

## ANÁLISIS DE LA ACCIÓN ALTERANTE DE LOS LÍQUENES SOBRE MATERIALES PÉTREOS DE EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE TOLUCA

Ricardo Victoria León<sup>1</sup>

*Facultad de Química/UAEMéx*

René Sánchez Vértiz Ruiz<sup>2</sup>

*Facultad de Arquitectura y Diseño/UAEMéx*

### Introducción

Objetivo. Determinar la actividad de los líquenes epilíticos detectados en la ciudad de Toluca, Estado de México, sobre el material pétreo en donde se han asentado, independientemente del estilo arquitectónico o uso que se le dé al material pétreo, sea una fachada, un monumento o una escultura y del tipo de material empleado.

Realizar el Análisis de la Acción Alterante de los Líquenes sobre Materiales Pétreos de Edificios de Toluca, es un proyecto de investigación que busca divulgar la existencia de las patologías de origen liquénico, ya que en esta primera etapa, si bien ha sido un trabajo de intervención cualitativo transversal, se han encontrado líquenes en donde se esperaba que no los hubiera, ni en las variedades encontradas.

Este trabajo posiblemente sea el primero en su tipo que se realiza en Toluca, Estado de México, cuya localización se señala en la Figura 1, especialmente su Centro Histórico, con respecto al estudio de la acción alterante resultante de una patología biológica, en este caso los líquenes epilíticos y endolíticos. Es un trabajo de investigación cualitativa fundamentada en la evidencia fotográfica del sitio. De ahí la propuesta de establecer la causa – efecto y consecuencia. Toluca se encuentra al sur poniente de la Ciudad de México, se caracteriza por su clima frío y por estar a 2 650 de altitud. El Volcán Xinantecatl, mejor conocido como el nevado de Toluca es la imagen que da identidad a la región.



Figura 1. Ubicación de la ciudad de Toluca, Estado de México

<sup>1</sup> e-mail: [rvictoria11@hotmail.com](mailto:rvictoria11@hotmail.com)

<sup>2</sup> e-mail: [rlsvr@yahoo.com.mx](mailto:rlsvr@yahoo.com.mx)

A los líquenes se les ha señalado como perniciosos y hasta destructivos cuando en realidad tienen un abanico de funciones, desde las positivas hasta las negativas, todo depende de su distribución y población. Como se muestra en la Fotografía No.1 de los líquenes que abundan en el Cerro de Coatepec, Campus Universitario de la UAEMéx.

Toluca, actual capital del Estado de México, está ubicada al poniente de la Ciudad de México y se ha caracterizado por encontrarse a una altitud de 2,650 msnm, con un clima frío en promedio, cercana a al volcán Xinantecatl, mejor conocido como el Nevado de Toluca. La cercanía a este volcán ha conformado la orografía local e inclusive la geología y la petrología correspondiente, ya que la ciudad está sobre una toba andesítica y se encuentra fundamentalmente basalto negro y basalto espumoso, denominado tezontle. Esto es importante señalarlo ya que en el lugar solamente se encuentran rocas de uso estructural; las rocas de uso ornamental provienen de otras regiones del Estado de México.



Fotografía 1. Líquenes del Cerro de Coatepec en Toluca

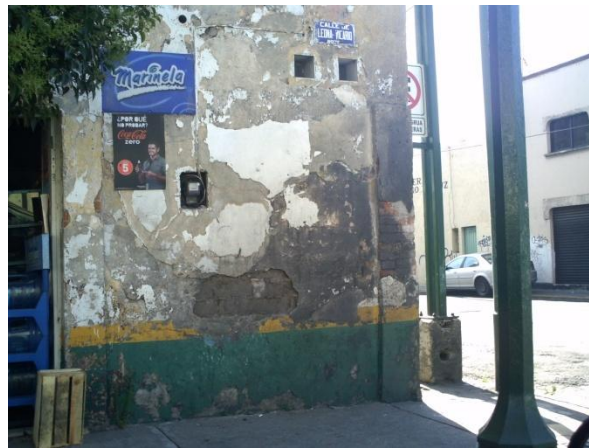
Estos materiales son duros para ser labrados, por lo que en la mayoría de los edificios que han empleado estos materiales, se han utilizado para preparar los cimientos, para paredes laterales y para la construcción de bardas. El material de construcción predominante en las casas y edificios a partir de la fundación de la ciudad en el siglo XVII, por los Frailes Franciscanos, era el adobe y la piedra volcánica. Desde luego que había importación de materiales pétreos para la manufactura de fachadas y monumentos. Al igual que la ciudad de Toluca fue evolucionando, también lo fueron los materiales de construcción, hasta llegar a la época actual, donde el uso de morteros, concreto y tabiques cocidos ha ido prevaleciendo.

Para la mayoría de los habitantes de Toluca, solo se asocia el daño superficial de los edificios como “la suciedad causada por la contaminación” o simplemente la acumulación de polvo. Cuando se observa otra patología, por ejemplo, la humedad simplemente se asocia al envejecimiento de los edificios. Hablar de alteraciones y patologías queda restringido a un grupo cerrado como pueden ser los profesionales de la restauración responsables de la conservación del Patrimonio Arquitectónico.

En Toluca no pueden esperarse grandes obras que incluyan rocas ornamentales porque simplemente no las hay, de ahí que solamente existan las manufacturas tradicionales de artefactos indígenas como los metates y los molcajetes, algunos ídolos decorativos o figuras sin mayor trascendencia que artesanías. La fabricación de tabiques de arcilla cocidos sí tuvo mayor desarrollo. Las estatuas y elementos decorativos en las fachadas de algunas viejas casonas están realizadas en materiales pétreos que provienen de otras zonas del

Estado de México geológicamente hablando, donde se comienzan a encontrar rocas de origen diferente al ígneo.

Todavía en nuestros días es común encontrar paredes y muros hechos a base de adobe; en este material no se han encontrado líquenes, no así en los tabiques de arcilla cocida en donde sí se han llegado a encontrar líquenes del tipo *lecanora* y *caloplaca*. El liquen del tipo *xanthoria* se encuentra más en los tabiques que han sido recubiertos con algún tipo de mortero, donde se ha empleado el encalamiento como forma de pintar bardas o en pintura de exteriores soluble en agua.



