

## SÍNTESIS DE INFORMACIÓN

# Diversidad, ecología y uso potencial de líquenes epífitos de Chihuahua

*Zuñiga-González, R. A.,<sup>\*1</sup> Álvarez-Barajas, I. L.,<sup>2</sup> Corral-Avitia, A. Y.,<sup>1</sup> Flores-Margez, J. P.,<sup>1</sup> Enríquez-Anchondo, I. D.,<sup>1</sup> Quiñónez-Martínez M.<sup>1</sup>*

Recibido: 23 de agosto de 2021

Segunda revisión: 30 de septiembre

Aceptado: 4 de octubre de 2021

## RESUMEN

Los líquenes son organismos que debido a su estrecha relación con el hábitat y sustrato en que se desarrollan, cumplen un papel importante en los procesos ecológicos. Poseen importantes aplicaciones en el ámbito de la medicina tradicional terapéutica o espiritual, industria química y textil. En el estado de Chihuahua se desarrolla una gran riqueza de especies poco conocidas. Por ello, en este trabajo se realizó una revisión de la riqueza, ecología y uso potencial de estos líquenes, así como su relación con los ecosistemas forestales, de gran relevancia para incrementar las investigaciones de conservación, manejo forestal y uso sustentable.

**Palabras clave:** Epífito, talo, ecosistemas forestales, conservación.

## ABSTRACT

Lichens are organisms that due to their close relationship with the habitat and substrate in which they grow, play an important role in ecological processes. Lichens have important applications in the field of traditional therapeutic or spiritual medicine, as well as for the chemical and textile industry. In the state of Chihuahua, there is a great diversity and richness of lichens, and many species are little known. In this study a review of the richness, ecology, and potential use of these lichens, as well as their relationship with forest ecosystems was made. Lichens are of great relevance to increase actions focused on conservation research, forest management and sustainability.

**Keywords:** Epiphyte, thallus, forest ecosystems, conservation.

---

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Biomédicas – Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

<sup>2</sup> Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias – Universidad de Guadalajara en Zapopan, Jalisco.

\* Autor para correspondencia: Biól. Rocío Alejandra Zuñiga González; (+52) 656-1448172; al194596@alumnos.uacj.mx

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el conocimiento de la diversidad de líquenes en el estado de Chihuahua es escaso, a pesar de tener una alta capacidad de desarrollo en diferentes tipos de sustratos y comunidades vegetales. Los líquenes son organismos simbióticos mutualistas estables y ecológicamente obligados entre un hongo (perteneciente al Reino Fungi) y un conjunto de organismos fotosintéticos, estos pueden ser algas (pertenecientes al Reino Plantae) o cianobacterias (pertenecientes al Dominio Bacteria) (Kosanic & Rankovic, 2019; Chaparro-de Valencia & Aguirre-Ceballos, 2002; Honegger, 2001). Los líquenes se han definido como un ecosistema auto-sustentable, debido a que proporcionan un microhábitat para numerosos microorganismos eucariotas y procariotas, que desempeñan un papel importante en las redes tróficas (Muggia & Grube, 2018; Grube & Hawksworth, 2007; Cardinale, Puglia, & Grube, 2006 y Liba *et al.*, 2006). El estado de Chihuahua contiene la mayor superficie forestal en el país, con 5 millones de hectáreas de bosques (CONABIO, 2013), que presentan un hábitat ideal para el desarrollo de líquenes epífitos.

Debido a que los líquenes poseen características importantes que permiten utilizarlo como indicador ecológico, como: distribución cosmopolita, poca a escasa migración, ciclo de vida largo y sensibilidad a los contaminantes atmosféricos (Bosch-Roig, Barca, Mirocle-Crisci & Lalli, 2017). Se han aplicado como bioindicadores en áreas forestales expuestas a la pérdida, fragmentación y degradación (Vondrák *et al.*, 2019). El presente trabajo contribuye al conocimiento de la diversidad de líquenes en el estado de Chihuahua y destaca su riqueza, ecología y uso potencial de líquenes y su relación con los ecosistemas forestales.

### *Diversidad y taxonomía de líquenes*

La morfología y estructura de cada líquen está determinada casi por completo por la información genética del hongo. Por ello, el nombre que se le asigna al líquen es del hongo que compone esta simbiosis (Brodo, Duran & Sharnoff, 2001). Los líquenes se clasifican dentro del reino Fungi, con más del 98% de este diverso grupo dentro del phyla Ascomycota y el resto dentro del phyla Basidiomycota. Alrededor de 40 géneros de algas y cianobacterias han sido reportados como fotobiontes, de los cuales 25 géneros son de algas verdes (fotobiontes), algunas

doradas, un género de algas pardas y 12 géneros de cianobacterias (cianobiontes) (Nash III, 2008; Barreno-Rodríguez & Pérez-Ortega, 2003; Brodo, Durán-Sharnoff & Sharnoff, 2001). El tercer componente es una levadura de la división Basidiomycota, que se encuentran incrustadas en la corteza de varias especies de macrolíquenes (Spribille *et al.*, 2016).

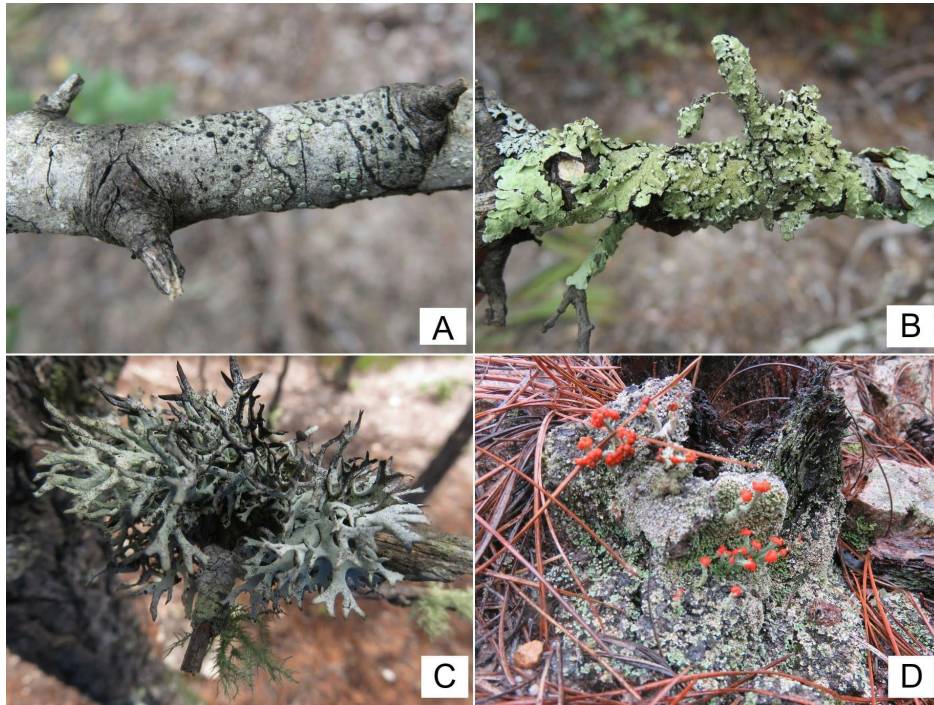
Los líquenes han sido exitosos y capaces de habitar ecosistemas desérticos, tropicales y fríos, se encuentran en alrededor del 8% de los ecosistemas terrestres (Kirk, Cannon, Minter & Stalpers, 2008). En México los estudios acerca de líquenes son escasos, el último conteo de las especies presentes fue realizado por Herrera-Campos *et al.*, (2014). En este trabajo se reportan, alrededor de 2,833 taxas, distribuidos en 2,722 especies y 111 infraespecíficas (18 subespecies, 68 variedades y 25 familias), que corresponden a dos divisiones, dos subdivisiones, seis clases, 21 órdenes, 84 familias y 364 géneros. La clase Lecanoromycetes presenta la mayor diversidad y se encuentran alrededor del 96% de los hongos liquenizados. Los géneros representativos son *Lecanora*, *Caloplaca* y *Graphis*, rebasando las 100 especies registradas. De la familia Parmeliaceae, el género *Usnea*, *Xanthoparmelia* y *Parmotrema*. De la familia Cladoniaceae, el género *Cladonia* y de la familia Physciaceae, el género *Buellia*, *Physcia* y *Rinodina*. Así como, algunas especies de cianolíquenes de los géneros *Collema* y *Sticta*.

