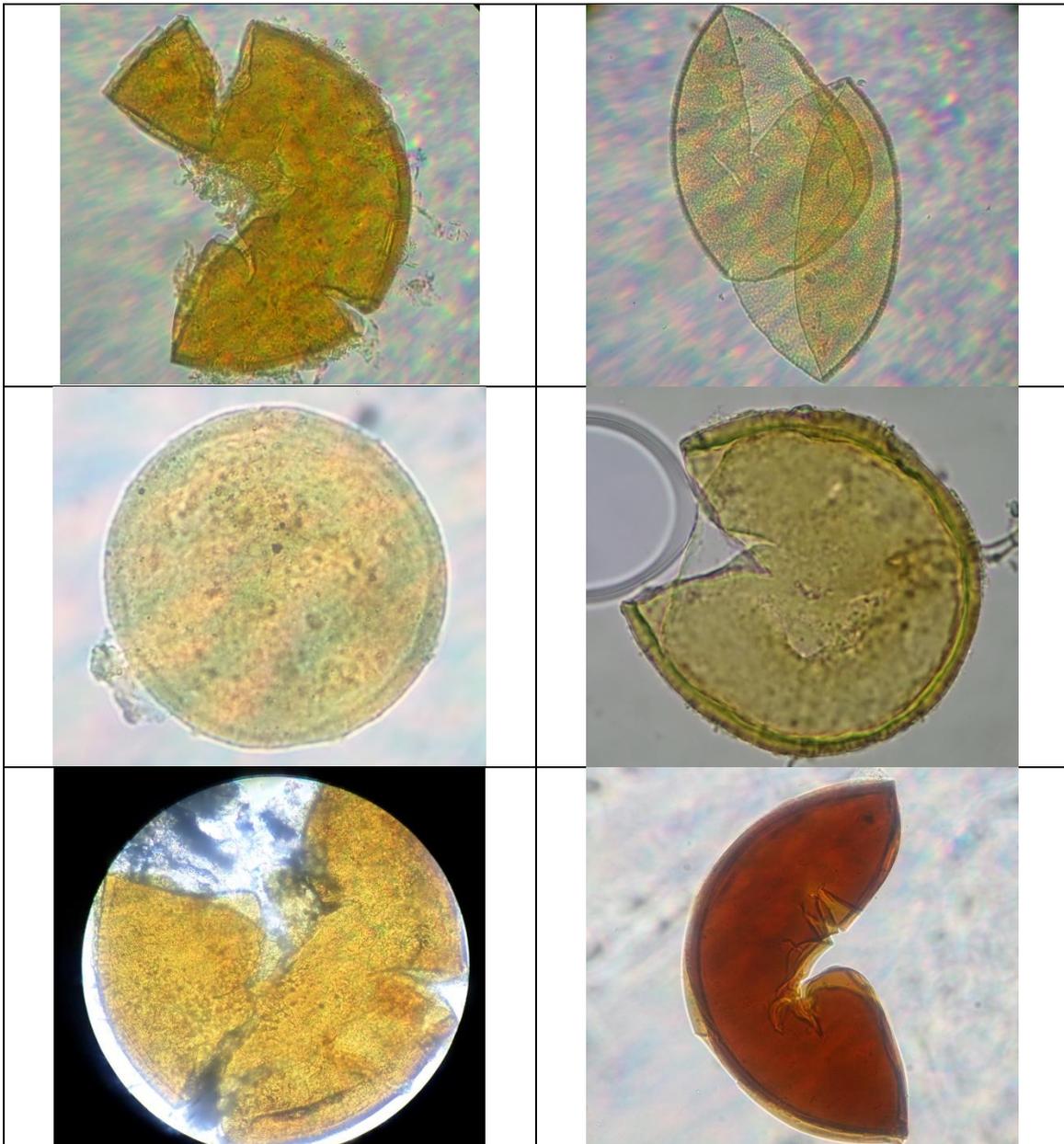


Figura 11: Esporas del género *Gigaspora* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

4.3.1.4 *Gigaspora*

Se puede observar en la figura 11 la diversidad de esporas obtenidas del género *Gigaspora* en la zona núcleo B.

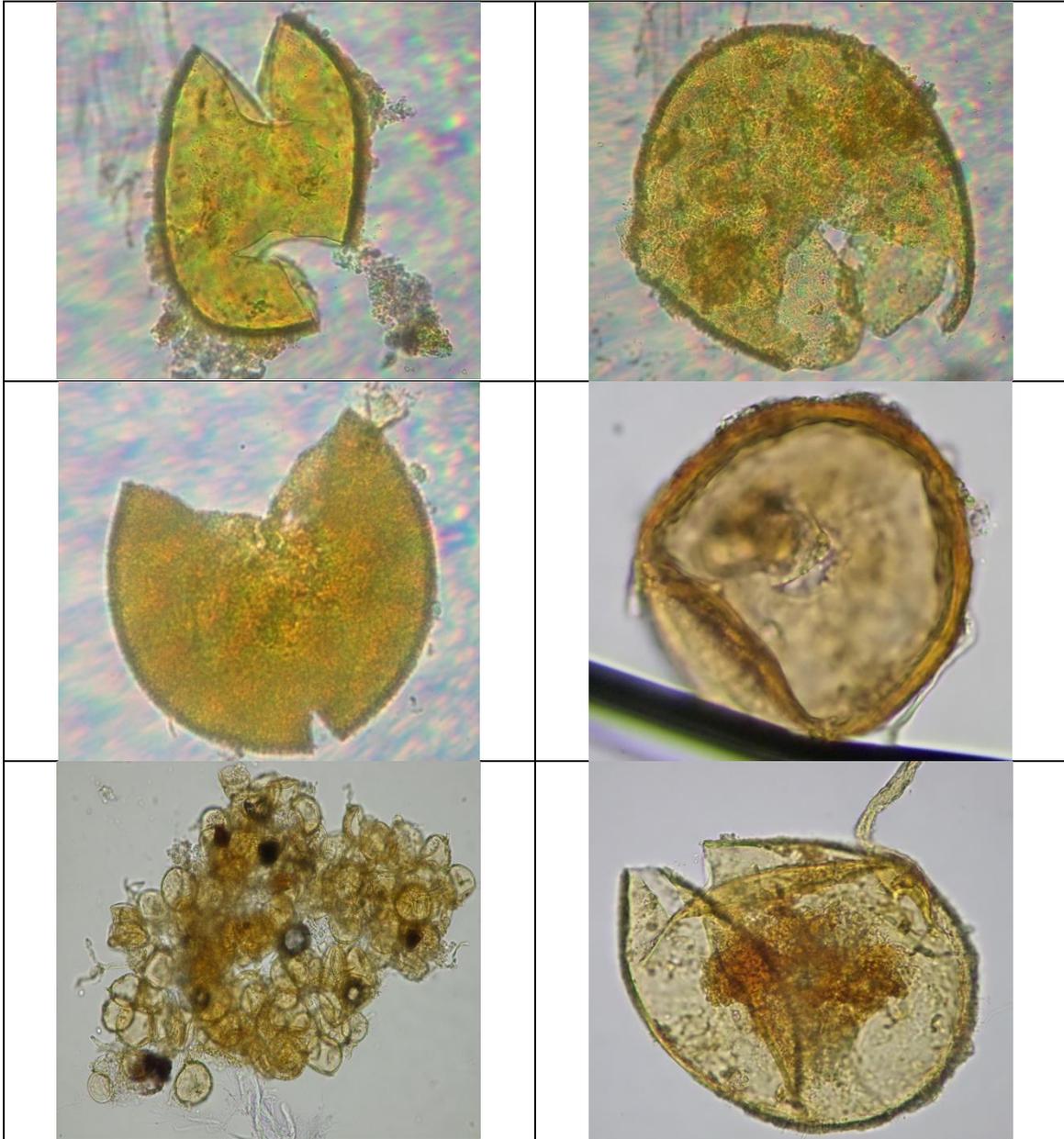


Figura 12: Esporas del género *Glomus* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