Fotografía 2. Construcción antigua en la Ciudad de Toluca

## 1. Líquenes

Un liquen es una asociación simbiótica autosuficiente entre un hongo que le da cobertura, forma y color a unas colonias de algas minúsculas que viven en su delgado interior y que realizan la fotosíntesis los días de alta humedad ambiental alimentando a ambos; de esta manera los líquenes pueden vivir en ambientes en los que a un hongo o a un alga viviendo de forma separada les sería imposible. Como no tienen raíces, hojas o flores, toman el agua y sus nutrientes fundamentalmente a partir de la atmósfera. Los líquenes tienen una alta tolerancia a circunstancias ambientales desfavorables, ya que en momentos de desecación, ya sea por el sol o por el viento, suspenden su actividad, la cual inician al recuperar el agua a través de la lluvia o del rocío que absorben. Se encuentran en casi todas partes como ya adelantamos, tapizando las superficies de las rocas, la corteza de troncos y ramas, los claros del suelo, los muros de hormigón, las tejas, e incluso el vidrio.

Los líquenes habitan sobre todo en aquellos ecosistemas extremos, es decir, en los desiertos cálidos y fríos, donde la competencia de las plantas superiores no existe. Pero también los podemos encontrar en nuestras latitudes sin ningún problema, siempre aparecen sobre los árboles (epífitos) o bien sobre las cortezas, (corticícolas), o sobre rocas, (saxícolas epilíticos), a condición de que haya una cierta iluminación. Su metabolismo y, por tanto, su crecimiento es muy lento: algunas especies de alta montaña solo crecen un par de milímetros al año.

Aunque los líquenes tienen requerimientos ecológicos mínimos, son muy sensibles a los cambios que pueden producirse en el ambiente, ya que no disponen ni de aparato excretor ni de mecanismos de defensa, ni pueden controlar su contenido de agua, por lo que son capaces de concentrar y acumular distintos compuestos (entre ellos también los contaminantes atmosféricos).

En su metabolismo, los líquenes crustosos epilíticos y endolíticos tienen la capacidad de producir ácido oxálico, sílvico, fúlvico y algunos otros más. El ácido oxálico es fundamental en los procesos de alteración de los materiales pétreos por su acción lixivante, el cual desmineraliza a las rocas. Los dos últimos son formadores de suelos, es decir, producirán lo necesario para que se puedan desarrollar vegetales superiores.

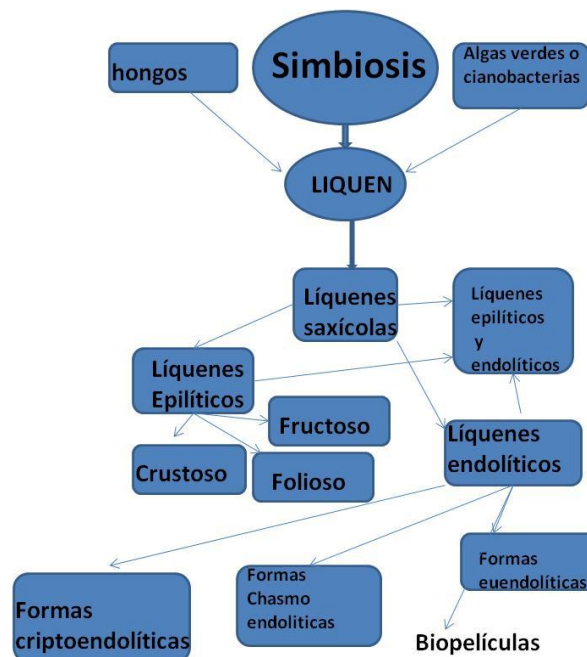


Figura 3. Mapa descriptivo de los líquenes

### 1.1 Efectos de la contaminación sobre los líquenes

Todas las sustancias arrojadas a la atmósfera como: metales pesados, el CO<sub>2</sub>, dióxidos de azufre, compuestos volátiles orgánicos procedentes de las actividades antropogénicas alteran gravemente a los líquenes.

El SO<sub>2</sub> es el principal contaminante gaseoso afectando en mayor medida al normal funcionamiento de estos organismos y es también el que se encuentra en mayor concentración y está más extendido. La respuesta de los líquenes frente al SO<sub>2</sub>, consiste en reducir la superficie de contacto con el agua y en volverse más pequeños e impermeables, afectando a la fotosíntesis y a su respiración. Además, inhiben la captación de CO<sub>2</sub>, alterando la composición de sus células, y perdiendo enseguida la respiración, con la consiguiente muerte.

### 1.2 Los líquenes como biomonitores ambientales

Los líquenes son indicativos de lo que se denominamos como Índice de Pureza Ambiental, que viene siendo el tipo de composición atmosférica que permite la supervivencia de especies vegetales y animales, además de indicarnos que es un ambiente que no es agresivo para el patrimonio arquitectónico.

Existen líquenes más resistentes que otros, y que hay un par de especies que habitualmente y por su resistencia se usan para medir la contaminación ambiental:

- 0, 1 ó 2 especies de líquenes crustáceos como mucho: aire muy contaminado con riesgo para nuestra salud produciendo asma o alergias.



- De 3 a 6 especies: la contaminación es más llevadera, aunque tenemos que tener cuidado los días de poco viento y más concentración.
- Más de 7 especies aire limpio y poco contaminado.
- Más de 20 especies, árboles y piedras cuajados de toda clase de líquenes: aire limpio y puro ideal para nuestros pulmones.

Puede pensarse que mientras más especies de líquenes diferentes veamos cerca de nuestras casas, más sano estará el aire que respiramos. Desde luego si encontramos en la zona un árbol o muro cuajado de estos últimos podemos pensar que vivimos en un entorno poco o nada contaminado, ideal para nuestra salud. Por desgracia hay sitios en el interior de las grandes urbes donde no crece prácticamente ninguna especie, o como mucho una o dos.

Si bien para efectos de la contaminación atmosférica desde el punto de vista de la salud humana, esta situación no se aplica completamente a los materiales pétreos y a los procesos de meteorización correspondientes, es decir, las patologías.

En el área de preservación y restauración de materiales pétreos se determina el número de los mismos por metro cuadrado, su aspecto y su tamaño, deduciendo con ello la calidad del aire del lugar en que se encuentran.



Fotografía 3. Líquenes tipo Lecanora, Campus El Cerrillo UAEMéx

### ***1.3 Líquenes encontrados en la Ciudad de Toluca***

El término líquenes no es muy conocido como tal, aunque en la ciudad existen muchos líquenes epífitos, estos se asocian más al nombre de “musgos y heno” o al de alguna enfermedad de los árboles. Recientemente ha ido cambiando este criterio ya que se ha difundido que los líquenes son bioindicadores de la pureza ambiental. En cuanto a los líquenes cambia la situación, los más comunes son los de la variedad *lecanora muralis*, *caloplaca*, *xanthoria* y *verrucaria*, en el caso de los epilíticos; pero también se ha encontrado otras variedades de líquenes que se adaptan muy bien a las rocas ígneas de textura lisa, tersa y con poca porosidad, que también se puede pensar que corresponda a la formación de una pátina.



