



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIVERSIDAD DE LA FLORA LIQUÉNICA DEL BOSQUE DE *Pinus cembroides* Zucc. subsp. *cembroides* EN EL ALTIPLANO POTOSINO

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

Biol. JULIO ARMANDO RAMÍREZ JUÁREZ

Bajo la supervisión de: DIÓDORO GRANADOS SÁNCHEZ, DR.



Chapingo, Estado de México, enero de 2021

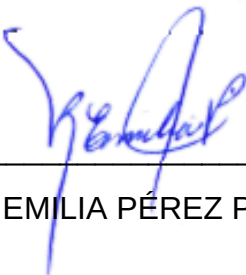
**DIVERSIDAD DE LA FLORA LIQUÉNICA DEL BOSQUE DE
Pinus cembroides Zucc. subsp. *cembroides* EN EL
ALTIPLANO POTOSINO**

Tesis realizada por **JULIO ARMANDO RAMÍREZ JUÁREZ** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:  _____

DR. DIÓDORO GRANADOS SÁNCHEZ

CODIRECTOR:  _____

DRA. ROSA EMILIA PÉREZ PÉREZ

ASESOR:  _____

DR. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	6
ABREVIATURAS USADAS	7
DEDICATORIA	8
AGRADECIMIENTOS	9
DATOS BIOGRÁFICOS	10
RESUMEN GENERAL	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	16
1.5. HIPOTESIS.....	17
1.6. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO DE TITULACIÓN Y CONTENIDO TEMÁTICO	17
1.7. LITERATURA CITADA	18
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENCIA	21
2.1. LÍQUENES: GENERALIDADES	21
2.1.1. ¿Qué son los líquenes?.....	21
2.1.2. Morfología	21
2.1.3. Reproducción	25
2.1.4. Hábitat	26
2.1.6. Importancia.....	27

2.2. MARCO DE REFERENCIA	27
2.2.1. Liquenología en el Mundo	27
2.2.2. Liquenología en México.....	29
2.2.3. Liquenología en el Estado de San Luis Potosí	32
2.3. LITERATURA CITADA	34
CAPÍTULO 3. PRIMER ARTÍCULO	43
3.1 DIVERSIDAD LIQUÉNICA SOBRE EL GRADIENTE VERTICAL DE <i>Pinus cembroides</i> Zucc. subsp. <i>cembroides</i> EN EL ALTIPLANO POTOSINO	43
3.1.1. Resumen	43
3.1.2. Abstract	44
3.1.3. Introducción.....	45
3.1.4. Materiales y Métodos	47
3.1.5. Resultados	50
3.1.6. Discusión.....	62
3.1.7. Conclusiones.....	64
3.1.8. Conflicto de intereses	64
3.1.9. Contribución por autor	64
3.1.10. Referencias	65
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES.....	71
CAPÍTULO 5. ANEXOS	73
5.1. REPORTE FOTOGRÁFICO (ESPECIES DE LÍQUENES).....	73

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Listado de especies de líquenes cortícolas sobre forofitos de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>cembroides</i>	52
Cuadro 2. Diversidad de macrolíquenes cortícolas en las localidades de muestreo.....	54
Cuadro 3. Diversidad de macrolíquenes a lo largo del gradiente vertical de los forofitos de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>cembroides</i>	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura general del documento de titulación.	17
Figura 2. Forma de crecimiento costroso.....	22
Figura 3. Forma de crecimiento folioso.....	23
Figura 4. Forma de crecimiento fruticoso.....	24
Figura 5. Esquema de la reproducción asexual (Soralios) ³ y sexual (Apotecios) ⁴ en los líquenes.	26
Figura 6. Área de estudio.....	48
Figura 7. Comparación del DAP y altura de los forofitos entre las localidades de muestreo.....	51
Figura 8. Distribución de las comunidades liquénicas en las localidades de muestreo.....	58
Figura 9. Distribución de las comunidades liquénicas sobre el gradiente vertical de los forofitos muestreados de <i>P. cembroides</i> subsp. <i>cembroides</i>	59
Figura 10. Correlación de las variables dasométricas y ambientales en la distribución de las comunidades liquénicas mediante el análisis de correspondencia canónica.	60
Figura 11. Distribución de las comunidades liquénicas a lo largo del gradiente vertical de <i>P. cembroides</i> subsp. <i>cembroides</i> . Los puntos refieren las orientaciones hacia donde se observaron las menores y mayores coberturas liquénicas en cada zona de muestreo (I bajo, II medio y III alto).	61

ABREVIATURAS USADAS

Abreviatura	Significado
Biol.	Biólogo
BTE	Bosques Templados de Coníferas y de Encinos
SLP	San Luis Potosí
CBS	Costra Biológica del Suelo
CO ₂	Dióxido de carbono
DAP	Diámetro Altura al Pecho
km ²	Kilómetros cuadrados
m	Metros
mm	Milímetros
MXE	Matorral Xerófilo
pH	Potencial de Hidrógeno
spp.	Especies
sp.	Especie
subsp.	Subespecie
°C	Grado Celsius
BS ₀	Climas secos
KOH	Hidróxido de potasio
NaOCl	Hipoclorito de sodio
P	p-felilendiamina
UV	Luz ultravioleta
B _w	Diversidad beta de Whitaker
ACC	Análisis de Correspondencia Canónica
ISA	Análisis Indicador de Especies

DEDICATORIA

Antes que nada agradezco a dios y a la vida por permitirme culminar esta meta en mi formación profesional, haciéndome ver que con esfuerzo, trabajo y dedicación los sueños si se hacen realidad. A mis padres, Martha Esthela y Martin Armando, por darme siempre su apoyo y aliento en los momentos difíciles, muchas gracias. A mis hermanos, José Manuel y María Sandreli, por ser mis cómplices y compañeros de vida que siempre han estado allí para apoyarme. A Marlenne, gracias.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer al Dr. Diódoro Granados Sánchez por dirigir este Proyecto de investigación, por sus consejos y recomendaciones para enriquecer el tema así como su disponibilidad para el trabajo de campo. Asimismo me gustaría externar mi agradecimiento a la Dra. Rosa Emilia Pérez Pérez por la ayuda brindada en la parte liquenológica y su codirección para el desarrollo de esta tesis. Agradezco infinitamente al M. en C. Ro Linx Granados Victorino por apoyarme en la parte estadística así como al Dr. Antonio Villanueva Morales, muchas gracias.

Retribuyo de igual manera el apoyo brindado a María José y Betsaida “Becko” por el apoyo en las salidas de campo y colecta del material biológico. Me gustaría hacer un agradecimiento especial al Dr. Leopoldo García Sancho y a la Dra. Ana Pintado Valverde por todas las atenciones brindadas durante mi estancia de investigación en el laboratorio de Biología Vegetal, Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), España. Agradezco a todas las personas que tuve el placer de conocer durante mi estancia en Madrid y Chapingo; Ana, Silvia, Yadi, Ari, Fredy y Liborio gracias por su amistad.

Mi agradecimiento a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización del posgrado así como del presente Proyecto de investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Julio Armando Ramírez Juárez
Fecha de nacimiento	18 de junio de 1990
Lugar de nacimiento	Chilpancingo de los Bravo, Guerrero
CURP	RAJJ900618HGRMRL02
Profesión	Licenciado en Biología

Desarrollo académico

Bachillerato	Centro de Bachillerato Tecnológico, Industrial y de Servicios, 134
Licenciatura	Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos

RESUMEN GENERAL

Para la región del altiplano mexicano que conforman los estados del noreste y centro-norte del país se tienen registradas 511 especies de líquenes de las cuales 94 han sido reportadas para el estado de San Luis Potosí. Cabe señalar que no existe información o antecedente alguno de estudios realizados que documenten aquellas especies de líquenes cortícolas asociadas a los pinos piñonero, especies de coníferas características de ambientes xéricos y con una distribución restringida. El presente estudio documenta la diversidad de líquenes cortícolas a lo largo del gradiente vertical de *Pinus cembroides* subsp. *cembroides* (piñón). Se establecieron siete localidades de muestreo de acuerdo a la distribución de *P. cembroides* subsp. *cembroides* en los municipios de Catorce, Charcas, Villa de Reyes, Villa de Zaragoza y Mexquitic de Carmona pertenecientes a la región Altiplano del estado de San Luis Potosí. Adaptando la zonificación de Johansson (1974) se establecieron tres zonas de muestreo (Zonas I, II y III) sobre el gradiente vertical de los 40 forofitos seleccionados. Se registran un total de 50 especies de líquenes asociadas al bosque de pino piñonero, 32 de ellas sobre el gradiente vertical de los forofitos y 18 durante la recolecta general. Las familias Parmeliaceae, Physciaceae y Teloschistaceae fueron las más significativas al denotar la mayor riqueza y cobertura de especies. Las localidades de La Salitrera y Guadalupe Victoria registraron la mayor diversidad de líquenes. Se observó una clara estratificación vertical de los líquenes sobre *P. cembroides* subsp. *cembroides* observándose un decremento en la diversidad de la zona baja (I) hacia la zona alta (III). La afinidad de las comunidades liquénicas por establecerse hacia la orientación NE sobre los forofitos fue muy evidente. Las especies *Haematomma fenzlianum* A. Massal., *Hypotrachyna rockii* (Zahlbr.) Hale, *Pseudevernia consocians* (Vain.) Hale & Culb. y *Punctelia rudecta* (Ach.) Krog se registran por primera vez para el estado de San Luis Potosí.

Palabras clave: Gradiente vertical, Flora liquénica, Forofito, Piñonero, Riqueza de especies, Vegetación xerófita

ABSTRACT

For the Mexican Plateau region formed by the northeastern and north-central states of the country, 511 lichens species have been registered, of which 94 have been reported for the state of San Luis Potosí. It should be noted that there is no information or any background of studies carried out to document those species of corticolous lichens associated with pinyon pines, coniferous species characteristic of xeric environments and with a restricted distribution. The present study documents the diversity of corticolous lichens along the vertical gradient of *Pinus cembroides* subsp. *cembroides* (pinyon pine). Seven sampling locations were established according to the distribution of *P. cembroides* subsp. *cembroides* in the municipalities of Catorce, Charcas, Villa de Reyes, Villa de Zaragoza and Mexquitic de Carmona belonging to the Altiplano region in San Luis Potosí. Adapting the zonification of Johansson (1974), three sampling zones (Zones I, II and III) were established on the vertical gradient of the 40 selected phorophytes. A total of 50 species of lichens associated with the pinyon pine forest were recorded, 32 of them on the vertical gradient and 18 during the general collection. The families Parmeliaceae, Physciaceae and Teloschistaceae were the most significant as they denoted the greatest richness and include most of species. The localities of La Salitrera and Guadalupe Victoria registered the highest diversity of lichens. A clear vertical stratification of lichens was observed on *P. cembroides* subsp. *cembroides*, with a decrease in diversity from zone I to zone III. The affinity of the lichen communities to establish towards the NE aspect on the phorophytes was very clear. The species *Haematomma fenzlianum* A. Massal., *Hypotrachyna rockii* (Zahlbr.) Hale, *Pseudevernia consocians* (Vain.) Hale & Culb. and *Punctelia rudecta* (Ach.) Krog are registered for the first time in the state of San Luis Potosí.

Key words: Vertical gradient, Lichen flora, Tree host, Pinyon pine, Species richness, Xerophytic vegetation

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Actualmente se desestima el número exacto de especies de coníferas en el mundo, no obstante algunos autores como Eckenwalder (2009) han reportado 546 especies, mientras que Farjon (2010) reconoce 615 y Gernandt y Pérez de la Rosa (2014) consideran un número de 670. De manera particular México es considerado un centro secundario de diversificación del género *Pinus* con 49 de las 120 especies reportadas a nivel mundial (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014), cuya distribución es amplia pudiéndose encontrar cerca de las costas hasta el límite superior altitudinal arbóreo (Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 1998). De acuerdo a Farjon y Styles (1997) la región noreste del país presenta la mayor riqueza de especies, siendo Jalisco la entidad con mayor número de especies registradas (34 spp.), mientras que estados como Hidalgo, Veracruz, Puebla y Oaxaca presentan la mayor diversidad de géneros de coníferas (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

La especie *Pinus cembroides* Zucc. subsp. *cembroides* ó pino piñonero tiende a distribuirse potencialmente sobre al altiplano del norte y centro del país, cuyo hábitat suele estar restringido a las montañas de clima seco donde forman un ecotono con otras comunidades vegetales como pastizales, matorrales xerófilos y encinares (Rzedowski, 1978; Sánchez-González, 2008). Es importante mencionar que el cambio de uso de suelo, incendios y la tala inmoderada son algunas de las causas principales de que muchos de los bosques de coníferas sufran una disminución del área cubierta, aunado a las tendencias recientes del cambio climático lo cual representa una amenaza latente para muchas especies sensibles a dichos cambios, no sólo de flora, sino de fauna vertebrada e invertebrada así como los hongos entre ellos los líquenes, organismos simbiotes también conocidos como hongos liquenizados. Son el resultado de la asociación de dos o más individuos: un hongo (micobionte), de los cuales el 99% son ascolíquenes y sólo el 1% basidiolíquenes, y un alga y/o cianobacteria (fotobionte) (Purvis, 2000; Brodo *et al.*, 2001; Hawksworth, 2002).

Los líquenes son capaces de colonizar medios donde las condiciones de humedad, luz solar y temperatura suelen ser extremas estando presentes en lugares donde pocos seres vivos podrían sobrevivir (Purvis, 2000). Tienden a representar el 8% de la diversidad vegetal terrestre, jugando un papel importante en los ecosistemas al participar en la fijación de nitrógeno atmosférico, contribuyen a la formación de suelos evitando su erosión y se ha comprobado que sirven como alimento y refugio para animales tanto invertebrados como vertebrados, además de ser considerados especies pioneras y de sucesión (Nash III, 1996; Purvis, 2000; Brodo *et al.*, 2001; Hawksworth, 2002; Hawksworth *et al.*, 2005). Cabe señalar que ha sido muy bien documentada su importancia como herramienta biológica para el monitoreo de la contaminación ambiental (Ochoa-Jiménez *et al.*, 2015; González-Vargas *et al.*, 2016; Fontecha y Burgaz, 2017; Valdivia y Ramírez, 2018) y evaluación de la calidad y conservación de los ecosistemas (González-Suárez, 2017; Benítez, 2018; Miller *et al.*, 2018; Aragón *et al.*, 2019; Perazzo y Rodríguez, 2019; Gauslaa *et al.*, 2020).

El conocimiento de la diversidad de líquenes en el país es aún escaso, señalando que para mediados del siglo XIX solo habían sido reportadas 1,000 especies (Imshaug, 1956). No obstante, Herrera-Campos *et al.*, (2014) estiman que el número de especies corresponde a un número aproximado de 5,000 especies. Tomando en cuenta la clasificación y agrupación de los tipos de vegetación de México por Villaseñor (2013), se tiene un mayor conocimiento de aquellas especies de líquenes asociadas a los bosques templados de coníferas y de encinos (BTE) habiendo registradas 947 especies, seguido del matorral xerófilo (MXE) que incluye al chaparral y matorral desértico, donde se han reportado 544 especies de líquenes. Cabe señalar que para la región del altiplano mexicano, que conforman los estados de la región noreste y centro-norte del país, se tienen registradas sólo 511 especies, de las cuales 94 han sido reportadas para el estado de San Luis Potosí (Herrera - Campos *et al.*, 2014).

Así bien y con base en lo anterior, la realización del presente Proyecto pretende aunar en el conocimiento de la flora liquénica de la región semiárida del país, particularmente en un tipo de ecosistema con una distribución restringida como es el bosque de pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc. subsp. *cembroides*). Cabe mencionar que se consideraron, de igual forma, aquellos especímenes presentes en diferentes sustratos mediante un muestreo oportunista con el fin de ampliar y documentar su distribución tanto en la región como la entidad.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El conocimiento de la flora liquénica en el país es muy escaso debido a la carencia de estudios taxonómicos (Herrera-Campos *et al.*, 2014). De manera particular no se ha documentado o se tiene conocimiento de aquellas especies de macrolíquenes cortícolas asociadas a *Pinus cembroides* Zucc. subsp. *cembroides*, especie de conífera característica de ambientes xéricos y con una distribución restringida al norte y centro del país.

En la región de estudio sólo existen registros aislados de especies liquénicas asociadas a las denominadas Costras Biológicas del Suelo (CBS) (Concostrina-Zubiri *et al.*, 2013), que tienden a estar presentes en el matorral xerófilo y pastizal semiárido. Por lo cual, es imperativo conocer y documentar la diversidad de líquenes presentes en este tipo de bosque de coníferas con características y hábitos medioambientales particulares, y con ello aumentar la riqueza de especies para la región.

1.2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a Herrera - Campos *et al.*, (2014) para la región semiárida del país se cuenta con poca información acerca del conocimiento la flora liquénica, existiendo solo reportes aislados para las entidades que tienden a localizarse en la región del altiplano mexicano, resaltando que para el estado de San Luis Potosí sólo se cuentan con 94 registros de especies de líquenes.

Si se considera que la entidad cuenta con una extensión de 63,304.74 km² y presenta una variedad de ecosistemas, resaltando el matorral xerófilo y bosques de coníferas, es preciso aunar en el estudio de dichos organismo ampliando su conocimiento no solo para la entidad sino para el país.

1.3. OBJETIVOS

General

- Analizar la diversidad de la flora líquénica del bosque de *Pinus cembroides* Zucc. subsp. *cembroides* en la región del Altiplano del estado de San Luis Potosí, México.

Objetivos particulares

- Estimar la diversidad de la flora líquénica a lo largo del gradiente vertical de los forofitos seleccionados.
- Conocer la riqueza de la comunidad líquénica presente en los diferentes sustratos asociada al bosque de *Pinus cembroides* Zucc. subsp. *cembroides* mediante un muestreo oportunista.

1.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Existen variaciones en la riqueza y abundancia de especies líquénicas a lo largo del gradiente vertical de los forofitos?
- ¿Cuáles y cuantas especies de líquenes están asociadas al bosque de *Pinus cembroides* subsp. *cembroides*?

