

Variaciones en la vitalidad de los líquenes en respuesta a diferentes niveles de urbanización y características microambientales en la ciudad de Salta (Argentina)

Claudia Nidia Borja

Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta, Argentina.

Andrea Belén Agüero-Maioli

Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta, Argentina.

Florencia Soledad Alvarez-Dalinger

Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta, Argentina - CONICET.

Liliana Beatriz Moraña

Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta, Argentina.

Recibido: 11-09-2024

Aceptado: 14-01-2025

ORCID Claudia Nidia

Borja

0009-0004-0900-5374

ORCID Andrea Vásquez
García

0009-0006-1655-8975

ORCID Florencia Soledad
Alvarez-Dalinger

0000-0001-9453-3569

ORCID Liliana Beatriz

0000-0001-7445-3537

Resumen

El uso de líquenes para evaluar el estado de contaminación atmosférica constituye una alternativa a las estaciones automáticas de monitoreo cuya instalación y mantenimiento supone un elevado costo. Se evaluó la variación del contenido de pigmentos fotosintéticos en respuesta a diferentes niveles de urbanización de la ciudad de Salta (Argentina). Se consideraron dos sitios, S1= barrio Tres Cerritos y S2= reserva municipal Cerro San Bernardo. Talos de *Parmotrema perlatum* (Hudson) M. Choisy fueron recolectados en un área rural y trasplantados a cada sitio. Luego de cuatro meses de exposición durante la estación seca se cuantificaron los pigmentos empleando técnicas espectrofotométricas. *In situ* se midieron temperatura, humedad y luminosidad; en laboratorio pH y conductividad de la corteza de los forófitos. Estas variables, con excepción de la luminosidad, se diferenciaron entre sitios. Las concentraciones de clorofila *a*, *b* y clorofila total resultaron significativamente menores en S1, los carotenoides y el cociente Clb/Cl_a, fueron similares entre sitios. Los pigmentos fotosintéticos mostraron ser parámetros sensibles a los diferentes grados de urbanización y al consecuente aporte de contaminantes atmosféricos. Los resultados resaltan la importancia de los líquenes como una herramienta adecuada para programas de biomonitoreo de la calidad atmosférica en las ciudades.

Palabras clave: ascomicetos liquenizados, pigmentos fotosintéticos, banización.

Citación sugerida:

Borja, C.N., Agüero-Maioli, A., Alvarez-Dalinger, F., Moraña, L.B. (2025). Variaciones en la vitalidad de los líquenes en respuesta a diferentes niveles de urbanización y características microambientales en la ciudad de Salta (Argentina). *Revista de Ciencias*, 28(1): e20214423. <https://doi.org/10.25100/rc.v28i1.14423>



Variations in lichen vitality in response to different levels of urbanization and microenvironmental characteristics in the city of Salta (Argentina)

Abstract

Using lichens to evaluate the state of atmospheric pollution constitutes an alternative to automatic monitoring stations whose installation and maintenance involve a high cost. The variation of photosynthetic pigment content in lichens was evaluated in response to different levels of urbanization and microenvironmental characteristics of the city. Two sites were considered (site 1= Tres Cerritos neighborhood, with greater population density and vehicular traffic; site 2= Cerro San Bernardo municipal reserve). Thalli of *Parmotrema perlatum* (Hudson) M. Choisy were collected in a rural area and transplanted to each site. After four months of exposure during the dry season, the pigments were quantified using spectrophotometric techniques. Temperature, humidity and luminosity were measured *in situ*; in the laboratory pH and conductivity of the phorophyte bark. These variables, except luminosity, differed between sites. The chlorophyll *a*, *b* and total chlorophyll concentrations were significantly lower in site 1. At the same time, both sites had similar carotenoids and the Clb/Cla ratio. Photosynthetic pigments were parameters sensitive to the degrees of urbanization and the consequent contribution of atmospheric pollutants. Results underline the importance of lichens as an appropriate tool for biomonitoring programs of atmospheric quality in urban areas.

Keywords: lichenized ascomycetes, photosynthetic pigments, urbanization.

1. Introducción

La contaminación del aire relacionada con las emisiones de automotores y de la industria es un problema global con efectos negativos para la salud humana y los ecosistemas ⁽¹⁾.

La calidad del aire generalmente se mide mediante instrumentos electrónicos. Este método tiene un costo relativamente alto y constituye una limitación para el monitoreo en países de ingresos medianos y bajos ⁽²⁾. Frente a esta situación, actualmente, existen métodos fisiológicos alternativos, como el empleo de líquenes, que constituyen un pilar en la gestión de la calidad del aire en todas partes del mundo ^(3, 4).

Se han observado numerosas ventajas en la utilización de los líquenes en comparación con la medición directa de los contaminantes atmosféricos por métodos físicos y químicos. Los líquenes son comunes en las áreas de estudio, son fáciles de recolectar, pueden proporcionar información integral de los cambios producidos en el entorno, son estables con respecto al tiempo, y no representan gastos excesivos y tampoco la necesidad de personal altamente capacitado en su manejo ⁽⁵⁾. Su alta sensibilidad a los contaminantes está relacionada con su biología, a diferencia de las plantas no poseen raíces, estomas y una estructura cuticular bien definida, sumado a ello, su área superficial y estructura facilitan la intercepción y retención de partículas ⁽⁶⁾ lo que destaca su empleo en propósitos de monitoreo.