Fotografía 4. Líquenes Caloplaca y Xanthoria.  
Campus Coatepec UAEMéx



Fotografía 5. Liqueen Verrucaria.  
Colonia Morelos, Toluca



Fotografía 6. Liqueen Xanthoria sobre mortero Paseo Colón, Toluca

### 1.4 Colonización

Un método para caracterizar la durabilidad de un material es el estudio de su bioreceptividad. Bioreceptividad, un término introducido recientemente, es la aptitud de un material para ser colonizado (véase Figura 4) por uno o distintos grupos de organismos vivos. Colonización significa que el material debe cumplir las condiciones para albergar, desarrollar y multiplicar el organismo, y excluye la opacidad de un material para recibir organismos transeúntes o de manera fortuita.

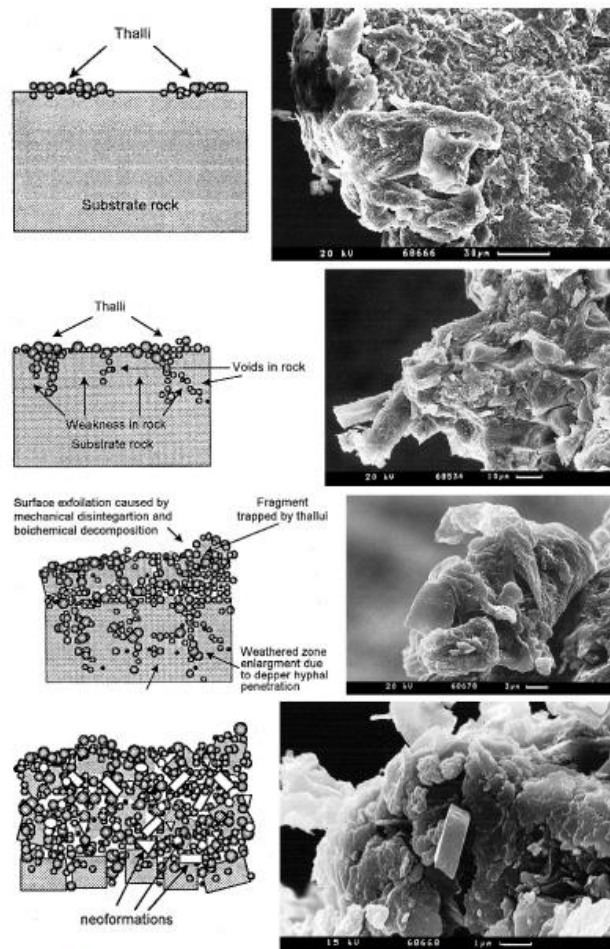


Fig. 3. Suggested sequence of the weathering effects of lichens on substrate rocks.

Figura 4. Colonización Liquéunica.

J. Chen et al. / *Catena* 39 (2000)

## 2. Metodología

El todo está relacionado con todas sus partes y además de depender de la cooperación ordenada y la interdependencia de sus partes, ejerce el control sobre ellos. En resumen, el enfoque sistémico del todo se da de tal manera que el sistema es más que la suma de sus partes (Figura 5).



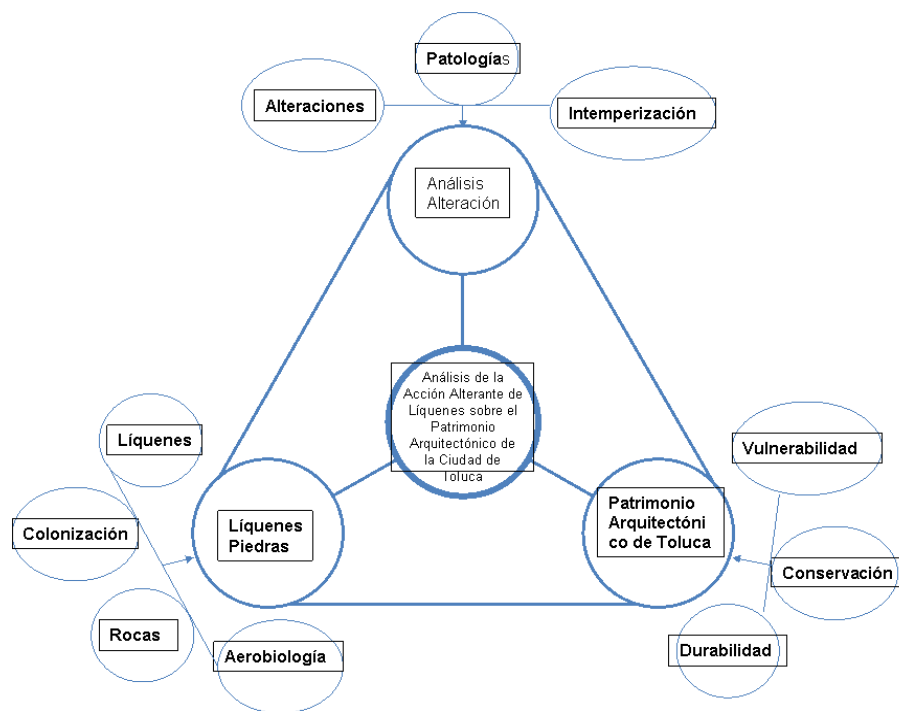


Figura 5. Sistema Complejo

Otro aspecto de los sistemas biológicos como sistemas complejos es que parecen evolucionar equilibrar las divergencias con las convergencias, al instalarse entre el orden y el caos, así como a llevar a cabo las tareas más complejas de adaptación, sin modificar su estructura fenotípica a la vez que evolucionan en el sentido de que pueden acumular variaciones genotípicas que en lo sucesivo resultan vitales.

En la evolución de los sistemas complejos, que se encuentran entre los límites de lo caótico y lo ordenado entendiendo la entropía del sistema, pueden influir fenómenos convergentes, principio fundamental de la homeostasis, lo que significa estabilidad ante los efectos perturbadores, un rasgo fundamental de éstos. Esto es, lo que podríamos interpretar como las técnicas de preservación de la vida. Los líquenes son considerados como organismos extremófilos. La vida nace, se hace y se organiza precisamente en las regiones caóticas, precisamente en zonas donde la transición entre distintas condiciones interaccionan, resultando siempre un cambio suave y gradual, evitando la posibilidad de transiciones bruscas que pueden desestabilizar o inclusive aniquilar al sistema.