1.5. HIPOTESIS

Diversos estudios han documentado que los líquenes cortícolas responden a una clara estratificación vertical y no a una distribución aleatoria sobre el forofito, la cual tiende a estar influenciada por las características dasométricas (DAP, altura y cobertura), propiedades del sustrato (rugosidad, pH, metabolitos, etc.), y factores ambientales (humedad, tiempo de exposición solar y temperatura) desde la base hasta el dosel. Con base en lo anterior, se sugiere que exista variación en la composición, riqueza y frecuencia de líquenes sobre el gradiente vertical de los forofitos de *Pinus cembroides* Zucc. subsp. *cembroides*, en función a la estructura y condiciones particulares en cada sitio de muestreo.

1.6. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO DE TITULACIÓN Y CONTENIDO TEMÁTICO

El presente documento de titulación se compone de cinco capítulos como se muestra en la Figura 1.

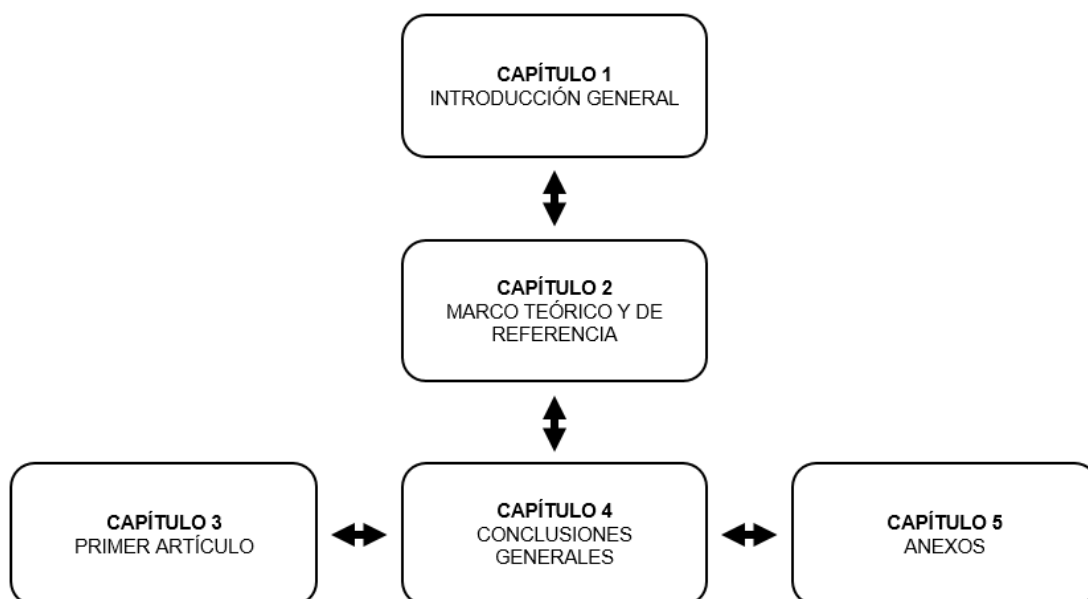


Figura 1. Estructura general del documento de titulación.

1.7. LITERATURA CITADA

- Aragón, G., Martínez, I., Hurtado, P., Benítez, A., Rodríguez, C. and Prieto, M. (2019). Using growth forms to predict epiphytic lichen abundance in a wide variety of forest types. *Diversity*, 11, 51.
- Benítez, A., Aragón, G., González, Y. and Prieto, M. (2018). Functional traits of epiphytic lichens in response to forest disturbance and as predictors of total richness and diversity. *Ecological Indicators*, 86: 18-26.
- Brodo, I. M., Sharnoff, D. S. and Sharnoff, S. (2001). Lichens of North America. Yale University Press. Estados Unidos. 795 pp.
- Concostrina-Zubiri, L., Martínez, I., Huber-Sannwald, E. y Escudero, A. (2013). Efectos y respuestas de la Costra Biológica del Suelo en ecosistemas áridos: avances recientes a nivel de especie. *Ecosistemas*, 22(3): 95-100. DOI: 10.7818/ECOS.2013.22-3.13
- Eckenwalder, J. E. (2009). Conifers of the world: the complete reference. Timber Press, Portland. 720 p.
- Farjon, A. and Styles, B. T. (1997). *Pinus* (Pinaceae). Flora Neotropica monograph 75. The New York Botanical Garden, Bronx, New York. 291 p.
- Farjon, A. (2010). A handbook of the world's conifers. Brill, Leiden. 1111 p.
- Fontecha, A. y Burgaz, A. R. (2017). Uso de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire: estado de la Ciudad Universitaria (Madrid, España). *A. Bot. complut.*, 42: 57-68.
- Gaussla, Y., Goward, T. and Pypker, T. (2020). Canopy settings shape elemental composition of the epiphytic lichen *Lobaria pulmonaria* in unmanaged conifer forests. *Ecological Indicators*, 113: 106294.

- Gernandt, D. S. y Pérez-de la Rosa, J. A. (2009). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl.*, 85: S126-S133, 2014.
- González-Suárez, S., González-Montelongo, C., León-Arencibia, M. C., Losada-Lima, A. y Pérez-Vargas, I. (2017). Flora liquenológica del Bosque del Adelantado (El Rosario, Tenerife). *Vieraea*, 45: 355-366.
- González-Vargas, N., Lujan-Pérez, M., Navarro-Sánchez, G. y Flores-Mercado, R. (2016). Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba. *Acta Nova*, 7, 455-485
- Hawksworth, D. L. (2002). Encyclopedia of life sciences. John Wiley & Sons, Ltd. www.els.net
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T. y Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22: 71-82.
- Herrera-Campos M. A., Lücking R., Pérez-Pérez R. E., Miranda-González R., Sánchez N., Barcenas-Peña A., Carriozos A., Zambrano A., Ryan D. y Nash III T. H. (2014). Biodiversidad de líquenes en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad Suplemento*, 85: 82-99.
- Imshaug, H. (1956). Catalogue of Mexican lichens. *Revue Bryologique et Lichénologique*, 25: 321-385.
- Miller, J. E.D., Root, H.T. and Safford, H.D. (2018). Altered fire regimes cause long-term lichen diversity losses. *Glob Change Biol.*, 00: 1-10.
- Miranda, F. y Hernández, X. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28: 29-179.
- Nash III T. H. (1996). Lichen Biology. Cambridge University Press, Cambridge. 303 p.

- Ochoa-Jiménez, D. A., Cueva-Agila, A., Prieto, M., Aragón, G. y Benítez, A. (2015). Cambios en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Loja (Ecuador). *Caldasia*, 37(2): 333-343.
- Perazzo, A. y Rodríguez, J. M. (2019). Impacto del fuego sobre la vegetación no vascular del suelo: un caso de estudio en los bosques de *Polylepis australis* (Rosaceae) del centro de Argentina". *Lilloa*, 56(2): 67-80.
- Purvis, W. (2000). Lichens. Smithsonian Institution Press; Washington, D.C. pp 4-56.
- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Limusa, Mexico, D.F. 504 p.
- Rzedowski, J. (1998). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. En: Ramammoorthy, T.P.,R. Bye, A. Lot y J. Fa (Eds). Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, UNAM, México. pp. 129-145.
- Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14(1): 107-120.
- Valdivia, D. y Ramírez, Á. (2018). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Áncash, Perú. *The Biologist*, 16(1): 77-95.
- Villaseñor, J. L. y Ortiz, E. (2013). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENCIA

2.1. LÍQUENES: GENERALIDADES

2.1.1. ¿Qué son los líquenes?

Un líquen es una asociación simbiótica y estable de un hongo dominante especializado (micobionte), con un alga o en algunos casos cianobacteria (fotobionte), en la que los dos o más simbiontes forman un talo concreto con una estructura peculiar (definición propuesta por Wet Jiang-Chun). Cabe señalar que en esta asociación ambas partes se benefician, ya que el micobionte obtiene del fotobionte los azúcares producto de la fotosíntesis y este último recibe el resguardo y suministro constante de los nutrientes esenciales para su supervivencia tales como agua y minerales, así como protección contra la desecación (Ahmadjian, 1993). Los líquenes son considerados seres poiquilohídricos (ya que no son capaces de regular activamente su contenido hídrico) y poiquilotermos (su temperatura depende de la del ambiente y el sustrato) a los ambientes atmosféricos (Barreno y Pérez-Ortega, 2003).

2.1.2. Morfología

La estructura básica de los líquenes se denomina talo, el cual está compuesto por una corteza inferior y superior, ambas formadas por las hifas del micobionte, asimismo presentan una médula, cuya constitución está dada por una capa interna y una capa inferior igualmente formada por hifas (Umaña y Sipman, 2002). Con base en lo anterior el talo liquénico puede presentar dos estratificaciones:

a) *Heterómero*: las hifas del micobionte constituyen la mayor parte de los tejidos estructurales formando una serie de capas bien definidas (córtex superior, médula y córtex inferior). Las células del fotobionte rodeadas por hifas, tienden a formar una capa (capa algal) por debajo del córtex superior.

b) *Homómero*: el fotobionte tiende a dominar sobre el micobionte. No se distingue una organización estructurada y el alga se distribuye de forma más o menos homogénea por toda la sección del cuerpo vegetativo del líquen.

Así bien, se determinan tres formas principales de crecimiento de los líquenes (costroso, folioso y fruticoso) divididas en dos grandes grupos: *Microlíquenes* y *Macrolíquenes*.

Costrosos: No presentan corteza inferior desarrollándose totalmente adheridos al sustrato. Su crecimiento es radial y tienden a crecer 0.5 mm o menos anualmente. Dentro de este grupo se incluyen a los líquenes folícolas, cuyo micelio se suele extender sobre la superficie de las hojas, reconociéndose dos tipos: a) *hipófilos* (cuando crecen en el lado inferior) y b) *epífilos* (cuando crecen en la parte superior).

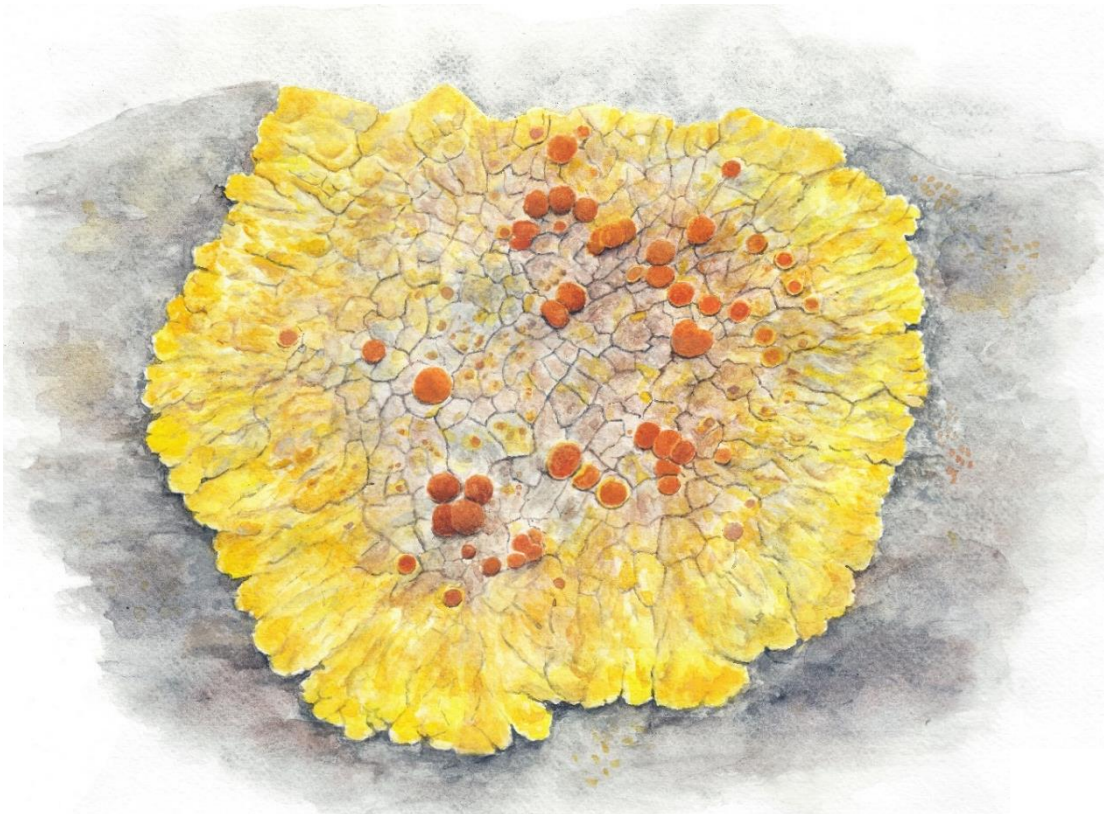


Figura 2. Forma de crecimiento costroso.

[*Variospora aurantia* (Pers.) Arup, Søchting & Frödén]

Foliosos: Presentan forma de hoja y un talo aplanado dividido en lóbulos, distinguiéndose dos cortezas; una inferior y otra superior las cuales se diferencian en color, composición y forma. Se fijan al sustrato por medio de estructuras de fijación llamadas de ricinas y tienden a presentar un crecimiento anual de 27 mm o más.



Figura 3. Forma de crecimiento folioso.

[*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.]

Fruticosos: Pueden ser péndulos o erectos con una simetría radial, los cuales se fijan al sustrato por medio de una base muy estrecha. Presentan un crecimiento de 90 mm anuales en promedio.



Figura 4. Forma de crecimiento fruticosa.

[*Teloschistes exilis* (Michaux) Vain.]¹

[*Ramalina celastri* (Sprengel) Krog & Swinscow]²

Se distingue el apoyo brindado del Biol. Juan Carlos Martínez Montes por la realización de las ilustraciones empleando la técnica de acuarela y lápices de color.

Cabe hacer hincapié que dentro de los líquenes foliosos sobresalen los denominados *líquenes gelatinosos*, caracterizándose por presentar un talo blando cuando están hidratados y donde el fotobionte tiende a ser el organismo dominante. Por otro lado, los llamados *umbilicados* suelen presentar un talo unido por un sólo punto, llamado umbilíco (estructura de fijación). Finalmente los *líquenes compuestos* suelen constituirse por un talo primario (costroso o folioso) y un talo secundario (fruticoso) extendido en el sustrato, siendo característico el género *Cladonia* (Hawksworth y Hill, 1984; Purvis, 2000). Otras estructuras accesorias originadas por el micobionte son empleadas para fijación al sustrato (ricinas y tomento) o de intercambio gaseoso (cifelas, pseudocifelas y cilios) (Barreno y Pérez-Ortega, 2003).

2.1.3. Reproducción

Los líquenes presentan dos formas de reproducción, la sexual y asexual. Cabe mencionar que en esta asociación simbiótica el micobionte, de manera estricta, presenta en su ciclo de vida la reproducción sexual, mientras que la reproducción asexual está, en su mayor parte, restringida al fotobionte (Barreno y Pérez-Ortega, 2003). Es importante resaltar que la reproducción asexual tiende a ser más exitosa ya que el micobionte como el fotobionte están contenidos en propágulos o fragmentos del talo llamados soredios, isidios y soralios, los cuales son dispersados fácilmente por el viento o agua (Hawksworth y Hill, 1984; Brodo *et al.*, 2001). Como contraparte la reproducción sexual se caracteriza por la formación de cuerpos fructíferos (apotecios, peritecios y picnidios) que forman esporas, las cuales, al ser liberadas requieren de un alga compatible para poder germinar y así formar un nuevo talo liquénico (Ahmadjian, 1993; Purvis, 2000) (Figura 5).

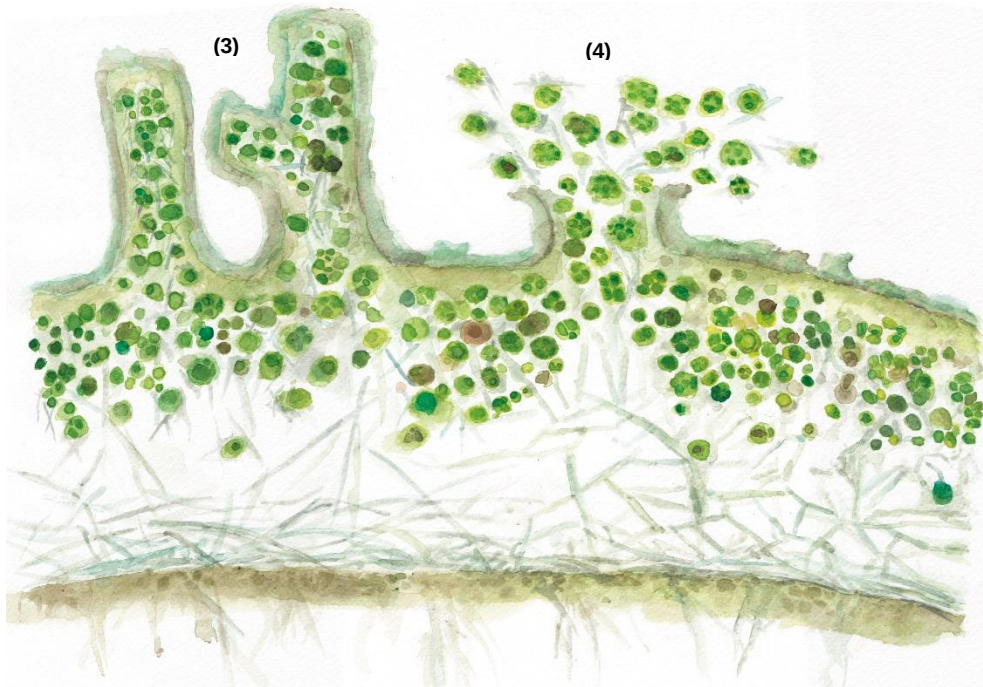


Figura 5. Esquema de la reproducción asexual (Soralios)³ y sexual (Apotecios)⁴ en los líquenes.

Ilustración realizada por el Biol. Juan Carlos Martínez Montes con la técnica de acuarela y lápices de colores.