La decoloración de los talos debido a la degradación de clorofilas es uno de los primeros signos visibles del daño liquénico por la acción fitotóxica de los contaminantes ⁽⁷⁾. Por tal motivo, el contenido de pigmentos fotosintéticos y la degradación de clorofilas son parámetros muy utilizados para medir los efectos subletales de los contaminantes sobre los líquenes ⁽⁷⁾, especialmente cuando es difícil el uso de equipos especializados como fluorómetros y medidores de intercambio gaseoso ⁽⁸⁾.

En una zona de estudio sin líquenes o en cantidad insuficiente, la técnica de trasplante permite superar tal situación ⁽⁹⁾. Algunos estudios han demostrado el éxito de la técnica de trasplante utilizando líquenes del género *Parmotrema*. Por ejemplo, *Parmotrema tinctorum* (Despr. ex Nyl.) Hale fue utilizado para evaluar la calidad del aire en Brasil ^(10, 11), Japón ^{(12) (13)}, India ⁽¹⁴⁾, Malasia ⁽¹⁵⁾ y Tailandia ⁽¹⁶⁾. En Argentina, *P. austrosinense* (Zahlbr.) Hale demostró ser una especie sensible que puede ser adecuada para programas de biomonitoreo de la calidad atmosférica ⁽¹⁷⁾.

Parmotrema perlatum se encuentra también entre las especies seleccionadas como bioindicadores de la calidad del aire ⁽¹⁸⁾. Este líquen responde positivamente a la exposición a los contaminantes ambientales, específicamente NO₂ y SO₂, que se derivan de la combustión vehicular ⁽¹⁹⁾.

Entre los factores abióticos, los niveles de contaminación y los cambios climáticos en las ciudades son parámetros utilizados para correlacionar el nivel de contaminación con los daños a los líquenes ⁽²⁰⁾. La corteza de los portaepífitos representa una valiosa fuente de información sobre la contaminación del aire, dado que acumula partículas atmosféricas en su superficie más externa ⁽²¹⁾.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos que generan diferentes niveles de desarrollo urbano (densidad poblacional y tránsito vehicular) sobre el contenido de pigmentos fotosintéticos de líquenes trasplantados a dos zonas de la ciudad de Salta, durante la estación seca. Y teniendo en cuenta que los líquenes trasplantados están expuestos tanto a contaminantes atmosféricos como a factores ambientales, se considerará además la incidencia de factores microambientales sobre los mismos.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La ciudad de Salta está emplazada en el extremo norte del valle de Lerma (24°47' sur, 65°24' oeste), a 1152 m. s.n.m. Presenta un trazado típico del plano colonial español de calles angostas y edificación baja, con un centro comercial donde se concentran las actividades administrativas, comerciales y educativas. Hasta el 2021, la ciudad contaba con 627.704 habitantes, consolidándose como la más poblada de la provincia.

El clima es subtropical serrano con estación seca de mayo a setiembre. El régimen pluvial consiste en un período lluvioso entre octubre y abril con valores que sobrepasan los 695 mm. La temperatura mínima media es de 8 a 10°C entre junio y julio y una máxima media de 30 a 32 °C en diciembre y enero ⁽²²⁾.

2.2 Sitios de estudio

El primer sitio (S1) se localizó en la platabanda central de la Avenida Bicentenario de la Batalla de Salta, ubicada entre dos rotondas del barrio Tres Cerritos, en el noroeste del ejido urbano capitalino (24°46' sur, 65°23' oeste). Aquí se presentan principalmente ejemplares de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. Ex DC.) Mattos, árbol nativo de gran porte. Y los niveles de tránsito observados son elevados con relación al segundo sitio considerado como lugar testigo. El segundo sitio (S2) correspondió a la reserva natural municipal Cerro San Bernardo (24°47' sur, 65°23' oeste) cuya finalidad es preservar y recuperar un área natural suburbana que se encuentra en el centro de la provincia (Figura 1), representa ambientes de chaco serrano con elementos yungueños.

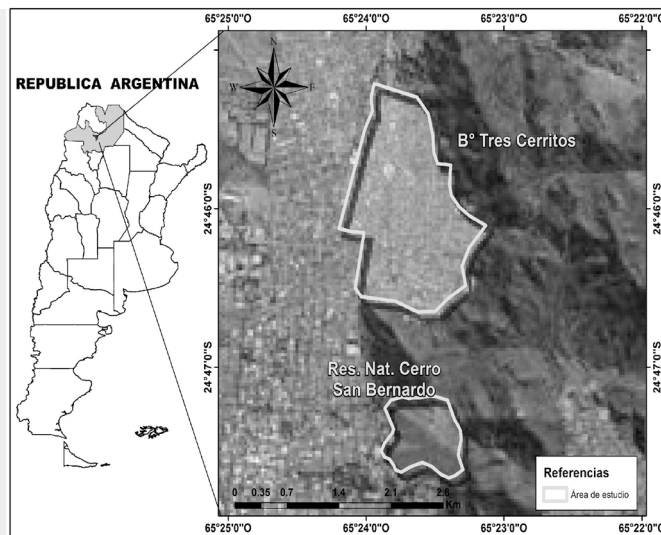


Figura 1. Sitios de muestreo. Barrio Tres Cerritos: S1 y Reserva natural municipal Cerro San Bernardo: S2.