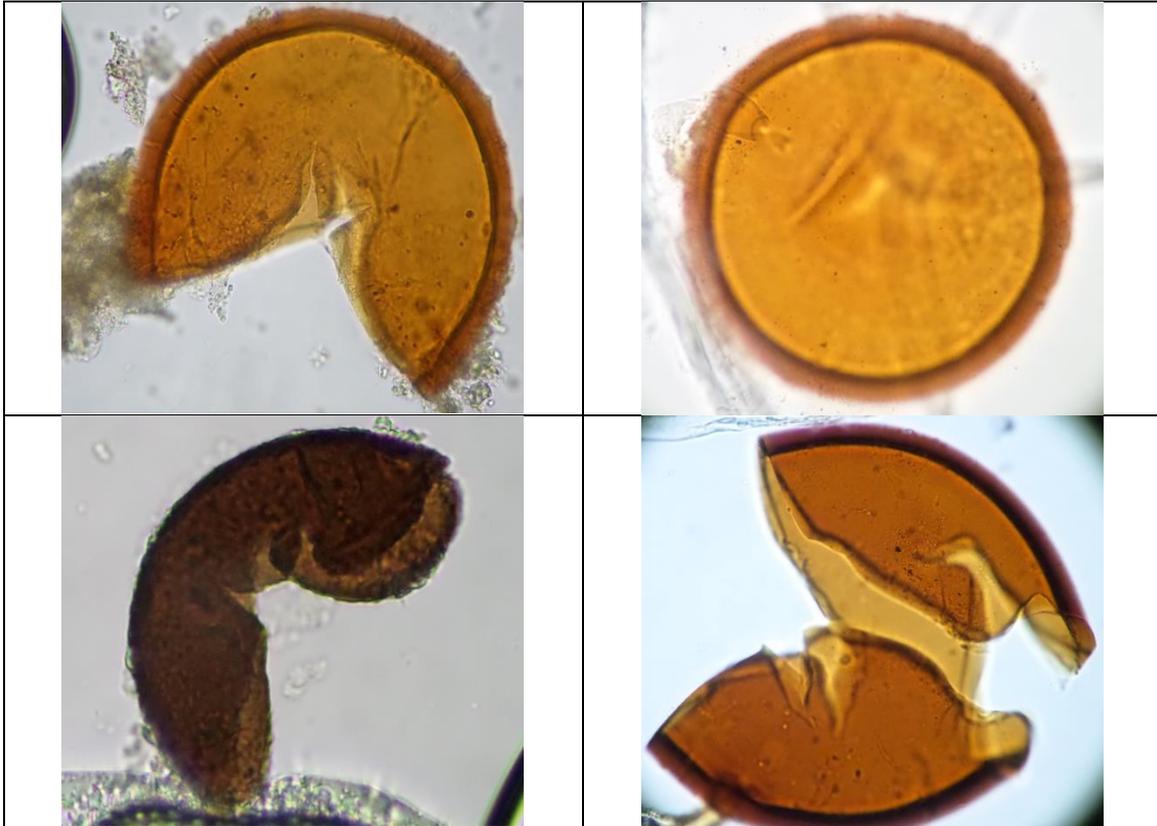


Figura 13: Esporas del género *Glomus ambisporum* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

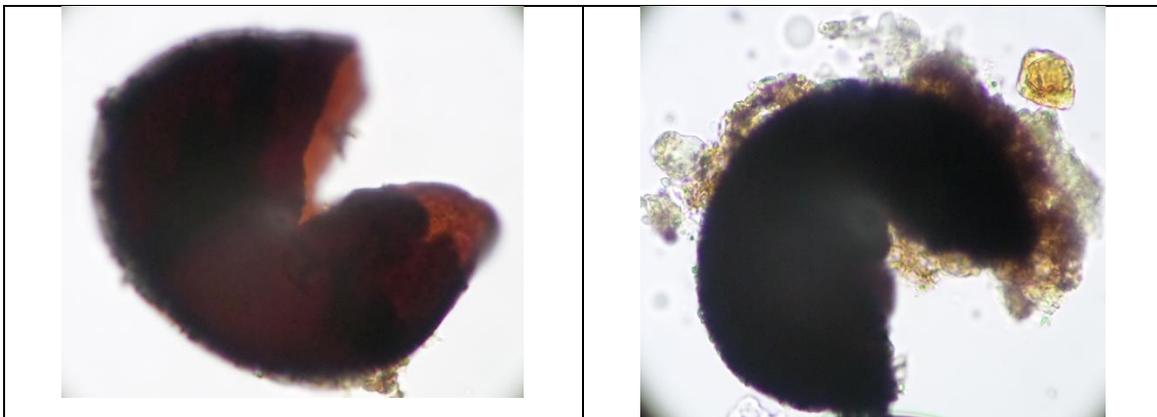


Figura 14: Esporas del género *Glomus constrictum* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

4.3.1.5 *Glomus*

La figura 12 muestra la diversidad de esporas del género *Glomus*, mientras que en la figura 13 se concentra la diversidad de la especie *ambisporum*, por otro lado en la figura 14 también se muestra esporas del mismo género de la especie *constrictum*, todas estas obtenidas en la zona núcleo B.

