

Bases para evaluar la calidad de aire en el departamento Uruguay, Entre Ríos, Argentina: cambios en la diversidad y cobertura de líquenes en ecosistemas urbanos y de bosque nativo

Bases to evaluate air quality in Uruguay department, province of Entre Ríos: changes in diversity and coverage of lichens between urban and native forest ecosystems.

Martina Villanova¹), Mateo J. La Rosa¹), Kevin J. Sastre¹), Eliana S. Acevedo¹), Emiliana E. Orcellet¹) & Juan M. Rodríguez²)

¹) Centro de Investigación en Salud y Ambiente, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Entre Ríos, Argentina. Email: martina.villanova@uner.edu.ar, mateo.la.rosa@mi.unc.edu.ar, kevin.sastre@uner.edu.ar, eliana.acevedo@uner.edu.ar, emiliana.orcellet@uner.edu.ar

²) Instituto de Investigaciones Biológicas y Tecnológicas, Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables. CONICET – Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1610. CP 5000, Córdoba. Email: juan.rodriguez@unc.edu.ar

Resumen

La contaminación del aire, ocasionada principalmente por las emisiones de las actividades antrópicas, representa un importante riesgo ambiental para la salud. Según la Organización Mundial de la Salud, en 2019 el 99% de la población mundial vivía en lugares donde no se respetaban las directrices sobre la calidad del aire. Sin embargo, monitorear la calidad del aire para garantizar el cumplimiento de los niveles guía, demanda sistemas continuos con alto costo de operación y mantenimiento que limitan su aplicación. Los líquenes son un efectivo bioindicador de calidad del aire, dado que los cambios en su diversidad puede ser una consecuencia de la interacción entre la pérdida de hábitat y la contaminación. En este trabajo se plantea como objetivo evaluar la diversidad y cobertura de comunidades liquénicas presentes en dos tipos de ecosistemas correspondientes a área urbana y bosque nativo en el departamento Uruguay, provincia de Entre Ríos para establecer una línea de base para evaluar la calidad de aire en la ciudad. Al efecto, se llevó a cabo un muestreo ecológico, para lo cual se dispusieron tres transectas por zona sobre las cuales se seleccionaron 10 forofitos en cada una. El muestreo se realizó mediante el uso de una grilla cuadriculada de 20x20 cm para determinar la frecuencia de las especies y la cobertura total de líquenes. Se tomaron muestras de cada especie para su identificación en laboratorio y se registraron características de entorno. La riqueza de especies promedio fue de 4 especies por árbol en la zona urbana y de 12 en bosque nativo mientras que la cobertura pasó de 13% a 54% respectivamente. En cuanto a las especies dominantes, predominaron *Candelaria concolor* en zona urbana y *Crespoa crozalsiana* en bosque nativo. Se observó un fuerte empobrecimiento de la comunidad de líquenes epífitos en la ciudad, pudiendo inferir el impacto de las actividades que se desarrollan.

Palabras clave: Bioindicadores, Comunidades liquénicas, Ecología, Usos del suelo.

Abstract

Air pollution, caused mainly by emissions from anthropogenic activities, represents a significant environmental risk to health. According to the World Health Organization, in 2019, 99% of the world's population lived in places

where air quality guidelines were not respected. However, monitoring air quality to ensure compliance with guide levels requires continuous systems with high operation and maintenance costs that limit their application. Lichens are effective bioindicators of air quality, since changes in their diversity can be a consequence of the interaction between habitat loss and pollution. In this work it is presented a preliminary evaluation of diversity and cover of lichen communities in two types of ecosystems corresponding to urban areas and native forests with low-impact livestock in the department of Uruguay, province of Entre Ríos, with the objective of establishing a baseline to evaluate the air quality in the city. For this purpose, an ecological survey was carried out, for which three transects were arranged on which 10 phorophytes were selected in each zone. Sampling was carried out using a 20x20 cm grid to determine the frequency of the species and the total coverage of lichens. Samples of each species were taken for laboratory identification and environmental characteristics were recorded. The average species richness was 4 species per tree in the urban area and 12 in the native forest, while the cover was 13% to 54% on average, respectively. Regarding the dominant species, *Candelaria concolor* predominated in urban areas and *Crespoa crozalsiana* in native forest. A strong impoverishment of the community of epiphytic lichens in the city was observed, being able to infer the impact of the activities that are developed.

Key words: Bioindicators, Lichen communities, Ecology, Land uses.

Introducción

Hoy en día uno de los principales agentes de morbilidad y mortalidad, a nivel mundial, es la exposición a la contaminación del aire (Shahriyari *et al.*, 2022). Según la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2021), en 2019 el 99% de la población mundial vivía en lugares donde no se respetaban las directrices sobre la calidad del aire.

El desarrollo de actividades antropogénicas y el crecimiento desmedido de la trama urbana, traen como resultado la generación de elevados volúmenes de contaminantes potencialmente peligrosos para la salud humana y de los ecosistemas. En este sentido, las comunidades líquénicas se presentan como un efectivo bioindicador de calidad del aire, dado que los cambios en su diversidad puede ser una consecuencia de la interacción entre la pérdida de hábitat y la contaminación (Estrabou *et al.*, 2014; Filippini *et al.*, 2020a; Abas, 2021).