2.1.4. Hábitat

Los líquenes son considerados organismos perennes capaces de tolerar temperaturas extremas, por lo cual, tienen la capacidad de colonizar gran variedad de hábitats, desde el ecuador hasta los casquetes polares y desde el nivel del mar hasta las más altas cumbres montañosas pudiendo colonizar diferentes sustratos: suelo (edafolícolas), rocas (saxícolas), corteza (cortícolas), muscícolas (musgo), hojas (folícolas) por mencionar algunos (Nash III, 1996; Purvis, 2000; Umaña y Sipman, 2002; Barreno y Pérez-Ortega, 2003). Cabe señalar que algunos factores determinantes para su crecimiento, desarrollo y dispersión son la competencia, disponibilidad y características del sustrato, depredación, humedad, intensidad de luz, edad y manejo del bosque así como altitud y exposición (Córdova-Chávez, 2016; Rosabal *et al.*, 2016; Simijaca *et al.*, 2018; Vitt *et al.*, 2019; León-González y Pérez-Pérez, 2020).

2.1.6. Importancia

La flora líquénica suele ser un componente imprescindible en los ecosistemas templados y tropicales al intervenir en diferentes procesos ecosistémicos relevantes como los ciclos del agua y nutrientes (nitrógeno principalmente), formadores de suelo evitando su erosión, productores primarios, descomponedores y en algunos casos sirven de alimento y refugio para animales invertebrados y vertebrados además de ser empleados como material de construcción para el nido de algunas aves (Hawksworth *et al.*, 2005; Barreno y Pérez-Ortega, 2003).. El uso y aplicación de los componentes secundarios liquénicos en el área médica ha sido muy documentado, principalmente el ácido úsnico, al comprobarse sus propiedades antibióticas, antiinflamatorias y antivirales. En la industria farmacéutica y cosmetológica suelen ser utilizados para la elaboración de tintes naturales, medicamentos y fijadores de fragancias (Purvis, 2000; Brodo *et al.*, 2001; Hawksworth *et al.*, 2005). Más recientemente el uso de la liquenometría se ha desarrollado como un método posible para datar superficies rocosas y restos arqueológicos, relacionándolos con el tamaño y la edad de los líquenes que los colonizan (Barreno y Pérez-Ortega, 2003; Palacios *et al.*, 1998, 2012).

2.2. MARCO DE REFERENCIA

2.2.1. Liquenología en el Mundo

Los líquenes han sido ampliamente utilizados como bioindicadores para la detección y evaluación de perturbaciones (crónicas y/o agudas) en los ecosistemas provocados por el estrés ambiental (*p. ej.*, calidad del aire, contaminación, cambio climático, fuego, deforestación, etc.) debido a su biología como seres cíclicos, ecología y a ciertas características fisiológicas (perennes, longevos, poiquilohídricos, ausencia de cutícula protectora, etc.) (Barreno y Pérez-Ortega, 2003; Jeran *et al.*, 2003; Martínez *et al.*, 2011; Chaparro *et al.*, 2013; Ray *et al.*, 2015; Giordani, 2019; Kroukamp *et al.*, 2019; Mishra *et al.*, 2020; Abas, 2021).

Diversos estudios ecológicos han documentado que los líquenes cortícolas (epífitos) contribuyen en gran medida a la biodiversidad constituyendo una gran porción de la biomasa epífita, pudiendo variar en función de la situación geográfica donde se encuentran, el macro y microclima así como de las características de la estructura forestal, siendo de gran importancia al momento de documentar el estado de conservación de un ecosistema debido a su sensibilidad ante los cambios en la estructura y/o la fragmentación de los mismos (Barreno y Pérez-Ortega, 2003; Cáceres *et al.*, 2007 Pérez-Pérez *et al.*, 2008, 2015; Li *et al.*, 2017). Se ha comprobado que las especies hospedadoras tienden a influir de manera significativa en la distribución de la flora líquénica epífita que los coloniza, observándose una clara estratificación vertical y no una distribución aleatoria sobre estas, condicionado por las características dasométricas (DAP, altura y cobertura), propiedades del sustrato (rugosidad, pH, metabolitos, etc.) y factores ambientales (humedad, tiempo de exposición solar y temperatura) desde la base hasta el dosel (Cáceres *et al.*, 2007, 2008; Pérez-Pérez *et al.*, 2011; Soto-Medina *et al.*, 2012; Rosabal *et al.*, 2013; Simijaca *et al.*, 2018; León-González y Pérez-Pérez, 2020).

Cabe señalar que factores como la altura del forofito (hospedero) tiende a influir directamente sobre la riqueza de especies líquénicas al existir una relación entre las formas de crecimiento presentes a diferentes clases de alturas, donde los líquenes con crecimiento fruticoso muestran una preferencia por establecerse hacia alturas superiores (dosel) donde están más expuestos a la luz, desecación y las corrientes de aire son más fuertes con respecto a los líquenes foliosos y costrosos que tienden a establecerse a alturas menores (< 2.0 m), preferentemente hacia la orientación norte del área basal arborea donde la existencia de un menor tiempo de exposición solar trae consigo un aumento en la humedad en comparación con el lado sur donde las condiciones son más excesivas y su presencia es baja o en algunos casos nula (Kuusinen, 1994, Pérez-Pérez *et al.*, 2008, 2015; Bäcklund *et al.*, 2016), fenómeno conocido como distribución vertical (McCune *et al.*, 2000; Fanning *et al.*, 2007;

Rodríguez *et al.*, 2009; Bataghin *et al.*, 2012; Gil-Novoa y Morales-Puentes, 2013; Li *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2017). Algunos otros estudios sugieren que la edad de los forofitos y la continuidad ecológica ejercen un efecto sobre la diversidad liquénica, correlacionando el aumento de esta con la edad del bosque, señalando que en aquellos bosques maduros y conservados suele existir una mayor riqueza y abundancia de especies en comparación con los bosques jóvenes o en regeneración (McCune, 1993; Estrabou y García, 1995; Nascimbene *et al.*, 2010; Marmor *et al.*, 2012). Es importante mencionar que el conocimiento de la flora liquénica en ecosistemas xerófilos se ha limitado en gran medida, a su asociación con la denominada Costra Biológica del Suelo (CBS) (Castillo-Monroy y Maestre, 2011; Castillo-Monroy *et al.*, 2011; Concostrina-Zubiri *et al.*, 2013; Delgado-Baquerizo *et al.*, 2013; Castillo-Monroy y Benítez, 2015), siendo el resultado de una asociación entre organismos poiquilohídricos microscópicos (algas, microhongos, cianobacterias) y macroscópicos (líquenes, briófitos y microartrópodos) agregados con partículas de suelo (West, 1990; Belnap y Gardner, 1993).

2.2.2. Liquenología en México

Los primeros antecedentes acerca del conocimiento de la liquenología en México se remontan a aquellos estudios taxonómicos procedentes de expediciones y colectas realizadas a principios y mediados del siglo XIX (de Lesdain, 1929; Imshaug, 1956; Henssen *et al.*, 1985; Ryan *et al.*, 1996, 2000; Sipman y Wolf, 1998; Moberg y Nash III, 1999), los cuales consideraban un total de 1,000 especies de líquenes para el país. Cabe señalar que desde un inicio la participación extranjera ha sido notable, hasta nuestros días, destacando los aportes de Alexander Von Humboldt, Bonpland, Nylander, Vainio, Liebman por mencionar algunos (Herrera-Campos *et al.*, 2014). No obstante, la contribución de mexicanos al conocimiento de la flora liquénica toma un impulso significativo a mediados de los 70's con los trabajos realizados por Guzmán-Gastón y colaboradores, marcando un punto de inflexión para la liquenología en el país.

Con base en lo anterior los registros actuales contabilizan un número de 2,722 especies agrupadas en 2 divisiones, 2 subdivisiones, 6 clases, 21 órdenes, 84 familias y 364 géneros (Herrera-Campos y Lücking, 2003; Lücking *et al.*, 2009; Herrera-Campos *et al.*, 2014). Es importante mencionar que los mismos autores refieren que este número representa aproximadamente el 50% de las especies registradas para el país, ya que sugieren la existencia de un total de 4,200 especies, de las cuales 3,200 pudieran estar asociadas a ecosistemas tropicales.

Para principios del siglo XXI Nash III *et al.*, (2002a, 2004b y 2007c) lleva a cabo el estudio más sobresaliente y con mayor relevancia para el país en la región del Gran Desierto de Sonora, considerando un total de 1,900 especies y 341 géneros trayendo consigo un número de registros nuevos para los estados de Baja California Sur, Baja California, Sinaloa, Sonora y Chihuahua, publicado en una obra de tres volúmenes. Otros trabajos que han aportado al conocimiento de estos organismos fueron llevados a cabo por Herrera-Campos y Lücking (2002) y Herrera-Campos *et al.*, (2004) con líquenes folícolas en el estado de Veracruz, registrando 35 especies nuevas para la ciencia y 238 nuevos registros para México. En la misma entidad Pérez-Pérez *et al.*, (2015) evalúan la diversidad de especies cortícolas sobre *Quercus* spp. del Bosque Mesófilo de Montaña en la Reserva Ecológica La Cortadura, registrando un número considerable de especies foliosas y costrosas, determinando que el bosque de encino beneficia de manera significativa a la comunidad líquénica. De igual forma Córdova-Chávez *et al.*, (2016) describen tres nuevas especies de líquenes cortícolas (*Astrothelium coccineum*, *Micarea viridicapitata* y *Protoparmelia microspora*) en dicha reserva ecológica, aumentando con ello el registro de especies no sólo para la entidad sino para el país. Otra de las entidades donde el estudio de la flora líquénica ha sido considerable es el estado de Oaxaca, destacando aquellos trabajos realizados por Pérez-Pérez y Herrera-Campos (2004) y Pérez-Pérez *et al.*, (2011), quienes documentan como el manejo del bosque influye en la diversidad de los macrolíquenes cortícolas, habiendo reportado 95 especies

líquénicas en la Sierra Norte de los cuales 47 son nuevos registros para dicha entidad. Recientemente León-González y Pérez-Pérez (2020) presentan un listado de 65 especies de líquenes en el bosque de *Juniperus flaccida* (especie endémica para el país), sugiriendo que las características de la corteza permiten el asentamiento de diversas especies de líquenes epífitos, reportando seis nuevos registros para la entidad y tres para el país.

Estudios diferentes que han contribuido a la liquenología del país sobresalen los de Esslinger y Pérez-Pérez (2010) al documentar el endemismo de la especie *Melanohalea mexicana* (Essl. & R.E. Pérez) para los estados de Puebla y Morelos. Por otro lado Gregorio-Cipriano *et al.*, (2016), evalúan la diversidad de líquenes que se desarrollan sobre árboles nativos e introducidos en la ciudad de Morelia, presentando un listado de 49 especies distribuidas en 26 géneros y 10 familias, de las cuales, 39 se registran por primera vez para Morelia, incluyendo 27 nuevos reportes para el estado de Michoacán y uno para México (*Hyperphyscia isidiata* Moberg.). Herrera-Campos *et al.*, (2016) realizaron un compilado de las especies de líquenes pertenecientes a la familia Parmeliaceae en una obra impresa titulada *Líquenes de México*, manejando un número de 2,000 registros, los cuales representan más del 20% de las especies conocidas a nivel mundial que pertenecen a esta familia y están presentes en el país. En el año 2019 Moncada y colaboradores documentan el género *Cora* (Basidiomycota: Hygrophoraceae), donde reconocen 12 taxones en México, incluidas ocho nuevas especies y una nueva subespecie. Los autores prevén que las 12 especies y subespecies ahora conocidas representan sólo alrededor del 20% de la riqueza total de *Cora* en el país, sugiriendo que muchos más linajes endémicos pudieran encontrarse en la parte occidental y noroeste de la Sierra Madre Occidental.

Es importante resaltar que el conocimiento de la diversidad de líquenes en ecosistemas semiáridos, particularmente hacia la parte norte y noreste del país correspondiente al denominado Altiplano Mexicano, se ha centrado en la denominada Costra Biológica del Suelo (CBS), cuyos trabajos más relevantes han demostrado que la CBS juega un papel importante en la distribución espacio-temporal sobre el suelo en pastizales semiáridos, sugiriendo que la riqueza de especies de dichas costras podría aumentar el potencial del almacenamiento de CO₂ en estos ecosistemas (Concostrina-Zubiri *et al.*, 2013; Molina-Guerra *et al.*, 2013; Morales-Sánchez, 2013).

2.2.3. Liquenología en el Estado de San Luis Potosí

Para el estado de San Luis Potosí se tiene poco conocimiento acerca de la diversidad de la flora líquénica ya que de acuerdo a Herrera-Campos *et al.*, (2014) para la denominada región centro-norte del país (Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas) se tiene el menor número de especies reportadas (216 spp.), la mayoría producto de reportes aislados. No obstante, dos son los trabajos realizados que sobresalen en la entidad. El primero fue llevado a cabo en un pastizal secundario cercano a la Sierra San Miguelito, donde Jiménez-Aguilar (2005) resalta la importancia de ciertas especies de líquenes como *Acarospora schleicheri* (Ach.) A. Massal., *Buellia* sp., *Diploschistes* sp., *Peltula michoacanensis* (B. de Lesd.) Wetmore y *Placynthiella uliginosa* (Schrader) Coppins & P. James, que tienden a estar asociadas a las Costras Biológicas del Suelo (CBS), contribuyen al suelo una mayor cantidad de N y C trayendo consigo un mayor aporte en su nutrición y estabilidad a nivel de microestrato. El segundo, Concostrina-Zubiri (2012) comprobaron que variables ambientales como precipitación, temperatura y cobertura vegetal ejercen un efecto sobre la distribución de especies de CBS, en particular se vio un efecto positivo de la precipitación en la presencia del clorolíquen (*Clavascidium lacinulatum* var. *atrans*) y de una especie de hepática (*Riccia* sp.) a lo largo del gradiente geográfico en un matorral xerófilo.

De manera particular no existe información o antecedente alguno de estudios realizados que documenten aquellas especies de líquenes cortícolas asociadas a *Pinus cembroides* Zucc. subsp. *cembroides*, especie de conífera característica de ambientes xéricos y con una distribución restringida al norte y centro del país. Por lo cual, este trabajo representa el primer caso de estudio, cuyo aporte es de gran relevancia al conocimiento de la flora liquénica en un bosque de coníferas propio de ecosistemas semiáridos.

2.3. LITERATURA CITADA

- Abas, A. (2021). A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. *Ecological Indicators*, 121, 107197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107197>.
- Ahmadjian, V. (1993). *The Lichen Symbiosis*. John Wiley & Sons, Inc., New York. 250 pp.
- Barreno-Rodríguez, E. y Pérez-Ortega, S. (2003). *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias. KRK Ediciones.
- Bataghin, F. A., Muller, A., Rodrigues-Pires, J. S., de Barros, F., Fushita, A. T., e Scariot, E. C. (2012). Riqueza e estratificação vertical de epífitas vasculares na Estação Ecológica de Jataí - área de Cerrado no Sudeste do Brasil. *Hoehnea*, 39(4): 615-626.
- Bäcklund, S., Jönsson, M., Strengbom, J., Frisch, A. and Thor, G. (2016). A pine is a pine and a spruce is a spruce - The effect of tree species and stand age on epiphytic lichen communities. *PLoS ONE*. 11(1), e0147004. DOI:10.1371/journal.pone.0147004.
- Belnap, J. and Gardner, J. (1993). Soil microstructure in soils of the Colorado Plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. *Gt. Basin Nat.*, 53: 40-47.
- Brodo, I. M., Sharnoff, D. S. and Sharnoff, S. (2001). *Lichens of North America*. Yale University Press. Estados Unidos. 795 pp.
- Cáceres, M. S., Lücking, R. and Rambold, G. (2007). Phorophyte specificity and environmental parameters versus stochasticity as determinants for species composition of corticolous crustose lichen communities in the Atlantic rain forest of northeastern Brazil. *Mycol Progress*, 10: 190-210.

- Cáceres, M. S., Lücking, R. and Rambold, G. (2008). Corticolous microlichens in northeastern Brazil: habitat differentiation between coastal Mata Atlantica, Caatinga and Brejos de Altitude. *The Bryologist*, 111(1): 1-20.
- Castillo-Monroy, A. P. y Maestre, F. T. (2011). La costra biológica del suelo: Avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84: 1-21.
- Castillo-Monroy, A. P., Maestre, F. T., Rey, A., Soliveres, S. and García-Palacios, P. (2011). Biological soil crust microsites are the main contributor to soil respiration in a semiarid ecosystem. *Ecosystems*, 14: 835-847. DOI: 10.1007/s10021-011-9449-3.
- Castillo-Monroy, A. P. y Benítez, A. (2015). Patrones de abundancia y riqueza de componentes de la costra biológica del suelo en un matorral seco del sur de Ecuador. *Av. Cienc. Ing.*, 7(1): B88-B97.
- Chaparro, M., Lavernia, J., Chaparro, M. and Sinito, A. (2013). Biomonitoring of urban air pollution: Magnetic studies and SEM observations of corticolous foliose and microfoliose lichens and their suitability for magnetic monitoring. *Environmental Pollution*, 172: 61-69.
- Concostrina-Zubiri, L. (2012). Composición, estructura y dinámica de la Costra Biológica del Suelo en ambientes áridos. Tesis Doctoral, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- Concostrina-Zubiri, L., Martínez, I., Huber-Sannwald, E. y Escudero, A. (2013). Efectos y respuestas de la Costra Biológica del Suelo en ecosistemas áridos: avances recientes a nivel de especie. *Ecosistemas*, 22(3): 95-100. DOI: 10.7818/ECOS.2013.22-3.13
- Córdova-Chávez, O., Castillo-Campos G., Pérez-Pérez, R. E., García-Franco, J. G. and Cáceres-D. Silva, M. E. (2016). Alpha diversity of lichens associated with *Quercus laurina* in a mountain cloud forest at Cofre de Perote eastern slope (La Cortadura), Veracruz, Mexico. *Cryptogamie, Mycologie*, 37(2): 193-204.