2.3 Trasplante de líquenes y cuantificación de pigmentos fotosintéticos

El sitio de colección de líquenes, localidad de Vaqueros (24°43' sur, 65°25' oeste), está ubicado a 10 km de la ciudad capital, en el departamento La Caldera, a 1195 m. s.n.m. El clima es cálido subhúmedo, con ocurrencia de lluvias orográficas entre noviembre y marzo; las precipitaciones medias superan los 1.000 mm anuales y la temperatura media anual es de 16 °C. Fitogeográficamente, pertenece a la región Neotropical, dominio Amazónico, provincia de las Yungas. Se trata de un área donde históricamente se han llevado a cabo actividades agrícola-ganaderas ⁽²³⁾.

La metodología utilizada para el trasplante de líquenes correspondió a la descrita en Cañas y Pignata ⁽¹⁷⁾. La posterior cuantificación de los pigmentos fotosintéticos fue adaptada con algunas modificaciones de Cañas y Pignata ⁽¹⁷⁾, Pulido-Herrera y Ramos-Montañó ⁽⁸⁾, este último permite una medición dentro de las 72 horas siguientes a la toma de las muestras, lo cual evita la feofitinización.

Talos corticícolas de *Parmotrema perlatum* ⁽²⁴⁾ fueron colectados por su abundancia y disponibilidad en el sitio de colecta. Luego de eliminar restos de sustrato y otros elementos no líquénicos, los talos fueron colocados en bolsas de malla de nylon. El trasplante se realizó sobre árboles a una altura de 2-3 m sobre el nivel del suelo. Las muestras fueron recolectadas luego de cuatro meses de exposición, en bolsas de papel y secadas a temperatura ambiente por 48 horas. Posteriormente fueron lavadas seis veces con acetona (C₃H₆O) saturada en carbonato de calcio (CaCO₃), con el fin de extraer previamente todas las sustancias líquénicas que pudiesen generar una degradación de la clorofila a feofitina. La extracción se realizó por el método de inmersión por incubación del talo líquénico (0,1 g peso seco/10 ml) en etanol al 96% v/v durante 12 horas en oscuridad a temperatura ambiente. Luego de separar el sobrenadante, las medidas de clorofila *a*, *b*, y pigmentos carotenoides se realizaron en espectrofotómetro UV-visible Hach DR5000 a longitudes de onda de 665, 649 y 470 nm, respectivamente, registrando los datos de absorbancia (A). Las concentraciones (en mg/g) de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total (como clorofila *a* + clorofila *b*) y carotenoides, se calcularon de acuerdo con Lichtenthaler y Wellburn ⁽²⁵⁾. Además, se calculó el cociente clorofila *b*/clorofila *a*, esta relación según Cañas y Pignata ⁽²⁶⁾ resulta ser un buen indicador del daño producto de la contaminación urbana.

2.4 Caracterización ambiental de los sitios de estudio

En cada uno de los sitios estudiados se realizó el trasplante a forófitos de *Handroanthus impetiginosus*, por ser la especie mejor representada. Se consideraron aquellos ejemplares que no presentaron evidencias de actividad humana como encalado o pintura y que tuvieron un DAP (diámetro del árbol a la altura del pecho) comprendido entre 20 y 40 cm. Con base a este último criterio se esperaba que todos los individuos seleccionados pertenecieran a árboles con edades similares.

En cada forófito ($n=12$), entre las 10:00 y hasta las 15:00 hs (periodo de mayor actividad fotosintética), se midieron in situ las variables: temperatura, humedad e intensidad lumínica, con medidor ambiental multifunción Lutron LM-8000A; en laboratorio se midieron las variables del micrositio, pH y conductividad de la corteza de los forófitos, aplicando en ambos casos el método de Mezger ⁽²⁷⁾ descrito en Pereira *et al.* ⁽²⁸⁾, utilizando un medidor multiparamétrico Oakton PC450.

El trasplante de líquenes y las mediciones de las variables ambientales fueron realizados en la orientación sur de cada forófito por ser la cara del tronco que sufre menor insolación y muestra mayor presencia líquénica ⁽²⁹⁾.

Las mediciones se realizaron durante la estación seca, en dicho período se produce una mayor concentración de los contaminantes atmosféricos. Así, por ejemplo, la contaminación por ozono, asociada generalmente a las grandes zonas urbanas, es propiciada también por la prevalencia de días con clima seco y altas temperaturas durante la temporada de estiaje en zonas con menor actividad antrópica. Además, se incrementan los niveles de material particulado porque se favorece la re-suspensión de polvo y la formación en la atmósfera de partículas secundarias como resultado de las reacciones fotoquímicas a partir de la presencia de otros gases precursores como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y amoníaco ⁽³⁰⁾.

2.5 Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa Infostat versión 2008 ⁽³¹⁾. A fin de contrastar diferencias entre medias de dos muestras independientes, como las comparaciones llevadas a cabo entre sitios de muestreo, se utilizó T-test, previa comprobación del cumplimiento de los supuestos de distribución normal de los datos y de homocedasticidad. Se utilizó el análisis de correlación de Pearson para evaluar la relación entre la concentración de los pigmentos y las variables microambientales, con el fin de determinar si hubo respuesta de los líquenes a estas variables.