Con respecto al uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en zonas urbanas, estudios previos manifiestan que existe una relación inversa entre la riqueza y cobertura de especímenes y el desarrollo urbano, especialmente vinculada a la contaminación por tráfico vehicular, actividades económicas y falta de espacios verdes (Lijteroff *et al.*, 2009; Neurohr, 2010; Estrabou *et al.*, 2011; Ochoa-Jiménez, 2015).

En la provincia de Entre Ríos, más precisamente en el departamento Uruguay, se cuenta con escasos estudios de calidad de aire los cuales están centralizados en el análisis de emisiones industriales particulares o investigaciones de corte transversal sobre un área reducida, desconociéndose el impacto real de las diferentes actividades antrópicas sobre la calidad del aire a nivel regional. Asimismo, los usos de suelo en el área de estudio son variados, encontrando aglomeraciones urbanas con amplio desarrollo industrial y de servicios, así como zonas agrícolas ganaderas, que definen y condicionan la calidad del aire. Particularmente la ciudad de Concepción del Uruguay, cabecera del departamento, es el área urbana más populosa, con un parque automotor en constante crecimiento, y con amplia diversidad de industrias radicadas en áreas residenciales.

En vista de estas características, y considerando la diversidad de antecedentes en el uso de las comunidades líquénicas como bioindicadores y su comprobado potencial de biomonitoreo en calidad del aire, en este trabajo se presentan los resultados de muestreos ecológicos de comunidades líquénicas en dos tipos de ecosistemas: urbano y bosque nativo a fin de evaluar cómo cambian

la cobertura y diversidad de las mismas para cada zona estudiada. Además, estudios de este tipo permitirán conocer las comunidades de referencia y la reducción de la diversidad y el recambio de especies en zonas con mayor intensidad de contaminación del aire.

Materiales y Métodos

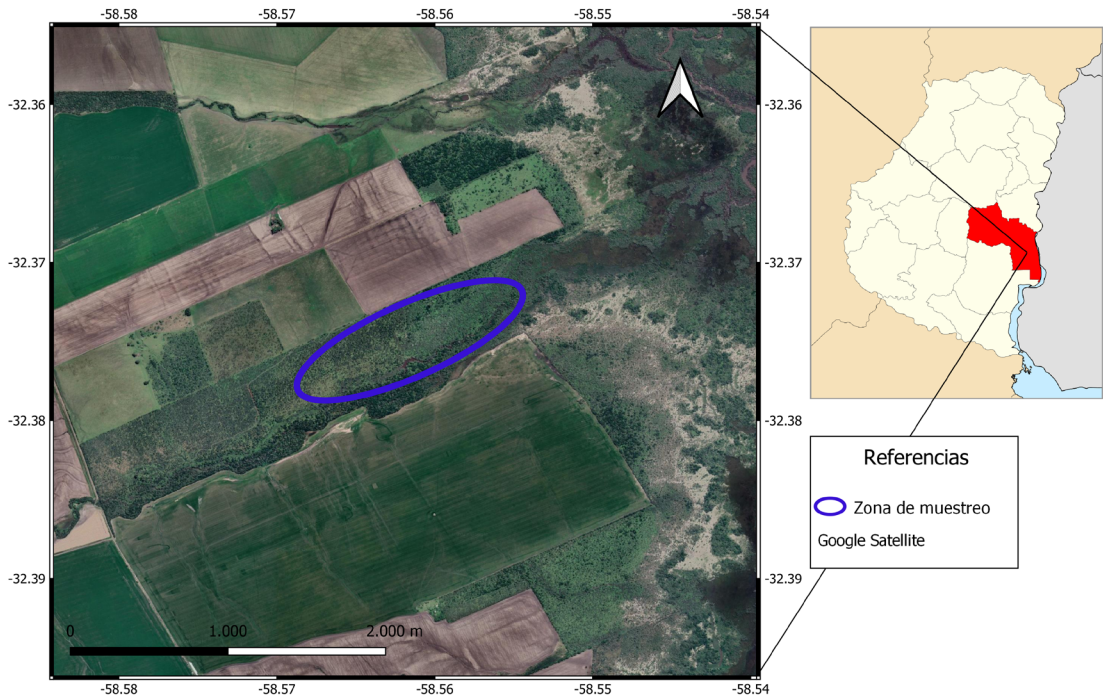
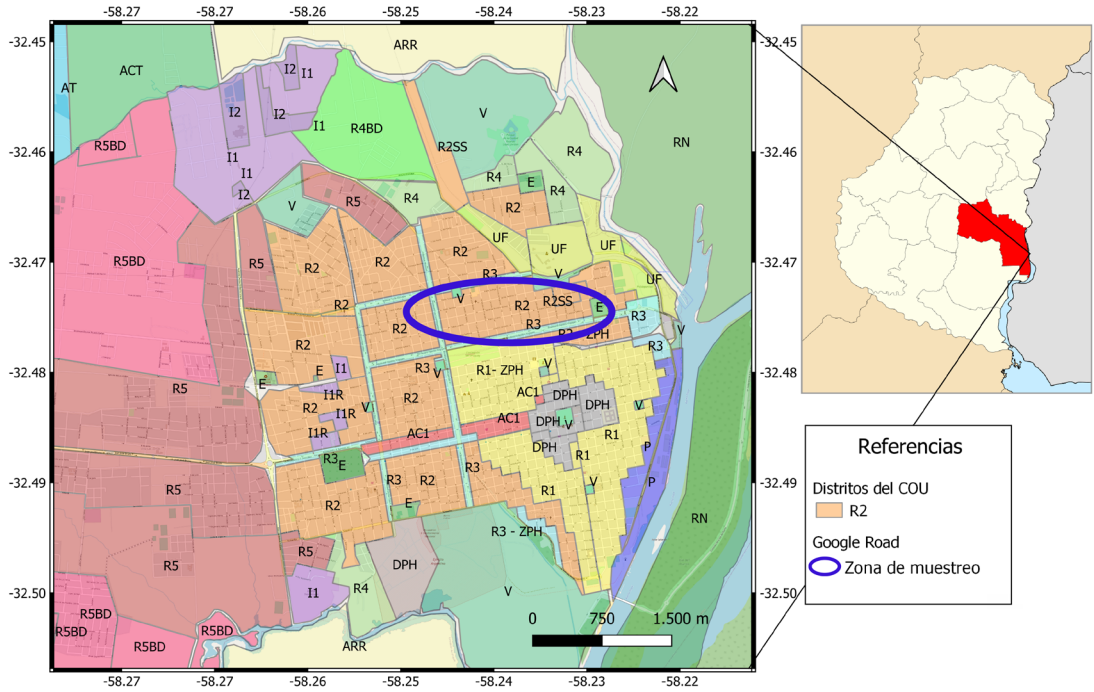
En este trabajo, se plantea como área de estudio al departamento Uruguay, ubicado en el margen este de la provincia de Entre Ríos. Esta región se caracteriza por tener una fisiografía con peniplanicies onduladas y suavemente onduladas. En cuanto al clima predominante, corresponde al templado húmedo de llanura, sin situaciones extremas, favorable para los cultivos además de los bosques nativos conformados por árboles como el *Celtis tala* (tala), *Scutia buxifolia* (coronillo), *Schinus longifolius* (molle), *Vachellia caven* (espinillo), *Neltuma alba* (algarrobo blanco) entre otros y arbustos como *Baccharis* spp. (chilcas), *Hexachlamys edulis* (ubajay) y *Parkinsonia aculeata* (cinacina). En cuanto al arbolado urbano de vereda, predomina *Fraxinus* spp. (fresno). El régimen térmico es templado, presentando una temperatura media anual de 17,9°C con una amplitud de 13,3°C. La precipitación media anual asciende a 1100 mm (Pausich *et al.*, 2013).

