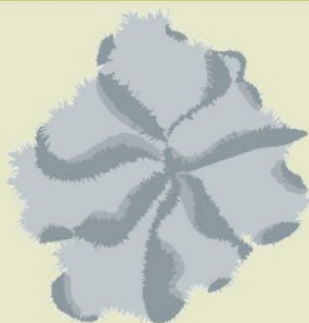


GLALIA

Revista Electrónica del Grupo Latinoamericano de Lichenólogos



Proceedings
XV Encuentro del
Grupo Latinoamericano
de Lichenólogos



GLAL XV

Argentina 2022

Noviembre 2023 **Vol. 9(1)**

Editor a cargo (2023) **JUAN MANUEL RODRÍGUEZ**
Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables (CERNAR), Universidad Nacional de
Córdoba
<juan.rodriguez@unc.edu.ar>

Editor a cargo (2020-2022) Reinaldo Vargas Castillo
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo grande, Brasil

Editor a cargo (2014-2019) Adriano A. Spielmann
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Santiago, Chile

Editor a cargo (2008-2014) Jesús Hernández
Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

Comité editorial invitado **ANDREA MICHLIG**
Instituto de Botánica del Nordeste (IBONE, UNNE-CONICET), Facultad de Ciencias
Exactas y Naturales y Agrimensura (FACENA-UNNE)

RENATO ANDRÉS GARCÍA

Laboratorio de Biodiversidad y Genética Ambiental (BIOGEA) - UNDAV

EDITH FILIPPINI

Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables (CERNAR), Facultad de Ciencias
Exactas, Físicas y Naturales. Instituto de Investigaciones Biológicas y Tecnológicas
(CONICET-Universidad Nacional de Córdoba)

JUAN LAVORNIA

Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional de
Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur

ALEJANDRA FAZIO

Instituto de Micología y Botánica, INMIBO (UBA-CONICET), Laboratorio de Micología
Experimental (DBBE, FCEN - UBA)

RAÚL ENRIQUE DÍAZ DOMÍNGUEZ

Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables (CERNAR), Facultad de Ciencias
Exactas, Físicas y Naturales. Instituto de Investigaciones Biológicas y Tecnológicas
(CONICET-Universidad Nacional de Córdoba)

ALFREDO PASSO

Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medio Ambiente INIBIOMA (CONICET-
UNComahue)

Carátula: *Ramalina celastri* (fotografía de R.A. García).
Ilustración: Logo GLAL XV (diseño Milagros Giacomelli).
Maquetado y edición: María Cecilia Puigbó (Instituto de Botánica del Nordeste)

Todos los derechos reservados, con excepción de la divulgación libre del trabajo completo en forma electrónica o impresa para fines académicos.

©2019 Grupo Latinoamericano de Liqueólogos

Publicado por: Departamento de Publicaciones de la Fundación Instituto Botánico de Venezuela
(Depósito Legal: pp1200802DC2922)

ISSN 1856-9072

Fecha de Publicación: 30 de Noviembre 2023

Revista Electrónica del Grupo Latinoamericano de Liqueólogos

ÍNDICE

Majul, L.M.; García, R.A.& Fazio, A.T. Primera determinación de la actividad lacasa en Ramalina celastri y su potencial asociación funcional con diferentes niveles de exposición a la luz.	3
First laccase activity determination of Ramalina celastri and its potential functional association to different levels of light exposition	
Villanova, M.; La Rosa, M.J.; Sastre, K.J.; Acevedo, E.S.; Orcellet, E.E. & Rodríguez, J.M. 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.	12
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	
Pozo, I.A.; Canton, N.V.; Jausoro, M.; Jaime, G.S. & Rodríguez, J.M. Diversidad alfa de líquenes en conglomerados de areniscas en la Reserva Provincial Los Colorados, La Rioja – Argentina.	24
Alpha Lichens diversity in sandstone conglomerates in the Provincial Reserve Los Colorados, La Rioja - Argentina	
Gollo, M.S.; Rodríguez J.M.; Pighín, J.M.A.F.; Villagra, E.; Ferro, J. & Gomez, J.J. Micro y mesoplásticos en la infusión “té de la piedra”.	35
Micro and mesoplastics derived from “stone tea” infusion	
Roa García, F.; Ríos, M. & Hernández Santander, V. Comunidades liquénicas urbanas de la Ciudad de Concepción.	45
Urban lichen communities of the city of Concepción	

Proceedings del XV Encuentro del Grupo de Lichenólogos de América Latina

Desde sus inicios, el Grupo Latino Americano de Lichenólogos (GLAL) tiene como objetivo promover la liquenología y fomentar el intercambio, no sólo entre investigadores y docentes, sino también con personas *amateurs* en el estudio de los líquenes en Latinoamérica. En ese sentido, el GLAL ha sido siempre de gran importancia para el desarrollo de la comunidad científica en muchos de los países de la región y sus encuentros son reconocidos como el principal evento de la disciplina en el continente.