Liquen es un ejemplo de colaboración entre dos reinos (fungi y monera), con un objetivo común, darse a sí mismo como alimento para otras plantas, los líquenes son los primeros que llegan y los últimos que se van. Se adhieren al material rupestre con una gran fuerza, se alimentan de los aerosoles gaseosos, compartiendo nutrientes, los cuales son fabricados por unos y asimilados por otros. Los líquenes son una simbiosis entre algas y hongos, su nutrientes son la humedad ambiental y los aerosoles gaseosos circundantes, además de la mineralización de la roca que se transforma en otro tipo de minerales para que se produzcan los nutrientes que promoverán la existencia de otras plantas más sencillas y entonces así ingresar a toda una cadena trófica. La primera parte del ciclo de vida de los líquenes contiene una semiótica poco entendida y asimilada por los seres humanos, la existencia de líquenes nos asegura que existen las condiciones mínimas para la subsistencia de vida, no necesariamente de organismos superiores. El posible daño que propician en los



materiales pétreos no es otra cosa que un aviso de que hemos dejado de cuidar a nuestro patrimonio y que por ello estamos permitiendo que el ciclo de los vegetales inferiores prolifere de manera natural para ellos, pero caótica y destructiva para nosotros.

Un aspecto poco mencionado, dentro de lo caótico de los sistemas en equilibrio, es el escenario posible que da origen a las condiciones actuales, conocido como el efecto mariposa. Esto es, hemos considerado a los líquenes a partir del momento en que se adhieren al sustrato pétreo y comienza su interacción; pero hasta el momento no hemos reflexionado sobre el mecanismo por medio del cual el líquen llega hasta el material pétreo.

La relación líquen – piedra es ancestral, cierto es que existe afinidad de los líquenes por determinadas materiales pétreos, algunos, por ejemplo son calcícolas, otros cuarcíticos; aún tenemos otra variante más, los líquenes endolíticos y sus subgrupos los chasmolíticos y los euendolíticos. Si bien los epilíticos están sobre la superficie del material pétreo, los endolíticos son sub superficiales y aprovechan cavidades, grietas y fisuras para encontrar su hábitat.

Por medio de algún mecanismo erosivo, el líquen fue desplazado de su hábitat original y lanzado al ambiente, a partir de aquí interviene la aerobiología y el fenómeno de transporte corresponde a la dinámica de los aerosoles viables. La fuente de emisión puede estar en una región geográfica del mundo y el sumidero encontrarse en otra, muy diferente y muy distante.

Una vez depositado el líquen epilítico, viene otro proceso interesante, que por el momento, es un evento que hemos observado pero aún no cuantificado. Comienza a dispersarse lentamente una sustancia, transparente inicialmente, que después polimeriza y puede tomar dos caminos: uno, convertirse en una pátina transparente, dura que se vuelve una capa protectora de la superficie, resistente a la intemperización posterior, pero que permite la presencia de puntos de nucleación líquénica y posteriormente el crecimiento, siendo un factor común, la presencia de círculos en donde se van desarrollando y formando la colonia.

Bajo otras condiciones ligeramente diferentes, ese mucílago puede penetrar en las fisuras sub superficiales y ahí comenzar su crecimiento y desarrollo. Esto a la larga, puede resultar perjudicial al tipo de roca al cual haya penetrado, ya que dependiendo de la cristalografía del sólido y su isotropía, pueden hacer un “corte” aprovechando los planos de deslizamiento; esto microscópicamente equivale a separar una capa del material pétreo desde adentro. La patología líquénica es un desconchamiento destructivo del material.

Lo apasionante de los líquenes, como se menciona en el texto, es entender el mensaje que nos están enviando. No es solamente en pensar al líquen como biomonitor ambiental, tampoco lo es pensar solamente en la acción alterante de una simple especie vegetal sobre una roca, un material pétreo y duro. La roca transformada en una pieza constituyente de la fachada de un edificio que forma parte del patrimonio, es una obra humana que ha sido hecha para la posteridad y la conciencia ética que nos dice si estamos proporcionando, o no, el ambiente adecuado lo representa el líquen. La no existencia de líquenes así como el exceso de líquenes sobre los materiales pétreos es indicativo de que algo en el entorno, en el ambiente, en el microclima no está bien. Eliminar a los líquenes, simplemente porque "manchan a la piedra" no es la respuesta, porque simplemente estamos eliminando una fuente de información valiosa. Manejar a los líquenes adecuadamente significa estar observando y cuantificando variables ambientales, ecológicas y geoquímicas con el objeto de modelar condiciones y así preservar el material pétreo.

### 3. Análisis de la acción alterante

En la ciudad de Toluca se ha delimitado un “Centro Histórico” por las avenidas de mayor circulación que circundan al lugar en donde está asentada la sede del Poder Ejecutivo del Estado, y que coincide en cercanía a los primeros asentamientos españoles en la población. Entonces en esta gran área existe una mezcla de estilos y épocas arquitectónicas muy diferentes. El patrimonio arquitectónico agrupa inmuebles que corresponden al Instituto Nacional de Antropología e Historia –siglo XIX hacia atrás- y al Instituto Nacional de Bellas Artes –siglo XX a la fecha-, existiendo una gran indefinición en tanto a los edificios que iniciaron su construcción en un siglo y fueron terminadas en otro, incluyendo remodelaciones.

Estudiar la alteración de un material pétreo causado por un organismo biológico suena muy frío y superfluo; sin embargo antes de emitir juicios de valor, debemos de aprender de ambos participantes, los líquenes y las rocas. Centraremos nuestra atención en los líquenes relacionados con los materiales pétreos de origen volcánico como el basalto compacto y el basalto espumoso conocido localmente como tezontle. Esto nos refiere solamente a los inmuebles del siglo XIX y anteriores, como la Iglesia de San Bernardino de Siena.

La alteración de la piedra es un proceso natural e irreversible. Debido a ello, toda edificación construida en piedra está condicionada a degradarse más ó menos rápidamente. En esta degradación, la cristalización de sales solubles en los materiales de edificación está considerada actualmente como uno de los mecanismos de alteración más generalizado y efectivo. Este es otro aspecto de nuestro estudio, normalmente se estudian las alteraciones y patologías como procesos de degradación de los materiales pétreos, nosotros intentamos entenderlo como un proceso de corrosión, que no necesariamente es el proceso electroquímico tradicional, que implica electrodos y electrolitos, sino el proceso de oxidación que se lleva a cabo en un medio acuoso, normalmente ácido al estar en contacto dos especies minerales formadoras de rocas y llevarse a cabo una lixiviación. Esto corresponde al ámbito de la cinética química, es decir, mecanismos y velocidad de reacción. Encontrar ácido oxálico u oxalatos de metales alcalino y alcalino térreos indican la presencia de los líquenes. Los oxalatos de calcio, pueden ser derivados de la actividad metabólica de varias especies de líquenes, sin que ello sea el único mecanismo formador.

El ambiente húmedo de la región y la desertificación aunado al tipo de cultivos que se realizan en el Valle de Toluca (se siembra fundamentalmente de maíz en terrenos de temporal), pueden ser las causas probables de emisión y transporte de aerosoles viables y no viables, por otra parte las actividades de la fauna natural existente en la ciudad y las actividades antropogénicas colaboran en el proceso de modificación del ambiente, y como resultante tener condiciones de corrosión ambiental.