3. Resultados

3.1 Comparación de los parámetros microambientales entre sitios de estudio

Del análisis de los parámetros microambientales entre sitios se observaron diferencias significativas en la temperatura y la humedad. En S2 se registraron promedios inferiores de temperatura ambiente ($S1=24,53\pm0,65^{\circ}\text{C}$; $S2=19,43\pm1,83^{\circ}\text{C}$), y superiores de humedad relativa ($S1=48\pm3,61\%$; $S2=65\pm4,36\%$). Este sitio presentó, además, mayor luminosidad ($S1=296\pm65\text{ lux}$; $S2=832\pm898\text{ lux}$) (Figura 2).

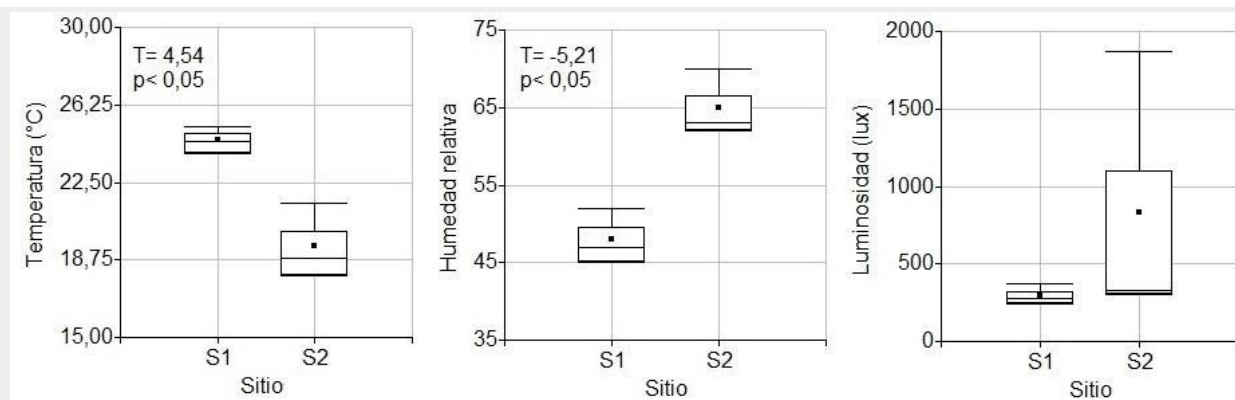


Figura 2. Diagramas de caja para las variables microambientales temperatura, humedad relativa y luminosidad. (S1: barrio Tres Cerritos y S2: reserva municipal Cerro San Bernardo).

Con relación a las variables de micrositio, se registraron diferencias significativas tanto en el pH como en la conductividad de la corteza de los forofitos (Figura 3). S1 emplazado en la zona con mayor tránsito vehicular, presentó los mayores promedios de pH ($S1=7,8\pm0,09$; $S2=6,33\pm0,71$) y de conductividad ($S1=83,29\pm33,14$ $\mu\text{S}/\text{cm}$; $S2=11,25\pm1,44$ $\mu\text{S}/\text{cm}$).

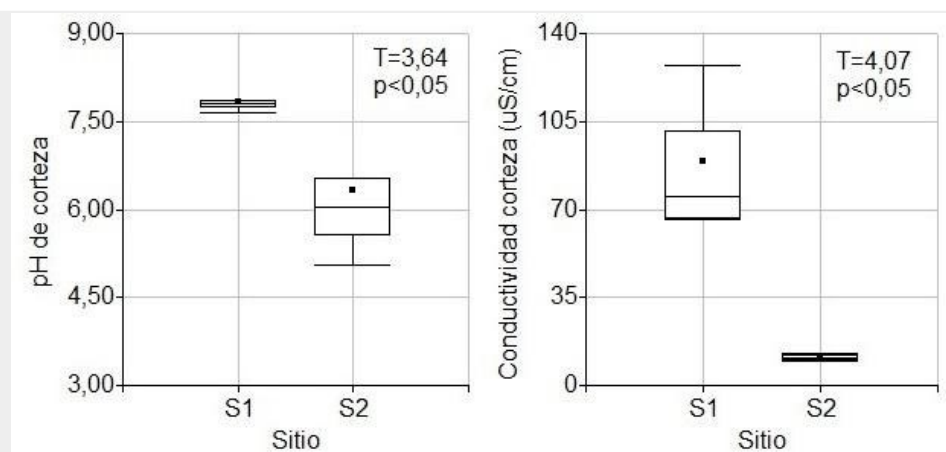


Figura 3. Diagramas de caja para las variables de micrositio, pH y conductividad de la corteza (S1: barrio Tres Cerritos y S2: reserva municipal Cerro San Bernardo).

3.2 Comparación de la concentración de pigmentos entre sitios de estudio

Los promedios de clorofila *a*, *b* y total presentaron diferencias significativas entre sitios, en el sitio de mayor urbanización (S1) se registró una disminución significativa de pigmentos en términos del contenido de clorofila *a* ($S1=1,16\pm0,35$; $S2=2,68\pm0,94$), clorofila *b* ($S1=0,68\pm0,15$; $S2=1,44\pm0,43$) y clorofila total ($S1=1,84\pm0,43$; $S2=4,12\pm1,36$) (Figura 4). En tanto que la concentración de clorofila *b/a* y el contenido de carotenoides resultó similar entre sitios (Figura 5).