- de Lesdain, B. M. (1929). Lichens du Mexique. Deuxième Supplément. Lichens recueilles par le Frère Amable St. Pierre. *Annales de Cryptogamie Exotique*, 2: 217-254.
- Delgado-Baquerizo, M., Maestre, F. T. and Gallardo, A. (2013). Biological soil crusts increase the resistance of soil nitrogen dynamics to changes in temperatures in a semi-arid ecosystem. *Plant Soil*, 366: 35-47. DOI 10.1007/s11104-012-1404-3.
- Esslinger, T. and Pérez-Pérez R. E. (2010). The Lichen genus *Melanohalea* in Mexico, including a new endemic species. *Bibliotheca Lichenologica*, 105: 239-246.
- Estrabou, C. y García, L. (1995). Comunidades líquénicas cortícolas sobre *Lithraea ternifolia* en las Sierras Chicas de la provincia de Córdoba, Argentina. *Botanica Complutensis*, 20: 35-43.
- Fanning, E., Ely, J.S., Lumbsch, H. and Keller, H. (2007). Vertical distribution of lichen growth forms in tree canopies of Great Smoky Mountains National Park. *Special Issue*, 1: 83-88.
- Gregorio-Cipriano, M. R., Gómez-Peralta, M. y Álvarez, I. (2016). Líquenes cortícolas de las áreas urbanas y suburbanas de Morelia, Michoacán, México. *Bot. complut.*, 40: 9-21. <http://dx.doi.org/10.5209/BCOM.53195>.
- Gil-Novoa, J. E. y Morales-Puentes, M. E. (2013). Estratificación vertical de briófitos epífitos encontrados en *Quercus humboldtii* (Fagaceae) de Boyacá, Colombia. *Rev. Biol. Trop.*, 62 (2): 719-727.
- Giordani, P. (2019). Lichen Diversity and Biomonitoring: A Special Issue. *Diversity*, 11, 171. DOI: 10.3390/d11090171.
- Hawksworth, D. L. and Hill, D. J. (1984). The lichen-forming fungi. Chapman & Hall, New York.

- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T. y Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista iberoamericana de Micología*, 22: 71-82.
- Henssen, A., Büdel, B. and Wessels, D.C.J. (1985). New or interesting members of the Lichinaceae from southern Africa. I. Species from northern and eastern *Transvaal*. *Mycotaxon*, 22: 169-195.
- Herrera-Campos, M. A. and Lücking, R. (2002). The foliicolous lichen flora of Mexico. I. New species from Los Tuxtlas Tropical Biology Station, Veracruz. *The Lichenologist*, 34(3): 211-222.
- Herrera-Campos, M. A. and Lücking, R. (2003). The foliicolous lichen flora of Mexico II. New species from the montane forest in Oaxaca and Puebla. *A Journal of Bryology and Lichenology*, 106(1): 2-8.
- Herrera-Campos, M. A., Lücking, R., Pérez-Pérez, R. E., Campos, A., Martínez, P. and Bárcenas, A. (2004). The foliicolous lichen flora of Mexico. V. Biogeographical affinities, altitudinal preferences, and an updated checklist of 293 species. *The Lichenologist*, 36(5): 309-327.
- Herrera-Campos, M. A., Lücking R., Pérez-Pérez, R. E., Miranda-González, R., Sánchez, N., Barcenás-Peña, A., Carriozos, A., Zambrano, A., Ryan, D. y Nash III, T. H. (2014). Biodiversidad de líquenes en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad Suplemento*, 85: 82-99.
- Herrera-Campos, M. A., Pérez-Pérez, R. E. and Nash III, T. H. (2016). Lichens of Mexico. The Parmeliaceae - Keys, distribution and specimen descriptions. *Bibliotheca Lichenologia* 110. J. Cramer in Borntraeger Science Publishers. Stuttgart, 2016. 723 pp.
- Imshaug, H. (1956). Catalogue of Mexican lichens. *Revue Bryologique et Lichénologique*, 25: 321-385.

- Jeran, Z., Jacimovic, R. and Mikuz, P. P. (2003). Lichens and mosses as biomonitors. *J. Phys. IV France*, 107 (2003). DOI: 10.105 I/jp4:2003039.
- Jiménez-Aguilar, A. (2005). Caracterización funcional de costras biológicas del suelo en un pastizal semiárido de San Luis Potosí. Tesis de Maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. Posgrado En Ciencias Ambientales. 47 pp.
- Kroukamp, E. M., Godeto, T. W. and Forbes, P. B. (2019). Optimized extraction of inorganic arsenic species from a foliose lichen biomonitor. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 29896-29907.
- Kuusinen, M. (1994). Epiphytic lichen diversity on *Salix caprea* in old-growth southern and middle boreal forests of Finland. *Annales Botanici Fennici*, 31: 77-92.
- León-González, D. y Pérez-Pérez, R.E. (2020). Líquenes epífitos en *Juniperus Flaccida* Schltdl. (Cupressaceae) - componente importante de los bosques templados de Oaxaca, México. *Acta biol. Colomb.*, 25(2):235-245.
- Li, S. Wen-Yao L., Da-Wen L., Liang S., Xian-Meng S. and Hua-Zheng, L. (2015). Species richness and vertical stratification of epiphytic lichens in subtropical primary and secondary forests in southwest China. *Fungal Ecology*, 17: 30-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funeco.2015.02.005>.
- Li, S., Shuai, L., Xian-Meng, S., Wen-Yao, L., Liang, S., Hua-Zheng, L., Chen, X. and Chuan-Sheng, W. (2017). Forest type and tree characteristics determine the vertical distribution of epiphytic lichen biomass in subtropical forests. *Forests*, 8,436. DOI: 10.3390/F8110436.
- Lücking, R., Rivas-Plata, E., Chaves, J., Umaña, L. and Sipman, H. J. M. (2009). How many tropical lichens are there... really?. *Bibliotheca Lichenologica*, 100: 399-418.

- Marmor, L., Tõrra, T., Saag, L. and Randlane, T. (2012). Species richness of epiphytic lichens in coniferous forests: the effect of canopy openness. *Ann. Bot. Fennici*, 49: 352-358.
- Martínez, I., Belinchón, R., Otárola, M. G., Aragón, G., Prieto y Escudero, A. (2011). Efectos de la fragmentación de los bosques sobre los líquenes epífitos en la Región Mediterránea. *Ecosistemas*, 20(2): 54-67.
- McCune, B., Rosentreter, R. and Ponzetti, J. (2000). Epiphyte habitats in an old conifer forest in western Washington, U.S.A. *The Bryologist*, 103: 417-427.
- Mishra, G. K., Nayaka, S. and Upreti, D. K. (2020). Distribution, biomonitoring and conservation studies of pyrenocarpous lichens in India. *G- J. Environ. Sci. Technol.*, 7(5): 54-59.
- Moberg, R. and Nah III, T. (1999). The genus *Heterodermia* in The Sonora Desert area. *Journal of bryologist and lichenology*, 1(102): 2-13.
- Molina-Guerra, V., Pando, M., Marmolejo, J. y Alanís, E. (2013). Diversidad de costras biológicas del suelo en pastizales halófilos del norte de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*.
- Moncada, B., Pérez-Pérez, R. E. and Lücking, R. (2019). The lichenized genus *Cora* (Basidiomycota: Hygrophoraceae) in Mexico: high species richness, multiple colonization events, and high endemism. *Plant and Fungal Systematics*, 64(2): 393-411. DOI: 10.2478/pfs-2019-0026.
- Morales-Sánchez, D. (2013). Estudio de la Costra Biológica de Suelo y su contribución al carbono orgánico del suelo en un pastizal semiárido en la Región Central, México. Tesis de Maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. Posgrado En Ciencias Ambientales. 102 pp.

- Nascimbene, J., Marini, L. and Nimis, P. L. (2010). Epiphytic lichen diversity in old-growth and managed *Picea abies* stands in alpine spruce forests. *Forest Ecol. Manag.*, 260(5): 603-609.
- Nash III T. H. (1996). Lichen Biology. Cambridge University Press, Cambridge. 303 p.
- Nash III, T. H., Ryan, B. D., Gries, C. and Bungartz F. (Eds) (2002a). Lichen flora of The Greater Sonora Desert Region. Vol. 1. Arizona State University. Tempe, Arizona. 532 p.
- Nash III, T. H., Ryan, B.D., Diederich, P., Gries, C. and Bungartz F. (2004b) Lichen flora of The Greater Sonora Desert Region. Vol. 2. Arizona State University. Tempe, Arizona. 745 p.
- Nash III, T. H., Gries, C. and Bungartz F. (Eds) (2007c) Lichen flora of The Greater Sonora Desert Region. Vol. 3. Arizona State University. Tempe, Arizona. 567 p.
- Pérez-Pérez, R. E. y Herrera-Campos, M. A. (2004). Macrolíquenes de los bosques de la Sierra de Juárez, Oaxaca. En: García-Mendoza, A.J., Ordoñez, M.J. y Briones-Salas, M. (Eds). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM- Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza- *World Wildlife Fund, México*. pp. 327-332.
- Pérez-Pérez, R.E., Miramontes, N., Aguilar, J. y Quiroz, H. (2008). Macrolíquenes cortícolas es dos especies de coníferas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala. *Acta Universitaria*, 18(2): 33-39.
- Pérez-Pérez, R. E., Quiroz-Castelán, H., Herrera-Campos, M.A. and García-Barrios, R. (2011). Scale-dependent effects of management on the richness and composition of corticolous macrolichens in pine-oak forests of Sierra de Juárez, Mexico. *Bibliotheca Lichenologica*, 106: 243-258.

- Pérez-Pérez, R.E., Castillo-Campos G. and Cáceres-D. Silva, M. E. (2015). Diversity of corticolous lichens in cloud forest remnants in La Cortadura, Coatepec, Veracruz, México in relation to phorophytes and habitat fragmentation. *Cryptogamie, Mycologie*, 36(1): 79-92.
- Purvis, W. (2000). Lichens. Smithsonian Institution Press; Washington, D.C. pp 4-56.
- Ray, D. G., Barton, J. W. and Lendemer, J. C. (2015). Lichen community response to prescribed burning and thinning in southern pine forests of the mid-atlantic coastal plain, USA. *Fire Ecology*, 11, 3. DOI: 10.4996/fireecology.1103014.
- Rodríguez, J. M., Estrabou, C., Fenoglio, R., Robbiati, F., Salas, M. C. y Quiroga, G. (2009). Recuperación post-fuego de la comunidad de líquenes epífitos en la provincia de Cordoba, Argentina. *Acta Botanica Brasílica*, 23(3): 854-859.
- Rosabal, D., Burgaz, A. R. and Reyes, O. J. (2013). Substrate preferences and phorophyte specificity of corticolous lichens on five tree species of the montane rainforest of Gran Piedra, Santiago de Cuba. *The Bryologist*, 116(2): 113-121. DOI: 10.1639/0007-2745-116.2.113.
- Rosabal, D., Burgaz, A. R. y Reyes, O. J. (2016). Analizando la diversidad beta en ensambles de líquenes en un gradiente vertical sobre cinco especies de forofitos en la pluvisila montana de la Gran Piedra, Cuba. *Bot. complut.*, 40, 23-33.
- Ryan, B. D., Nash III, T. H. and Herrera-Campo, M. A. (1996). Catalog of the Lichens of Mexico. <http://mgd.nacse.org/Arizona/sonoran.desert/chekmex.html>.
- Ryan, B. D., Nash III, T. H., Herrera-Campos, M. A., Hafellner, J., Lumbsch, H. T., Moberg, R., Tibell, L., Ahti, T., Sipman, H. J. M. and Breuss, O. (2000). New records of lichens from Mexico. *Nova Hedwigia*, 70: 79-106.

- Simijaca, D., Moncada, B. y Lücking, R. (2018). Bosque de roble o plantación de coníferas, ¿qué prefieren los líquenes epífitos? *Colombia Forestal*, 21(2), 123-141.
- Sipman, H. and Wolf, J. (1998). Provisional checklist for the lichens of Chiapas. *Acta Botánica Mexicana*, 45: 1-29.
- Soto-Medina, E., Lücking, R. y Bolaños-Rojas, A. (2012). Especificidad de forofito y preferencias micro ambientales de los líquenes cortícolas en cinco forofitos del bosque premontano de finca Zíngara, Cali, Colombia. *Rev. Biol. Trop.*, 60 (2): 843-856.
- Umaña, L. y Sipman, H. (2002). Líquenes de Costa Rica. Lichens. INBio. p.156.
- Vitt, D. H., Finnegan, L. and House, M. (2019). Terrestrial bryophyte and lichen responses to canopy opening in pine-moss-lichen forests. *Forests*, 10,233.
- West, N. E. (1990). Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions. *Adv. Ecol. Res.*, 20: 179-223.

CAPÍTULO 3. PRIMER ARTÍCULO

3.1 DIVERSIDAD LIQUÉNICA SOBRE EL GRADIENTE VERTICAL DE *Pinus cembroides* Zucc. subsp. *cembroides* EN EL ALTIPLANO POTOSINO

Lichen diversity on the vertical gradient of *Pinus cembroides* Zucc.
subsp. *cembroides* in the potosino plateau

Revista Mexicana de Ciencias Forestales

Julio Armando Ramírez-Juárez¹

Rosa Emilia Pérez-Pérez²

Diódoro Granados-Sánchez^{1*}

Antonio Villanueva-Morales¹

¹División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México - Texcoco Km. 38.5. C.P. 56230. Texcoco de Mora, Estado de México, México.

²Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio 12-A, Ciudad Universitaria, C.P. 72570. Puebla de Zaragoza, México.

*Autor de correspondencia: didorog@hotmail.com

3.1.1. Resumen

El presente estudio documenta la diversidad de líquenes cortícolas a lo largo del gradiente vertical de *Pinus cembroides* subsp. *cembroides* (piñón). Se establecieron siete localidades de muestreo de acuerdo a la distribución de *P. cembroides* subsp. *cembroides* en los municipios de Catorce, Charcas, Villa de Reyes, Villa de Zaragoza y Mexquitic de Carmona pertenecientes a la región Altiplano del estado de San Luis Potosí. Adaptando la zonificación de Johansson (1974) se establecieron tres zonas de muestreo (Zonas I, II y III)

sobre el gradiente vertical de los 40 forofitos seleccionados. Se registran un total de 50 especies de líquenes asociadas al bosque de pino piñonero, 32 de ellas sobre el gradiente vertical de los forofitos y 18 durante la recolecta general. Las familias Parmeliaceae, Physciaceae y Teloschistaceae fueron las más significativas al denotar la mayor riqueza y cobertura de especies. Las localidades de La Salitrera y Guadalupe Victoria registraron la mayor diversidad de líquenes. Se observó una clara estratificación vertical de los líquenes sobre *P. cembroides* subsp. *cembroides* observándose un decremento en la diversidad de la zona baja (I) hacia la zona alta (III). La afinidad de las comunidades liquénicas por establecerse hacia la orientación NE sobre los forofitos fue muy evidente. Las especies *Haematomma fenizianum* A. Massal., *Hypotrachyna rockii* (Zahlbr.) Hale, *Pseudevernia consocians* (Vain.) Hale & Culb. y *Punctelia rudecta* (Ach.) Krog se registran por primera vez para el estado de San Luis Potosí.

Palabras clave: Gradiente vertical, Flora liquénica, Forofito, Piñonero, Riqueza de especies, Vegetación xerófita

3.1.2. Abstract

The present study documents the diversity of corticolous lichens along the vertical gradient of *Pinus cembroides* subsp. *cembroids* (pinyon pine). Seven sampling locations were established according to the distribution of *P. cembroides* subsp. *cembroides* in the municipalities of Catorce, Charcas, Villa de Reyes, Villa de Zaragoza and Mexquitic de Carmona belonging to the Altiplano region in San Luis Potosí. Adapting the zoning of Johansson (1974), three sampling zones (Zones I, II and III) were established on the vertical gradient of the 40 selected phorophytes. A total of 50 species of lichens associated with the pinyon pine forest were recorded, 32 of them on the vertical gradient and 18 during the general collection. The families Parmeliaceae, Physciaceae and Teloschistaceae were the most significant as they denoted the greatest richness and coverage of species. The localities of La Salitrera and Guadalupe Victoria registered the highest diversity of lichens. A clear

vertical stratification of lichens was observed on *P. cembroides* subsp. *cembroides*, with a decrease in diversity from zone I to zone III. The affinity of the lichen communities to establish towards the NE orientation on the phorophytes was very clear. The species *Haematomma fenzlianum* A. Massal., *Hypotrachyna rockii* (Zahlbr.) Hale, *Pseudevernia consocians* (Vain.) Hale & Culb. and *Punctelia rudecta* (Ach.) Krog are registered for the first time in San Luis Potosí.

Key words: Vertical gradient, Lichen flora, Tree host, Pinyon pine, Species richness, Xerophytic vegetation

3.1.3. Introducción

La convergencia de las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical en el territorio mexicano han logrado producir un complejo mosaico biótico conjugando una riqueza biológica propia de zonas áridas y aquellas de tipo cálido - húmedas (Morrone, 2005). El denominado altiplano potosino suele ser una zona donde prevalecen los climas semiáridos, siendo los matorrales xerófilos (57%) y pastizales (23%) los tipos de vegetación dominantes (Espinosa y Ocegueda, 2008). No obstante, en distintas serranías y montañas aisladas que lo rodean existe la presencia de manera aislada del bosque de coníferas (Challenger y Soberón, 2008), dominado por las especies *Pinus johannis* Rob.-Pass. y *P. cembroides* Zucc. subsp. *cembroides* que tienden a formar un ecotono con la vegetación xerófita (Rzedowski, 1978). Cabe resaltar que *P. cembroides* subsp. *cembroides* tiende a ser más tolerante a la sequía, por ende, suele estar mejor adaptado a sitios carentes de nutrientes debido a su asociación simbiótica con ectomicorrizas (López-Pérez y Plascencia-González, 1998). Se distribuye de forma restringida desde Arizona, suroeste de Nuevo Mexico, Texas, norte y centro de México hasta Puebla (Romero-Manzanares *et al.*, 1996).