Los estados de México que registran el mayor número de especies son Baja California y Veracruz, seguidos por Baja California Sur, Sonora y Chihuahua, con más de 500 registros cada uno (Herrera-Campos *et al.*, 2014). En este último se han reportado alrededor de 37 especies de líquenes presentes en la Sierra Tarahumara, las familias más abundantes son: Parmeliaceae, Cladoniaceae, Lobariaceae y Teloschistaceae. Es común encontrar algunas especies de los géneros *Alectoria*, *Flavoparmelia* y *Usnea* como artesanías en venta por las comunidades rarámuris (Chacón-Ramos, Quiñónez-Martínez, & Álvarez-Barajas, 2014)

### *Características morfológicas*

La forma de crecimiento, también conocido como talo o biotipo es el cuerpo vegetativo y asimilativo compuesto por el micobionte y el fotobionte. Los principales talos en cuanto al tipo de crecimiento se dividen en costrosos, foliosos o fruticosos (Figura 1), sin embargo, existen diversas formas interme-

**Figura 1. Principales tipos de talo que presentan los líquenes:**  
**A) Talo costroso; B) Talo folioso; C) Talo fruticoso; y D) Talo compuesto o heteromórfico**



**Fuente:** elaboración propia con ayuda del programa Image J.

dias (Nash III, Ryan, Gries, & Bungartz, 2002). El talo costroso, similar a una corteza, está en íntimo contacto con el sustrato, generalmente carecen o no es posible distinguir una superficie inferior y estructuras asociadas y tolera hábitats extremos como la roca desnuda y expuesta. La variación que presenta es de tipo de talo es endosustratal, leproso, continuo, rimoso, areolado, bultado, lobado y escamoso. El talo folioso, similar a una hoja, están dorsiventralmente orientado con una capa superior e inferior diferenciada, generalmente aplanados y comúnmente unidos por ricinas u otros apéndices al sustrato en que se encuentran. Poseen lóbulos que pueden estar ramificados, este puede variar desde un talo lacinado o umbilical. Los líquenes fruticosos, similares a arbustos o barbas, pueden estar dispuestos dorsiventralmente, pero la mayoría tienen una simetría radial. Estos pueden ser tupidos, arbustivos, arbóreos o con forma de barba. Usualmente están unidos al sustrato por un sujetador. La variación que presentan son talos erectos, colgantes, cespitosos, decumbentes y subcolgante. Asimismo, muchos líquenes combinan más de una forma de crecimiento, conocido como talo compuesto o hete-

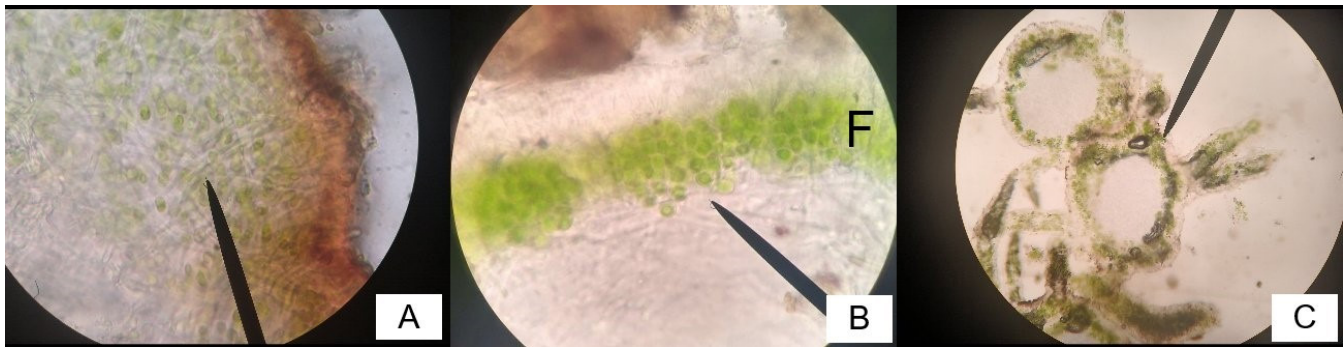
romórfico. Conforman un talo primario granular o escamoso basal, suele extenderse horizontalmente sobre el sustrato dando lugar al talo secundario vertical fruticoso (Nash III, 2008; Chaparro-de Valencia & Aguirre-Ceballos, 2002; Nash III, Ryan, Gries, & Bungartz, 2002; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

La morfología interna del talo varía de talos altamente diferenciados con varias capas de hifas a las que no existe una diferenciación (Figura 2). En el talo homómero el fotobionte está uniformemente disperso con respecto a las hifas del micobionte sin conformar un estrato definido. Este tipo de talo generalmente está formado por cianobacterias, permite absorber agua rápidamente y favorece en la fijación de nitrógeno. Por otro lado, el talo heterómero, están estratificados en donde se diferencia principalmente la capa del fotobionte, una o más capas corticales y una médula (Nash III, 2008; Barreno-Rodríguez & Pérez-Ortega, 2003; Nash III, Ryan, Gries & Bungartz, 2002).