En la actualidad, afortunadamente, son varios los países que cuentan con grupos de investigación consolidados y de gran trayectoria. Así como también se destacan grupos de reciente formación en países que históricamente contaban con muy pocos integrantes.

A mediados del año 2022 tuvo lugar la decimoquinta edición, organizada, en esta ocasión por el grupo de liquenólogos y liquenólogas de Argentina. La grave situación sanitaria provocada por la pandemia a partir del virus SarsCovid-2 nos imposibilitó poder encontrarnos una vez más en persona y poder compartir nuestros avances en la ciudad de Bariloche. A pesar de ello, la virtualidad, a la cual nos hemos acostumbrado tanto, nos permitió organizar un GLAL diferente y pese a todo, colmado de líquenología. Entre otras cosas, se pudo contar con una asistencia récord de casi 300 participantes, con representación de casi todos los países de América Latina (México, Cuba, El Salvador, Guatemala, Honduras, Puerto Rico, Venezuela, Ecuador, Colombia, Brasil, Bolivia, Chile, Paraguay, Perú y Argentina), así como también con la participación de países de otras regiones del mundo, como Estados Unidos, Suecia, Alemania, Polonia, Austria, España, Portugal, e inclusive de países que nunca habían participado en ediciones anteriores, como Argelia, India e Indonesia. Durante el encuentro se presentaron un total de 110 trabajos, incluyendo 7 conferencias magistrales por destacadas personalidades del ámbito local, regional e internacional, 60 ponencias orales y casi 50 en formato poster. Es evidente que el incremento registrado en la cantidad asistentes y trabajos presentados, estuvo relacionados con la modalidad virtual, pero no deja de ser un reflejo del desarrollo y el crecimiento de la liquenología en la región.

Desde el año 2008, el GLAL publica su revista GLALIA, con el principal objetivo de promocionar un espacio en donde dar a conocer los resultados de nuestras investigaciones. El presente volumen tiene el objetivo de recuperar lo que en algún momento fue una valiosa tradición, la de publicar un "proceeding" del Encuentro, en donde se posibilite la publicación, en formato extenso, de trabajos presentados durante el GLAL. Desde el Comité Organizador del GLAL XV, creemos que la revista GLALIA es el espacio adecuado para esto y esperamos que sea una iniciativa que se mantenga.

El Comité Editorial

Primera determinación de la actividad lacasa en *Ramalina celastri* y su potencial asociación funcional con diferentes niveles de exposición a la luz

First laccase activity determination of *Ramalina celastri* and its potential functional association to different levels of light exposition

Leonardo M. Majul¹⁾, Renato A. García²⁾ & Alejandra T. Fazio¹⁾

¹⁾Laboratorio de Micología Experimental, INMIBO (UBA-CONICET), DBBE, FCEN, UBA, Buenos Aires, Argentina.
Email: leonardomajul@gmail.com, fazio.alejandra@gmail.com

²⁾Laboratorio de Biodiversidad y Genética Ambiental, Universidad Nacional de Avellaneda, Avellaneda, Argentina.
Email: ragarcia@undav.edu.ar

Resumen

Los escasos estudios enzimáticos en líquenes muestran que la acción de las lacasas estaría asociada a una respuesta a condiciones de estrés, siendo este comportamiento similar al de especies de hongos saprofitos. En el presente estudio se analizó la actividad lacasa en la especie *Ramalina Celastri* (Spreng.) Krog & Swinscow con el fin de detectar su presencia y evaluar sus niveles de actividad en relación a su exposición a la luz. Para ello se recolectaron ejemplares de *R. celastri*, que se encontraban expuestos a alta o baja luminosidad a campo y se expusieron en cámara húmeda durante 24 hs a la luz y a oscuridad. Para determinar la actividad lacasa, inicialmente se molieron los talos en buffer fosfato pH 7 y se centrifugaron a 5000 rpm durante 20 minutos para recuperar el sobrenadante. A partir de estos se determinó la actividad lacasa siguiendo la oxidación de 2,6-dimetoxifenol (DMP) en buffer acetato de sodio 50 mM a pH 3.5. Los resultados muestran actividad lacasa en todos los extractos. A su vez, se encontraron diferencias significativas entre los individuos expuestos a baja o alta luminosidad y solo entre aquellos que cambiaron de una alta exposición a la luz a oscuridad. Por otro lado, el perfil de actividad lacasa respecto al pH fue diferente en los individuos que estuvieron expuestos a diferentes intensidades de luz. Estas diferencias podrían estar asociadas a un cambio en el perfil isoenzimático y potencialmente a cambios fisiológicos.