Los líquenes u hongos liquenizados suelen ser un componente imprescindible en los sistemas forestales al intervenir en procesos ecosistémicos de gran importancia como el ciclo del agua y del nitrógeno (Barreno y Pérez-Ortega, 2003). Diversos estudios han documentado que los macrolíquenes cortícolas responden a una clara estratificación vertical y no a una distribución aleatoria sobre el forofito, la cual tiende a estar influenciada por las características dasométricas (DAP, altura y cobertura), propiedades del sustrato (rugosidad, pH, metabolitos, etc.) y factores ambientales (humedad, tiempo de exposición solar y temperatura) (Pérez-Pérez *et al.*, 2011; Rosabal *et al.*, 2012, 2016; Simijaca *et al.*, 2018). En México su estudio se ha centrado en los bosques templados de coníferas y de encinos principalmente, donde se han registrado 947 especies de líquenes en comparación con las zonas semiáridas como el matorral xerófilo donde existen 544 especies reportadas (Herrera-Campos *et al.*, 2014). No obstante, se considera que su conocimiento es aun escaso si se toma en cuenta la variedad de ecosistemas, climas y relieves que existen en el país. Para la región del altiplano mexicano que conforman los estados del noreste y centro-norte del país se tienen registradas 511 especies de las cuales 94 han sido reportadas para el estado de San Luis Potosí. Cabe señalar que no existe información o antecedente alguno de estudios realizados que documenten aquellas especies de líquenes cortícolas asociadas a los pinos piñonero, especies de coníferas características de ambientes xéricos y con una distribución restringida. Por lo cual, el presente estudio está centrado en documentar la riqueza de la flora liquénica del bosque de *P. cembroides* subsp. *cembroides* y analizar si existen diferencias en la diversidad de especies a lo largo del gradiente vertical de los forofitos seleccionados.

3.1.4. Materiales y Métodos

- Área de estudio

La región Altiplano del estado de San Luis Potosí es una de las cuatro regiones que conforman la entidad. Presenta altitudes que varían entre los 1 640 y 2 160 msnm y posee una extensión territorial de 8 999.36 km² que equivalen al 14.44% de la superficie del estado (CONABIO, 2019). Dicha zona se ubica en la región fisiográfica Planicie Central del Altiplano Mexicano (Ferrusquía-Villafranca, 1993) en el extremo meridional del Desierto de Chihuahuense dentro de las altiplanicies del centro y sur de SLP y sureste de Zacatecas (Luna-Cavazos *et al.*, 2007). Son característicos los climas secos BSo con una temperatura media anual de 16 a 18 °C y una precipitación total anual de 300 a 400 mm (CONABIO, 2019).

- Método de Muestreo

Se delimitaron siete localidades de muestreo en áreas boscosas de *P. cembroides* subsp. *cembroides* (piñonero) en los municipios de Catorce (San José de Coronados¹ y Sierra de Catorce²), Charcas (Sierra de Lajas³), Villa de Reyes⁴, Villa de Zaragoza (La Salitrera⁵ y El Ranchito⁶) y Mexquitic de Carmona (Gpe. Victoria⁷) sobre su distribución potencial en la región (Figura 6).

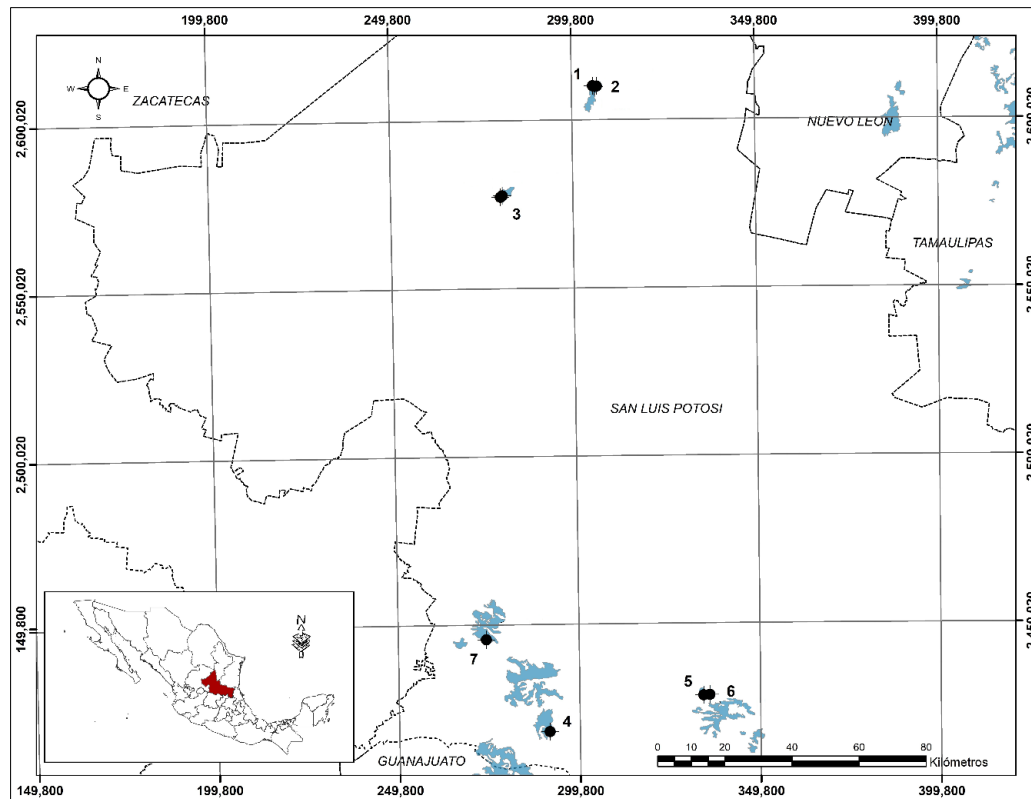


Figura 6. Área de estudio.

Localidades de muestreo de acuerdo a la distribución potencial de *Pinus cembroides* subsp. *cembroides* en los municipios de Catorce^{1,2}, Charcas³, Villa de Reyes⁴, Villa de Zaragoza^{5,6} y Mexquitic de Carmona⁷ en la región Altiplano del estado de San Luis Potosí (CONABIO, 2019).

En cada localidad se eligió un punto al azar donde fue seleccionado el árbol central más cercano como referencia, a partir de este árbol se trazaron dos líneas perpendiculares entre si formando cuatro cuadrantes (modificado de Cottam y Curtis, 1956). En cada cuadrante se registró el árbol más cercano. Se consideraron solo aquellos individuos arbóreos de la especie *P. cembroides* subsp. *cembroides* con diámetro mayor a 10 cm. Se tomaron datos de DAP, altura, distancia al árbol central y exposición.

- Muestreo de la flora líquénica e identificación taxonómica

El muestreo se llevó a cabo a lo largo del gradiente vertical de cada forofito seleccionado adaptando la zonificación de Johansson (1974), donde se establecieron tres zonas de muestreo (bajo, medio y alto). Las medidas de la

cobertura líquénica se realizaron en cada una de las zonas empleando un microcuadrante de plástico transparente de 20 x 50 cm subdividido en cuadros de 2 x 2 cm (1 000 cm²) hacia la orientación donde se observó la menor y mayor cobertura sobre el tronco (Kuusinen, 1994, Cáceres *et al.*, 2008; Pérez-Pérez *et al.*, 2011, 2015; Córdova-Chávez *et al.*, 2016). De manera complementaria se realizó un muestreo oportunista con el fin de conocer y reportar aquellas especies de líquenes asociadas al bosque de pino piñonero que no fueron registradas en los microcuadrantes (Cáceres *et al.*, 2008; Pérez-Pérez *et al.*, 2015; León-González y Pérez-Pérez, 2020). Los especímenes colectados fueron procesados e identificados mediante claves especializadas (Sipman, 2005; Brodo, 2016; Herrera-Campos *et al.*, 2016), pruebas de tinción con hidróxido de potasio al 10% (KOH), hipoclorito de sodio (NaOCl) y p-felilendiamina (P), así como el uso de luz ultravioleta de onda larga (UV 365 nm) (León-González y Pérez-Pérez, 2020). Cabe señalar que aquellos talos pequeños o ausentes de estructuras se identificaron a nivel de género. Todo el material biológico está depositado en el Herbario de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

- Análisis de datos

Los datos dasométricos de cada forofito seleccionado fueron analizados al comparar las distribuciones del DAP, altura y distancia al árbol central mediante el análisis no paramétrico de Kruskal - Wallis (Pérez-Pérez *et al.*, 2008). Es importante mencionar que para el análisis de la comunidad líquénica se unificaron los datos sin importar el número de localidades muestreadas, de ahí que se presenten como Zona I, Zona II y Zona III. El porcentaje de completitud del inventario se estimó con la prueba de Jackknife de primer orden (Córdova-Chávez *et al.*, 2016). El índice de diversidad de Shannon fue empleado tomando en cuenta la cobertura líquénica en cada localidad de muestreo así como sobre el gradiente vertical arbóreo. Por otro lado el índice de diversidad beta de Whitaker (B_w) se usó para conocer el recambio de especies entre las localidades y sobre el gradiente vertical de igual forma;

donde $B_w < 1$ (diversidad baja), $B_w < 5$ (diversidad media) y $B_w > 5$ (diversidad alta) (McCune y Grace, 2002; León-González y Pérez-Pérez, 2020). Para determinar la similitud en cuanto a composición de líquenes entre las localidades, así como entre los gradientes analizados, se realizó un análisis de conglomerados tomando en cuenta datos cuantitativos utilizando como medida de distancia a Sørensen (McCune y Grace, 2002).

El análisis indicador de especies (ISA) se llevó a cabo para conocer las posibles preferencias de aquellas especies de líquenes cortícolas por alguna zona a lo largo del gradiente vertical (McCune y Grace, 2002; Córdova-Chávez *et al.*, 2016). Para conocer cómo influyen las variables dasométricas (DAP y altura) y ambientales (altitud y exposición) en la distribución de las comunidades liquénicas se empleó el análisis de correspondencia canónica (ACC). Por último, el análisis de distribución circular se utilizó para conocer si las comunidades liquénicas se distribuyen de manera al azar o siguen un patrón de distribución sobre los forofitos (Pérez-Pérez *et al.*, 2015) aplicando las pruebas de Rayleigh y valor crítico (V) para su corroboración (Zar, 2010). Los análisis de datos se llevaron a cabo con los programas estadísticos Statistica 10® (SatSoft, 2011), EstimateS 9.1.0 (2019), PCOrd 7® (McCune y Mefford, 2018) y Past 4 Ver. 2.17c (Hammer *et al.*, 2001).

3.1.5. Resultados

En las siete localidades se muestrearon un total de 57 forofitos, presentando estas diferencias estadísticamente significativas en cuanto a DAP y altura ($p < 0.05$) entre localidades de acuerdo al análisis de Kruskal - Wallis (Figura 7).

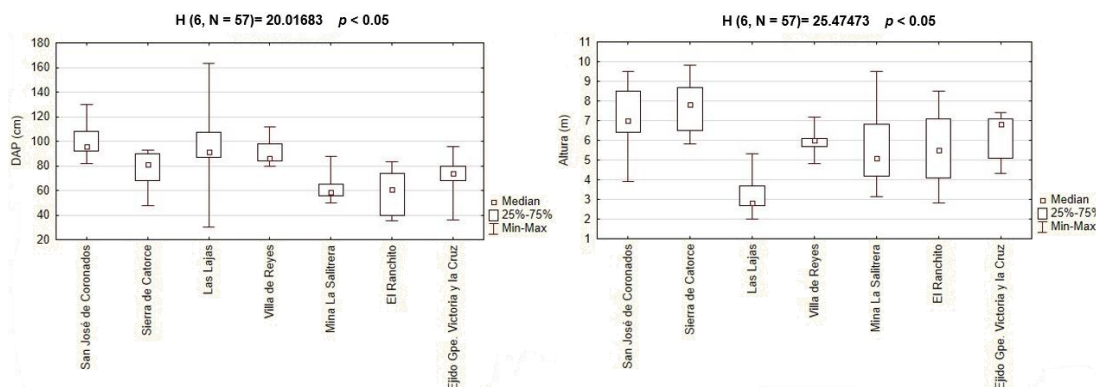


Figura 7. Comparación del DAP y altura de los forofitos entre las localidades de muestreo.

De los forofitos muestreados 17 fueron excluidos al no mostrar presencia alguna de líquenes. Cabe mencionar que los 40 forofitos restantes presentaron un DAP promedio de 75.83 cm y una altura promedio de 5.67 m. Se obtuvo un registro de 32 especies de líquenes cortícolas sobre *P. cembroides* subsp. *cembroides*. Tomando en cuenta que el estimador Jackknife I arrojó un total de 40 especies esperadas, se determina que el esfuerzo de muestreo fue significativo correspondiendo a un 80% de completitud del inventario obtenido. Del muestreo oportunista se obtuvo un registro de 18 especies liquénicas presentes sobre roca y suelo principalmente, o sobre otras especies de árboles como *Pinus discolor* D.K. Bailey & Hawksw. Así bien, se presenta un listado total de 50 especies de líquenes asociadas a los bosques de pino piñonero de la región Altiplano, SLP (Cuadro 1). Las familias con mayor riqueza de especies fueron Parmeliaceae (16 spp.), Physciaceae (10 spp.) y Teloschistaceae (5 spp.). Se reportan cuatro nuevos registros para la entidad (*Haematomma fenizianum* A. Massal., *Hypotrachyna rockii* (Zahlbr.) Hale, *Pseudevernia consocians* (Vain.) Hale & Culb. y *Punctelia rudecta* (Ach.) Krog).

Cuadro 1. Listado de especies de líquenes cortícolas sobre forofitos de *Pinus cembroides* subsp. *cembroides*.

Familia	Especie	Localidad	(Gradiente vertical)	Colecta oportunista
Acarasporaceae	<i>Acarospora socialis</i> H. Magn.	SL, VR		R
	<i>Pleopsidium</i> cf. <i>chlorophanum</i> (Wahlenb.) Zopf	SL		R
Caliciaceae	<i>Buellia</i> sp.	SL, VR		S
	<i>Dirinaria confluens</i> (Fr.) D. D. Awasthi	SJ	I, II, III	
Cladoniaceae	<i>Cladonia</i> cf. <i>furcata</i> (Hudson) Schrader	LS		S
	<i>Cladonia chlorophaea</i> (Flörke ex Sommerf.) Sprengel	LS		S
Collemataceae	<i>Leptogium</i> sp.	SL	I	
Graphidaceae	<i>Diploschistes</i> sp.	SL		S
Haematommataceae	<i>Haematomma fenizianum</i> A. Massal. ++	SC		R
Lecideaceae	<i>Lecidea</i> sp.	SC, SL		R
Parmeliaceae	<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale	LS, ER, GV, VR	I, II, III	
	<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirton) Hale	SC, LS, ER, GV	I, II, III	<i>P. discolor</i>
	<i>Flavopunctelia praesignis</i> (Nyl.) Hale	SC, SL, LS, ER, GV	I, II, III	<i>P. discolor</i>
	<i>Flavopunctelia soledica</i> (Nyl.) Hale	SC, SL, LS, ER, GV, VR	I, II, III	<i>P. discolor</i>
	<i>Hypotrachyna rockii</i> (Zahlbr.) Hale ++	LS, ER, GV	I, II, III	
	<i>Parmotrema austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale	SL, LS, ER, GV	I, II, III	<i>P. discolor</i>
	<i>Parmotrema</i> sp.	SL, GV, VR	I	OA
	<i>Pseudevernia consocians</i> (Vain.) Hale & Culb. ++	GV	I, II, III	
	<i>Pseudevernia intensa</i> (Nyl.) Hale & Culb.	GV	I, II, III	<i>P. discolor</i>
	<i>Punctelia hypoleucites</i> (Nyl.) Krog	SL, LS, ER, GV	I, II, III	<i>P. discolor</i>
	<i>Punctelia rudecta</i> (Ach.) Krog ++	VR	I, II, III	OA
	<i>Tuckermanopsis</i> sp.	SL	I	
	<i>Usnea</i> Gpo. 1 (Isidiado)	SJ, LS, ER, GV	I, II, III	OA
	<i>Usnea</i> Gpo. 2 (Apoteciado)	SL, ER, GV	I, II, III	<i>P. discolor</i>
	<i>Xanthoparmelia</i> sp.	SL, GV, VR		R
	<i>Xanthoparmelia lineola</i> (E. C. Berry) Hale	SL, GV		R
Peltigeraceae	<i>Peltigera</i> sp.	LS, ER		S
Physciaceae	<i>Heterodermia albicans</i> (Pers.) Swinscow & Krog	LS	I, II, III	OA
	<i>Heterodermia</i> cf. <i>japonica</i> (M. Satô) Swinscow & Krog	LS, ER, GV	I, II, III	
	<i>Heterodermia</i> sp.	LS, ER, GV	I, II, III	<i>P. discolor</i>
	<i>Hyperphyscia</i> sp.	LS, VR	I, II	
	<i>Leucodermia leucomelos</i> (L.) Kalb	LS		OA
	<i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Furnr.	SJ, SC, SL	I, II, III	<i>P. discolor</i>
	<i>Physcia</i> sp. 1	SL	I, II	

	<i>Physcia</i> sp. 2	SJ	I, II	OA
	<i>Physcia</i> sp. 3	SJ	I	OA
	<i>Physcia</i> sp. 4	SJ	I	
Psoraceae	<i>Psora cerebriformis</i> W.A. Weber	SL		S
	<i>Psora crenata</i> (Taylor) Reinke	SL		S
	<i>Psora icterica</i> (Mont.) Müll. Arg.	SL, VR		S
Ramalinaceae	<i>Ramalina</i> cf. <i>asahinae</i> W.L. Culb & C.F. Culb.	SJ, SL, LS, ER, GV, VR	I, II, III	<i>P. discolor</i>
	<i>Ramalina celastri</i> (Sprengel) Krog & Swinscow	SJ, SL, LS	I, II	OA
	<i>Ramalina</i> sp.	SL, LS, ER, VR	I, II, III	<i>P. discolor</i>
Rhizocarpaceae	<i>Rhizocarpon</i> sp.	LS, VR		R
Teloschistaceae	<i>Teloschistes chrysophthalmus</i> (L.) Th. Fr.	SJ, SL, LS	I, II, III	<i>P. discolor</i>
	<i>Teloschistes exilis</i> (Michaux) Vain.	SL, LS, ER, GV	I, II, III	OA
	<i>Teloschistes flavicans</i> (Sw.) Norman	LS, GV	I, III	
	<i>Teloschistes</i> sp.	SJ	II, III	
	<i>Variospora aurantia</i> (Pers.) Arup, Søchting & Frödén	SJ, SC		R
Verrucariaceae	<i>Dermatocarpon</i> sp.	SJ		R

SJ = San José de Coronados, SC = Sierra de Catorce, SL = Sierra de Lajas, LS = La Salitrera, ER = El Ranchito,

GV = Guadalupe Victoria, VR = Villa de Reyes

R = Roca, S = Suelo, OA = Otro árbol de *P. cembroides* subsp. *cembroides* no muestreado, *P. discolor* = *Pinus discolor* DkBailey

** Nuevo registro para San Luis Potosí

Las localidades con mayor diversidad de especies fueron La Salitrera y Gpe. Victoria de acuerdo al índice de Shannon. Subsecuentemente El Ranchito y Sierra de Lajas presentaron una riqueza similar, señalando que esta última registro una mayor cobertura liquénica. La localidad de San José de Coronados registró una diversidad proporcional, mientras que Villa de Reyes y Sierra de Catorce fueron las localidades con menor riqueza y cobertura, esta última con solo cuatro especies. De acuerdo al índice de diversidad B_w , el recambio de especies entre localidades se considera media (< 5) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Diversidad de macrolíquenes cortícolas en las localidades de muestreo.