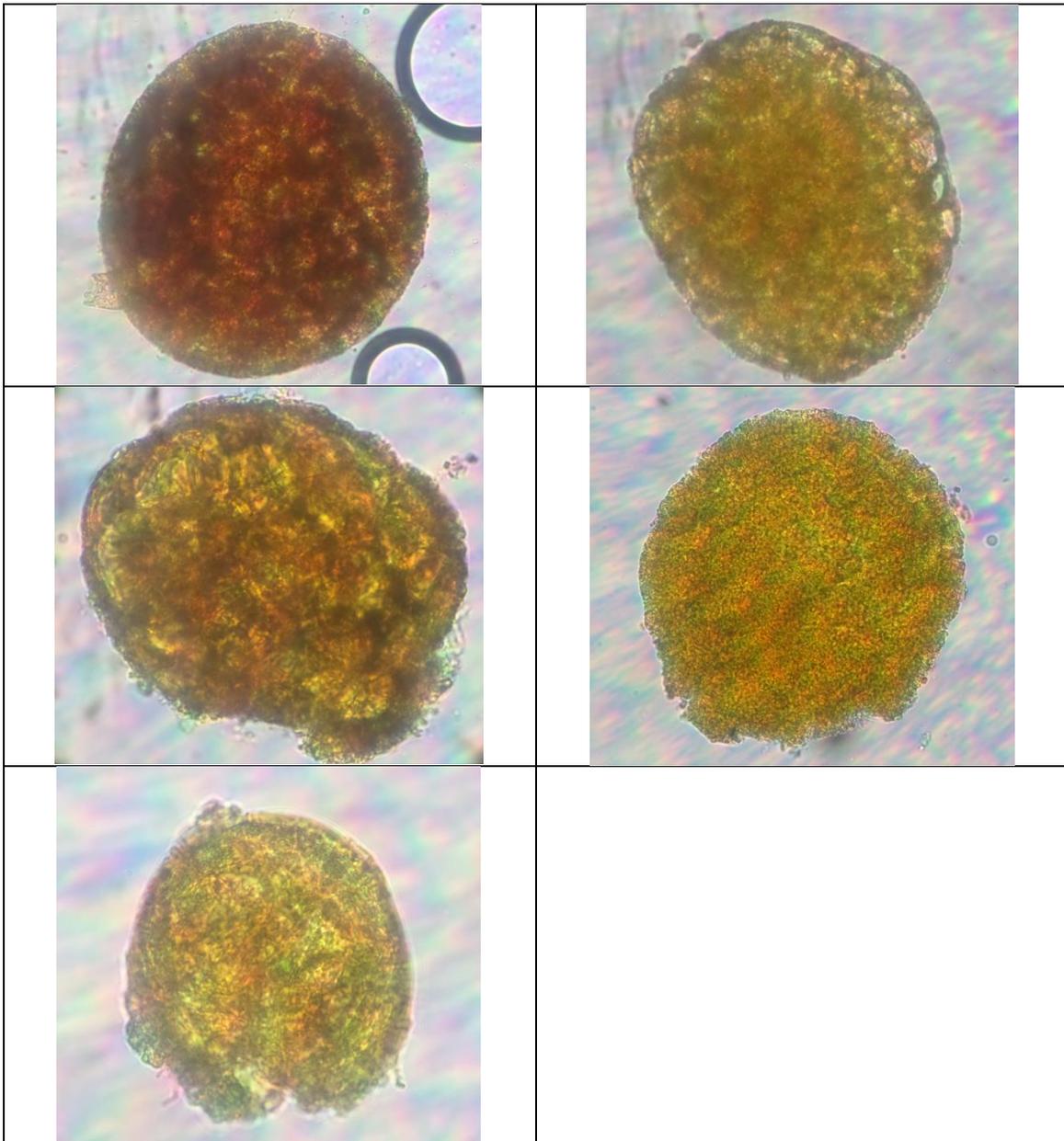


Figura 15: Esporas del género *Sclerocystis* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo B a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

4.3.1.6 *Sclerocystis*

En la figura 15 se observa la diversidad de esporas obtenidas del género *Sclerocystis* específicamente *sinuosa*, obtenidas en la zona núcleo B.

4.3.2 Zona Núcleo C

En el cuadro 4 muestra los generos identificados en las muestras obtenidas de de la zona nucleo B los cuales fueron 6 , *Acaulospora*; *Entrophospora*; *Gigaspora*; *Glomus*, de la cual se identifico la especie de *Glomus ambisporum*; *Sclerocystis*; y por ultimo el genero *Rhizophagus* con la especie *intraradices*.

Para esta zona nucleo, se obtuvo el mayor numero de esporas en la muestra cinco con un total de 180, seguido de la muestra 10 con un total de 160 esporas, de manera que la muestra uno al igual que la muestra dos fueron las que menos cantidad de esporas se encontraron presentes. De lo anterior cabe mencionar que el genero con un mayor numero de esporas fue *Glomus* con un valor de 330 del cual se encontró presente en todas las muestras, sin embargo el genero *Acaulospora* tuvo una cantidad considerable de 190, posteriormente el genero *Gigaspora* presentó un total de 160, seguido de el genero *Sclerocystis* con 140 esporas , para el genero *Entrophospora* se estimo un total de 130. Finalmente el género *Rizophagus* de la especie *intraradices* nadamas se cuantificó 10 esporas y es necesario recalcar que solo se presentó en la muestra cinco.

Cuadro 4: Esporas identificadas por géneros en 10 muestras de 100 g de suelo de la rizósfera de *Agave lechuguilla* Torr obtenidas en la Zona Núcleo C de la Reserva Municipal Sierra y Cañón de Jimulco.

Muestra	<i>Acaulospora</i>	<i>Entrophospora</i>	<i>Gigaspora</i>	<i>Glomus</i>	<i>Sclerocystis</i>	<i>Rhizophagus</i>	Total
1	20	-	-	10	-	-	30
2	-	-	-	30	-	-	30
3	-	10	20	60	-	-	90
4	10	30	30	30	-	-	100
5	50	20	10	60	30	10	180
6	50	10	40	20	20	-	140
7	-	-	-	30	10	-	40
8	20	40	20	20	30	-	130
9	-	10	-	10	40	-	60
10	40	10	40	60	10	-	160
Total	190	130	160	330	140	10	960

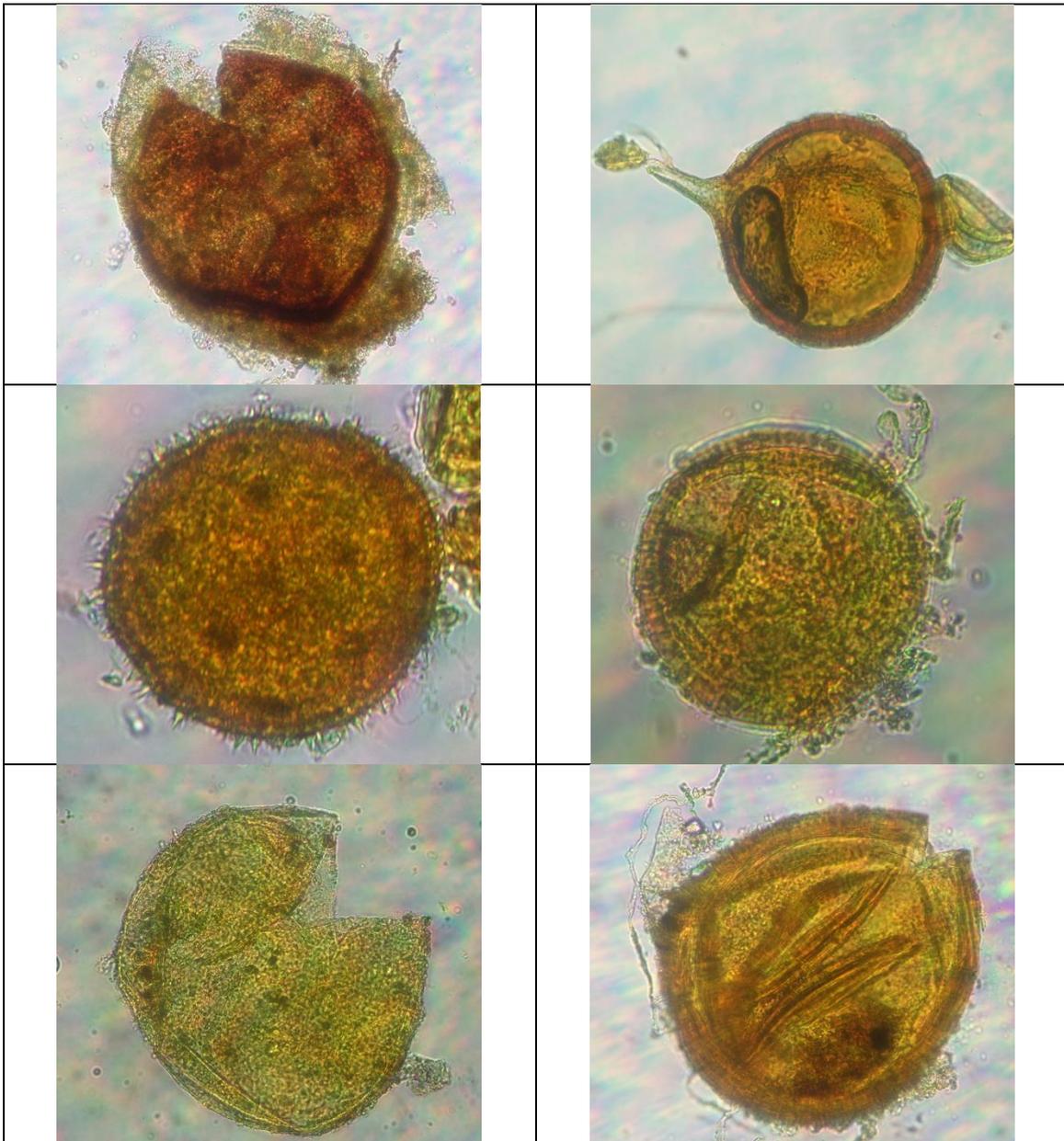


Figura 16: Esporas del género *Acaulospora* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

4.3.2.1 *Acaulospora*

En la figura 16 se observa la diversidad de esporas del género *Acaulospora* presentes en las muestras obtenidas de la zona núcleo C.