Anatómicamente, existen una serie de estructuras y modificaciones que influyen en el desarrollo de estas especies (Figura 3). Como lo son cilios,



**Figura 2. Morfología interna del talo liquenizado en corte transversal:**  
**A) Talo homómero; B) Talo heterómero (F = capa algal); y C) Corte transversal en talo fruticoso**



Fuente: elaboración propia con ayuda del programa Image J.

pruina, tomento, maculas, pseudocifelas, cifelas y cefalodios. Así como también, las estructuras de reproducción que pueden ser asexuales como sore-dios, isidios, esquizidios, filidios y picnidios. O bien, estructuras de reproducción sexual que pueden ser apotecios o peritecios, que contienen las ascas y estas a su vez, las ascosporas. Las variedades en cuanto a forma, tamaño, color y complejidad de estas estructuras son utilizadas para la clasificación e identificación de familias, géneros e incluso especies (Nash III, 2008; Nash III, Ryan, Gries & Bungartz, 2002; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

#### *Fisiología y ecología*

En la simbiosis, el fotobionte requiere de la protección contra la desecación y un ambiente idóneo que le provee el micobionte, a través de la estratificación interna. Esto consiste en un sistema de hifas polimórficas, en donde se diferencian paredes hidrofílicas para el paso de agua y otras hidrofóbicas, que conforman espacios para el transporte de gases (Honegger, 2001). El micobionte requiere de la adquisición fija de carbono que provienen del fotobionte. El fotobionte puede obtener carbono debido a que puede efectuar la fotosíntesis. Esto permite tomar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente en el aire, así como agua y en presencia de la luz solar, para producir carbohidratos. Estos carbohidratos son absorbidos por el micobionte en forma de azúcares, alcoholes o glicoles en caso de que su asociación sea con ficobiontes, o bien, glucosa en caso de que sea con cianobiontes (Eisenreich, Knispel, & Beck, 2011; Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001; Purvis, 2000). Asimismo, las ciano-

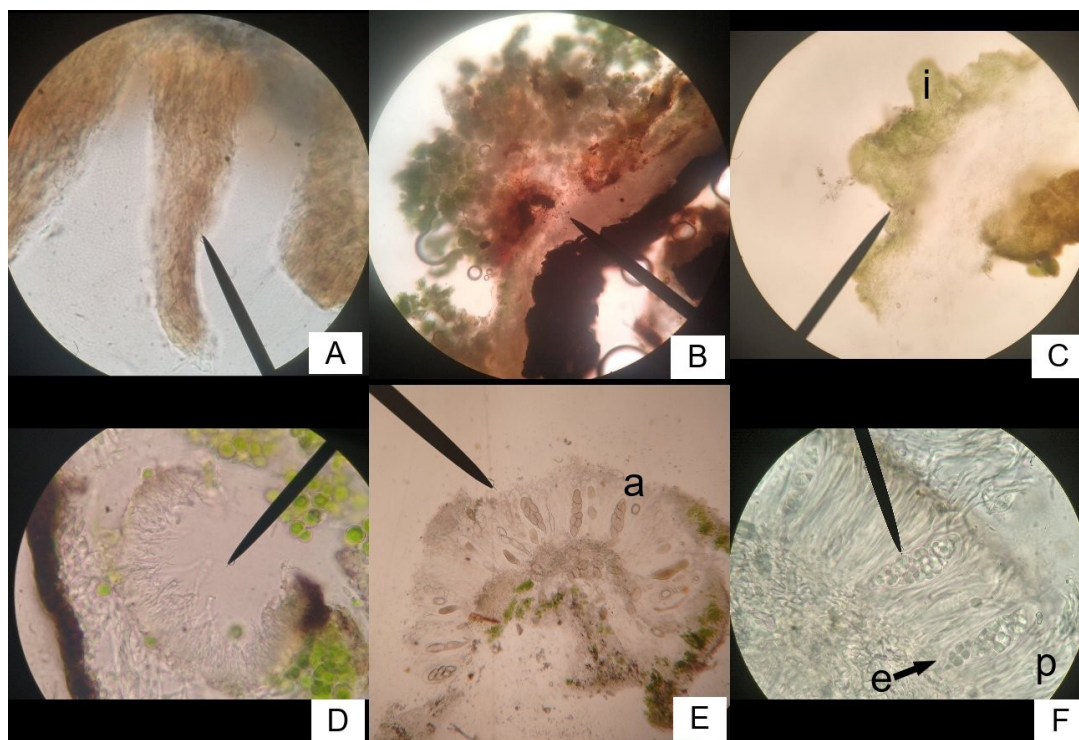
bacterias pueden convertir el nitrógeno del medio en iones amonio, para la síntesis de proteínas del líquen (Purvis, 2000). Posterior a la fotosíntesis, una parte significativa de los carbohidratos producidos son utilizados para la respiración. Con la función de fotoasimilar las sustancias para el crecimiento, mantenimiento y generar energía para los procesos de transporte y asimilación de nutrientes (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001). La amplitud de hábitats y regiones en que se desarrollan estos organismos se debe a los procesos fisiológicos que ejercen, su eficiencia depende del ambiente en que se encuentren. En el cuadro I, se muestran los principales factores ambientales que modifican algunos de los procesos fisiológicos que llevan a cabo los líquenes.

Los líquenes carecen de una cutícula protectora, a diferencia de las plantas, que ayude a conservar el agua. Como son organismos poiquilohídricos, tienen bajo control del contenido del agua, por lo que dependen de las condiciones ambientales (Proctor & Tuba, 2002; Purvis, 2000). Esta característica también le permite absorber la humedad directamente del aire y minerales disueltos. Sin embargo, algunos sulfatos y compuestos metálicos son tóxicos y pueden dañar y matar al fotobionte y por tanto a todo el organismo (Boonpeng *et al.*, 2017; Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

La resistencia de los líquenes a las condiciones extremas se debe a su capacidad de pasar de un estado activo a un estado latente a través de la rápida deshidratación del talo (ANPA, 2001). Para sobrevivir al estrés, los líquenes deben poder reducir la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) o de expulsarlos una vez

**Figura 3. Microscopia de algunas estructuras liquénicas:**

**A) Ricina no ramificada; B) Soredio; C) Isidio (i = isidio); D) Picnidio; E) Apotecio (a = asca con ascosporas); y F) Ascosporas (e = ascosporas / p = paráfisis)**



**Fuente:** elaboración propia con ayuda del programa Image J.

**Cuadro I. Principales factores ambientales que influyen en los procesos fisiológicos de los líquenes**

Procesos fisiológicos	Factores ambientales	Niveles óptimos
Fotosíntesis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura</li> <li>• Nivel de humedad</li> <li>• Disponibilidad de luz</li> </ul> Temperatura: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de humedad</li> </ul>	En líquenes de zonas antárticas (0-10 °C) En líquenes de zonas templadas (10-15 °C) Humedad: 50-70 % de saturación en el talo
Respiración	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura</li> <li>• Nivel de humedad</li> </ul>	Temperatura: En la mayoría, de 15-30 °C Humedad: Total o casi totalmente saturado
Intercambio de CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de humedad</li> <li>• Disponibilidad de luz</li> <li>• Temperatura</li> </ul>	
Fijación de N	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de humedad</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Disponibilidad de luz</li> <li>• Presión parcial de oxígeno</li> <li>• Limitación de nutrientes</li> <li>• pH</li> </ul>	

**Fuente:** Lidén et al. (2010); Nash III (2008); Brodo et al. (2001).



formados. Estos pueden causar un daño considerable a las células al atacar ácidos nucleicos, lípidos y proteínas (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

Alrededor de 700 metabolitos secundarios, la mayor parte exclusivos de los líquenes, son resultado de subproductos químicos del micobionte y se depositan en la superficie de las hifas. La mayoría de estas sustancias son compuestos aromáticos, como dépsidos, depsidones y carotenoides. Estos productos suelen ser insolubles en agua y sólo se pueden extraer con disolventes orgánicos (Calcott, Ackerley, Knight, Keyzers, & Owen, 2018; Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

Los líquenes requieren de un sustrato en el cual desarrollarse (Figura 4), los más comunes son sobre piedras, rocas o canchales (rupícolas), solo o casi únicamente sobre roca (saxícolas), corteza de árboles o arbustos (cortícolas o epífitos), sobre musgos y hepáticas (muscícolas), e incluso, se han encontrado en el caparazón de tortugas y cuerpo de insectos, sobre otros líquenes, vidrio, metal, plástico y tela (Barreno-Rodríguez & Pérez-Ortega, 2003; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001). Algunas especies pueden crecer de manera indiferente de los diferentes sustratos, mientras que otras tienen preferencia a un sustrato específico (ANPA, 2001), lo cual indica la estrecha relación que existe entre ambos.