Municipio	Localidad	Cobertura (cm ²)	Media ($\pm$ E.E.)	α	H'	E	β_w
Catorce	San José de Coronados	423	0.3125 ($\pm$ 0.0832)	10	2.303	1.00	
	Sierra de Catorce	273	0.125 ($\pm$ 0.0593)	4	1.386	0.99	
Charcas	Sierra de Lajas	901	0.4687 ($\pm$ 0.0896)	15	2.708	1.00	
Villa de Reyes	Villa de Reyes	218	0.2187 ($\pm$ 0.0742)	7	1.946	1.00	1.63
Villa de Zaragoza	La Salitrera	2 096	0.5625 ($\pm$ 0.0890)	18	2.89	0.99	
	El Ranchito	329	0.4375 ($\pm$ 0.0890)	14	2.639	0.99	
Mexquitic de Carmona	Gpe. Victoria	1 907	0.5312 ($\pm$ 0.0896)	17	2.833	0.99	

α = Riqueza de especies, H' = Índice de diversidad de Shannon-Wiener,

E = Equitatividad, β_w = Índice de diversidad beta de Whitaker

Mpio. Catorce.- el bosque de pino piñonero de la localidad de San José de Coronados, se encuentra en la Sierra de Catorce a una altitud que va de 2 260 a 2 700 msnm, con una pendiente promedio del 30% y una exposición predominante NE 45°. La vegetación es dominada en el dosel arbóreo por *P. cembroides* subsp. *cembroides*, representados por arboles bajos de hasta 6 metros de altura, con una densidad de 300 individuos por ha. Las especies acompañantes son *Agave lechuguilla* Torr., *Dasyllirion acrotrichum* (Schiede) Zucc., *Opuntia rastrera* FacWeber y *Echinocactus platyacanthus* Link y Otto. En cuanto a la diversidad líquénica, se encontró una mayor diversidad (H'=2.30) en la localidad de San José de Coronados registrándose 10 taxones. Donde las especies *Physcia aipolia*, *Ramalina celastri*, *Physcia* sp. 2 *Physcia* sp. 3, *Physcia* sp. 4 y *Dirinaria confluens* fueron las especies más representativas por su cobertura sobre los troncos de *P. cembroides* subsp. *cembroides*, señalando que estas últimas cuatro solo se registraron en esta localidad. Respecto a la localidad de Sierra de Catorce solo se registraron cuatro especies (*Flavopunctelia flaventior*, *Flavopunctelia praesignis*, *Flavopunctelia soledica* y *Physcia aipolia*) con una diversidad baja (H'=1.38). Cabe señalar que la exposición de la ladera hacia el NO en la localidad de San José de Coronados fue más perceptible en comparación con esta última.

Mpio. de Charcas.- en la localidad de Sierra de Lajas en el municipio de Charcas se desarrolla un bosque bajo de pino - encino que no supera los 4 metros de altura con dos laderas de exposición NE y NO, esta última con árboles de mayor tamaño y una mayor densidad (600 ind/ha). La altitud de la localidad va de 2 400 a 2 550 msnm y la pendiente es de 27%. La vegetación está representada por una codominancia en el estrato arbórea entre *Pinus discolor* DkBailey & Hawksw., *Quercus depressipes* Trel. y *Quercus cordifolia* Trel. Otras especies acompañantes son *Yucca decipiens* Trel., *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., *Dasyllirion cedrosanum* Trel., *Stenocactus pentacanthus* A. Berger. y *Agave filifera* Salm-Dyck. La diversidad de líquenes registrada fue significativa con un valor de H' 2.70 y una riqueza de 15 especies.

La mayor cobertura líquénica sobre los forofitos de *P. cembroides* subsp. *cembroides* se observó hacia la orientación NO, donde *Flavopunctelia soledica*, *Flavopunctelia praesignis*, *Physcia aipolia*, *Ramalina* sp., *Ramalina* cf. *asahinae*, *Teloschistes chrysophthalmus*, *Usnea* Gpo. 2, *Physcia* sp. 1, *Tuckermanopsis* sp. y *Leptogium* sp., fueron las especies más representativas al presentar la mayor cobertura, pudiéndose observar sobre otras especies de árboles como *P. discolor*. Cabe señalar que estas últimas tres especies fueron registros únicos para esta localidad, resaltando que *Leptogium* sp., es considerada una especie *gelatinosa* ya que el fotobionte tiende a ser el organismo dominante y cuyo talo blando requiere de una mayor humedad para estar hidratado.

Mpio. Villa de Reyes.- en la localidad de Villa de Reyes, en la región sur del cerro El Potosí se desarrolla un bosque de pino piñonero dominado en el dosel por *P. cembroides* subsp. *cembroides* y *Quercus* spp., a una altitud de 2 000 a 2 500 msnm, con una exposición SE, y una pendiente del 31%. Otras especies que resaltan por su abundancia son *Dasyllirion cedrosanum* Trel., *Agave lechuguilla* Torr., *Yucca carnerosana* (Trel.) McKelvey, *Quercus depressipes* Trel., *Q. deserticola* Trel., *Q. pringlei* Seemen., *Bouteloua*

scorpioides Lag., *Acacia schaffneri* (S. Watson) FJHerm., *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. Ex Pfeiff.) y *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth. En esta localidad se registró la menor cobertura líquénica con una riqueza de siete especies (*Flavopunctelia soledica*, *Flavoparmelia caperata*, *Hyperphiscia* sp., *Parmotrema* sp., *Punctelia rudecta*, *Ramalina* sp. y *Ramalina* cf. *asahinae*). Se obtuvo un valor de diversidad bajo ($H' = 1.94$). La especie *Punctelia rudecta* solo se registró en esta localidad. La exposición SO fue notoria con una mayor radiación solar sobre la ladera durante el día. Por lo cual, fue significativo el grado de aridez que se observó en esta localidad.

Mpio. Villa de Zaragoza.- la localidad de La Salitrera presenta una exposición NO y una altitud de 1 950 a 2 250 msnm con una pendiente de 23%. Se trata de la localidad con mayor humedad, y mayor cantidad de materia orgánica sobre el suelo. Domina el bosque de *P. cembroides* subsp. *cembroides* con un dosel superior de 10 m, y una baja densidad arbórea de 400 individuos por ha con una gran cobertura de copa debido al tamaño de los individuos. Algunas especies acompañantes fueron *Juniperus flaccida* Schltdl., *Agave lechuguilla* Torr., *Ferocactus hirtix* (DC.) GELinds., así como una gran riqueza de plantas de la familia Crasulaceae.

Con base en lo anterior esta localidad registró la mayor diversidad de líquenes cortícolas sobre los forofitos de *P. cembroides* subsp. *cembroides* con una riqueza de 18 taxones y un índice de diversidad significativo ($H' = 2.89$). Se observó que las especies *Flavopunctelia soledica*, *Parmotrema austrosinense*, *Flavoparmelia caperata*, *Heterodermia* sp., *Heterodermia* cf. *japonica*, *Hypotrachyna rockii* y *Punctelia hypoleucites* mostraron los talos líquénicos más grandes sobre la parte basal de los forofitos hacia la orientación NO. Cabe señalar que la especie *Heterodermia albicans* solo se registró en esta localidad. Por otro lado, la localidad de El Ranchito tiende a ubicarse sobre una cañada, cuya exposición principal es SO con una pendiente del 18% y una altitud de 2 100 a 2 250 msnm.

La vegetación predominante es bosque de pino - encino, siendo *P. cembroides* subsp. *cembroides* la especie dominante por su abundancia y frecuencia. Otras especies árboles en la localidad son *Juniperus flaccida* Schltdl., *Quercus* spp., especies arbustivas como *Agave lechuguilla* Torr., y *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl. En cuanto a la diversidad liquénica se obtuvo un valor de $H' = 2.63$, registrándose 14 especies, cuya cobertura no fue tan significativa. Sobresalen las especies *Parmotrema austrosinense*, *Flavopunctelia soledica*, *Hypotrachyna rockii*, *Flavopunctelia flaventior* y *Flavoparmelia caperata*. Cabe señalar que en esta localidad la exposición SO fue notable, habiendo más horas de luz hacia esta orientación a lo largo del día.

Mpio. Mexquitic de Carmona.- en la localidad de Guadalupe Victoria perteneciente al municipio de Mexquitic de Carmona, se desarrolla un bosque codominado por *P. cembroides* subsp. *cembroides* y *P. discolor*, con una exposición NO, altitud de 2 350 a 2 500 msnm y pendiente del 21%. Las especies acompañantes del estrato arbóreo fueron *Quercus deserticola* Trel. y *Yucca filifera* Chabaud., y en el estrato arbustivo *Jatropha dioica* Sessé., *Opuntia robusta* H.L. Wendl. ex Pfeiff., *Dasyllirion acrotrichum* (Schiede) Zucc. y *Nolina cespitifera* Trel. Cabe mencionar que junto con la localidad de La Salitrera, esta localidad presento una diversidad significativa ($H' = 2.83$). Se identificaron 17 taxa con la mayor cobertura liquénica sobre los forofitos de *P. cembroides* subsp. *cembroides* hacia la orientación NO, destacando las especies *Flavopunctelia soledica*, *Flavopunctelia flaventior*, *Parmotrema austrosinense*, *Punctelia hypoleucites*, *Pseudevernia intensa* y *Pseudevernia consocians*. Estas dos últimas especies solo se registran en esta localidad (Figura 8).

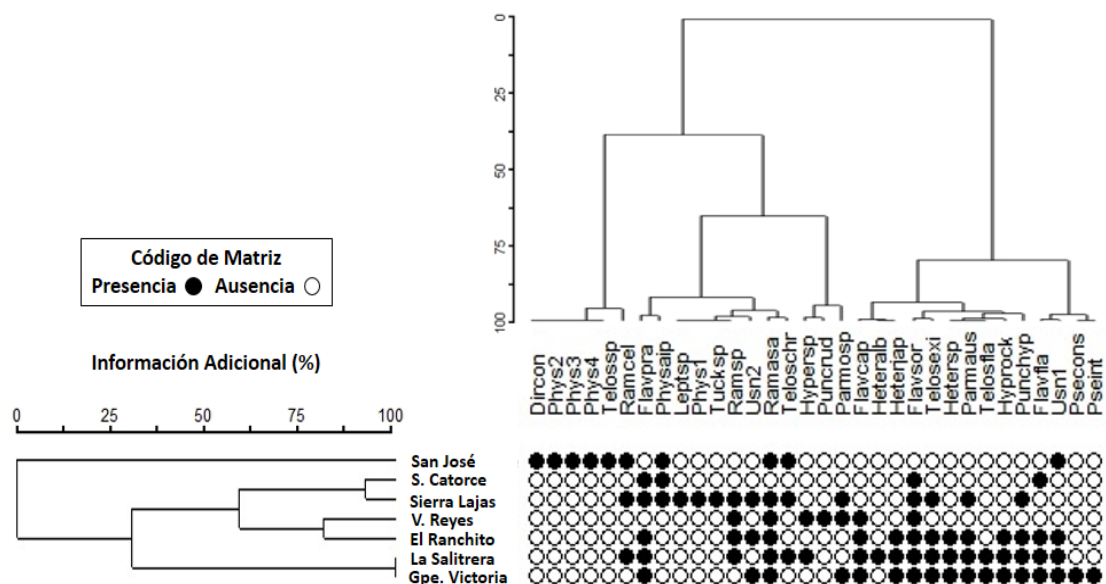


Figura 8. Distribución de las comunidades líquénicas en las localidades de muestreo.

Por otro lado, los valores obtenidos con el índice de Shannon sobre el gradiente vertical demostraron un decremento en la riqueza y abundancia de especies desde la base (zona I) hacia el dosel (zona III). Mientras que el índice de diversidad B_w arrojó un valor de 0.2 indicando que el recambio de especies a lo largo del gradiente vertical es muy bajo ($B_w < 1$), debido a la semejanza en la composición (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diversidad de macrolíquenes a lo largo del gradiente vertical de los forofitos de *Pinus cembroides* subsp. *cembroides*.

Zonas	α	Cobertura Total (cm ²)	Media ($\pm$ E.E.)	H'	E	β_w	Y
I	31	2884	90.125 ($\pm$ 25.57)	2.6	0.76		
II	26	1931	60.343 ($\pm$ 16.41)	2.5	0.77	0.2	32
III	23	1332	41.625 ($\pm$ 11.94)	2.4	0.75		

α = Riqueza de especies, H' = Índice de diversidad de Shannon-Wiener,

E = Equitatividad, B_w = Índice de diversidad beta de Whitaker,

Y = Diversidad gamma

Con base en lo anterior se determina que el 65.6% de las especies de líquenes cortícolas están presentes en las tres zonas del gradiente vertical de los forofitos, señalando que las especies *Leptogium* sp., *Parmotrema* sp., *Physcia* sp. 3, *Physcia* sp. 4 y *Tuckermanopsis* sp., son exclusivas de la Zona I (baja) (Figura 9).

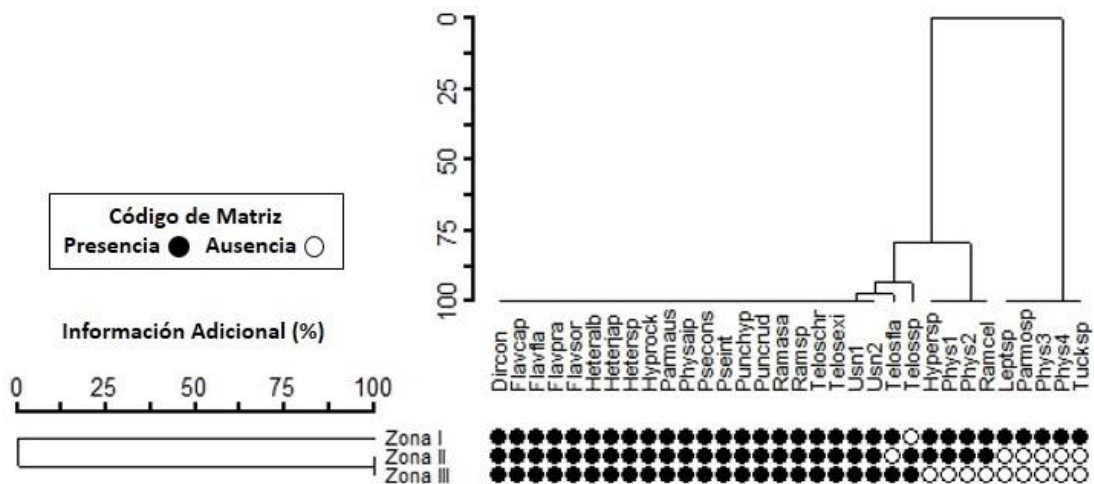


Figura 9. Distribución de las comunidades liquénicas sobre el gradiente vertical de los forofitos muestreados de *P. cembroides* subsp. *cembroides*.

Los resultados del análisis indicador de especies (ISA) mostraron que las especies *Flavopunctelia caperata* y *Ramalina* cf. *asahinae* fueron significativas para la Zona I, mientras que *Flavopunctelia praesignis* y *Ramalina* sp., lo fueron para la Zona II. No se reportó la preferencia de especie alguna hacia la Zona III. El análisis de correspondencia canónica (ACC) demostró que las variables dasométricas DAP y altura influyen de manera positiva en la distribución de las especies *Dirinaria confluens*, *Physcia* sp. 2, *Physcia* sp. 3, *Physcia* sp. 4, *Teloschistes* sp., *Punctelia rudecta* y *Ramalina celastri*. Mientras que la variable ambiental exposición determina la distribución de las especies *Physcia* sp. 1, *Ramalina* cf. *asahinae*, *Ramalina* sp., *Teloschistes chrysophthalmus*, *Tuckermanopsis* sp. y *Usnea* Gpo. 2 (Apoteciado) (Figura 10). Las raíces características de los ejes de ordenación 1 y 2 explicaron el 60% de la variación de los datos.