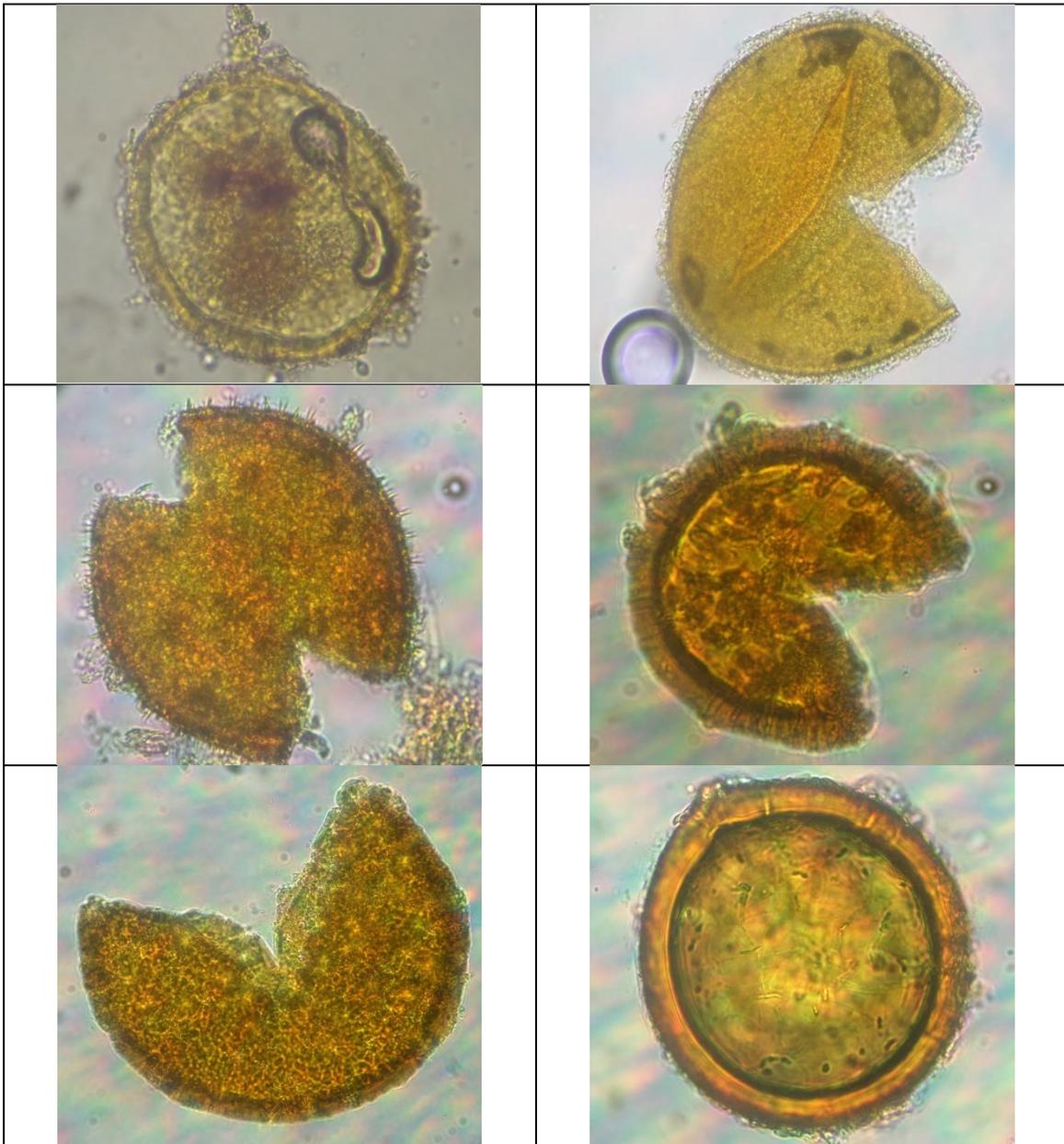


Figura 17: Esporas del género *Entrophospora* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

4.3.2.2 *Entrophospora*

La figura 17 muestra las diferentes esporas obtenidas del género *Entrophospora* obtenidas en la rizósfera de *Agave lechuguilla* de la zona núcleo C.

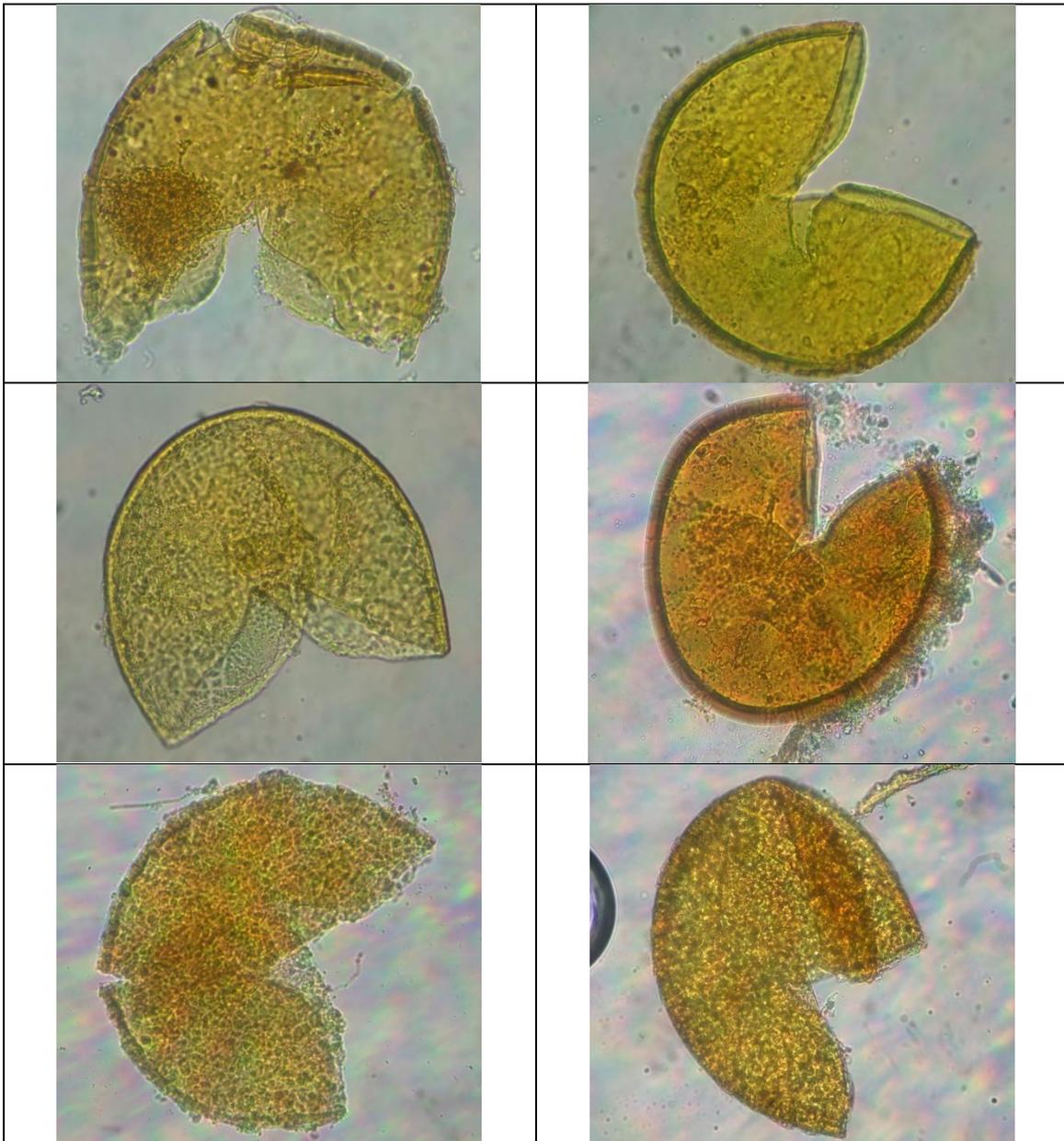


Figura 18: Esporas del género *Gigaspora* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

4.3.2.3 *Gigaspora*

En la figura 18 se observa la diversidad de esporas del género *Gigaspora* presentes en la rizósfera de *Agave lechuguilla* de la zona núcleo C.