La textura (rugosa o lisa, estable o inestable), capacidad de absorber y retener la humedad y química (compuestos orgánicos, minerales y acidez) del sustrato, es la característica que definirá el desarrollo de las diferentes especies de líquenes. Por ejemplo, en la corteza de coníferas con respecto a los árboles de hoja caduca, se puede diferenciar

en su química por su contenido de resinas orgánicas, menor contenido de nutrientes inorgánicos y tiende a ser bastante ácido. Asimismo, las copas tienden a ser densas, por lo que el paso de luz está más limitado, en comparación a los árboles de hoja caduca, que no poseen hojas hasta seis meses del año (Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

#### *Uso potencial*

Los líquenes han conformado parte de la dieta de animales y el hombre (Illana-Esteban, 2009). Aunque el valor nutricional es bastante limitado en el hombre debido a la ausencia de flora bacteriana que permita descomponer los complejos carbohidratos que conforman el líquen (Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001). Por otro lado, líquenes fibrosos del género *Alecoria* y *Bryoria* han sido incorporados en la ropa de varias culturas. Durante miles de años se utilizaron como fuente de tintes y colorantes, con la aplicación de diferentes técnicas para la obtención de colores como amarillo, rojo, marrón y violeta, aunque actualmente esta aplicación ya no representa tanta importancia (Rather, Jameel, Ganie, & Bhat, 2018; Barreno-Rodríguez & Pérez-Ortega, 2003; Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001).

También, los líquenes se han utilizado como medicina tradicional terapéutica o espiritual, debido a la amplia gama de metabolitos secundarios que poseen (Devkota, Chaudhary, Werth & Sheidegger, 2017; Illana-Esteban, 2012). Entre los compuestos con efecto antibiótico están: el ácido úsnico, el ácido protoliqueterínico y una variedad de derivados del orcinol, es significativo para bacterias gram-positivas, pero no eficientes en gam-negativas (Gayathri & Swamy, 2012; Nash III,

**Figura 4. Hábito de desarrollo de algunas especies de líquenes:  
A) Saxícola; B) Epífito; y C) Muscícola**



Fuente: elaboración propia con ayuda del programa Image J.

2008). También, a este grupo se le ha atribuido una actividad antitumoral, por ejemplo, el ácido úsnico tiene un bajo nivel de actividad contra el carcinoma de pulmón y tiene actividad antifúngica (Kyung-Hwa, *et al.*, 2017; Nash III, 2008; Boustie & Grube, 2005). Algunas especies como por ejemplo *Letharia vulpina* tiene efectos tóxicos derivado del ácido pulvínico que es altamente venenoso (Rankovic & Kosanic, 2015; Nash III, 2008). En el hombre, algunas especies de líquenes epífitos como *Alectoria*, *Evernia* y *Usnea* pueden causar dermatitis de contacto, que es una reacción alérgica por una serie de sustancias liquénicas, que conforme aumenta la exposición a estas, más agudas se vuelven estas reacciones (Nash III, 2008).

Dentro de las aplicaciones más importantes ha sido en la industria del perfume, las especies más utilizadas son *Evernia prunastri* y *Pseudovernia furfurácea*. Por otro lado, estas se han aplicado en la liquenometría, técnica utilizada para estimar el tiempo de exposición de una superficie, como rocas, depósitos y yacimientos. Debido a que la mayoría de los líquenes crecen en forma concéntrica, se puede utilizar la tasa de crecimiento anual, para conocer los años en que ha estado presente basados en su diámetro (Garibotti & Villalba, 2007). En general, los organismos foliosos crecen de 0.5-5 mm por año, mientras que los organismos costrosos 0.1-0.2 mm anualmente. Esto depende de la especie y las condiciones del medio en que se desarrollan, disponibilidad de agua y temperatura (Lutzoni & Miadilikowska, 2009; Sancho, Allan, & Pintado, 2007; Benedict & Nash III, 1990).

#### *Función ecológica*

Los líquenes influyen ampliamente en el crecimiento y desarrollo de plantas, micro y macroorganismos que comparten el mismo ambiente, por lo que conforman redes tróficas complejas, que aumentan el flujo de energía y ciclo de minerales. Los líquenes son colonizadores de la roca desnuda y formadores de suelo, junto a otras algas, cianobacterias y briofitas. Las sustancias liquénicas provenientes del metabolismo secundario como dépsidos y depsonas, se pueden combinar con los minerales de la roca, lo que genera complejos metálicos y aceleran el proceso de meteorización (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001). Algunos líquenes, en conjunto con algas, cianobacterias y briofitas, forman lo que se conoce como costras biológicas que se suelen encontrar en la capa más

superficial del suelo (Castillo-Moroy & Benítez, 2015; Castillo-Moroy *et al.*, 2011; Belnap & Gillette, 1998). Estas costras se encuentran principalmente en regiones en donde el agua y los nutrientes son factores limitantes para el desarrollo de la vegetación (Mendoza Aguilar, 2014). Esto hace que aumente la fertilidad mediante la fijación de nitrógeno y carbono (Belnap, 2002). También, contribuye a preservar los nutrientes (Castillo-Moroy *et al.*, 2011; Belnap, Phillips & Miller, 2004).

Los líquenes son conocidos como productores primarios, debido a que algunos animales los incluyen en su dieta, que puede mostrar interdependencia. Mamíferos como la ardilla, ciervo, alce, cabra, gacela, buey almizclero, oso polar, marmota, monos, entre otros, pueden incluirlos en su dieta, aunque más como un complemento de esta (Seaward, 2008; Barreno-Rodríguez & Pérez-Ortega, 2003). Además, el tipo de crecimiento de los líquenes sirve como hábitat y refugio para invertebrados y algunos vertebrados pequeños, en el que pueden sobrevivir por periodos prolongados, ya que los utilizan como camuflaje y mimetismo. Así como también algunas aves utilizan especies de líquenes fruticosos para anidación y camuflaje (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001).

#### *Aplicación en la contaminación ambiental y perturbaciones ecológicas*

Los líquenes son reconocidos como organismos bioindicadores, debido a que son especies cosmopolitas, absorben nutrientes y contaminantes, naturaleza simbiótica, son relativamente longevos, proporcionan información de estados crónicos y no de variaciones puntuales del medio y son organismos perennes, por lo que pueden ser muestreados en cualquier época del año (Bosch-Roig, Barca, Mirocle-Crisci & Lalli, 2017; Hawksworth, Iturriaga & Crespo, 2005).