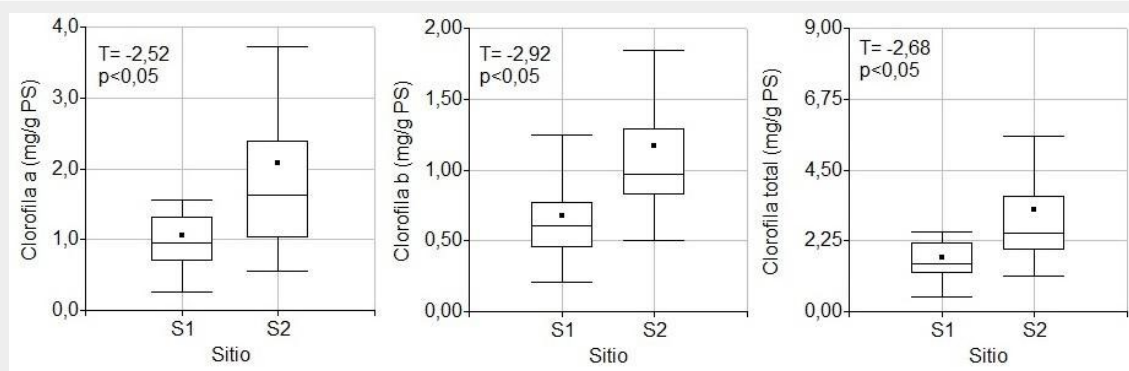


Figura 4. Diagramas de caja de la concentración de pigmentos clorofílicos: clorofila *a*, *b* y total (S1: barrio Tres Cerritos y S2: reserva municipal Cerro San Bernardo).

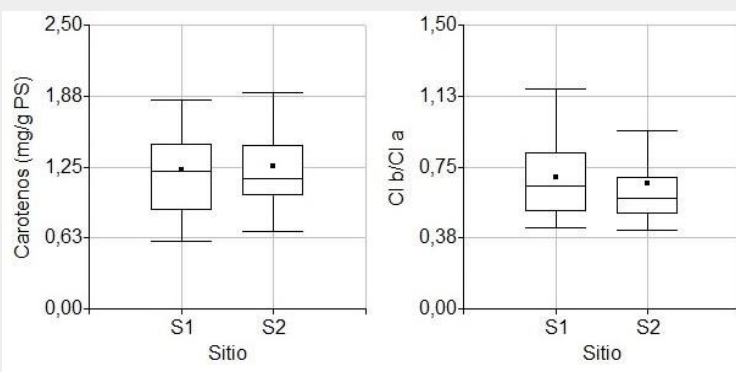


Figura 5. Diagramas de caja de la concentración de pigmentos carotenoides y relación $Clb/Cl a$. (S1: barrio Tres Cerritos y S2: reserva municipal Cerro San Bernardo).

3.3 Relación entre parámetros microambientales y biológicos

El análisis de correlación entre las variables biológicas y las ambientales mostró una relación significativa pero inversa entre las concentraciones de clorofila *a*, *b* y clorofila total con el pH ($r = -0,35$, $r = -0,40$, $r = -0,37$; $p < 0,05$), y la conductividad eléctrica ($r = -0,39$, $r = -0,45$, $r = -0,42$; $p < 0,05$). Una correlación positiva y significativa entre el contenido de clorofila *b* con el porcentaje de humedad ($r = 0,36$; $p < 0,05$) y negativa con la temperatura ambiente ($r = -0,36$; $p < 0,05$).

4. Discusión

4.1 Parámetros microambientales

Se ha demostrado que al comparar áreas con variables microclimáticas distintas como la luminosidad y la humedad; éstas influyen significativamente la presencia de líquenes ⁽⁸⁾. Los mayores índices de luminosidad, mejores porcentajes de humedad relativa y temperaturas óptimas contribuyeron a generar un ambiente más propicio para el desarrollo y vitalidad de los líquenes en el sitio emplazado en la Reserva Municipal Cerro San Bernardo (S2).

Medir el pH de la corteza de los árboles resulta importante por el efecto que tiene sobre la presencia o ausencia de líquenes y en la distribución de los mismos, y por su efecto sinérgico con los contaminantes del aire ^(32, 33). Este parámetro es particular de la especie entre las plantas leñosas ⁽³⁴⁾. En el presente estudio a pesar de considerar la misma especie arbórea, el pH de la corteza se diferenció entre sitios. Los valores más altos se registraron en el sitio con mayor contaminación proveniente del tránsito vehicular (S1) zona, comparativamente, con menor cobertura arbórea, de ambiente más seco, y mayores depósitos de polvo atmosférico, lo que eleva el pH de las cortezas de los forófitos ⁽³⁵⁾. Del mismo modo, los menores valores de pH en la reserva Municipal Cerro San Bernardo (S2), podrían ser atribuidos a la mayor extensión del área verde que propicia un ambiente más húmedo, y menores depósitos de partículas dado que la vegetación constituye una especie de filtro ^(36, 37).

La conductividad eléctrica de la corteza de los árboles está afectada por contaminantes de diversos orígenes, tratamientos agrícolas o condiciones microclimáticas locales ⁽³⁸⁾, variando tanto entre diferentes ambientes como entre especies arbóreas ⁽³⁹⁾. Los mayores registros de este parámetro en S1 estarían evidenciando, al igual que el pH, los efectos de una mayor contaminación urbana representada principalmente por el tránsito vehicular.