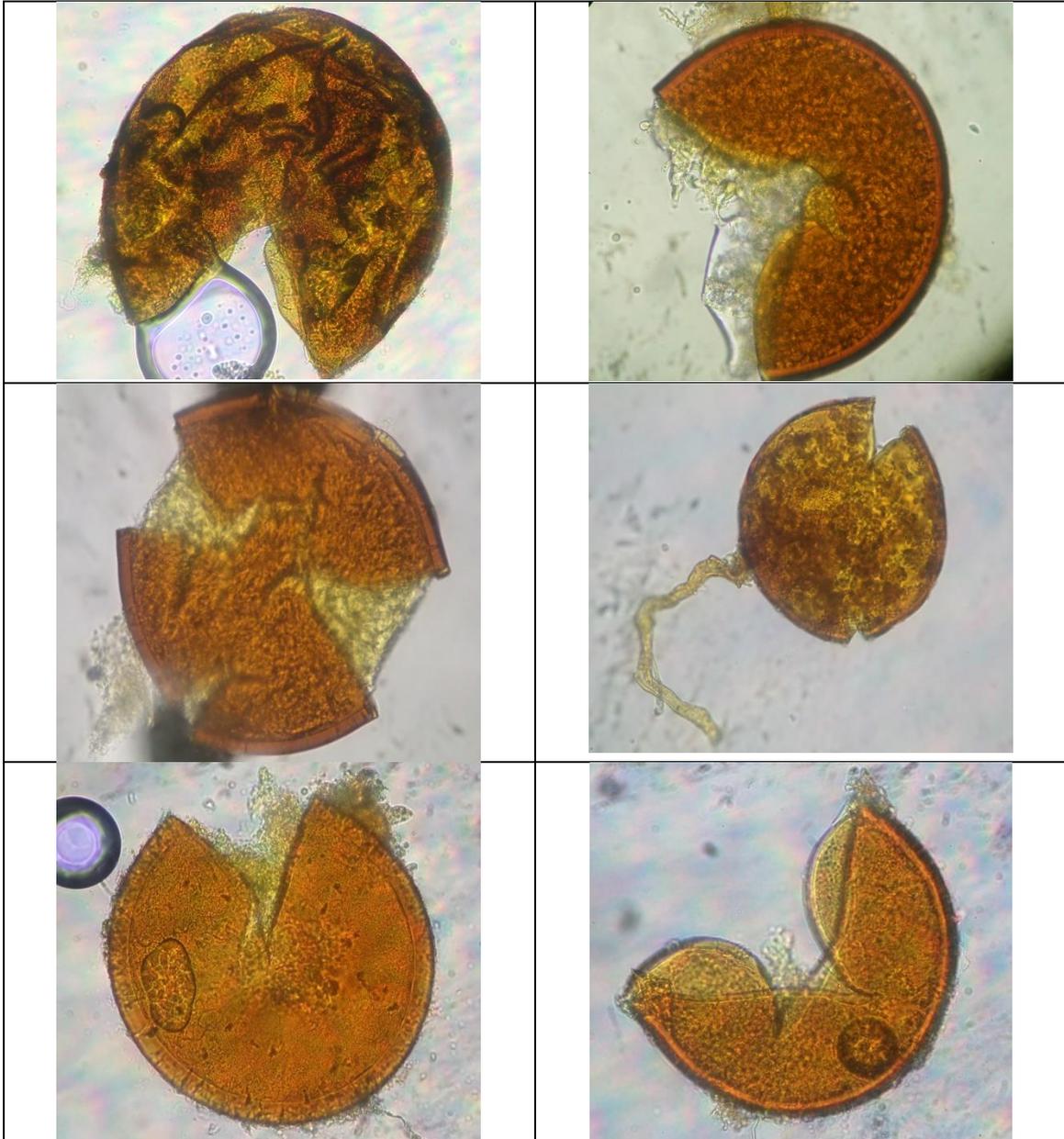


Figura 19: Esporas del género *Glomus* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

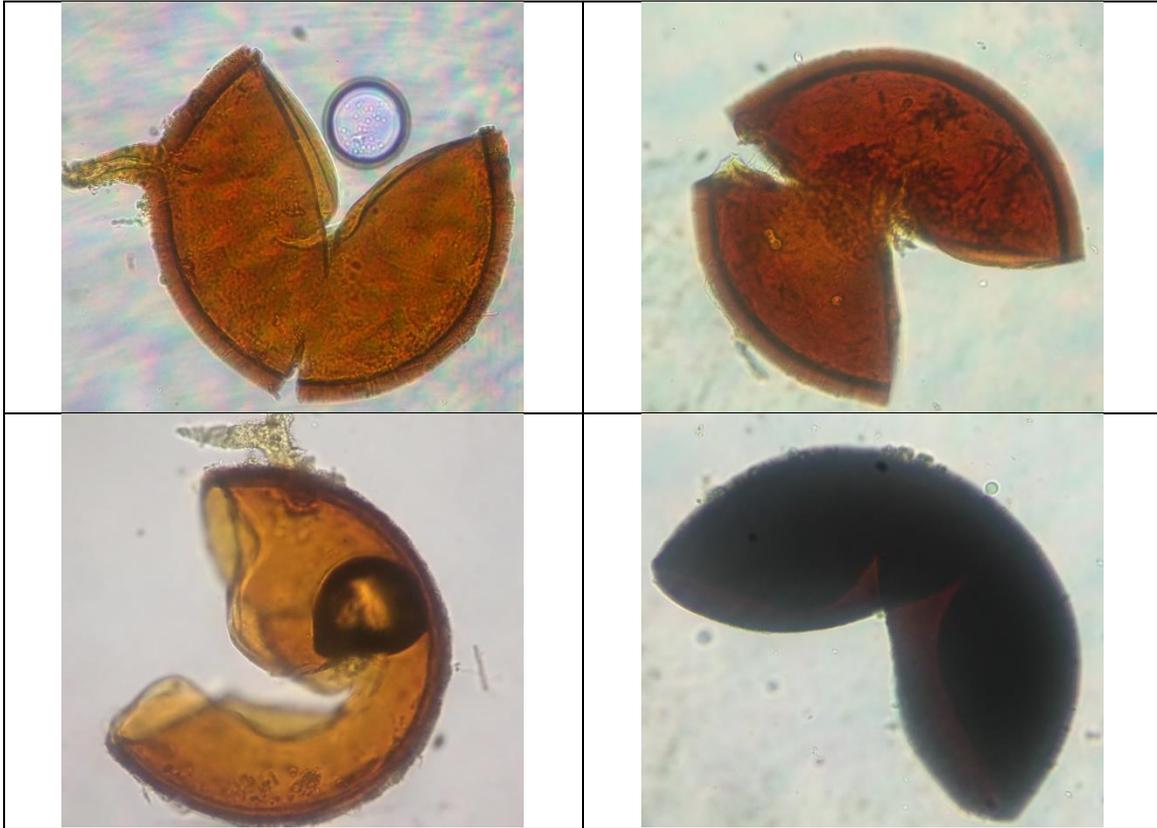


Figura 20: Esporas del género *Glomus ambisporum* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

4.3.2.4 *Glomus*

En la figura 19 se observan las diferentes esporas obtenidas del género *Glomus*, dentro de la cual también se observó la especie *ambisporum* como se muestra en la figura 20, todas estas presentes en la zona núcleo C.