Debido a su capacidad para absorber rápidamente elementos químicos del aire y de la lluvia, son utilizados como sensores naturales del entorno. Existen algunas especies de líquenes que proporcionan un espectro muy amplio de las condiciones ambientales, tanto naturales como antropogénicas. Entre las actividades donde los líquenes pueden ser utilizados están la evaluación del impacto ambiental y monitoreo de perturbaciones ambientales, principalmente en donde se encuentra un gran número de contaminantes químicos (Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001;

Fontecha & Burgaz, 2017). Ejemplo de algunos compuestos son el dióxido de azufre, un subproducto de la quema de combustible fósil; el ácido sulfúrico y nítrico, componentes de la lluvia ácida; fluoruros, ozono, hidrocarburos y metales como el cobre, el plomo y el zinc. Los líquenes más sensibles a la contaminación incluyen a especies fruticasas como *Usnea*, *Ramalina* y *Telochistes*, así como líquenes epífitos que poseen cianobiontes, como *Lobaria*, *Pannaria* y *Nephroma* (Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001). Además, sus patrones de distribución están influenciados por el disturbio del hábitat (Kelleghan, Hayes, Everard & Curran, 2019; Pakeman, Brooker, O'Brien & Genney, 2019; Tripp, Lendemer & McCaln, 2019), fragmentación, deforestación, prácticas agrícolas, cambio de uso de suelo y se han utilizado ampliamente en la identificación y mapeo de sitios críticos de biodiversidad (Will-Wolf, Hawksworth, Mccune, Rosentreter & Sipman, 2011; Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001).

Otra importante contribución de los líquenes se debe a la capacidad de bioacumulación de elementos como nitrógeno, fósforo y azufre, e incluso contaminantes orgánicos y metálicos (Boonpeng *et al.*, 2017). La filtración del nitrógeno en compuestos nitrogenados es significativa en ciertos ecosistemas como bosques maduros y bosques de coníferas (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001).

#### *Principales hábitats para líquenes en Chihuahua*

La variedad de climas, topografía, historia geológica y ubicación geográfica en México han producido una variación en los ecosistemas que resguardan la abundancia y riqueza de flora y fauna (SEMARNAT, 2016). Parte integral de los ecosistemas terrestres, radica en los diferentes tipos de bosque, que albergan a más de las tres cuartas partes de la biodiversidad terrestre mundial (Rodríguez, 2019). En México, los grandes ecosistemas y tipos de vegetación ocupan una superficie de 151,483,194 ha, del cual, el 22% se encuentra cubierta por bosque de coníferas, bosque mixto y bosque de encino (Orozco-Hernández, Gutiérrez-Martínez & Delgado-Campos, 2009). Se estima que los bosques templados contienen cerca de 7,000 especies de plantas, alrededor del 50% especies de pinos y cerca del 33% especies de encinos (CONABIO, 2013). Su distribución está determinada principalmente por el gradiente altitudinal, la

influencia del clima (temperatura y precipitación) y las condiciones del suelo (Lebgue-Keleng, Soto-Cruz, Quintana-Martínez, Quiñonez-Martínez & Viramontes-Olivas, 2014).

El estado de Chihuahua contiene la mayor superficie forestal en el país, con 5 millones de hectáreas de bosques (CONABIO, 2013). Los bosques templados cubren el 29% de la superficie estatal, ya que se encuentran en 40 de los 62 municipios (Lebgue-Keleng, Soto-Cruz, Quintana-Martínez, Quiñonez-Martínez & Viramontes-Olivas, 2014). Están integrados por diversas especies de pino y encino (Escárpita-Herrera, 2001) que se desarrollan en la Sierra Madre Occidental (SMO), (CONABIO, 2013). Predominan bosques de pino, de encino, mixtos de pino-encino y encino-pino (Reyes-Gómez & Núñez-López, 2014). A continuación, se describirán los principales tipos de bosque (Figura 5) que se desarrollan y que son de interés propio de este artículo.

**Bosque de pino.** Es una comunidad vegetal perennifolia, constituida principalmente por especies del género *Pinus* (Orozco-Hernández, Gutiérrez-Martínez & Delgado-Campos, 2009). Forman bosques de altura y densidad muy variables, pero de escasa diversidad en cuanto a especies dominantes del dosel. Se localizan en regiones con una temperatura media anual entre 6 y 28°C, así como altitudes entre 1,500 y 3,000 msnm (Lebgue-Keleng, Soto-Cruz, Quintana-Martínez, Quiñonez-Martínez & Viramontes-Olivas, 2014; Granados-Sánchez, López-Ríos & Hernández-García, 2007). En México las especies de *Pinus* poseen un mayor valor de aprovechamiento maderable (Granados-Sánchez, López-Ríos & Hernández-García, 2007).

**Bosque de encino.** Es una comunidad vegetal caducifolia, dominada por especies del género *Quercus* (Orozco-Hernández, Gutiérrez-Martínez & Delgado-Campos, 2009). Se distribuyen en forma de manchones o formando franjas laterales sobre las faldas de los cerros, cubriendo una amplia superficie (Lebgue-Keleng, Soto-Cruz, Quintana-Martínez, Quiñonez-Martínez & Viramontes-Olivas, 2014). Se encuentran en regiones con altitudes desde en nivel del mar hasta 3,100 m, aunque la mayoría entre 800 y 1,200 m (Granados-Sánchez, López-Ríos & Hernández-García, 2007).



Figura 5. Principales tipos de bosques en el estado de Chihuahua:

A) Bosque de pino; B) Bosque de pino-encino; C) Bosque de encino-pino; y D) Matorral de ericáceas



Fuente: elaboración propia con ayuda del programa Image J.

**Bosques mixtos.** Son comunidades mixtas de *Pinus* y *Quercus*. Se distribuyen en las montañas y sierras, en altitudes desde casi el nivel del mar hasta 3,100 m, con una temperatura media anual de 10 a 26°C y una precipitación de 600 y 1,200 mm (Granados-Sánchez, López-Ríos & Hernández-García, 2007). Tienen preferencia en cuanto al tipo de suelo, temperatura, humedad y exposición. Se ha reportado que la dominancia de estas especies está definida por el gradiente altitudinal. El bosque de encino-pino domina en los rangos más bajos sobre el nivel del mar, mientras que el bosque de pino-encino domina al ascender la altitud, aunque se encuentra antes de los 2,500 msnm, en donde se encuentra el bosque de pino (Orozco-Hernández, Gutiérrez-Martínez & Delgado-Campos, 2009).

**Matorral de ericáceas.** Se compone por plantas que pertenecen a la familia Ericaceae, estas especies son clasificadas como chaparral de acuerdo con INEGI (2005), principalmente por manzanita (*Arctostaphylos pungens*) que conforman una aso-

ciación con encinos bajos (*Quercus*) y otras especies arbustivas leñosas (Randell-Badillo, 2008). En general se encuentran en zonas de clima templado subhúmedo semicálidos, templados y semifríos, con grados de humedad semiáridos. La presencia de este tipo de vegetación arbustiva densa se asocia con el clima, pero el fuego puede determinar su transición (Challenger & Soberón, 2008; Randell-Badillo, 2008).