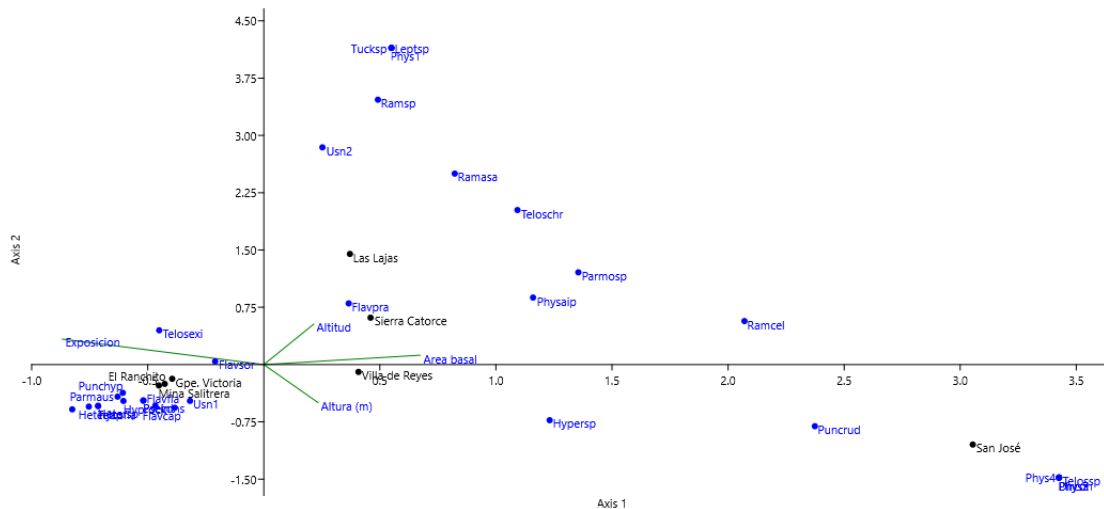


Figura 10. Correlación de las variables dasométricas y ambientales en la distribución de las comunidades líquénicas mediante el análisis de correspondencia canónica.

Tomando en cuenta las orientaciones de las coberturas menores y mayores de los líquenes cortícolas sobre el gradiente vertical, el análisis de distribución circular indicó que las mayores abundancias presentan una preferencia por establecerse hacia la orientación NE, en comparación con aquellas menores, donde la orientación SW tiende a ser predominante. Para su corroboración fueron empleadas las pruebas de Rayleigh y V (Zar, 2010), donde ambas resultaron estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La primera demostró que los líquenes no se distribuyen al azar, es decir, tienden a seguir a un patrón de distribución alrededor de los forofitos. La prueba de valor crítico (V) comprobó que los líquenes cortícolas presentan una afinidad por establecerse hacia una orientación en particular, en este caso al NE (Figura 11).

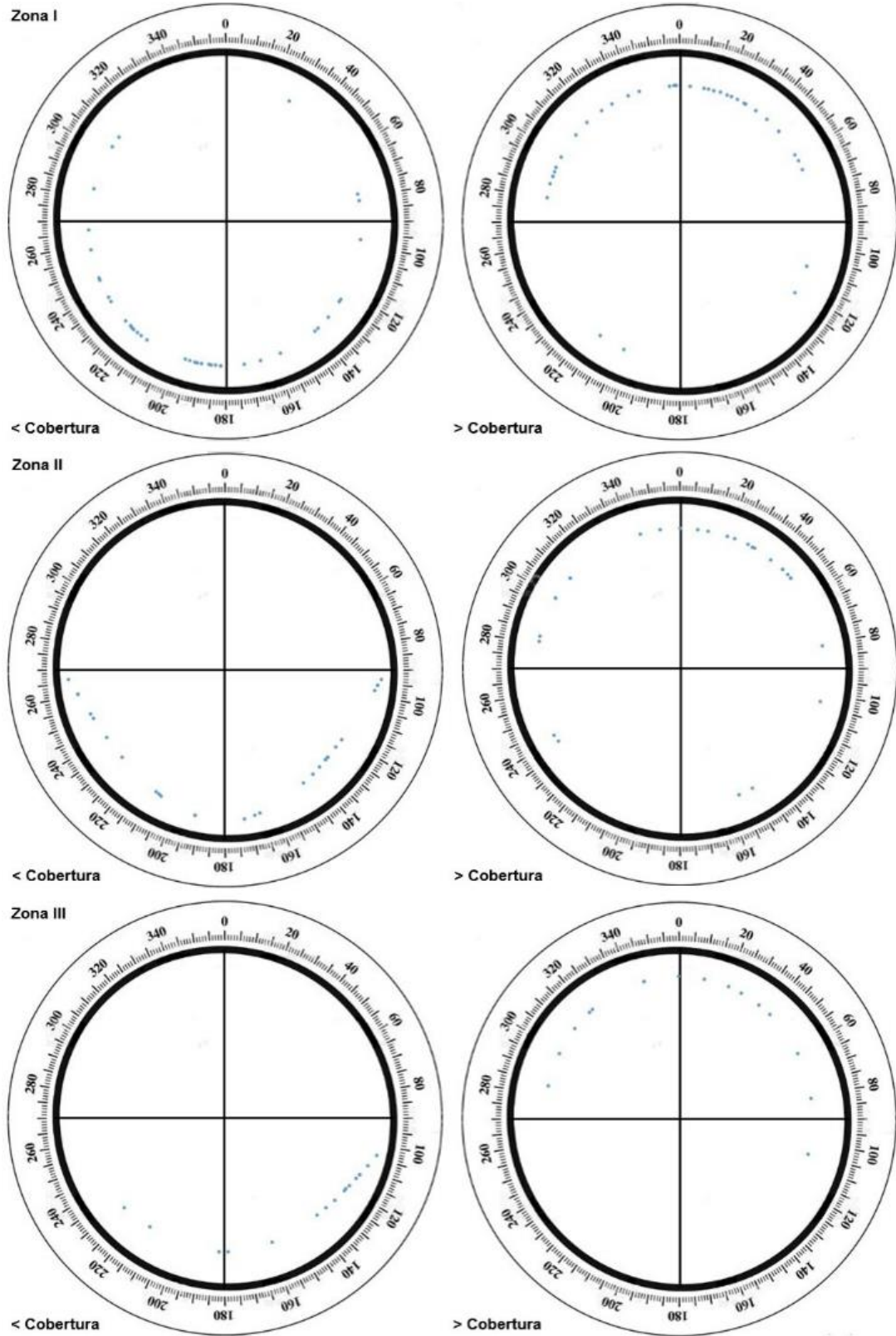


Figura 11. Distribución de las comunidades líquénicas a lo largo del gradiente vertical de *P. cembroides* subsp. *cembroides*. Los puntos refieren las orientaciones hacia donde se observaron las menores y mayores coberturas líquénicas en cada zona de muestreo (I bajo, II medio y III alto).

3.1.6. Discusión

Dentro del altiplano potosino existen ocho localidades con bosques de pino piñonero, los cuales se desarrollan en elevaciones montañosas de más de 1 800 msnm, los que les confiere una distribución a manera de islas rodeadas por vegetación xerófila, principalmente por matorrales rosetófilos de agave lechuguilla. Estas zonas cumplen un papel de refugios de las condiciones ambientales del desierto, albergando una riqueza florística y liquénica muy particular, pues al ser un ecotono, las especies aquí presentes provienen de hábitats xerófitos, templados y autóctonos. La riqueza y cobertura de especies en las localidades de Sierra de Lajas, La Salitrera y Gpe. Victoria fue mayor debido a que presentan condiciones ambientales similares, la exposición de la ladera hacia la orientación NO y NE fue característica, así como un dosel mixto de *P. cembroides* subsp. *cembroides* con *P. discolor*, *Quercus* sp. y *Juniperus flaccida*, los cuales tienden a conformar un dosel superior de 10 m, generando una cobertura de copa considerable debido a la altura de los individuos arbóreos, lo que intercepta una mayor cantidad de rayos solares y por ende una mayor humedad, favoreciendo así la colonización de numerosas especies (Wolseley y Aguirre-Hudson, 1997; Rosabal *et al.*, 2012, 2016).

Por otro lado, las localidades de San José de Coronados y El Ranchito presentaron una diversidad media, en comparación con la Sierra de Catorce y Villa de Reyes donde la exposición de la ladera (SO) y la baja densidad arbórea permiten un mayor tiempo de exposición solar creando condiciones de desecación poco favorables para el establecimiento de la flora liquénica (Kuusinen, 1994; Peterson y McCune, 2001, Pérez-Pérez *et al.*, 2008). Diversos estudios que involucran al género *Pinus* han comprobado que la diversidad liquénica tiende a estar influenciada por el DAP, altura y cobertura del árbol hospedero (Marmor *et al.*, 2013), características del sustrato como rugosidad, humedad, pH y metabolitos secundarios (Simijaca *et al.*, 2018), o más aun por factores ambientales como intensidad de luz, tiempo de sombreado (Lücking, 1999; Mossmann *et al.*, 2012) y en algunos casos por el

manejo del bosque (Pérez-Pérez *et al.*, 2011; Sevgi *et al.*, 2019). La estratificación vertical de los líquenes cortícolas sobre los forofitos de *P. cembroides* subsp. *cembroides* estuvo bien definida al observarse un decremento gradual en la riqueza y abundancia de especies desde la Zona I hacia la Zona III. Según Rosabal *et al.*, (2016) la disimilitud a lo largo del gradiente vertical arbóreo está influida por las diferencias intrínsecas de parámetros ambientales como la iluminación, viento y humedad entre la base del árbol y las ramas superiores, por lo cual se sugiere que dichas variables influyen sobre la diversidad de especies a lo largo del gradiente. La presencia de un mayor número de especies con grandes coberturas en la zona baja de los forofitos tienden a disminuir la superficie disponible para el establecimiento de nuevas especies, ya que el forofito representa un microhábitat continuo que tiende a favorecer a las especies existentes con dichas condiciones microclimáticas evitando la colonización de otras en esta zona (Rosabal *et al.*, 2012, 2016).

De igual forma se observó que la presencia de una mayor diversidad de especies fue más significativa hacia la parte baja de los forofitos (< 2.0 m) (Marmor *et al.*, 2013) con afinidad por establecerse hacia la orientación norte en comparación con el lado sur donde su presencia fue baja o en algunos casos nula (Kuusinen, 1994, Pérez-Pérez *et al.*, 2008, 2015), lo cual fue corroborado a través del análisis de distribución circular. El bosque de pino piñonero es un tipo de vegetación asociado a ambientes xéricos donde las condiciones ambientales son extremas, como la baja precipitación y alta tasa de evapotranspiración (Pompa-García *et al.*, 2013); sin embargo la presencia de esta conífera hace más amigable el ambiente aumentando las condiciones de humedad. Esto permitió el desarrollo de especies con crecimiento folioso, que dominaron sobre el gradiente vertical observándose un aumento gradual de especies heliófilas como *Parmotrema* e *Hypotrachyna*, así como aquellas con biotipo fruticoso, de la Zona II hacia la Zona III; donde las especies resistentes a condiciones más adversas como *Teloschistes* sp., *Teloschistes flavicans* y *Usnea* Gpo. 2 (Apoteciado) fueron representativas de acuerdo al

análisis de correspondencia canónica, señalando que la exposición solar y corrientes de viento tienden a ser mayores lo que coincide con otros estudios (Fanning *et al.*, 2007; Pérez-Pérez *et al.*, 2011; Mossmann *et al.*, 2012; Córdova-Chávez *et al.*, 2016).

3.1.7. Conclusiones

La estratificación de líquenes cortícolas a lo largo del gradiente vertical de *P. cembroides* subsp. *cembroides* fue muy marcada, observándose una mayor diversidad de especies hacia la parte baja de los forofitos la cual tiende a decrecer conforme al dosel. Las familias Parmeliaceae, Physciaceae y Teloschistaceae fueron las más significativas. Existe una afinidad de las comunidades liquénicas por establecerse hacia la orientación NE a lo largo del gradiente debido a que el tiempo de exposición solar tiende a ser menor en esta zona, conlleva a la existencia de una mayor humedad en los estratos más bajos de los forofitos permitiendo el establecimiento, dispersión y colonización de la flora liquénica. Este trabajo representa el primer caso de estudio en un bosque de pino piñonero, por lo cual, se sugiere llevar a cabo muestreos en otras zonas boscosas para ampliar su conocimiento en la región, si se toma en cuenta que del listado florístico cuatro especies se registran por primera vez para el estado de San Luis Potosí.

3.1.8. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno.

3.1.9. Contribución por autor

Julio A. Ramírez: colecta, procesamiento e identificación del material biológico, y redacción del manuscrito; Diódoro Granados-Sánchez: logística en el trabajo de campo; Rosa Emilia Pérez-Pérez: planteamiento y supervisión de la investigación; Ro Linx Granados-Victorino y Antonio Villanueva-Morales: análisis de datos, revisión y edición del documento.

3.1.10. Referencias

- Barreno-Rodríguez, E. y S. Pérez-Ortega. 2003. Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias. KRK Ediciones.
- Brodo, I. M. 2016. Keys to Lichens of North America: Revised and Expanded. New Haven and London: Yale University Press. 422 p. DOI: 10.1639/0007-2745-120.2.257.
- Cáceres, M. E., R. Lücking and G. Rambold. 2008. Efficiency of sampling methods for accurate estimation of species richness of corticolous microlichens in the Atlantic rainforest of northeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation* 17: 1285-1301. DOI: 10.1007/s10531-008-9342-3.
- Challenger, A. y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, pp. 87-108.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de San Luis Potosí. 2019. La biodiversidad en San Luis Potosí. Estudio de Estado. CONABIO, México.
- Córdova-Chávez, O., G. Castillo-Campos, R. E. Pérez-Pérez, J. G. García-Franco and M. E. Cáceres-D. Silva. 2016. Alpha diversity of lichens associated with *Quercus laurina* in a mountain cloud forest at Cofre de Perote eastern slope (La Cortadura), Veracruz, Mexico. *Cryptogamie, Mycologie*, 2016, 37 (2): 193-204. DOI: 10.7872/crym/v37.iss2.2016.193.
- Cottam, G. and J. Curtis. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology*, 32(2): 172-229. DOI: 10.2307/1930167.

- Espinosa, D. y S. Ocegueda. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural, en Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, pp. 33-65.
- Fanning, E., J. S. Ely, H. Lumbsch and H. Keller. 2007. Vertical distribution of lichen growth forms in tree canopies of Great Smoky Mountains National Park. *Special Issue*. 1: 83-88. DOI: 10.1656/1528-7092(2007)6[83:VDOLGF]2.0.CO;2.
- Ferrusquia-Villafranca, I. 1993. Geology of Mexico: a sinopsis. In Biological diversity of Mexico: origins and distribution, T. P. Ramamourthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Oxford University Press, New York. p. 3-107.
- Hammer, O., D. A. T. Harper and P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Herrera-Campos, M. A., R. Lücking, R. E. Pérez-Pérez, R. Miranda-González, N. Sánchez, A. Barcenas-Peña, A. Carriozos, A. Zambrano, D. Ryan y T. H. Nash III. 2014. Biodiversidad de líquenes en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad Suplemento* 85: 82-99. DOI: 10.7550/rmb.37003.
- Herrera-Campos, M. A., R. E. Pérez-Pérez and T. H. Nash III. 2016. Lichens of Mexico: The Parmeliaceae - Key, distribution and specimen descriptions. 1 ed. Alemania: Bibliotheca Lichenologica, J. Cramer in Borntraeger Science Publishers, Stuttgart. 723 p. DOI: 10.1017/S0024282917000305.
- Johansson, D. 1974. Ecology of vascular epiphytic in West African rain forest. *Acta Phytogeogr. Suec.* 59: 1-129.

- Kuusinen, M. 1994. Epiphytic lichen diversity on *Salix caprea* in old-growth southern and middle boreal forests of Finland. *Annales Botanici Fennici* 31: 77-92.
- León-González, D. y R. E. Pérez-Pérez. 2020. Líquenes epífitos en *Juniperus Flaccida* Schltdl. (Cupressaceae) - componente importante de los bosques templados de Oaxaca, México. *Acta biol. Colomb.*, 25(2): 235-245. DOI: 10.15446/abc.v25n2.77238.
- López-Pérez, I. y A. Plascencia-González. 1998. Ecofisiografía y productividad de *Pinus cembroides* Zucc. en "Sierra de Órganos", municipio de Sombrerete, Zacatecas. DICIFO, UACH, Mex.
- Luna-Carvazos, M., A. Romero-Manzanares y E. García-Moya. 2007. Distribución geográfica y ecológica de papas silvestres (*Solanum* L.), del altiplano potosino-zacatecano, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(1): 35-41, 2007. DOI: 10.5154/r.rchsh.2006.03.016.
- Lücking, R. 1999. Ecology of foliicolous lichens at the "Botarrama" trail (Costa Rica), a Neotropical Rain Forest. I. Species composition and its ecobiogeographical implications. *Biotropica*. 31(4): 553-564. DOI: 10.1017/S0024282999000377.
- Marmor, L., T. Tõrra, L. Saag, E. Leppik and T. Randlane. 2013. Lichens on *Picea abies* and *Pinus sylvestris* - from tree bottom to the top. *The Lichenologist* 45(1): 51-63 (2013). DOI: 10.1017/S0024282912000564.
- Morrone, J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 76, 207-252.
- Mossmann, N., R. Weidner y S. Martins. 2012. Comunidade de líquens foliosos em *Piptocarpha angustifolia* Dusén ex Malme (Asteraceae) em área de Floresta Ombrófila Mista no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia Serie Botanica*, 67(1), 47-57.

- McCune, B. and J. B. Grace. 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon. 300 p.
- McCune, B. and M. J. Mefford. 2018. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, [Programa estadístico] Version 7.07. Wild Blueberry Media, Corvallis, Oregon, U.S.A. 2018.
- Pérez-Pérez, R. E., N. Miramontes, J. Aguilar y H. Quiroz. 2008. Macrolíquenes cortícolas es dos especies de coníferas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala. *Acta Universitaria*. 18(2): 33-39. DOI: 10.15174/au.2008.147.
- Pérez-Pérez, R. E., H. Quiroz-Castelán, M. A. Herrera-Campos and R. García-Barrios. 2011. Scale-dependent effects of management on the richness and composition of corticolous macrolichens in pine-oak forests of Sierra de Juárez, Mexico. *Bibliotheca Lichenologica*. 106: 243-258.
- Pérez-Pérez, R. E., G. Castillo-Campos and M. E. Cáceres-D. Silva. 2015. Diversity of corticolous lichens in cloud forest remnants in La Cortadura, Coatepec, Veracruz, México in relation to phorophytes and habitat fragmentation. *Cryptogamie, Mycologie*, 2015, 36 (1): 79-92. DOI: 10.7872/crym.v36.iss1.2015.79.
- Peterson, E. B. and B. McCune. 2001. Diversity and succession of epiphytic macrolichen communities in low-elevation managed conifer forests in western Oregon. *Journal of Vegetation Science*, 12: 511-524. DOI: 10.2307/3237003.
- Pompa-García, M., J. Cerano-Paredes and P. Z. Fulé. 2013. Variation in radial growth of *Pinus cooperi* response to climatic signals across an elevational gradient. *Dendrochronologia*, 31: 198–204. DOI: 10.1016/j.dendro.2013.05.003.