Muestreo

En cuanto a la metodología aplicada para el desarrollo de este trabajo, se realizó el muestreo ecológico de especies en el área urbana de la Ciudad de Concepción del Uruguay, en una zona categorizada como de uso residencial (RU) definida por el Código de Ordenamiento Urbano (COU) de la ciudad como de mediana densidad, con calles consolidadas, comercios barriales y sin desarrollo de actividad industrial (Figura 1). Esta zona fue seleccionada por ser representativa del área residencial, sin influencia de las actividades del parque industrial local, el cual se encuentra en dirección SO a la zona muestreada, mientras que los vientos predominan en dirección SE (Dirección de Hidráulica de Entre Ríos, 2022), siendo la principal fuente de contaminación de aire los gases de combustión del parque automotor circundante. Se muestrearon las comunidades de líquenes en árboles de vereda, en tres transectas que variaron entre los 300 y 400 metros, compuestas de 10 árboles en diferentes ubicaciones respecto a muros. Con el propósito de evitar la variabilidad vinculada al tamaño del sustrato, se evaluaron las comunidades presentes en *Fraxinus* spp. (Fresno) cuyo diámetro a la altura del pecho (DAP) se encontrase entre los 20-80 cm, a partir del uso de una grilla cuadrada de 20x20 cm con secciones de 4x4 cm, la cual se ubicó a una altura de 1,5 metros sobre nivel del suelo, en la cara suroeste del árbol (Estrabou *et al.*, 2011).

Por otro lado, el muestreo en zona de bosque nativo con ganadería de bajo impacto (BN), se realizó estableciendo una zona de buffer de 200 metros respecto a bordes (Figura 2), mediante el emplazamiento de tres transectas. En este ambiente, los sustratos relevados fueron ejemplares de *Vachellia caven* (espinillo) ubicando la grilla del mismo modo que en el muestreo urbano (en la cara SO del fuste) y considerando que las unidades de muestreo (UM) interceptadas cuenten con un diámetro a la altura del pecho (DAP) entre 20-80 cm y una inclinación menor a 20° del fuste principal. De no contar con estas condiciones, se optó por la rama más cercana con menor inclinación al fuste y DAP entre el rango establecido (Filippini *et al.*, 2014).