#### *Problemática del hábitat de los líquenes*

Los bosques poseen una extensa contribución ecológica, económica e incluso cultural. Su importancia ecológica radica en la conservación y formación de suelo, influyen en el clima al regular los niveles de gases invernadero, absorber el dióxido de carbono y liberar oxígeno. La densidad forestal favorece en la formación de microclimas y favorecen la captación de agua, permitiendo la formación de mantos freáticos y cuencas que actúan como reservorios de

agua dulce (Granados-Sánchez, López-Ríos & Hernández-García, 2007).

Estos ecosistemas proveen y son explotados principalmente por los recursos maderables que proveen. Ante ello, la organización Global Forest Watch (2018) estima que del 2001 al 2018, se han reducido alrededor de 361 millones de hectáreas de cobertura vegetal a nivel mundial. En México, durante este mismo periodo, alrededor de 3.67 millones de hectáreas. Dentro del cual, se ha perdido entre el 50-67% de la superficie original de bosques templados, siendo los ecosistemas menos conservados en el país (Orozco-Hernández, Gutiérrez-Martínez & Delgado-Campos, 2009).

La deforestación no sustentable y la fragmentación son los principales factores que conllevan a la pérdida forestal y modificación de la cobertura y uso de suelo. Donde la extracción de productos en áreas forestales es superior a la capacidad de regeneración natural (FAO, 2006). La segunda, como consecuencia de la deforestación, genera pequeñas superficies o manchones relativamente intactos e inmersos en usos de suelo diferente a la cobertura original (Semarnat, 2016).

A lo largo de los años, ha existido desinterés en ecosistemas de bosques en México, causando la pérdida parcial o permanente de las especies que se encuentran en estos ecosistemas (Sánchez, Vega, Peters & Monroy-Vilchis, 2003). Por ello, es necesario la elaboración de programas de manejo forestal, para identificar factores clave para la conservación, producción sostenible y restauración, como lo son el agua y suelo, la biodiversidad, la cobertura forestal y la dinámica y variación natural de los ecosistemas (Jardel-Peláez, 2015). Sin embargo, es un proceso complejo que representa un alto costo y limitación de recursos (Geneletti, Orsi, Lanni, & Newton, 2011; Sánchez, Illoldi, Linaje, Fuller, & Sarkar, 2008; Razola, Rey, de la Montaña, & Cayuela, 2006), por ello se ha implementado el uso de organismos que ejerzan una respuesta en su composición y diversidad ante las modificaciones o cambios del ecosistema en que se encuentran, denominados indicadores ecológicos (Eswaran, Beinroth & Virmani, 2000).

#### *Relación de los líquenes epífitos en los bosques*

Además de desempeñar un papel importante en el ecosistema, tanto físico como biológico, son sensores naturales del entorno cambiante (McCune, 2000).

Se han utilizado como sistema de alerta para otra biota, que posteriormente sufriría estrés o su extinción debido a la mala gestión forestal y agrícola, desertificación, urbanización, industrialización y problemas derivados de la sobrepoblación (Benítez, Aragón, González, & Prieto, 2018; McCune, 2000; Nascimbene & Marini, 2015; Argón, Martínez, & García, 2012). Asimismo, la modificación y fragmentación los hábitats naturales conlleva a la reducción de las poblaciones y diversidad de especies de líquenes. Ciertos líquenes responden a microclimas, sustrato y condiciones ecológicas determinadas, pudiéndose utilizar como indicadores de la continuidad ecológica (Brunialti *et al.*, 2020; Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

Rasgos como el tipo de fotobionte, forma de crecimiento, estructura reproductiva y química están directamente relacionados con factores microclimáticos asociados con la estructura forestal (cobertura de doce y edad de los árboles) y factores abióticos como humedad, temperatura y disponibilidad de luz (Hurtado, Prieto, Aragón, Escudero, & Martínez, 2019; Li, Liu, & Li, 2013; Nash III, 2008; Marini, Nascimbene, & Nimis, 2011; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001). Asimismo, las comunidades de líquenes epífitos pueden responder a los cambios estructurales del bosque relacionados con la cobertura del dosel y el diámetro de los árboles. Implementándose como indicadores complementarios del nivel de perturbación del bosque y como medida para gestionar los bosques (McCune, 2000).

Ciertos líquenes están restringidos a bosques que no han sido perturbados durante periodos muy largos. Los bosques viejos contribuyen a un amortiguamiento microclimático que proporciona un régimen de humedad uniforme no presentes en bosques jóvenes. Esta variedad de hábitats únicos y condiciones microclimáticas promueve una mayor diversidad de especies (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001). Debido a que algunos líquenes están restringidos a regiones geográficas o tipo de bosque específico, es necesario analizar las especies indicadores para los diferentes tipos de vegetación e incluso específicas de las especies de árbol (Lira, Suija, & Juriado, 2020; Zárate-Arias, Moreno-Palacios, & Torres-Benítez, 2019; Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).



## CONCLUSIÓN

Los líquenes son organismos que gracias a su fisiología e interacciones con otros organismos influyen en las propiedades de los hábitats y ecosistemas en que se desarrollan. El hábito de estos organismos está relacionado con la textura, la capacidad de absorción y retención de la humedad, y la química del sustrato. Se han utilizado ampliamente en la medicina tradicional y artesanías por las comunidades aldeanas, así como en la industria química debido a la gran variedad de sustancias liquénicas. Sin embargo, aún los estudios son escasos, tanto de su ecología como de su fisiología, etnología y su uso potencial, así como el implemento de estos organismos como indicadores y monitores ecológicos de los ecosistemas forestales, o bien, en la industria química debido a la diversidad de sustancias liquénicas, de ahí la importancia de su conocimientos para futuras investigaciones aplicadas. Por tanto, la presencia de los líquenes epifitos en los ecosistemas forestales del estado de Chihuahua es relevante, debido a que ejercen una respuesta en diversidad y composición ante los cambios estructurales de los bosques.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANPA, I. (2001). *Indice di Biodiversità Lichenica: manuale*. ANPA, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma.
- Argón, G., Martínez, I., & García, A. (2012). Loss of epiphytic diversity along a latitudinal gradient in southern Europe. *Science of The Total Environment*, 426, 188-195.
- Barreno-Rodríguez, E. & Pérez-Ortega, S. (2003). *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos*. Asturias, España: KRK ediciones.
- Belnap, J. & Gillette, D. A. (1998). Vulnerability of desert biological soil crust to wind erosion: the influences of crust development, soil texture and disturbance. *Journal of Arid Environments*, 39, 133-142.
- Belnap, J. (2002). Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah, USA. *Biol Fertl Soils*, 35, 128-135.
- Belnap, J., Phillips, S. L. & Miller, M. E. (2004). Response of desert biological soil crusts to alterations in precipitation frequency. *Oecologia*, 306-316.
- Benedict, J. B., & Nash III, T. H. (1990). Radial growth and habitat selection by morphologically similar chemotypes of *Xanthoparmelia*. *Bryologist*, 93, 319-327.
- Benítez, A., Aragón, G., González, Y., & 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.
- Boonpeng, C., Polyam, W., Sriviboon, C., Sangiamdee, D., Wathana, S., Nimis, P. L., & Boonpragob, K. (2017). Airborne trace elements near a petrochemical industrial complex in Thailand assessed by the lichen *Parmotrema tinctorum* (Despr. ex Nyl.) Hale. *Atmos Pollut Res*, 8(1), 101-113.
- Bosch-Roig, P., Barca, D., Mirocle-Crisci, G. & Lalli, C. (2017). Estudio sobre los líquenes como bioindicadores del contenido de metales pesados en el entorno de la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia. *Estudos de conservação e restauro* (2), 22-36.
- Boustie, J., & Grube, M. (2005). Lichens-a promising source of bioactive secondary metabolites. *Plant Genetic Resources*, 3(2), 273-287.
- Brodo, I. M., Durán-Sharnoff, S. & Sharnoff S. (2001). *Lichens of North América* (Primera ed.). Canadá: Yale University Press.
- Brunialti, G., Frati, L., Calderisi, M., Giorgolo, F., Bagella, S., Giada, B., Cutini, A. (2020). Epiphytic lichen diversity and sustainable forest management criteria and indicators: A multivariate and modelling approach in coppice forests of Italy. *Ecological Indicators*, 115.
- Calcott, M. J., Ackerley, D. F., Knight, A., Keyzers, R. A., & Owen, J. G. (2018). Secondary metabolism in the lichen symbiosis. *Chemical Society Reviews*, 47, 1730-1760.
- Cardinale, M., Puglia, A. M., & Grube, M. (2006). Molecular analysis of lichen-associated bacterial communities. *FEMS Microbiology Ecology*, 57(3), 484-495.
- Castillo-Monroy, A. P. & Benítez, Á. (2015). Patrones de abundancia y riqueza de componentes de la costra biológica del suelo en un matorral seco del sur de Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*. 7(1), 88-97.
- Castillo-Moroy, A. P., Bowker, M. A., Maestre, F. T., Rodríguez-Echeverría, S., Martínez, I., Barraza-Zepeda, C. E., & Escolar, C. (2011). Relationships between biological soil crusts, bacterial diversity and abundance, and ecosystem functioning: Insights from a semi-arid Mediterranean environment. *Journal of Vegetation Science*, 22, 165-174.