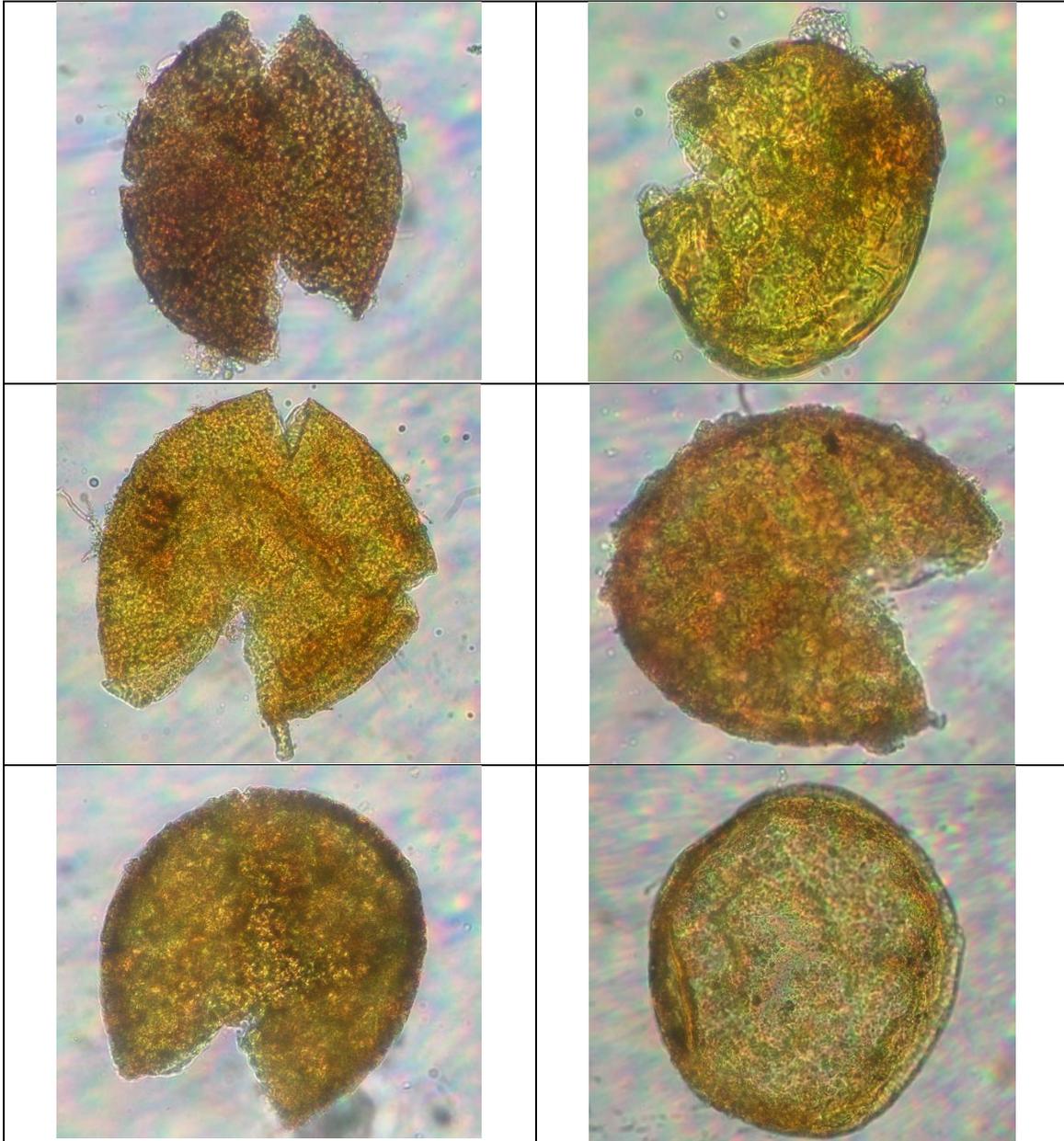


Figura 21: Esporas del género *Sclerocystis* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

4.3.2.5 *Sclerocystis*

La figura 21 muestra la diversidad de esporas del género *Sclerocystis*, principalmente de la especie *sinuosa* encontrada en las muestras obtenidas de la zona núcleo C.



Figura 22: Esporas del género *Rhizophagus* aislada de la rizósfera de *Agave lechuguilla* en la zona núcleo C a 40x. Foto tomada por Chatú-Toalá, C.P.

4.3.2.6 *Rhizophagus*

En la figura 22 se observa las esporas del genero *Rhizophagus* obtenidas en las muestras de la zona núcleo C.

4.4 Riqueza Específica

De todas las muestras recolectadas, se identificaron 6 géneros para cada zona núcleo, en la zona B los géneros obtenidos fueron *Acaulospora*, *Archaeospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus* y *Sclerocystis*. Asimismo en la zona C se encontraron *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis sinuosum* y *Rhizophagus*. Todo esto basado en los 5 géneros que se esperaban encontrar en este estudio.

4.4.1 Índice de diversidad de Margalef

4.4.1.1 Zona B

Numero de géneros encontrados: 6 (S)

Número total de esporas dentro de los diferentes géneros: 1980

$$Dmg \frac{S-1}{\ln N} = \frac{6-1}{\ln 1980} = \frac{5}{7.59} = 0.658$$

4.4.1.2 Zona C

Numero de géneros encontrados: 6 (S)

Número total de esporas dentro de los diferentes géneros: 960

$$Dmg \frac{S-1}{\ln N} = \frac{6-1}{\ln 960} = \frac{5}{6.86} = \mathbf{0.728}$$

V. DISCUSIÓN

Para este trabajo de investigación la hipótesis fue aceptada, este trabajo se realizó con la rizósfera de *Agave lechuguilla* Torr en zonas núcleo de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco, donde se identificaron seis géneros para cada zona, de las cuales la zona B presentó, *Acaulospora*, *Archaeospora*, *Entrophospora*, *Gigasporas*, *Glomus*, y finalmente el género *Sclerocystis*. Por otro lado en la zona C los generos obtenidos fueron *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis*; y *Rhizophagus*. Por su parte Carballar-Hernández et al. (2012) en una investigación con *Agave potatorum* en el estado de Oaxaca, México, presentó los géneros *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora* y *Glomus* de los cuales todos estos se obtuvieron en el presente trabajo, por lo tanto se puede deducir que la diversidad quizás se debió a los distintos factores ambientales, así como la caracterización del suelo.

Cabe mencionar que el género *Glomus* fue el de mayor presencia en el total de la muestras. Esto quizás es debido a lo mencionado por Daniell et al. (2001) que *Glomus* se propaga más fácilmente gracias a la alta tasa de esporulación y a su capacidad de colonización a través de piezas de fragmentos de micelio o raíces micorrizadas, estos atributos podrían explicar porque este género se adapta a ambientes extremos y/o perturbados. Asimismo Alguacil et al. (2009) afirma que la razón por el cual *Glomus* es dominante , se debe a la adaptación a las condiciones salinas del suelo, propias de estas zonas.

En cuanto al número de esporas obtenidas en 100 g de suelo se presentó en un rango de 30 a 320 para ambas zonas núcleo, estos valores son similares a los encontrados por Carballar-Hernández et al. (2012) en un estudio realizado con *Agave potatorum* en el estado de Oaxaca, México donde obtuvo un rango de 20-192 esporas por 100g de suelo. Por lo contrario Ochoa-Meza et al. (2009) trabajando en la sierra Sonorense con *Agave Angustifolia* en estación de primavera reportó una cantidad de esporas elevadas con un rango de 920 a 950.