4.2 Concentración de pigmentos

Al igual que en reportes previos ^{(17) (40)} los pigmentos fotosintéticos mostraron ser parámetros sensibles a los diferentes grados de urbanización y el consecuente aporte diferencial de contaminantes atmosféricos en cada sitio de estudio.

La diferencia en la concentración de pigmentos (clorofila *a*, *b* y total) entre sitios ocurriría como consecuencia de la exposición a los contaminantes de áreas urbanas e industriales que provocan una degradación de las clorofilas del fotobionte de la simbiosis líquénica ⁽¹⁷⁾ lo que afecta el proceso fotosintético ⁽⁴¹⁾. Si bien diversos autores reportan que la concentración de clorofila *b/a* en líquenes trasplantados a zonas con marcada contaminación del tráfico vehicular experimenta un incremento proporcional a las emisiones ^{(26) (40) (42)}, en el presente trabajo y al igual que lo informado por Ocampo *et al.* ⁽⁷⁾ no se observaron diferencias significativas. Del mismo modo, la concentración de carotenoides tampoco experimentó variación.

4.3 Relación entre parámetros microambientales y biológicos

La conductividad eléctrica y el pH son dos de los parámetros químicos que generalmente se miden al estudiar la influencia del micrositio en el desarrollo de los líquenes, y aunque no siempre se correlacionan entre sí ⁽⁴³⁾, en este trabajo ambas variables mostraron una correlación significativa ($r=0,75$; $p<0,05$), demostrando ser factores importantes que pueden afectar el desarrollo y vitalidad de los líquenes.

La correlación inversa y significativa entre la concentración de pigmentos y estas variables de micrositio permitiría suponer que las diferencias observadas en el contenido de pigmentos evidenciarían el efecto de las condiciones particulares del micrositio atribuidas a las características urbanas diferentes, en cuanto a densidad poblacional y tránsito vehicular, y el consecuente aporte de contaminantes atmosféricos.

La relación entre el contenido de clorofila *b* con la humedad y la temperatura explicaría el hecho de que no solo el micrositio influye en la vitalidad de los líquenes sino también la interacción con otros factores microclimáticos.

Este trabajo constituye una aproximación al estudio de los líquenes en la ciudad de Salta y su relación con actividades antrópicas, resultando una herramienta adecuada para programas de biomonitoreo de la calidad atmosférica en la ciudad.

Las diferencias observadas en las concentraciones de pigmentos entre sitios de estudio, así como en las variables microambientales estudiadas estarían indicando que ciertas áreas de la ciudad de Salta, como las del sitio 1, estarían sufriendo los efectos del crecimiento poblacional acelerado, en especial factores como el intenso flujo del tráfico y la expansión de la propiedad ⁽⁴⁴⁾.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional de Salta por posibilitarnos la realización del presente trabajo. Al equipo editorial y revisores quienes contribuyeron a mejorar el manuscrito.

Referencias bibliográficas

1. Díaz J, Montañó L, Salinas P, Benítez A. Epiphytic cryptogams as bioindicators of air quality in a tropical Andean city. *Sustainability*. 2021 Oct 12; 13(20): 11218. Doi: 10.3390/su132011218
2. Boonpeng C, Sangiamdee D, Noikrad S, Boonpragob K. Lichen biomonitoring of seasonal outdoor air quality at schools in an industrial city in Thailand. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023 Abr 5; 30(21): 59909–24. Doi: 10.1007/s11356-023-26685-z
3. Anze R, Franken M, Zaballa M, Pinto MR, Zeballos G, Cuadros MDLA, Canseco A, De la Rocha A, Estellano VH, Del Granado S. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. *Revista Virtual REDESMA*. 2007 Jun; 1(1): 53–74. https://cebem.org/revistaredesma/vol1/pdf/redesma0101_arto3.pdf
4. Hernández JE, Fernandez R, Cárdenas M, Franco C, Gómez H, Roschman-González A, Benzo Z, Galarraga F. Lichens and air quality in Latin America: Ecotoxicology in Latin America. Nova Science Publishers, Inc. 2017 Feb; Inc. 417–435. https://www.researchgate.net/publication/314090731_Lichens_and_air_quality_in_Latin_America
5. Vásquez-Fetanes MM. Estudio de los efectos de la contaminación atmosférica sobre los bioindicadores liquénicos y la degradación de los mismos. Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canarias: España. 2015. 460 pp. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=233654>
6. Szczepaniak K, Biziuk M. Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution. *Environmental Research*. 2003 Nov; 93(3): 221–30. Doi: 10.1016/S0013-9351(03)00141-5
7. Ocampo AI, Hernández JM, Álvarez VA, Coronel RJ, Acosta WD, Moyano RG, Cañas MS. Contenido de pigmentos fotosintéticos en el liquen *Parmotrema austrosinense* trasplantado a la ciudad Capital y al área de colección (Los Varela, Ambato) en Catamarca. Argentina. En: IX Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Santiago del Estero. 2013; 6 pp. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/codinoa-2013/trabajos/ambiente/12-ocampo.pdf>
8. Pulido-Herrera K, Ramos-Montano C. Efecto de borde en la distribución de líquenes y el contenido de clorofilas en fragmentos de *Polylepis quadrijuga* (Rosaceae) en el páramo de La Rusia (Boyacá, Colombia). *Revista de Biología Tropical*. 2016 Dic 1; 64(4): 1683–97. Doi: 10.15517/rbt.v64i4.22735
9. Brunialti G, Frati L. Bioaccumulation with lichens: the Italian experience. *International Journal of Environmental Studies*. 2014 Ene 28; 71(1): 15–26. Doi: 10.1080/00207233.2014.880996
10. Port RK, Käffer MI, Schmitt JL. Morphophysiological variation and metal concentration in the thallus of *Parmotrema tinctorum* (Despr. ex Nyl.) Hale between urban and forest areas in the subtropical region of Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018 Oct 1; 25:33667–77. Doi: 10.1007/s11356-018-3246-x