- Chacón-Ramos, V., Quiñónez-Martínez, M., & Álvarez-Barajas, I. L. (2014). Líquenes. En C. N. (CONABIO), *La biodiversidad en Chihuahua. Estudio de Estado* (págs. 421-425). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Challenger, A. & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. En Conabio, *Conocimiento actual de la biodiversidad*. Capital natural de México. P. 87-108.
- Chaparro-de Valencia, M. & Aguirre-Ceballos, J. (2002). *Hongos liquenizados*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2013). Biodiversidad mexicana. México. Recuperado el 01 de octubre de 2019, de <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueTemplado.html>
- Devkota, S., Chaudhary, R. P., Werth, S. & Sheidegger, C. (2017). Indigenous knowledge and use of lichens by the lichenophilic communities of the Nepal Himalaya. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13(15), 1-10.
- Eisenreich, W., Knispel, N., & Beck, A. (2011). Advanced methods for the study of the chemistry and the metabolism of lichens. *Phytochem Rev*, 10(3), 445.
- Escárpita-Herrera, A. (2001). Situación actual de los bosques de Chihuahua. *Madera y Bosques*, 3-18.
- Eswaran H. Beinroth, F. H., & Virmani, S. M. (2000) Resource management domains: a biophysical unit for assessing and monitoring land quality. *Agriculture, ecosystems & environment*, 81(2), 155-162
- FAO. (2006). *Estudio de tendencias y perspectivas el sector forestal en América Latina al año 2020*. Informe Nacional México. México: FAO.
- Fontecha, A. & Burgaz, A. R. (2017). Uso de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire: estado de la Ciudad Universitaria (Madrid, España). *Botánica Complutensis*, 42, 57-68.
- Garibotti, I. A., & Villalba, R. (2007). *Técnicas de liquenometría basadas en Rhizocarpon subgénero Rhizocarpon para datar depósitos glaciares en los Andes patagónicos*. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. Argentina: Boletín geográfico.
- Gayathri, D., & Swamy, C. T. (2012). Lichens: a novel and potential source as antimicrobials for human use. *Journal of Phytology*, 4(1), 38-43.
- Geneletti, D., Orsi, F., Lanni, E., & Newton, C. (2011). *Identificación de áreas prioritarias para la restauración de bosques secos*. Madrid, España: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas.
- Global Forest Watch. (2018). Global Forest Watch. Obtenido de: <https://www.globalforestwatch.org/> Ultimo acceso: 10 de noviembre de 2019
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F. & Hernández-García, M. A. (2007). Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(1), 67-83.
- Grube, M., & Hawksworth, D. L. (2007). Trouble with lichen: the re-evaluation and re-interpretation of thallus form and fruit body types in the molecular era. *Mycological research*, 111(9), 1116-1132.
- Hawksworth, D. L., & Lücking, R. (2017). Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million Species. *Microbiology Spectrum*, 1-17.
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T. & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medioambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22(2), 71-82.
- Herrera Campos, M. D., Lücking, R., Pérez, R. E., Miranda González, R., Sánchez, N., Barcenas Peña, A., Carriozosa A., Zambrano A., Ryan B. D. & Nash III, T. H. (2014). Biodiversidad de líquenes en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 82-99.
- Honegger, R. (2001). The Symbiotic Phenotype of Lichen-Forming Ascomycetes. En: *The Mycota IX. Fungal Associations*. Hock B. (ed.). Springer.
- Hurtado, P., Prieto, M., Aragón, G., Escudero, A., & Martínez, I. (2019). Critical predictors of functional, phylogenetic, and taxonomic diversity are geographically structured in lichen epiphytic communities. *Journal of Ecology*, 107(5), 2303-2316.
- Illana-Esteban, C. (2009). Líquenes comestibles. *Bol. Soc. Micol.*, 33, 273-282
- Illana-Esteban, C. (2012). Líquenes usados en medicina tradicional. *Bol. Soc. Micol*, 36, 163-174.
- INEGI. (2005). Guía para la interpretación de la cartografía, uso del suelo y vegetación. Obtenido de INEGI: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231798/702825231798\\_1.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231798/702825231798_1.pdf) Ultimo acceso el 22 de octubre de 2020.
- Jardel-Peláez, E. J. (2015). Criterios para la conservación de la biodiversidad en los programas de