En ambas áreas se utilizaron como herramientas cintas métricas de diferentes longitudes (para trazado de transectas y medición de altura y DAP), grillas, sobres de papel, lupa de mano, planillas de registro (para características del entorno y de especies) e instrumento cortante. En cuanto al muestreo de campo, en primer lugar, se verificó que el forofito a muestrear cumpliera con las características establecidas en la metodología, para cada árbol se midió el perímetro a la altura del pecho para poder establecer el diámetro de altura de pecho (DAP), altura, porcentaje de cobertura de canopia (mediante la aplicación móvil GLAMA Gap Light Analysis Mobile App, Tichý, 2016), y



cobertura total de líquenes, en relación al 100 % del total de grilla. Finalmente, sobre cada grilla se determinó la frecuencia de cada una de las especies de líquenes identificadas.

Identificación de especies

Para la identificación de las especies, en primera instancia y con utilización de una lupa de mano se realizó la observación de las características morfológicas generales de los líquenes adheridos al sustrato en campo, como tipo, presencia o ausencia de estructuras de reproducción sexual y/o asexual, presencia de ciliadas, pigmentación, entre otros aspectos que permitieron nombrar provisoriamente las especies halladas tomando una muestra de cada una y colocándola en sobre de papel madera previamente rotulado con los nombres de fantasía y código de trazabilidad de la muestra.

La determinación de especies se efectuó en laboratorio, a través de la observación de características macroscópicas y microscópicas y a partir de la revelación de metabolitos secundarios aplicando de reacciones puntuales de color utilizando KOH (al 10%) y C (Hipoclorito de sodio). En caso de ser necesario se realizó Cromatografía en Capa Delgada (CCD) para identificar los compuestos químicos (Orange *et al.*, 2001).

La principal bibliografía utilizada para la identificación de las especies fue Adler (2013), Estrabou *et al.* (2006), Scutari (1992), Filippini *et al.* (2015), Michlig & Ferraro (2012), Nash *et al.* (2002) y Rodríguez *et al.* (2012). Una vez determinadas las especies, se reemplazaron los nombres provisionales por reales en base de datos.

Análisis estadístico

Las variables respuesta analizadas fueron la riqueza de especies (como una medida de la diversidad alfa de la comunidad) y la cobertura total de líquenes por árbol mediante modelos lineales generalizados con distribución de Poisson y binomial respectivamente. En ambos casos se utilizó la zona como factor principal y la transecta como factor aleatorio. A su vez se analizó la influencia de las covariables: altura y perímetro de los árboles y cobertura de canopia incluyendo a las mismas como factores en los modelos analizados. Estos análisis se realizaron con el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020) y su interfaz con R.

Para analizar si la frecuencia de especies por árbol separa a las comunidades por zona, se aplicó un escalamiento no métrico multidimensional utilizando la distancia de Sorensen y se graficaron los dos primeros ejes multivariados en un biplot. Para una mejor interpretación de la información se redujo la matriz quitando las especies que aparecieron en solo 1 o 2 árboles. Los parámetros utilizados siguieron el modo autopilot de PCORD v.7. (McCune *et al.*, 2002) realizando 500 iteraciones. Se informó el estrés de la mejor ordenación obtenida como y la proporción de varianza explicada por cada eje mediante el cálculo del R² de la distancia entre el espacio multivariado original y el espacio obtenido por el ordenamiento

Resultados

A partir del estudio de las comunidades de líquenes en una zona de bosque nativo y otra urbana de la ciudad de Concepción del Uruguay se identificaron un total de 75 especies (Tabla 1) la mayoría de las cuales son de hábito folioso (3 fruticulosas, 47 foliosas, 1 escumulosa, 24 crustosas). Los líquenes de hábito crustoso fueron separados por sus características distintivas, pero difícilmente se pudo llegar a nombres de especies por lo que quedaron sin identificar a este nivel.

Tabla 1 — Especies identificadas, acrónimo utilizado en el análisis NMDS (Fig. 5) hábito de crecimiento y frecuencia acumulada por zonas. RU: Residencial urbano, BN: Bosque Nativo.