Para el porcentaje de micorrización en las raíces de *Agave lechuguilla* en 10 muestras de raíces de cada zona núcleo los resultados fueron de cero, lo cual puede ser justificado por la fecha de muestreo en época de sequía, del Mar

Alguacil et al. (2009) trabajando en un ecosistema semiárido y realizando el muestreo en el mes de octubre compara dos parcelas indicando que el porcentaje de micorrización fue de 45.3% y 52%, por lo que ciertos estudios puede variar según la estación del año que se obtengan las muestras, todo esto indica que es importante conservar la diversidad de las poblaciones de HMA, ya que contribuyen al mantenimiento de los ecosistemas terrestres (van der Heijden et al., 1998).

En la obtención de la diversidad específica se obtuvo mediante índice de Margalef basándose en los géneros esperados y los encontrados. obteniendo como resultado 0.658 para la zona B y 0.728 para la zona, según Stürmer and Siqueira (2011) trabajando con plantas de Amazonia brasileña Occidental menciona que sus resultados obtenidos para la diversidad fueron 0.25 y 0.42 lo que representa valores bajos ya que la riqueza específica puede variar de 0-1, por lo tanto en este estudio se encontró una riqueza específica buena, de la misma manera Das and Kayang (2010) menciona en su trabajo realizado en bambú en el noroeste de la india, sus valores variaron desde 0.65 hasta 0.99, lo cual representa una muy buena diversidad específica en la rizósfera del bambú..

VI. CONCLUSIÓN

El trabajo de investigación se realizó en el mes de mayo del 2014, para esa fecha se encontraron seis géneros, en la zona B fueron *Acaulospora*, *Archaeospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus* y *Sclerocystis*, predominando *Glomus* con una cantidad de 860 esporas seguido de *Gigaspora* con 410 y el que menor presencia tuvo fue *Sclerocystis* con un total de 50 esporas.

Para la zona C se encontró *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis* y *Rhizophagus*, donde el más persistente en todas las muestras fue *Glomus* con un total de 330 esporas, posteriormente *Acaulospora* con una cantidad de 190, siendo *Rhizophagus* el menor con un total de 10 esporas.

Para el porcentaje de micorrización el resultado fue de cero para ambas zonas núcleo, por lo que se recomienda realizar estudios en las diferentes estaciones del año.

El índice de Margalef, indica una diversidad alta para ambas zonas debido a las características físicas y químicas del suelo de este ecosistema semiárido.

VII. LITERATURA CITADA

2003. Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco.
- AGÜERO, J. A. R., RIVERA, J. R. A. & VALDIVIA, C. B. P. 2000. Biología y aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torrey. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 75-88.
- AKHTAR, M. & SIDDIQUI, Z. 2008. Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Potential Bioprotectants Against Plant Pathogens. In: SIDDIQUI, Z., AKHTAR, M. S. & FUTAI, K. (eds.) *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*. Springer Netherlands.
- ALGUACIL, M. M., ROLDÁN, A. & TORRES, M. P. 2009. Complexity of Semiarid Gypsophilous Shrub Communities Mediates the AMF Biodiversity at the Plant Species Level. *Microbial Ecology*, 57, 718-727.
- ALONZO, O. G. 2005. "DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA MICORRIZACIÓN CON CEPAS DE *Descolea antarctica* Singer EN PLÁNTULAS DE *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst., CULTIVADAS EN CONDICIONES DE VIVERO".
- ANDRADE, T. A. 2010. Micorrizas: antigua interacción entre olanas y hongos *Ciencia*, 84-90.
- BAREA, J.-M., FERROL, N., AZCÓN-AGUILAR, C. & AZCÓN, R. 2008. Mycorrhizal symbioses. In: WHITE, P. & HAMMOND, J. (eds.) *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions*. Springer Netherlands.
- BARRER, E. S. 2009. EL USO DE HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES COMO UNA ALTERNATIVA PARA LA AGRICULTURA *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7, 1-10.
- BIODESERT 2003. Asociación para la Conservación de la Biodiversidad del Desierto, A. C. y World Wildlife Fund (WWF). *La Gaceta de Biodesert.*, Ed. Esp, 2.1-15.
- BLANDO-NAVARRETE, J. & MARÍN, S. B. 2001. DETERMINACION DEL POTENCIAL PRODUCTIVO DE LA LECHUGUILLA (*Agave lechuguilla* TORR) EN EL MUNICIPIO DE SAN JUAN DE GUADALUPE, DGO. *chapingo*, 100, 100.
- BOUYOUCOS, G. J. 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agron. J.*, 54, 464-465.
- BRUNDRETT, M. C., ABBOTT, L. K. & JASPER, D. A. 1999. Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia. *Mycorrhiza*, 8, 305-314.
- C.V, I. D. I. D. Z. S. A. D. 2009. *ESTUDIO ORIENTADO A IDENTIFICAR LOS MERCADOS Y CANALES DE COMERCIALIZACIÓN INTERNACIONALES PARA LA OFERTA DE PRODUCTOS DE IXTLE CON VALOR AGREGADO*.
- CALVO-POLANCO, M., SÁNCHEZ-ROMERA, B. & AROCA, R. 2013. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and the Tolerance of Plants to Drought and Salinity. In: AROCA, R. (ed.) *Symbiotic Endophytes*. Springer Berlin Heidelberg.
- CARAVACA, F., BAREA, J. M., PALENZUELA, J., FIGUEROA, D., ALGUACIL, M. M. & ROLDÁN, A. 2003. Establishment of shrub species in a degraded semiarid site after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology*, 22, 103-111.
- CARBALLAR-HERNÁNDEZ, S., PALMA-CRUZ, F. J., HERNÁNDEZ-CUEVAS, L. & ROBLES, C. 2012. Arbuscular mycorrhizal potential and mycorrhizal fungi diversity associated with *Agave potatorum* Zucc. in Oaxaca, Mexico. *Ecological Research*, 1-10.

- CARBALLAR-HERNÁNDEZ, S., PALMA-CRUZ, F. J., HERNÁNDEZ-CUEVAS, L. & ROBLES, C. 2013. Arbuscular mycorrhizal potential and mycorrhizal fungi diversity associated with *Agave potatorum* Zucc. in Oaxaca, Mexico. *Ecological Research*, 28, 217-226.
- CASTILLO G, M. L. 2009. *CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA DE MICORRIZAS ARBUSCULARES ASOCIADAS EN RAICES DE TOMATE DE ÁRBOL SILVESTRE (Solanum cajaniensis) Y CULTIVADO (Solanum betaceae) EN DOS SECTORES DE LA PROVINCIA DE LOJA*
- CASTILLO, Q. D., BERLANGA, R. C. & CANO, P. A. 2005. RECOLECCION, EXTRACCION Y USO DE LA FIBRA DE LECHUGUILLA (*Agave lechuguilla* Torr.) EN EL ESTADO DE COAHUILA. *Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* 1-23.
- CONAFOR 2005. *Catálogo de recursos forestales maderables y no maderables*.
- DANIELL, T. J., HUSBAND, R., FITTER, A. H. & YOUNG, J. P. W. 2001. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising arable crops. *FEMS Microbiology Ecology*, 36, 203-209.
- DAS, P. & KAYANG, H. 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophyte colonization in bamboo from Northeast India. *Frontiers of Agriculture in China*, 4, 375-382.
- DEL MAR ALGUACIL, M., DIAZ-PEREIRA, E., CARAVACA, F., FERNANDEZ, D. A. & ROLDAN, A. 2009. Increased diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment via application of organic amendments to a semiarid degraded soil. *Appl Environ Microbiol*, 75, 4254-63.
- EGERTON-WARBURTON, L. M., QUEREJETA, J. I. & ALLEN, M. F. 2007. Common mycorrhizal networks provide a potential pathway for the transfer of hydraulically lifted water between plants. *J Exp Bot*, 58, 1473-83.
- ESTRADA, B., BELTRÁN-HERMOSO, M., PALENZUELA, J., IWASE, K., RUIZ-LOZANO, J. M., BAREA, J.-M. & OEHL, F. 2013. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Asteriscus maritimus* (L.) Less., a representative plant species in arid and saline Mediterranean ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 97, 170-175.
- FLORES, J. A. 2002. *Análisis estructural de la vegetación arbustiva y arbórea del Cerro del Centinela, Sierra de Jimulco, Municipio de Torreón, Coah. México.* . UJED.
- FUTAI, K., TANIGUCHI, T. & KATAOKA, R. 2008. Ectomycorrhizae and Their Importance in Forest Ecosystems. In: SIDDIQUI, Z., AKHTAR, M. S. & FUTAI, K. (eds.) *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*. Springer Netherlands.
- GAI, J. P., TIAN, H., YANG, F. Y., CHRISTIE, P., LI, X. L. & KLIRONOMOS, J. N. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity along a Tibetan elevation gradient. *Pedobiologia*, 55, 145-151.
- GARCÍA, E. 1987. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*.
- GERDEMANN, J. W. & NICOLSON, T. H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46, 235-244.
- GIANINAZZI, S., GOLLOTTE, A., BINET, M. N., AN TUINEN, D., REDECKER, D. & WIPF, D. 2010. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, 20, 519-30.
- GIOVANNETTI, M., AVIO, L. & SBRANA, C. 2010. Fungal Spore Germination and Pre-symbiotic Mycelial Growth – Physiological and Genetic Aspects. In:

- KOLTAI, H. & KAPULNIK, Y. (eds.) *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer Netherlands.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE COAHUILA 2002. Ordenamiento ecológico del territorio. *Ayuntamiento Municipal de Torreón*.
- GONZÁLEZ, G. G. 2005. *Estudios de los mecanismos implicados en la homeostasis de metales pesados en el hongo formador de micorrizas arbusculares Glomus intraradices*
- HARRISON, M., PUMPLIN, N., BREUILLIN, F., NOAR, R. & PARK, H.-J. 2010. Phosphate Transporters in Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. *In: KOLTAI, H. & KAPULNIK, Y. (eds.) Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer Netherlands.
- HU, Y., RILLIG, M. C., XIANG, D., HAO, Z. & CHEN, B. 2013. Changes of AM fungal abundance along environmental gradients in the arid and semi-arid grasslands of northern China. *PLoS One*, 8, e57593.
- JANSA, J. & GRYNDLER, M. 2010. Biotic Environment of the Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Soil. *In: KOLTAI, H. & KAPULNIK, Y. (eds.) Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer Netherlands.
- KOSKE, R. E. & TESSIER, B. 1983. A convenient, permanent slidemounting medium. *Mycol Soc Am Newslett* 34, 1-59.
- LEÓN, V. L. 2006. *EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES ASOCIADAS A YUCA (Manihot esculenta sp) EN DOS REGIONES DE LA AMOZONÍA COLOMBIANA*.
- LUMINI, E., VALLINO, M., ALGUACIL, M. M., ROMANI, M. & BIANCIOTTO, V. 2011. Different farming and water regimes in Italian rice fields affect arbuscular mycorrhizal fungal soil communities. *Ecol Appl*, 21, 1696-707.
- MARJANOVIĆ, Ž. & NEHLS, U. 2008. Ectomycorrhiza and Water Transport. *In: VARMA, A. (ed.) Mycorrhiza*. Springer Berlin Heidelberg.
- MARTINEZ, B. O., CASTILLO, Q. D. & MARES, A. O. 2011. *Caracterización y selección de sitios para plantaciones de lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.) en el estado de Coahuila*.
- MONTAÑO, A. M., CAMARGO, R. S., GARCIA, S. R. & MONROY, A. A. 2007. *Arbuscular mycorrhizae in arid and semi-arid ecosystems* Instituto Nacional de ecología - SEMARNAT
- NEUMANN, E. & GEORGE, E. 2010. Nutrient Uptake: The Arbuscular Mycorrhiza Fungal Symbiosis as a Plant Nutrient Acquisition Strategy. *In: KOLTAI, H. & KAPULNIK, Y. (eds.) Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer Netherlands.
- OCHOA-MEZA, A., ESQUEDA, M., FERNÁNDEZ-VALLE, R. & HERRERA-PERAZA, R. 2009. Variación estacional de hongos micorrízicos arbusculares asociados con *Agave angustifolia* Haw. en la sierra sonorensis, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32, 189-199.
- PÉREZ- MONCADA, U. A. 2011. *EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA MICORRIZACIÓN in vitro EN PLANTAS DE MORA DE CASTILLA (Rubus glaucus)*, BOGOTÁ.
- PHILLIPS, J. M. & HAYMAN, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158-188.

- RAMOS, C. C. 2013. *Caracterización biofísica de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- REYES, J. I. 2002. Asociaciones biológicas en el suelo: la micorriza arbuscular (MA). 5-10.
- RZEDOWSKI, J. 1978. *Vegetación de México.*, México, D. F.
- SÁNCHEZ, S. J., FLORES, A., MURO, G. & ALBA, J. A. 2009. Jimulco: Sublime isla de biodiversidad. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*, 6, 12-14.
- SCHENCK, N. C. & PÉREZ, Y. 1988. *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi*, Synergistic Publications Gainesville, Fla.
- SEMARNAT 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres -categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- lista de especies en riesgo. *Jueves 30 de diciembre de 2010. Diario Oficial de la Federación (Segunda Sección)*.
- SMITH, S. & READ, D. 2008a. *Mycorrhizal symbiosis*, Amsterdam, Academic Press.
- SMITH, S. E. & READ, D. 2008b. 4 - Growth and carbon economy of arbuscular mycorrhizal symbionts. *Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition)*. London: Academic Press.
- STÜRMER, S. L. & SIQUEIRA, J. O. 2011. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. *Mycorrhiza*, 21, 255-267.
- STÜRMER, S. L., STÜRMER, R. & PASQUALINI, D. 2013. Taxonomic diversity and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi (Phylum Glomeromycota) in three maritime sand dunes in Santa Catarina state, south Brazil. *Fungal Ecology*, 6, 27-36.
- TURNAU, K., RYSZKA, P. & WOJTCZAK, G. 2010. Metal Tolerant Mycorrhizal Plants: A Review from the Perspective on Industrial Waste in Temperate Region. In: KOLTAI, H. & KAPULNIK, Y. (eds.) *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer Netherlands.
- VAN DER HEIJDEN, M., KLIRONOMOS, J. N., URSIC, M., MOUTOGLIS, P., STREITWOLF-ENGEL, R., BOLLER, T., WIEMKEN, A. & SANDERS, I. R. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396, 69-72.
- VELAZQUEZ, M. S., CABELLO, M. N. & BARRERA, M. 2013. Composition and structure of arbuscular-mycorrhizal communities in El Palmar National Park, Argentina. *Mycologia*, 105, 509-20.
- VIDAL, Z. R. 2005. *Las Regiones climáticas de México*, México
- VILLARREAL, J. Á. & VALDÉS, J. 1992-1993. Vegetación de Coahuila, México. *Revista de manejo de pastizales*, 6, 18-69.
- WALKER, C., MIZE, C. W. & MCNABB JR, H. S. 1982. Populations of endogoneaceous fungi at two locations in central Iowa. *Canadian Journal of Botany*, 60, 2518-2529.
- WANG, B. & QIU, Y. L. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16, 299-363.
- ZAMORA, M. C., VELASCO, B. E., CANO, P. A. & ARELLANO, R. A. 2008. *Manual que establece los Criterios Técnicas para el Aprovechamiento Sustentable de Recursos Forestales no Maderables de Clima Arido y Semiárido*