11. Palharini KMZ, Vitorino LC, Bessa LA, de Carvalho Vasconcelos Filho S, Silva FG. *Parmotrema tinctorum* as an indicator of edge effect and air quality in forested areas bordered by intensive agriculture. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021 Jul 20; 28(48): 68997–9011. Doi: 10.1007/s11356-021-15411-2
12. Dohi T, Ohmura Y, Kashiwadani H, Fujiwara K, Sakamoto Y, Iijima K. Radiocaesium activity concentrations in parmelioid lichens within a 60 km radius of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2015 Ago; 146: 125–33. Doi: 10.1016/j.jenvrad.2015.04.013
13. Ohmura Y, Matsukura K, Abe JP, Hosaka K, Tamaoki M, Dohi T, Kakishima M, Seaward M. ¹³⁷Cs concentrations in foliose lichens within Tsukuba-city as a reflection of radioactive fallout from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2015 Dic; 141c: 38–43. Doi: 10.1016/j.jenvrad.2014.11.014
14. Daimari R, Bhuyan P, Hussain S, Nayaka S, Mazumder MAJ, Hoque RR. (2021). Anatomical, physiological, and chemical alterations in lichen (*Parmotrema tinctorum* (Nyl.) Hale) transplants due to air pollution in two cities of Brahmaputra Valley, India. *Environmental Monitoring Assessment*. 2021 Ene 30; 193(101). Doi: 10.1007/s10661-021-08897-3
15. Zulaini AAM, Muhammad N, Asman S, Hashim NH, Jusoh S, Abas A, Yusof H, Din L. Evaluation of transplanted lichens, *Parmotrema tinctorum* and *Usnea diffracta* as bioindicator on heavy metals accumulation in southern peninsular Malaysia. *Journal of Sustainability Science and Management*. 2024 Ago; 14(4):1-13. <https://jssm.umt.edu.my/wp-content/uploads/sites/51/2019/08/1.pdf>
16. Boonpeng C, Sangiamdee D, Noikrad S, Watthana S, Boonpragob K. Metal accumulation in lichens as a tool for assessing atmospheric contamination in a natural park. *Environment and Natural Resources Journal*. 2020 Abr; 18(2): 166–76. Doi: 10.32526/ennrj.18.2.2020.16
17. Cañas MS, Pignata ML. Efecto de contaminantes atmosféricos urbano-industriales sobre el líquen *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale. *Ciencia*. 2003; 1(1): 87-100.
18. Roziaty E, Sutarno, Suntoro S, Sugiyarto. Ecological indices on Lichen biodiversity in three main different areas (the cities, countrysides and the forests) of Jogjakarta and Surakarta, Central Java, Indonesia. *EurAsian Journal of Biosciences*. 2020; 14(2): 4543–50. https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A1%3A8012721/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Acrawler&id=ebsco%3Agcd%3A148907235&link_origin=www.google.com
19. Roziaty E, Sutarno, Suntoro S., Sugiyarto. Short Communication: The effects of SO₂ and NO₂ fumigation on the chlorophyll of *Parmotrema perlatum* from Mt. Lawu, Cemoro Sewu, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2023; 24(5): 2630-2637. Doi: 10.13057/biodiv/d240515
20. Saipunkaew W, Wolseley PA, Chimonides PJ, Boonpragob K. Epiphytic macrolichens as indicators of environmental alteration in northern Thailand. *Environmental Pollution*. 2007 Mar 15; 146(2): 366-374. Doi: 10.1016/j.envpol.2006.03.044
21. Catinon M, Ayrault S, Spadini L, Boudouma O, Asta J, Tissut M, Ravanel, P. Tree bark suber-included particles: A long-term accumulation site for elements of atmospheric origin. *Atmospheric Environment*. 2011 Feb; 45(5): 1102–9. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.11.038

22. INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Meteorológica Cerrillos INTA EEA. 2012.
23. Moreno RI, Campos PA, Avendaño AJ, Núñez V, Gil MN, Vázquez VN, Medina EPJ. Zonificación de la pérdida de suelos de la microcuenca del arroyo Chaile afectado por la urbanización de la localidad de Vaqueros (La Caldera, Salta). IX Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Santiago del Estero. 2013; 1-8 pp. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/codinoa-2013/trabajos/ambiente/11-moreno.pdf>
24. Nash III TH, Ryan BD, Gries C, Bungarts F. Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert region. Lichen unlimited. Tempe, Arizona. 2002; 532 pp. <https://lichenportal.org/portal/taxa/index.php?taxon=67079>
25. Lichtenthaler HK, Wellburn AR. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions. 1983 Oct 1; 11(5): 591–2. Doi: 10.1042/bst0110591
26. Cañas MS, Pignata ML. Temporal variation of pigments and peroxidation products in the lichen *Parmotrema uruguense* (Kremppl.) Hale transplanted to urban and non-polluted environments. *Symbiosis*. 1998; 24(1): 147–62. <http://hdl.handle.net/10222/77558>
27. Mezger U. Biomonitoring mit epilithischen und epiphytischen Flechten in einem Belastungsgebiet (Berlin): Ein Verfahrnsvergleich, Berlín: J. Cramer. *Bibliotheca Lichenologica*. 1996; 63:1–164.
28. Pereira I, Müller F, Moya M. Influencia del pH de la corteza de *Nothofagus* sobre la riqueza de líquenes y briófitos, Chile central. *Gayana Botanica*. 2014 Jun; 71(1): 120–30. Doi: 10.4067/S0717-66432014000100012
29. Lijteroff R, Lima L, Prieri B. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 2009; 25(2): 111–20. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992009000200006&script=sci_abstract
30. Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. Temporada de estiaje y contaminación atmosférica. Jalisco, México; 2019. https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/temporada_de_estiaje_y_contaminacion_atmosferica_dis2019.pdf
31. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini M, González LA, Tablada M, Robledo CW. InfoStat: Statistical Software. Grupo InfoStat. 2003. https://www.researchgate.net/publication/283569516_InfoStat_Statistical_Software
32. Kricke R. Measuring bark pH. En: Monitoring with Lichens Monitoring Lichens. Springer Dordrecht. 2002; 333–6 pp. Doi:10.1007/978-94-010-0423-7_30
33. Juriado I, Liira J, Paal J, Suija A. Tree and stand level variables influencing diversity of lichens on temperate broad-leaved trees in boreo-nemoral floodplain forests. *Biodiversity and Conservation*. 2008 Sep 24; 18(1): 105–25. Doi:10.1007/s10531-008-9460-y

34. Hobohm C. Epiphytic cryptogams and pH-value - a contribution to the ecological characterisation of bark surfaces. *Herzogia Band*. 1998 Ago 1; 13: 107–11. Doi: 10.1127/herzogia/13/1998/107
35. Amo De Paz G, Burgaz NR. Líquenes epifíticos del Hayedo de Montejo de la Sierra (Madrid). Editorial Complutense. Madrid, España. 2009. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/46836>
36. Rincón-Espitia A, Aguirre-C J, Lücking R. Líquenes corticícolas en el Caribe colombiano. *Caldasia*. 2011;33(2):331-347. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9395484>
37. Díaz-Escandón D. Líquenes cortícolas como indicadores ambientales en los alrededores de la mina de azufre El Vinagre (Cauca). Universidad del Valle, Colombia. 2015; 146 pp. <https://hdl.handle.net/10893/8075>
38. Mustafa B, Hajdari A, Hoxha E. Influence of bark pH and electrical conductivity on lichen value diversity around Power plants “Kosova A and B”. Bartacek J, Kennes C. (Eds.). Actas del 3.er Congreso internacional sobre biotécnicas para el control de la contaminación del aire. 2009; 61-64 pp. Doi: 10.1201/b10563-55
39. Kubiak D, Osyczka P. Non-forested vs forest environments: The effect of habitat conditions on host tree parameters and the occurrence of associated epiphytic lichens. *Fungal Ecology*. 2020 Oct; 47: 100957. Doi: 10.1016/j.funeco.2020.100957
40. Cañas MS, Orellana L, Pignata ML. Chemical response of the lichens *Parmotrema austrosinense* y *P. conferendum* transplanted to urban and non-polluted environments. *Annales Botanici Fennici*. 1997; 34(1): 27–34. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/paper/document/paper_00033847_v34_n1_p27_Canas
41. Asplund J, Wardle DA. How lichens impact on terrestrial community and ecosystem properties. *Biological Reviews Cambridge Philosophical Society*. 2016 Oct; 92(3): 1720–38. Doi: 10.1111/brv.12305
42. Conti ME, Cecchetti G. (2001). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment - a review. *Environmental Pollution*. 2001; 114(3): 471-92. Doi: 10.1016/S0269-7491(00)00224-4
43. Kuang Y-W, Zhou G-Y, Wen D-Z, Liu S-Z. Acidity and conductivity of *Pinus massoniana* bark as indicators to atmospheric acid deposition in Guangdong, China. *Journal of Environmental Sciences (China)*. 2006; 18(5): 916–20. Doi: 10.1016/S1001-0742(06)60014-4
44. Käffer MI, Martins SM de A, Alves C, Pereira VC, Fachel J, Vargas VMF. Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil. *Ecological Indicators*. 2011; 11(5): 1319–32. Doi: 10.1016/j.ecolind.2011.02.006

Este artículo tuvo como origen un trabajo de tesis de licenciatura en Ciencias Biológicas, las autoras agradecen a la Universidad Nacional de Salta por el apoyo financiero.

Contribuciones de las autoras:
C.N.B.: diseño del estudio, toma de datos, redacción y revisión del manuscrito. A.B.A.M.: diseño del estudio, toma de datos. F.S.A.D.: toma de datos. L.B.M.: diseño del estudio, toma de datos, redacción y revisión del manuscrito.

Claudia Nidia Borja
Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta, Argentina
claudiaborja.unsa@gmail.com

Andrea Belén Agüero-Maioli
Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta, Argentina
andrea95aguero@gmail.com

Florencia Soledad Alvarez-Dalinger
Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta, Argentina
floralvarezdalinger0@gmail.com

Liliana Beatriz Moraña
Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta, Argentina
lilymorana@gmail.com