| Especie | Acrónimo | Crecimiento | Frecuencia RU | Frecuencia BN |
|---------------------------------|----------|-------------|---------------|---------------|
| <i>Anthracothecium</i> sp. | Anthra | Crustoso | 1 | - |
| <i>Bacidia</i> sp. | Bacidi | Crustoso | - | 10 |
| <i>Buellia</i> sp. | Buelli | Crustoso | - | 31 |
| <i>Caloplaca</i> sp. 1 | Calsp1 | Crustoso | 4 | - |
| <i>Caloplaca</i> sp. 2 | Calsp2 | Crustoso | 8 | 4 |
| <i>Candelaria concolor</i> | Cancon | Folioso | 72 | 199 |
| <i>Crespoa crozalsiana</i> | Cancro | Folioso | - | 201 |
| <i>Canoparmelia texana</i> | Cantex | Folioso | - | 29 |
| sp. | Catila | Crustoso | 2 | 35 |
| <i>Coenogonium</i> sp. | Coenog | Crustoso | - | 13 |
| Crustosa sp.1 | Crusp1 | Crustoso | 3 | 3 |
| Crustosa sp.2 | Crusp2 | Crustoso | 3 | - |
| <i>Dirinaria applanata</i> | Dirapp | Folioso | - | 3 |
| <i>Dirinaria picta</i> | Dirpic | Folioso | 4 | 3 |
| <i>Dirinaria</i> sp. | Dirisp | Folioso | 1 | 3 |
| <i>Graphis</i> sp. | Graphy | Crustoso | - | 44 |
| <i>Heterodermia albicans</i> | Hetalb | Folioso | - | 4 |
| <i>Heterodermia diademata</i> | Hetdia | Folioso | - | 13 |
| <i>Heterodermia japonica</i> | Hetjap | Folioso | - | 14 |
| <i>Heterodermia obscurata</i> | Hetobs | Folioso | - | 22 |
| <i>Heterodermia pruinosa</i> | Hetpru | Folioso | 1 | - |
| <i>Hyperph</i> a | Hypadg | Folioso | 3 | 13 |
| <i>Hyperphyscia endochrysea</i> | Hypend | Folioso | 5 | - |
| <i>Hyperphyscia granulata</i> | Hypgra | Folioso | 38 | 4 |
| <i>Hyperphyscia pandoni</i> | Hyppan | Folioso | - | 1 |
| <i>Hyperphyscia syncolla</i> | Hypsyn | Folioso | 17 | 8 |
| <i>Hyperphyscia</i> sp.1 | Hypsp1 | Folioso | 1 | 7 |
| <i>Hyperphyscia pruinosa</i> | Hyppru | Folioso | - | 35 |
| <i>Hyperphyscia tuckermanii</i> | Hypstuc | Folioso | 35 | - |
| <i>Hyperphyscia</i> sp. | Hypsp2 | Folioso | 5 | - |
| <i>Lecanora</i> sp.1 | Lecsp1 | Crustoso | 16 | - |
| <i>Lecanora</i> sp.2 | Lecsp2 | Crustoso | - | 3 |
| <i>Lecanora</i> sp.3 | Lecsp3 | Crustoso | 58 | 21 |
| <i>Lecanora</i> sp.4 | Lacsp4 | Crustoso | 2 | - |
| <i>Lecanora dispersa</i> | Lecdis | Crustoso | - | 5 |
| <i>Lecanora</i> sp.5 | Lecsp5 | Crustoso | 6 | - |
| <i>Lepraria</i> sp.1 | Lepsp1 | Crustoso | 13 | 34 |
| <i>Lepraria</i> sp.2 | Lepsp2 | Crustoso | - | 75 |

| Especie | Acrónimo | Crecimiento | Frecuencia RU | Frecuencia BN |
|-------------------------------|----------|-------------|---------------|---------------|
| <i>Lepraria</i> sp.3 | Lensp3 | Crustoso | - | 9 |
| <i>Leptogium cyanenscens</i> | Leptyc | Folioso | 6 | - |
| <i>Leptogium</i> sp. | Leptsp | Folioso | 2 | - |
| <i>Parmelinella lindmanii</i> | PLin | Folioso | - | 52 |
| <i>Normandina pulchella</i> | Norpul | Escuamuloso | 8 | - |
| <i>Ochrolechia</i> sp.1 | Ochrsp | Crustoso | 3 | - |
| <i>Parmotrema cetratum</i> | Parcet | Folioso | - | 9 |
| <i>Parmotrema</i> sp.1 | Parsp1 | Folioso | - | 2 |
| <i>Parmotrema conferendum</i> | Parcon | Folioso | - | 2 |
| <i>Parmotrema consors</i> | Pacons | Folioso | 8 | 0 |
| <i>Parmotrema mulleri</i> | Parmul | Folioso | - | 5 |
| <i>Parmotrema pilosum</i> | Parpil | Folioso | 5 | - |
| <i>Parmotrema re</i> | Parret | Folioso | - | 38 |
| <i>Pertusaria</i> sp.1 | Persp1 | Crustoso | - | 12 |
| <i>Pertusaria</i> sp.2 | Persp2 | Crustoso | - | 15 |
| <i>Pertusaria</i> sp.3 | Persp3 | Crustoso | 14 | - |
| <i>Physcia aipolia</i> | Phyaip | Folioso | 70 | 41 |
| <i>Phaeophyscia chloantha</i> | Phachl | Folioso | 25 | - |
| <i>Phaeophyscia hispidula</i> | Phahis | Folioso | 1 | - |
| <i>Physcia albata</i> | Phyalb | Folioso | - | 1 |
| <i>Physcia undulata</i> | Phyond | Folioso | 6 | - |
| <i>Physcia poncinsii</i> | Phypon | Folioso | 11 | 64 |
| <i>Ph</i> | Phyrol | Folioso | 46 | 13 |
| <i>Physcia sinuosa</i> | Physin | Folioso | - | 2 |
| <i>Punctelia hypoleucites</i> | Punhyp | Folioso | - | 8 |
| <i>Punctelia micros a</i> | Punmic | Folioso | 6 | 7 |
| <i>Punct</i> | Punpun | Folioso | - | 2 |
| <i>Punctelia semansiana</i> | Punsem | Folioso | - | 2 |
| <i>Punctelia borrerina</i> | Punbor | Folioso | 4 | 19 |
| <i>Pyxine astridiana</i> | Pyxastr | Folioso | 4 | 26 |
| <i>Pyxine berteriana</i> | Pyxber | Folioso | 12 | - |
| <i>Pyxine subcinerea</i> | Pyxsub | Folioso | 27 | 2 |
| <i>Pyxine</i> sp. | Pyxisp | Folioso | 4 | - |
| <i>Ramalina aspera</i> | Ramasp | Fruticuloso | - | 2 |
| <i>Ramalina celastri</i> | Ramcel | Fruticuloso | 3 | 29 |
| <i>Rinodina</i> sp. | Rinodi | Crustoso | - | 4 |
| <i>Teloschistes exilis</i> | Telexi | Fruticuloso | - | 8 |