Los antecedentes que se tienen en Toluca, es la existencia de líquenes crustosos epifíticos que funcionan como biomonitores de la pureza ambiental, propicia para el desarrollo de la vida vegetal y animal; este aspecto es un poco diferente a realizar determinaciones de contaminantes ambientales.. Estos líquenes inclusive pueden ser de la misma familia, pero la diferencia radica en que el sustrato para los epifíticos, normalmente es la celulosa de la madera y los epilíticos el sustrato es la piedra.

Los fenómenos de la naturaleza son constitucionalmente complejos y esta característica tiende a crecer al aumentar las relaciones entre los líquenes con las piedras, al generar nuevos niveles de realidad, tales percepciones exigen construir conocimientos con una dinámica que permita comprender dicha complejidad, coordinados por un nuevo

método que participe en ese conjunto de interacciones, es decir, entender al conjunto líquenes, materiales pétreos de construcción y ambiente como un sistema complejo.

Para realizar el análisis de la acción alterante hemos ido revisando diferentes variables como la semiótica, la durabilidad, la vulnerabilidad y la entropía de los edificios alterados, haciendo énfasis en la patología biológica de origen liquénico. No estamos particularizando estilos arquitectónicos ni especies liquénicas específicas; sí estamos considerando algunos materiales pétreos de la región que se emplearon en la fabricación de fachadas. Hemos tomado como referencia varias iglesias: San José El Ranchito (Fotografía 7) construida en 1892, con materiales pétreos locales, fundamentalmente tezontle, basalto negro y andesitas. La Iglesia está sobre una de las avenidas más transitadas de la ciudad.



Fotografía 7. Iglesia de San José El Ranchito.  
Padres Pasionistas, Toluca

El interés por conocer la historia de nuestra región desde el punto de vista de los materiales empleados en edificios, monumentos y esculturas, independientemente del estilo arquitectónico y de la etapa constructiva, es el origen de este trabajo. El estado actual de los materiales pétreos nos da una visión diferente del devenir histórico de nuestra región, de su desarrollo y de la conformación de los centros de concentración humana, ya sean urbanos, suburbanos y rurales.

El proceso de identificar materiales dañados, tiene que ser dinámico, ya que la conformación de la ciudad de Toluca está cambiando constantemente, ya sea por la destrucción de las edificaciones existentes o por la construcción indiscriminada de nuevos centros de población y la contaminación derivada de este proceso. Por ambiente debemos entender a un sistema complejo, en donde intervienen muchas variables, climáticas, tecnológicas, químicas, biológicas y sociales alrededor de los materiales pétreos empleados en la construcción del patrimonio artístico y cultural, en un contexto cronológico y espacial determinado

En realidad el Municipio de Toluca tiene diferentes regiones, colonias, barrios y pueblos, lo mismo puede decirse al respecto de su geografía física. Lo que sí es constante en la región son los materiales pétreos empleados en la construcción de edificios, monumentos y esculturas correspondientes a la disponibilidad de materiales pétreos existentes en la Cuenca del Balsas y las formaciones geológicas típicas de una zona volcánica, como lo es el volcán Nevado de Toluca. Las rocas más recientes de la región Valle de Toluca son ígneas de la época Plioceno-holoceno de la era cenozoica con una cantidad estimada entre 37 y 10 millones de años. Son rocas duras y de difícil labraje. Las

rocas correspondientes a los Municipios de Acambay y Aculco son más coloridas y de más fácil fábrica.

### 3.1. *Semiótica de los edificios alterados*

La superficie de los materiales pétreos va a estar sometida a procesos de alteración en donde se va a dañar al material y esto va a ser observable; además podremos establecer una historia de la enfermedad, en donde podremos describir el mecanismo de transformación como resultante de una acción antrópica, antes de describirlo como un proceso histórico del devenir natural de una sociedad y su Patrimonio Arquitectónico.

El deterioro de los materiales que constituyen un objeto cualquiera en el medio ambiente atmosférico, por ejemplo una obra de arte, es un proceso natural, progresivo e irreversible, que conduce inevitablemente a la destrucción del material pétreo. Esto es debido a la tendencia natural de las sustancias a equilibrarse (hablando en términos fisico-químicos) con el medio ambiente en que se encuentran, lo cual implica que se disparen procesos de transformación, que denominamos procesos de deterioro, que operan con mayor o menor velocidad. Para evaluar los procesos de alteración, hay que tener en cuenta las propiedades del ambiente. Este se caracteriza por:

- La presencia de agua en sus tres estados de agregación (sólida, líquida y gaseosa)
- Condiciones ambientales dinámicas, que facilitan el aerotransporte rápido de materia.

Estas consideraciones pueden aplicarse por igual a las rocas que afloran de forma natural en la superficie terrestre como a las localizadas en monumentos. Sin embargo, en estas últimas hay que tener en cuenta además el efecto acelerador que sobre el deterioro de las rocas tienen las condiciones atmosféricas contaminadas de áreas urbanas e industriales. Otra consideración particular aplicable a los materiales pétreos en los monumentos es la relacionada con la estabilidad estructural de los mismos.

Todas estas consideraciones llevan a concluir que el deterioro de los materiales ocurre de forma rápida. Este proceso de deterioro hay que entenderlo como dinámico, esto es, su evolución depende de muchos factores cambiantes en el tiempo. Así, puede considerarse que la alteración del material que será utilizado como pieza de construcción u ornamentación comienza desde el momento mismo de su extracción en la cantera. Los mecanismos de extracción, manipulación, transporte y labrado ya pueden introducir modificaciones de las características originales de la roca, tales como microfisuración superficial o global de los bloques. Al mismo tiempo, los factores ambientales, como lluvia, cambios diarios de temperatura, etc., comienzan a actuar en la misma cantera, y continuarán una vez localizado el material en la obra. Con el paso del tiempo, los diferentes factores ambientales adquieren mayor importancia, lo que implica que la intensidad de los distintos procesos de deterioro (controlados por estos factores ambientales) también variará con el tiempo. Así, es normal que pueda predominar uno de estos procesos, o una combinación determinada de los mismos, en distintos estadios de la historia del edificio.

El deterioro de una construcción o de los materiales que la componen es, muchas veces, un proceso natural e inevitable, ya que los materiales resultantes de procesos tecnológicos, como por ejemplo el hierro, evolucionan hacia formas más estables. Desde el punto de vista de su utilización, el principal problema es la velocidad de deterioro, ya que para que su empleo resulte económicamente viable los tiempos de alteración que afecten la seguridad y/o la funcionalidad de la construcción, deben ser mayores que la vida útil estimada. .