- manejo forestal. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Comisión Nacional Forestal. Zapolan, Jalisco, México.
- Kelleghan, D. B., Hayes, E. T., Everard, M. & Curran, T. P. (2019). Mapping ammonia risk on sensitive habitats in Ireland. *Elsevier*, 649, 1580-1589.
- Kirk P. M., Cannon P. F., Minter D. W. & Stalpers J. A. (2008). *Dictionary of the fungi*, 10th ed. Oxford, UK, CABI, Europe.
- Kosanic, M. & Rankovic, B. (2019). Lichen secondary metabolites as potential antibiotic agents. In *Lichen Secondary Metabolites*. Springer, Cham. Pp. 99-127
- Kyung-Hwa, L., Se-Jeong, O., Shin, J., Kyung-Keun, K., Jae-Hyuk, L., & Kyung-Sub, M. (2017). Usnic acid, lichen secondary metabolite, inhibits glioblastoma progression through the reduction of epithelial-mesenchymal transition and glioma stemness factors. *Experimental and Molecular Therapeutics*, 77(13), 5113.
- Lebgue-Keleng, T., Soto-Cruz, R., Quintana Martínez, G., Quiñonez-Martínez, M., & Viramontes Olivas, Ó. (2014). Bosques templados o bosques de coníferas. En Conabio, *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*. México. Pp. 410-415.
- Li, S., Liu, W. Y., & Li, D. W. (2013). Bole epiphytic lichens as potential indicators of environmental change in subtropical forest ecosystems in southwest China. *Ecological Indicators*, 93-104.
- Liba, C. M., Ferrara, F., Fantinatti-Garboggini, F., Albuquerque, R. C., Pavan, C., Ramos, P. L., . . . Barbosa, C. R. (2006). Nitrogen-fixing chemorganotrophic bacteria isolated from cyanobacteria-deprived lichens and their ability to solubilize phosphate and to release amino acids and phytohormones. *Journal of Applied Microbiology*, 101(5), 1076-1086.
- Lidén, M., Jonsson Cabrajic, A. V., Ottosson-Löfvenius, M., Palmqvist, K., & Lundmark, T. (2010). Species-specific activation time-lags can explain habitat restrictions in hydrophilic lichens. *Plant, Cell Environ*, 33(5), 851-862.
- Lira, J., Suija, A., & Juriado, I. (2020). Habitat and host specificity of epiphytic lichens in a rural landscape: cultural heritage habitats as refugia. *Biodiversity and Conservation*, 29, 2141-2160.
- Lutzoni, F., & Miadilikowska, J. (2009). *Lichens*. *Current Biology*, 19(13), 502-503. doi: 10.1016/j.cub.2009.04.034.
- Marini, L., Nascimbene, J., & Nimis, P. L. (2011). Large-scale patterns of epiphytic lichen species richness: Photobiont-dependent response to climate and forest structure. *Science of The Total Environment*, 409(20), 4381-4386.
- McCune, B. (2000). Lichen communities as indicators of forest health. *The Bryologist*, 103(2), 353-356.
- Mendoza Aguilar, D. O. (2014). *Costras biológicas del suelo en ecosistemas semiáridos: composición, rendimiento fisiológico y efecto en la germinación de plantas*. (Tesis doctoral). Obtenido de: Universidad Autónoma de Nuevo León. Obtenido de: <http://eprints.uanl.mx/4068/1/1080253577.pdf> Ultima acceso el 10 de marzo de 2020.
- Muggia, L., & Grube, M. (2018). Fungal Diversity in Lichens: From Extremotolerance to Interactions with Algae. *Life*, 8, 15.
- Nascimbene, J., & Marini, L. (2015). Epiphytic lichen diversity along elevational gradients: biological traits reveal a complex response to water and energy. *Journal of Biogeography*, 42(7), 1222-1232.
- Nash III, T. H. (2008). *Lichen Biology*. Arizona: Cambridge University Press
- Nash III, T. H., Ryan, B., Gries, C., Bungartz, F. & Diederich, P. (2002). *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region* (Vol. 1). Arizona: Arizona State University, Tempe.
- Orozco-Hernández, M. E., Gutiérrez-Martínez, G. & Delgado-Campos, J. (2009). Desarrollo rural y deterioro del bosque. Región interestatal del Alto Lerma. *Economía, Sociedad y Territorio*, 9(30), 435-472.
- Pakeman, R. J., Brooker, R. W., O'Brien, D. & Genney, D. (2019). Using species records and ecological attributes of bryophytes to develop an ecosystem health indicator. *Elsevier*, 104, 127-136.
- Proctor, C. F., & Tuba, Z. (2002). Poikilohydry and homoihydry: antithesis or spectrum of possibilities? *New Phytol*, 156(3), 327-349.
- Purvis, W. (2000). *Lichens*. London: Natural History Museum.
- Randell-Badillo, J. (2008). *Ordenamiento ecológico territorial regional en los municipios donde se ubica el Parque Nacional Los Mármoles*. México, D.F.: Consejo Estatal de Ecología.
- Rankovic, B. & Kosanic M. (2015). Future directions in the study of pharmaceutical potential of lichens. En B. Rankovic (Ed.), *Lichen Secondary Metabolites* (pp. 179-202).
- Rather, L. J., Jameel, S., Ganie, S. A., & Bhat, K. A. (2018). Lichen derived natural colorants: history, extraction and applications. En M. Yusuf (Ed.),

*Handbook of renewable materials for coloration and finishing* (pág. 103). USA: Scrivener Publishing.

Razola, I., Rey, J. M., de la Montaña, E., & Cayuela, L. (2006). Selección de áreas relevantes para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 15(2), 34-41.

Reyes-Gómez, V. M., & Núñez-López, D. (2014). Ecosistemas y uso de suelo. En C. N. (CONABIO), *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado* (págs. 51-54). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Rodríguez, H. (2019). Bosques: ecosistemas imprescindibles para el planeta. *National Geographic*. Obtenido de: [https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/bosques-ecosistemas-imprescindibles-para-planeta\\_14041](https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/bosques-ecosistemas-imprescindibles-para-planeta_14041) Último acceso: 8 de noviembre de 2020.

Sánchez, C., Illoldi, P., Linaje, M., Fuller, T., & Sarkar, S. (2008). ¿Por qué hay un costo en posponer la conservación de la diversidad biológica en México? *Biodiversidad*, 76, 7-12.

Sánchez, Ó., Vega, E., Peters, E., & Monroy-Vilchis, O. (2003). *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. México: Instituto Nacional de Ecología.

Sancho, L. G., Pintado, A. & Allan-Green, T. G. (2007). Antarctic studies show lichens to be excellent biomonitors of climate change. *Diversity*, 11(42), 1-14.

Seaward, R. D. (2008). Environmental role of lichens. En T. H. Nash III (Ed.), *Lichen Biology* (págs. 274-298). Cambridge: Cambridge University Press.

SEMARNAT. (2016). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde*. Edición 2015. México: SEMARNAT.

Spribille, T., Tuovinen, V., Resl, P., Vanderpool, D., Wolinski, H., Aime, M. C., ... McCutcheon, J. P. (2016). Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. *Science*, 353(6298), 488-492.

Tripp, E. A., Lendemer, J. C. & McCall, C. M. (2019). Habitat quality and disturbance drive lichen species richness in a temperate biodiversity hotspot. *Oecologia*, 190, 445-457.

Vondrák, J., Urbanavichus, G., Palice, Z., Malíček, J., Urbanavichene, I., Kubásek, J. & Ellis, C. (2019). The epiphytic lichen biota of Caucasian virgin forests: a comparator for European conservation. *Biodiversity and Conservation*, 28, 3257-3276.

Will-Wolf, S., Hawksworth, D. I., Mccune B., Rosentreter R. & Sipman H. J. (2011). Lichenized Fungi. En: Mueller, G. M. *Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods*. Elsevier. Pp. 173-194.

Zárate-Arias, N., Moreno-Palacios, M., & Torres-Benítez, A. (2019). Diversidad, especificidad de forofitos y preferencias microambientales de líquenes cortícolas en un bosque subandino de la región Centro de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(169), 737-745.