La riqueza y la cobertura total de líquenes mostraron diferencias notables entre ambas zonas (Figuras 3 y 4). La riqueza promedio fue de 11,8 en el Bosque Nativo mientras que en la zona de uso residencial urbana disminuyó a 4,3 especies por árbol ($F = 19,4$; $p = 0,0001$). Ninguna de las co-variables resultaron significativas para este modelo. En el caso de la cobertura total de líquenes el modelo más ajustado ($F = 279,5$; $p = 0,0001$) incluyó a la altura y el perímetro de los árboles además de la diferencia entre zonas.

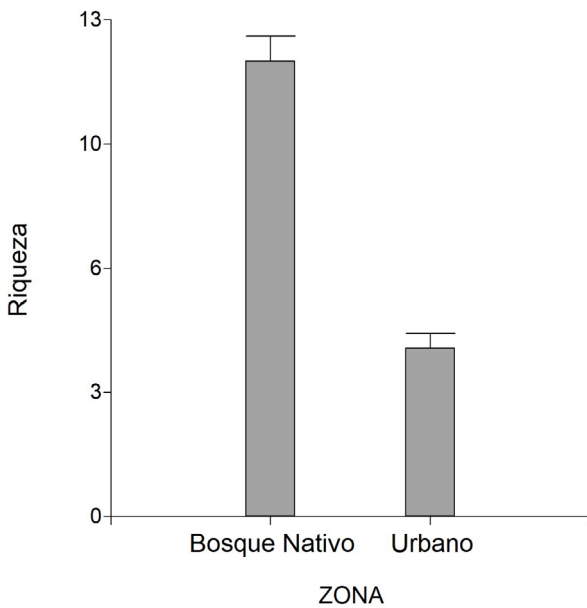


Fig. 3. Riqueza de especies promedio en cada zona. Las barras delgadas representan el Error Estándar.

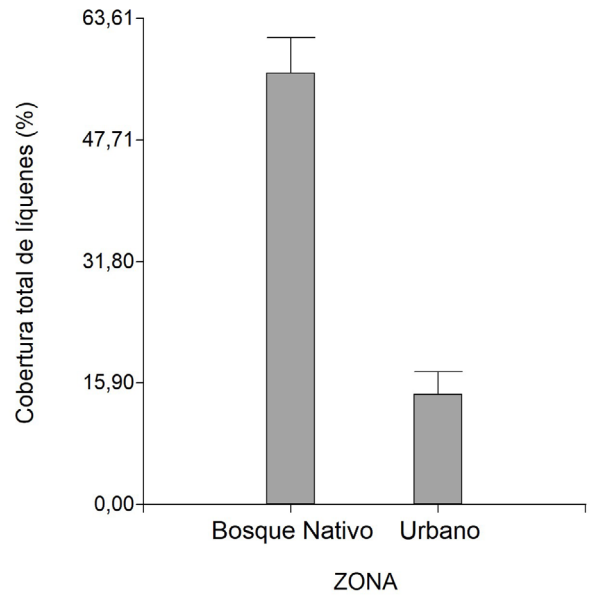


Fig. 4. Cobertura de líquenes promedio en cada zona. Las barras delgadas representan el Error Estándar.

La composición de especies también fue diferente entre las zonas. En el Bosque Nativo se identificaron 32 especies exclusivas mientras que en urbano fueron 21. Ambas zonas compartieron 21 especies.

Esta diferencia en la composición también se vio reflejada en la frecuencia de las especies mediante el análisis de NMDS que permite visualizar una notable separación entre ambas comunidades, así como su asociación con las especies (Figura 5). En el biplot puede observarse que especies del género *Hyperphyscia* y *Pyxine* se asocian a la zona urbana. El estrés de la mejor ordenación obtenida fue de 13,01 y la varianza explicada fue de 0.67 para los tres primeros ejes.

En el Bosque Nativo las especies que mostraron mayor frecuencia fueron *Crespoa crozalsiana* ($f=201$) y *Candelaria concolor* ($f=199$) mientras que en urbano fueron *Candelaria concolor* ($f=72$) y *Physcia aipolia* ($f=70$).