### 3.2. Vulnerabilidad

Siendo la vulnerabilidad, la probabilidad que tiene un bien inmueble de sufrir alteraciones y la forma en la que se encuentra preparado para resistir a cualquier agente alterante. Al material pétreo empleado en la construcción y a los líquenes asociados vamos a considerarlos como una unidad, aunque debe de quedar claro que son entes individuales. Puntualizamos esta situación ya que la piedra es el hábitat natural de los líquenes, a diferencia de otras alteraciones cuyas patologías son claramente destructivas.

Después de haber observado diferentes inmuebles de la ciudad de Toluca, encontramos un cierto patrón de repetición en cuanto al deterioro encontrado y que se ejemplifica a través de diferentes fotografías tomadas en el Centro Histórico, podemos establecer una clasificación propia, que se propone estando en el contexto de nuestro estudio, donde establecemos una clasificación de la vulnerabilidad. Al analizar la Figura 6 se puede determinar que la vulnerabilidad intrínseca, es poco lo que podemos hacer para controlar los agentes alterantes, ya que no podemos cambiar la composición química de la piedra “in situ”, la calidad del ambiente y la intemperización son otros factores que no podemos controlar. La vulnerabilidad extrínseca representa factores que si se pueden controlar en un momento dado o por lo menos tomar las acciones preventivas para mitigar la vulnerabilidad

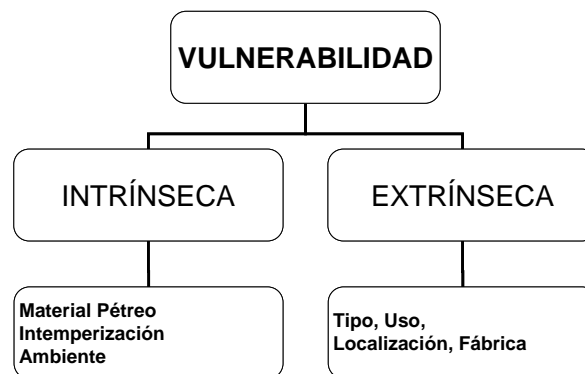
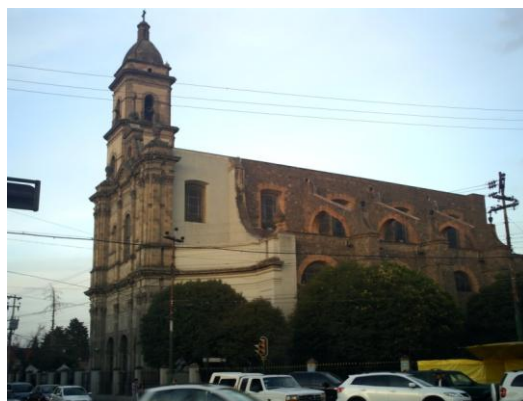


Figura 6. Vulnerabilidad.



Fotografía 8. Iglesia de San José El Ranchito. Toluca

La Iglesia de San José El Ranchito, es un edificación icónica de Toluca, construida en tres etapas, por ello encontramos materiales diferentes. Mientras que en el basalto espumoso y el tezontle se han formado pátinas, la fachada que tiene otro tipo de piedras tipo cantera rosa, encontramos que en las partes más vulnerables se ha ido colonizando de líquenes. Obsérvese en la Fotografía 9: dos tipos de líquenes y otras dos patologías biológicas más, heces fecales de aves y humedad descendente.



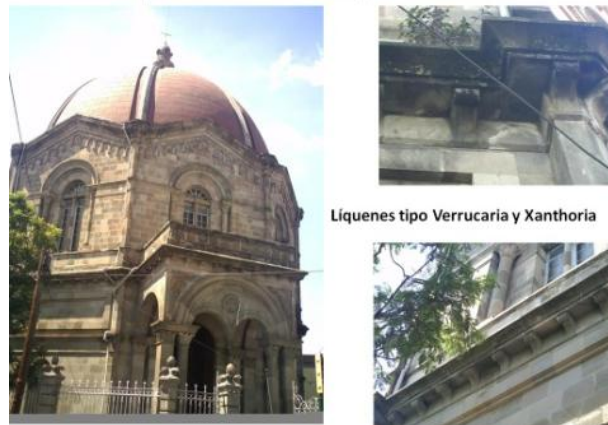
Fotografía 9. Aspecto de la fachada de la Iglesia de San José El Ranchito. Toluca

### 3.3. Durabilidad

La durabilidad de la piedra la vamos a establecer desde el momento en que ha sido labrada hasta el punto en donde comienza el proceso de desmineralización y ya no tiene utilidad estructural ni estética. Un material pétreo está vulnerable cuando una patología es ostensiblemente visible y está sometida a agentes estresantes que sobrepasan su resistencia química. Esto sucede cuando por los efectos de la intemperización de su superficie, se forman otros minerales diferentes a los constituyentes iniciales de los materiales pétreos (Fotografía 10). La Capilla de Los Dolores localizada en el Centro Histórico de Toluca es un ejemplo de ataque a la durabilidad de los materiales pétreos.

Aunque es el mismo material no es lo mismo una piedra empleada para la construcción –material pétreo– que una roca que se extrae de una cantera. La fábrica es muy importante; desde el punto de vista de materiales la anisotropía es muy importante, de lo contrario obtendríamos una variedad de colores de las piedras que se encuentran en la fachada, que en ocasiones es estético pero que en otros momentos denota descuido de los constructores.

Además de la caracterización petrográfica y geoquímica, la determinación de las propiedades petrofísicas de los materiales, aporta una información muy importante para conocer las causas de su deterioro y definir su calidad y durabilidad ante diferentes ambientes. Ejemplos destacables de los materiales pétreos estudiados son los granitos, pizarras y rocas carbónicas que configuran el sustrato geológico común en las ciudades mexicanas. Se ha demostrado la influencia que tiene la anisotropía en el comportamiento hídrico de los materiales pétreos y en su durabilidad frente a diferentes agentes de deterioro.



Fotografía 10. Capilla de Los Dolores. Toluca

### 3.4 Entropía

La acción que llevan a cabo los líquenes sobre la superficie de los materiales pétreos, consiste en perforar la roca a través de un proceso de lixiviación química, en donde se van formando hoquedades para que el líquen pueda adherirse. Fundamentalmente es el ácido oxálico con gran propiedad quelante y el ácido usínico, principalmente. Esta alteración superficial alcanza unas cuantas micras de profundidad, esto en los líquenes epilíticos; en los endolíticos la situación no es muy diferente, lo que sí es que se aprovechan fisuras y otras imperfecciones superficiales (Fotografía 11).