- Romero-Manzanares, A., E. García-Moya y M-F. Passini. 1996. *Pinus cembroides* s.l. y *Pinus johannis* del Altiplano Mexicano: Una síntesis. *Acta Bot. Gallica* 143: 681-693. DOI: 10.1080/12538078.1996.10515368.
- Rosabal, D., A. R. Burgaz, A. Altamirano and G. Aragón. 2012. Differences in diversity of corticolous lichens between interior and edge of the Monte Barranca semi-deciduous forest, Santiago de Cuba. *The Briologist*, 115(2), 333-340. DOI: 10.2307/23321034.
- Rosabal, D., A. R. Burgaz y O. J. Reyes. 2016. Analizando la diversidad beta en ensambles de líquenes en un gradiente vertical sobre cinco especies de forofitos en la pluvisila montana de la Gran Piedra, Cuba. *Bot. complut.*, 40, 23-33. DOI: 10.5209/BOCM.53196.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México.
- Segvi, E., O. Yilmaz, Ö. Gülşah, T. Hüseyin and O. Sevgi. 2019. Factors Influencing Epiphytic Lichen Species Distribution in a Managed Mediterranean *Pinus nigra* Arnold Forest. *Diversity*, 11, 59. DOI: 10.3390/d11040059.
- Simijaca, D., B. Moncada y R. Lücking. 2018. Bosque de roble o plantación de coníferas, ¿qué prefieren los líquenes epífitos? *Colombia Forestal*, 21(2): 123-141. DOI: 10.14483/2256201X.12575.
- Sipman, H. J. M. 2005. Identification key and literature guide to the genera of Lichenized Fungi (Lichens) in the Neotropics. Provisional version. Botanic Garden and Botanical Museum Berlin-Dahlem. Free University of Berlin. 2005.
- StatSoft, Inc. 2011. STATISTICA (data analysis software system) [Programa estadístico]. Versión 10.

- Wolseley, P. A. and B. Aguirre-Hudson. 1997. The ecology and distribution of lichens in tropical deciduous and evergreen forests of northern Thailand. *J. Biogeogr.* 24: 327-343. DOI: 10.1046/j.1365-2699.1997.00124.x.
- Zar, J. H. 2010. Biostatistical Analysis, 5th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 668 pp., plus appendices.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES

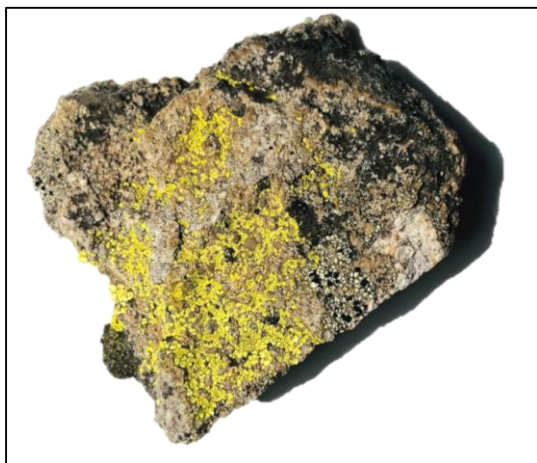
La riqueza y abundancia de la flora líquénica asociada a los bosques de *Pinus cembroides* subsp. *cembroides* fue diferente en cada una de las localidades de muestreo. Las localidades con mayor diversidad de especies de líquenes fueron La Salitrera y Guadalupe Victoria en comparación con Sierra de Catorce y Villa de Cortes cuyos valores de diversidad fueron los más bajos, sugiriendo que la situación geográfica, macroclima, características del bosque y del sustrato tienden a modificar los factores ecológicos como luz, temperatura, humedad, pH, etc., trayendo consigo un cambio importante en la composición de la flora líquénica o en el mantenimiento o aparición de especies raras o vulnerables. Con base en lo anterior, el registro de especies únicas en las localidades de San José, Sierra de Lajas, Villa de Reyes, La Salitrera y Gpe. Victoria deja en evidencia la heterogeneidad de las condiciones microclimáticas en cada localidad, señalando que cada una de ellas cumple un papel a modo de refugio capaz de albergar una riqueza florística y líquénica muy particular, pues al ser un ecotono, las especies aquí presentes provienen de hábitats xerófitos, templados y autóctonos.

Respecto al gradiente vertical, fue clara la estratificación de la flora líquénica epífita sobre los forofitos de *P. cembroides* subsp. *cembroides* al observarse un decremento de la diversidad de la Zona I (bajo) hacia la Zona III (alto). Se registró el mayor número de especies foliosas (P. ej. *Flavopunctelia caperata*, *Favopunctelia praesignis*, *Parmotrema austrosinense*, etc.), sobre el área basal de los troncos así como las mayores coberturas hacia la orientación NE. En contraste con aquellas de tipo fruticoso (P. ej. *Teloschistes* sp., *Teloschistes flavicans* y *Usnea* Gpo. 2) que fueron representativas hacia el dosel (Zona III), cuya resistencia a condiciones más adversas ha sido muy bien documentado.

De acuerdo a los registros nuevos para la entidad (*Haematomma fenzlianum* A. Massal., *Hypotrachyna rockii* (Zahlbr.) Hale, *Pseudevernia consocians* (Vain.) Hale & Culb. y *Punctelia rudecta* (Ach.) Krog; se sugiere el muestro de más sitios considerando datos micro ambientales (luz, humedad, temperatura) y hábitat (densidad, pendiente, elevación) con el fin de comprender aquellos procesos que tienden a influir sobre los patrones de estratificación de líquenes cortícolas asociados a los bosque de pinos piñonero en la región Altiplano del estado de San Luis Potosí.

CAPÍTULO 5. ANEXOS

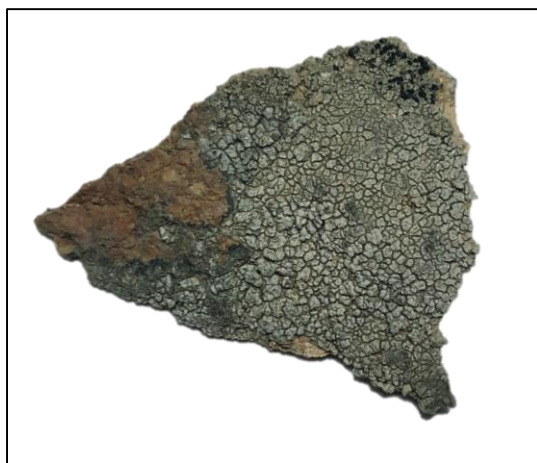
5.1. REPORTE FOTOGRÁFICO (ESPECIES DE LÍQUENES)



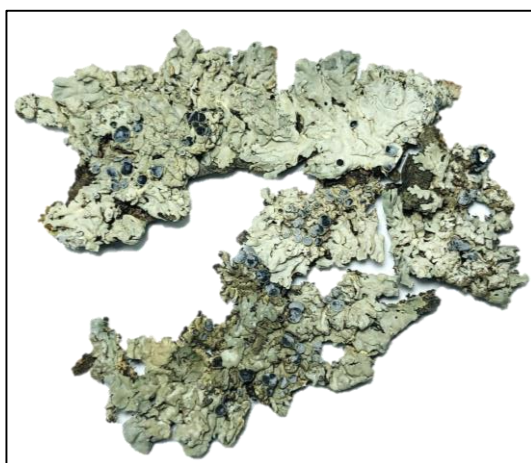
Acarospora socialis H. Magn.



Pleopsidium cf. *chlorophanum* (Wahlenb.) Zopf



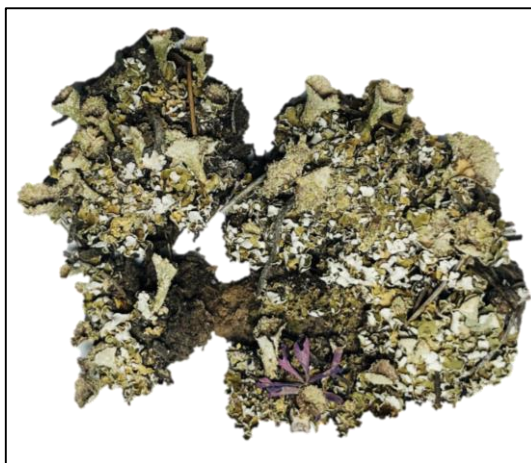
Buellia sp.



Dirinaria confluens (Fr.) D. D. Awasthi



Cladonia cf. *furcata* (Hudson) Schrader



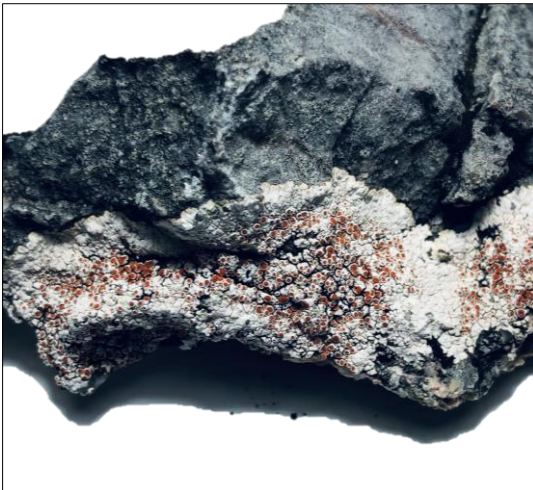
Cladonia chlorophaea (Flörke ex Sommerf.)
Sprengel



Leptogium sp.



Diploschistes sp.



Haematomma fenizianum A. Massal.



Lecidea sp.



Flavoparmelia caperata (L.) Hale



Flavopunctelia flaventior (Stirton) Hale



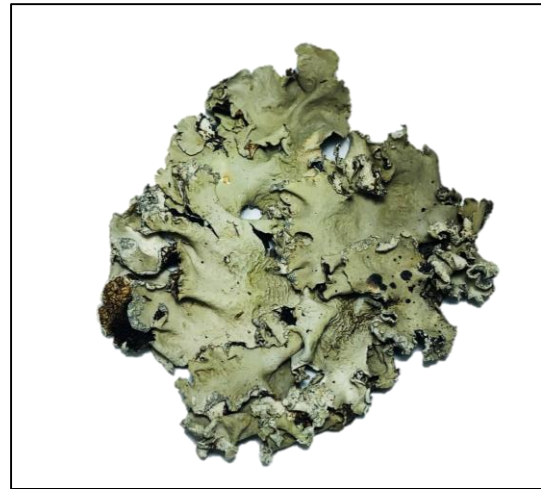
Flavopunctelia praesignis (Nyl.) Hale



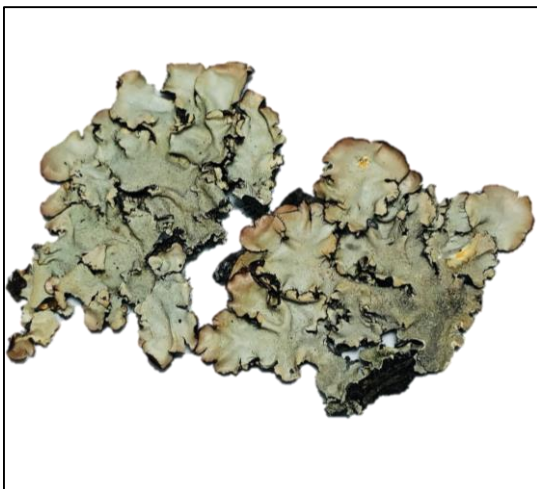
Flavopunctelia soledica (Nyl.) Hale



Hypotrachyna rockii (Zahlbr.) Hale



Parmotrema austrosinense (Zahlbr.) Hale



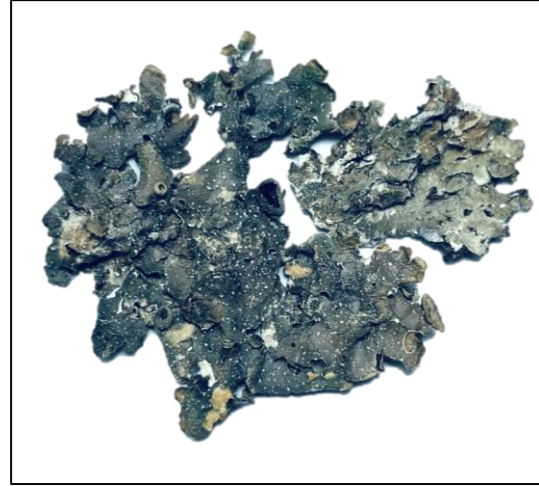
Parmotrema sp.



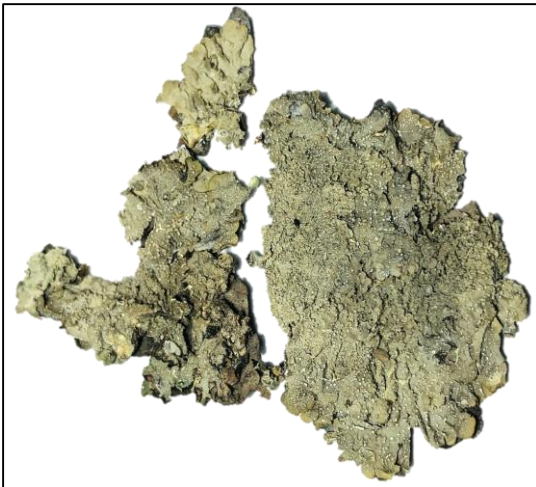
Pseudevernia consocians (Vain.) Hale & Culb.



Pseudevernia intensa (Nyl.) Hale & Culb.



Punctelia hypoleucites (Nyl.) Krog



Punctelia rudecta (Ach.) Krog



Tuckermanopsis sp.



Usnea Gpo. 1 (Isidiado)



Usnea Gpo. 2 (Apoteciado)



Xanthoparmelia sp.



Xanthoparmelia lineola (E. C. Berry) Hale



Peltigera sp.



Heterodermia albicans (Pers.) Swinscow & Krog



Heterodermia cf. *japonica* (M. Satô) Swinscow & Krog



Heterodermia sp.



Hyperphyscia sp.



Leucodermia leucomelos (L.) Kalb



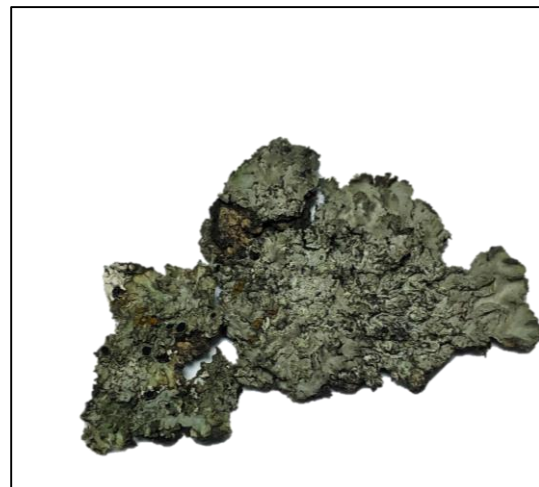
Phycia aipolia (Ehrh. ex Humb.) Furnr.



Phycia sp. 1



Phycia sp. 2



Phycia sp. 3



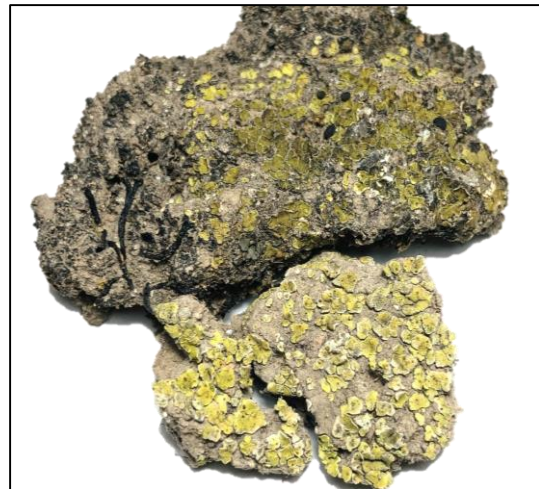
Phycia sp. 4



Psora cerebriformis W.A. Weber



Psora crenata (Taylor) Reinke



Psora icterica (Mont.) Müll. Arg.



Ramalina cf. *asahinae* W.L. Culb & C.F. Culb.



Ramalina celastri (Sprengel) Krog & Swinscow



Ramalina sp.



Rhizocarpon sp.



Teloschistes chrysophthalmus (L.) Th. Fr.



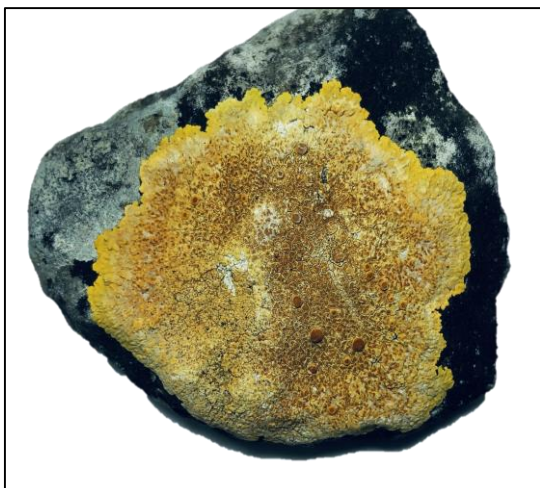
Teloschistes exilis (Michaux) Vain.



Teloschistes flavicans (Sw.) Norman



Teloschistes sp.



Variospora aurantia (Pers.) Arup, Søchting & Frödén



Dermatocarpon sp.