Discusión

Los resultados de este trabajo establecen una línea de referencia para el estudio de las comunidades de líquenes en provincia de Entre Ríos ya que la mayoría de las especies identificadas no habían sido mencionadas para la provincia (Calvelo & Liberatore, 2002).

Como era de esperarse, la riqueza de especies es tres veces menor en la ciudad y la cobertura de líquenes disminuye cuatro veces aproximadamente. En cuanto a la riqueza de especies halladas, los resultados de este trabajo coinciden con los de Lijteroff *et al.* (2009) quien pudo establecer valores muy inferiores en la ciudad de San Luis respecto a los de la ciudad de Juana Koslay, definida como área control, la cual se define como de baja ocupación y ubicada en un área de transición entre la urbanización y sector de áreas naturales. Asimismo, esta característica fue señalada en los resultados del trabajo realizado por Bringas y Ambrosio (2017) y Gutierrez (2020) quienes realizan un análisis de riqueza y cobertura para zonas urbanas con diferentes categorías de tránsito vehicular determinando que la zona con mayor flujo vehicular presenta menor cobertura y riqueza de líquenes, esta característica concuerda con la zona residencial evaluada, en la cual la fuente de contaminación de aire está constituida por los gases de combustión del parque automotor circundante en el distrito de Cajamarca, Perú, determinando diferencias significativas entre las zonas con mayor flujo vehicular.

En cuanto a la frecuencia de especies presentes en el área urbana, los resultados coinciden con los de Coffey & Fahrig (2012) quienes encontraron mayor frecuencia de *Candelaria concolor* en todos los sitios relevados en área urbana en Ottawa, Canadá, donde se describe que la única fuente importante de contaminación del aire es el tráfico de vehículos, tal como ocurre en la Ciudad de Concepción del Uruguay, en la zona residencial urbana muestreada, siendo además considerada una de las especies que presenta alto grado de tolerancia a la contaminación en este tipo de ambientes (Granja Guevara, 2022; Cohn-Berger & Quezada, 2016).

Otros autores han evaluado el impacto de diferentes tipos de usos de suelo, respecto a las comunidades liquénicas presentes, en este sentido Filippini *et al.* (2020b) analizó los cambios en la frecuencia de familias y géneros de comunidades de líquenes epífitos en áreas de amortiguamiento que comprenden producción de cultivos, ganadería (corrales de engorde), pastoreo y bosque. En este trabajo la frecuencia de Physciaceae aumentó en comunidades cercanas (600 m) a cultivos. En Concepción del Uruguay *Physcia aipolia* es la segunda especie dominante en frecuencia en área urbana, así como especies de *Pyxine* o *Hyperphyscia* se encuentran asociadas a esta zona (Fig. 5). Estos patrones permiten asociar a las especies de estos géneros con ambientes fuertemente impactados por contaminación (Estrabou *et al.*, 2011).

Por otro lado, en cuanto a la cobertura de especies en bosque nativo, este trabajo coincide con el hallazgo de Rodríguez *et al.* (2009) quien realizó un estudio de la diversidad y cobertura de líquenes epífitos en un área impactada por incendios y en un área testigo en la provincia de Córdoba, Argentina. En su trabajo presenta como resultado que *Crespoa crozalsiana* es la especie que presenta mayor cobertura relativa promedio entre las especies registradas en árboles de la zona testigo de bosque nativo.

Si bien este trabajo se presenta como un estudio preliminar sobre las comunidades liquénicas y su aplicación como bioindicadores de calidad del aire, se pudo inferir una marcada diferencia de riqueza y de cobertura para las dos zonas evaluadas. En este tipo de trabajos es necesario contar con información de base para poder comparar comunidades poco afectadas por la actividad antrópica con otras bajo procesos de contaminación, más aún en regiones con poco o nulo conocimiento sobre la biota liquénica.