Fotografía 11. Destrucción de la fábrica de la Capilla de los Dolores. Toluca

Con todo propósito hemos mencionado “acción que llevan a cabo los líquenes”, no hemos indicado si es una alteración destructiva o protectora. En este caso y a reserva de desarrollar trabajo de investigación posterior, consideraremos hacer una analogía con los Diagramas de Pourbaix aplicado a la corrosión de materiales pétreos, en donde tenemos varios campos. Lo que si podemos afirmar con una gran aproximación es que los líquenes actúan en su acción alterante como modificadores de la velocidad del proceso de destrucción. Como se presenta en la Figura 7. en la cual hemos adecuado el tradicional Diagrama de Pourbaix para la corrosión de los metales en una situación equivalente en los materiales pétreos.

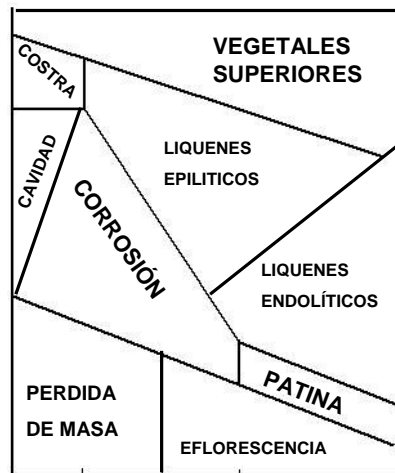


Figura 7. Diagrama de Pourbaix modificado (Propuesta de los autores)

Los líquenes presentan una gran tensión superficial, ello significa que el agua no va a poder mojar la superficie del lugar en donde este adherido el liquen. En otros momentos, el liquen no permite una evaporación de agua demasiado rápida, manteniéndose el agua necesaria para la cohesión, preservando la constancia estructural de la piedra. En otros momentos, los líquenes forman una pátina adherente que no permite que otra patología penetre. La corrosión surge cuando existe una sobre población múltiple asociada a otras patologías.

En nuestro contexto y en el marco de nuestro estudio cualitativo fundamentado en la observación de los líquenes y los materiales pétreos existentes en Toluca y observando la estrecha relación de estos dos componentes vamos a considerar a los líquenes-piedras-ambiente como un sistema complejo en donde existe una fuerte dependencia de líquenes y piedras con el ambiente.

La entropía en su interpretación termodinámica tradicional nos habla de una medida del orden o del desorden de un sistema y la energía asociada a ello y el sentido en el que se va a desplazar el equilibrio. Además nos indica que en todo proceso químico se tienen residuos.

Los procesos de alteración de los materiales pétreos originados por los líquenes se llevan a cabo a una velocidad muy lenta que obedece más al tiempo de vida normal del desarrollo de un liquen que su equivalente en el tiempo de desarrollo de un ser humano. En nuestro caso de estudio, los tiempos de nucleación y de crecimiento se van alternando dependiendo del ambiente, específicamente la humedad relativa. En la ciudad de Toluca esto se ha convertido en seis meses de estiaje y seis meses de lluvia.

Conocer la entropía del sistema material pétreo-liquen aporta más conocimiento que tratar de determinar un comportamiento idealizado que no corresponde a los eventos naturales. Los materiales pétreos o las rocas tienden a cambiar su composición química y su estructura hasta lograr un equilibrio meta estable, en donde se haya liberado la mayor cantidad de energía libre, disponible para llevar a cabo una reacción química, por ejemplo la caolinización del granito y esto se lleva a cabo con líquenes o sin ellos. Los líquenes no fueron diseñados por la naturaleza para formar parte de una patología que altere la superficie de una piedra que ha sido empleada en la fabricación de la fachada de un bien inmueble antiguo o reciente. La función de estas entidades es posiblemente muy diferente,



normalmente la formación de superficies o suelos para que se puedan desarrollar otro tipo de organismos.

Según Lamarck en el libro titulado *La Lógica de lo Viviente* son tres los factores para otorgar al tiempo su papel creador: la sucesión, la duración y el perfeccionamiento de la organización. La sobrepoblación múltiple se convierte en la excepción de la regla. La selectividad de los líquenes por algunas piedras, se debe a la facilidad de lixiviación que presenta la piedra, no necesariamente la rugosidad y porosidad de la superficie. Sin embargo estos factores combinados dan origen al desarrollo de líquenes epilíticos, en donde claramente los vemos o los líquenes endolíticos que desarrollan una patina.

Los líquenes pueden colonizar y desarrollarse en cualquier posición, unos requieren estar en sustratos estables, no tan en contacto con los seres humanos; otros son más resistentes y pueden inclusive convivir con los seres humanos aunque esto no es una regla general. Algo que si se ha observado como factor común es la de tener acceso al agua, como líquido condensado aunque este escurriendo o como lo hemos mencionado como humedad ambiente.

Se puede pensar que los líquenes son organismos oportunistas, es decir, están presentes en el ambiente en todo momento, esperando que las condiciones para la colonización sea la conveniente en cuanto a sustrato, humedad, lixiviación, rugosidad y porosidad. En este punto debe aclararse que lo importante en cuanto al agua, es tenerla disponible como humedad ambiental no tanto agua condensada en exceso.

Hasta el momento, no se conoce un edificio que haya sido destruido por los líquenes exclusivamente, existe una acción combinada de varias patologías para que entonces proceda dicha destrucción, incluyendo las patologías antrópicas. El lenguaje de los líquenes esta aún por entenderse aquí en Toluca. El que no existan líquenes o el que exista una sobre población de líquenes tiene un significado y una sobre población múltiple tiene otro significado.

#### 4. Conclusiones

La existencia de líquenes en Toluca es demostrable con evidencia fotográfica común; la alteración del material pétreo es ostensiblemente visible, solo hay que catalogarla como una de la patologías biológicas, que causan corrosión y de mineralización de las rocas en sus minerales constituyentes.

Realizar la investigación de manera cualitativa y solamente con evidencias fotográficas de las fachadas de diferentes edificios de la ciudad, no ha sido una labor sencilla, ya que los estilos constructivos son muy diversos. Actualmente coexisten casas bienes inmuebles que forman parte del patrimonio arquitectónico de los siglos XIX y XX. En cuanto a las Iglesias es un poco más amplio el panorama. Por lo tanto el análisis lo hemos hecho con respecto a los edificios existentes, específicamente la Iglesia de San José El Ranchito, de los Padres Pasionistas.

a).- Se pueden observar muchos edificios alterados de diferentes formas, pero no se hace referencia a las patologías y mucho menos a la patología biológica de origen liquénico. Cualquier mancha verde es considerada como musgo u otros vegetales superiores. Las manchas negras es simplemente el “smog”

b).- Los líquenes encontrados en Toluca, son ascomicetos, saxícolas epilíticos y endolíticos, fundamentalmente las variedades: *lecanora*, *caloplaca* y *xanthoria*. Es necesario buscarlos en lugares muy específicos en la fachada del inmueble ya que su presencia es escasa y solamente con poca iluminación se pueden observar en contraste

c).- Las velocidades de nucleación y de crecimiento son muy variadas; sin embargo los líquenes de la variedad *xanthoria* es más común encontrarlos. Si bien los líquenes epífitos correspondientes que existen en Toluca, se les asocia más a una función como biomonitor ambiental.

d).- En este análisis de la acción alterante de los líquenes, se encontró, por lo menos en la ciudad de Toluca, que los líquenes no son significativamente importantes en la alteración de la superficie de un edificio ya que las colonias de líquenes encontradas pasan a un segundo plano con respecto a otro tipo de patologías. Este análisis causa-efecto-consecuencia se presenta en la Figura 8.