Referencias

- ABAS, A. (2021) A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. *Ecological Indicators* **121**: 107197.
- ADLER, M. T. (2013) Líquenes Parmelioides (Parmeliaceae, Ascomycota) del Parque Nacional Copo (Provincia de Santiago del Estero, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **48(3-4)**: 387–406.
- BRINGAS BECERRA, B. & AMBROSIO MANTILLA, M. X. (2017) Evaluación de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca en el año 2017. *UCV-Scientia* **12(1)**: 25–33.
- CALVELO, S. & LIBERATORE, S. (2002) Catálogo de los líquenes de la Argentina. *Kurtziana* **29(2)**: 7–170.
- COFFEY, H. M. & FAHRIG, L. (2012) Relative effects of vehicle pollution, moisture and colonization sources on urban lichens. *Journal of Applied Ecology* **49(6)**: 1467–1474.
- COHN-BERGER, G. & QUEZADA, M. (2016) Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. *Revista Científica* **26(1)**: 20–39.
- DIRECCIÓN DE HIDRÁULICA DE ENTRE RÍOS (2022) Informes meteorológicos anuales para Concepción del Uruguay. <https://www.hidraulica.gob.ar/#SIHER>
- DI RIENZO, J. A., CASANOVES, F., BALZARINI, M. G., GONZALEZ, L., TABLADA, M. & ROBLEDO, C. W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- ESTRABOU, C., FILIPPINI, E., SORIA, J. P., SCHELOTTO, G. & RODRIGUEZ, J. M. (2011) Air quality monitoring system using lichens as bioindicators in Central Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* **182(1-4)**: 375–383.
- ESTRABOU, C., QUIROGA, C. & RODRIGUEZ, J. M. (2014) Replacement of lichen community in eutrophic forests in the province of Córdoba, Argentina. *Bosque* **35(1)**: 49–55.
- ESTRABOU, C., RODRÍGUEZ, J. M., PRIERI, B., & LIJTEROFF, R. (2006) Contribución al conocimiento de los macrolíquenes del extremo Sur del Gran Chaco (Argentina). *Kurtziana* **32(1-2)**: 25–43.
- FILIPPINI, E., ESTRABOU, C. & RODRIGUEZ, J. M. (2014) Lichen community from an endangered forest in central Argentina. *Lazaroa* **35**: 55–63.
- FILIPPINI, E., RODRIGUEZ, J. M., QUIROGA, G. & ESTRABOU, C. (2015) Review and new records of *Hyperphyscia* (Ascomycota – Physciaceae) from Argentina. *Sydowia* **67**: 25–32.
- FILIPPINI, E., CAÑAS, M., ACOSTA, W. D., PLÁ, R. R., JASAN, R. C., INVERNIZZI, R. & ESTRABOU, C. (2020a) Physiological response and multi-elemental content in lichens growing on agricultural fences: a pilot study comparing no-tillage and organic cropping. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **105**: 211–217.
- FILIPPINI, E., RODRÍGUEZ, J. M., QUIROGA, G. & ESTRABOU, C. (2020b) Differential response of epiphytic lichen taxa to agricultural land use in a fragmented forest in Central Argentina. *CERNE* **26(2)**: 272–278.
- GUTIERREZ ARCE, F. (2020) Líquenes: bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca. *UCV-Scientia* **12(1)**: 25–33.
- GRANJA GUEVARA, G. I. (2022) *Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de Quito, Ecuador*. Tesis de grado en Licenciatura en Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- LIJTEROFF, R., LIMA, L. & PRIERI, B. (2009) Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* **25(2)**: 111–120.
- TICHÝ, L. (2014). GLAMA-gap light analysis mobile application. <http://www.sci.muni.cz/botany/glama/>
- MCCUNE, B. & GRACE, J. B. (2002) *Analysis of ecological communities*. MjM Software Design, Oregon, Estados Unidos.
- MICHLIG, A., & FERRARO, L. (2012) Diversidad de macrolíquenes del Parque Nacional Mburucuyá (Corrientes, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **47(3-4)**: 287–302.
- NASH, T. H., III, RYAN, B. D., GRIES, C. & BUNGARTZ, F. (2002) *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region*. Lichens Unlimited, Arizona State University, Tempe, Arizona.
- NEUROHR, E. (2010) *Líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica de la zona urbana de San José*. Tesis para optar por el título de Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales, Universidad Estatal a Distancia. (San José, Costa Rica). https://uned.cr/ecologiaurbana/images/pdf/Tesis_Erich_Neurohr.pdf
- OCHOA-JIMÉNEZ, D. A., CUEVA-AGILA, A., PRIETO, M., ARAGÓN, G. & BENITEZ, Á. (2015) Cambios en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Loja (Ecuador). *Caldasia* **37(2)**: 333–343.

- ORANGE, A., JAMES, P. W. & WHITE, F. J. (2001) *Microchemical methods for the identification of lichens*. British Lichen Society.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD [OMS] (2021) *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- PAUSICH, G., GVOZDENOVICH, J. & PIOTO, C. (2013) *Caracterización de zonas y subzonas RIAN*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Entre Ríos, EEA Paraná. Argentina.
- RODRIGUEZ, J. M., ESTRABOU, C., FENOGLIO, R., ROBBIATI, F., SALAS, M. C. & QUIROGA, G. (2009) Recuperación post-fuego de la comunidad de líquenes epífitos en la provincia de Córdoba, Argentina. *Acta Botanica Brasilica* **23**: 854–859.
- RODRIGUEZ, J. M., ESTRABOU, C. & QUIROGA, G. (2012) The genus *Heterodermia* (Lecanorales-Physciaceae) in Central North of Argentina. *Acta Botanica Brasilica* **26(4)**: 1000–1005.
- SCUTARI, N. C. (1992) Estudios sobre Pyxinaceae Foliosas (Lecanorales, Ascomycotina) de la Argentina, IV: Clave de los géneros y las especies de la Provincia de Buenos Aires. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **28(1-4)**: 169–173.
- SHAHRIYARI, H. A., NIKMANESH, Y., JALALI, S., TAHERY, N., ZHIANI FARD, A., HATAMZADEH, N., ZAREA, K., CHERAGUI, M. & MOHAMMADI, M. J. (2022) Air pollution and human health risks: mechanisms and clinical manifestations of cardiovascular and respiratory diseases. *Toxin Reviews* **41(2)**: 606–617.