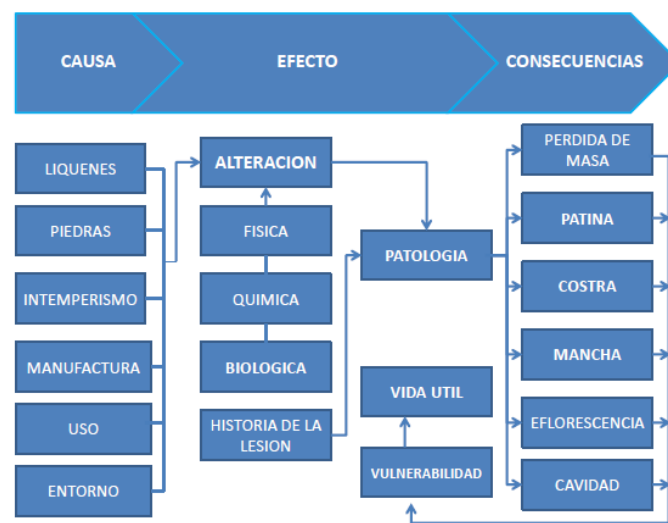


Figura 8. Diagrama Causa-Efecto-Consecuencias (Elaboración de los autores)

## Referencias

- Ascaso, C., Galvan, J., Rodriguez-Pascual, C., 1976. Studies on the pedogenetic action of lichen acids. *Pedobiologia* 16, 321–332
- Ascaso, C., J. Wierzchos, R. Castello, 1998. Study of the biogenic weathering of calcereous litharenite stones caused by lichen and endolithic microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation* 42, 29-38.
- Ben-Naim, A. *Entropy demystified. The Second Law Reduced to Plain Common Sense*. Tusquets Editores, España. 2011.
- De la Reza, Germán. *Sistemas Complejos*. Anthropos-UAM Azcapotzalco, México, 2010.
- De los Ríos, A., J. Wierzchos, L.G. Sancho, T.G. Green, C. Ascaso. Ecology of endolithic lichens colonizing granite in continental Antarctica. *The Lichenologist*, 2005
- Garré, F. Patrimonio arquitectónico urbano, preservación y rescate: bases conceptuales e instrumentos de salvaguarda. *Conserva*, num. 5, Argentina 2001
- Jacob, Francois. *La Lógica de lo Viviente*. Salvat Editores, España 1986
- Jones, D and M. J. Wilson. Chemical activity of lichens on mineral surfaces. A review. *Int. Biodeter.*, 21 (1985) 99-104. 121 J.K. Syers
- Lisci, Monte, Pacini- Lichens and higher plants on stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation* 51, (2003) 1 – 17

- Prada, Valenciano, Navarro. Procesos de alteración de materiales pétreos en edificios de interés histórico, *Acta Geológica Hispánica*, vol. 30 (1995), núms. 1-3, p. 97-110 (publ. 1996)
- Sugiura Yamamoto, Yoko Caminando el valle de Toluca: arqueología regional, el legado de William T. Sanders. *Cuicuilco* núm. 47, septiembre-diciembre, ENAH. México 2009.
- Tiano, P., Biagiotti, L., Bracci, S., 2000. Biodegradability of products used in monuments' conservation. In: Ciferri, O., Tiano, P., Mastromei, G. (Eds.), *Of Microbes and Art: The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 169-182.

## Resumen

La intemperización es un mecanismo de desgaste de los materiales pétreos. Este proceso se presenta cuando se conjuntan diferentes agentes de intemperización, como lo es la lluvia, la humedad y los aerosoles atmosféricos; a partir de ello surgen diferentes patologías que hacen evidente el daño a la superficie expuesta de estos materiales. Entre otras patologías, están la biológicas, en este caso los daños originados por los líquenes epilíticos y endolíticos, que se pueden depositar en la superficie de la piedra. La velocidad de colonización líquénica es un indicio del grado de deterioro de los edificios que tienen materiales pétreos en sus fachadas. El grado de colonización líquénica puede determinar zonas de corrosión, inhibición o pasivación del proceso corrosivo. Este estudio se refiere al análisis cualitativo de la acción alterante de los líquenes sobre los materiales pétreos empleados en los edificios de Toluca. Como parte inicial de éste análisis es de reconocer la existencia de los líquenes como entidades biológicas, cuyo sistema de vida podría causar daños estéticos, daños estructurales o inclusive proteger la superficie donde se asientan.

## Noticia de los autores

### ***Ricardo Victoria León***

Maestro en Seguridad e Higiene Ocupacional. Profesor Investigador en el Área de Química de Superficies y Coloides en la Facultad de Química de la UAEMéx. Egresado de la licenciatura de Ingeniería Química Metalúrgica de la Universidad Nacional Autónoma de México. Egresado de la Maestría en Seguridad e Higiene Ocupacional de Secretaría del Trabajo y de la Previsión Social del Gobierno del Estado de México. Autor de trabajos sobre el Ambiente Ocupacional en Bibliotecas, Aplicación del Control Ambiental en Bibliotecas. Estudiante del Doctorado en Diseño de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la UAEMéx en el Área de Preservación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico.

### ***René Sánchez Vértiz Ruíz***

Profesor Investigador de Tiempo Completo de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la UAEMéx. Profesor del Doctorado en Diseño. Obtuvo el Doctorado en Arquitectura por la Universidad Politécnica de Cataluña con la tesis *Percepción Ambiental en la Arquitectura Religiosa del Centro de México en el siglo XVI: enfrentamiento entre dos modos de representar "Lo Divino a través de la percepción Arquitectónica"*. Forma parte del Cuerpo Académico de Patrimonio, Ambiente y Tecnología. Profesor del Diplomado en Patrimonio Histórico, Ambiente y Tecnología. Diseñador del Museo Leopoldo Flores de la UAEMéx.

**PALABRAS CLAVE:** alteraciones, patologías biológicas, líquenes epilíticos y endolíticos