Palabras clave: Líquenes, *Ramalina Celastri*, enzimas, lacasas, Argentina.

Abstract

The few enzyme studies done on lichens indicate that the activity of laccases is might be related to stress response, which is similar to that of saprophytic fungal species. In this study, laccase activity was analyzed in *Ramalina celastri* (Spreng.) Krog & Swinscow to detect its presence and evaluate its expression in response to light exposure. Specimens of *R. celastri* were collected from exposed to high or low light levels in the field, then exposed to light and darkness in a humid chamber for 24 hours. To measure laccase activity, the thalli were ground in pH 7 phosphate buffer, then centrifuged to obtain the supernatant, which was used to determine laccase activity by oxidizing 2,6-dimethoxyphenol (DMP) in 50 mM sodium acetate buffer at pH 3.5. The results showed laccase activity in all extracts, with significant differences between individuals exposed to high or low light and those exposed to darkness after high light exposure. Additionally, the laccase activity profile in relation

to pH differed among individuals exposed to different light intensities, which could be due to changes in the isoenzyme profile and potential physiological changes.

Key words: Lichens, *Ramalina Celastri*, enzymes, laccases, Argentina

Introducción

Las lacasas son enzimas pertenecientes a la familia de oxidasas multicobre (MCOs, del inglés multicopper oxidases). Estas enzimas catalizan mediante sus centros cobre, la oxidación de una amplia variedad de compuestos aromáticos con la consecuente reducción de oxígeno a agua (Solomon *et al.*, 1996). Dichas enzimas fueron descritas ampliamente para plantas, animales, bacterias y hongos (Berthet *et al.*, 2012; Dwivedi *et al.*, 2011; Dittmer & Kanost, 2010), mientras que en líquenes son escasos (Laufer *et al.*, 2006; Zavarzina y Zavarzin, 2006).

Las lacasas participan en diferentes procesos como la transformación de los fenoles solubles y sustancias húmicas (Zavarzina, 2006), así como en la síntesis y descomposición de la lignina (Montoya *et al.*, 2014; Boerjan *et al.*, 2003; Levín, 1998). Específicamente en los hongos las lacasas cumplen múltiples funciones, ya que intervienen en la síntesis de pigmentos (como la melanina), en procesos de morfogénesis (como formación de estructuras reproductivas) y, según Arregui *et al.* (2019), participarían también en la detoxificación de compuestos de bajo peso molecular como fenoles y quinonas, incluyendo derivados de la degradación de lignina, así como también fitoalexinas y otros compuestos fenólicos sintetizados por las plantas en respuesta al ataque por fitopatógenos. Las lacasas oxidan sustratos como *o*-, *p*- difenoles, aminofenoles, polifenoles, poliaminas y diarilaminas, así como también algunos iones inorgánicos (Kjaergaard *et al.*, 2012; Augustine *et al.*, 2008).

Los estudios de enzimas líquénicas son escasos, pero necesario para aumentar el conocimiento sobre la fisiología del grupo. En el caso de la actividad lacasa en líquenes, la mayoría de los estudios han sido realizados principalmente para el género *Peltigera* Willd. y al igual que en otros organismos, no es posible relacionarla con una única función (Laufer *et al.*, 2006). Se cree que la actividad lacasa podría estar relacionada a la respuesta a la comunidad bacteriana asociada al talo líquénico y su la defensa contra patógenos y propiedades antibióticas (Leiva *et al.*, 2016; Cáceres, 2015). Por otro lado, en los líquenes terrícolas, la descomposición de la turba debajo de las llamadas "costras líquénicas" que crecen en el suelo, se ha asociado a la actividad lacasas involucradas en la descomposición microbiana de compuestos fenólicos (Harris *et al.*, 2018).

Por otro lado, cabe remarcar que debido a la naturaleza poiquilohídrica de los líquenes y a su metabolismo, son capaces sobrevivir en condiciones extremas mediante una rápida restauración de su actividad metabólica (Purvis, 2000). En este sentido, la luz resulta un factor ecológico decisivo ya que influye en la tasa fotosintética y por lo tanto en producción de hidratos de carbono, pero también en el estrés hídrico en condiciones de alta intensidad. Debido a esto, los líquenes desarrollaron mecanismos de protección que le permiten resistir este tipo de estrés, entre ellos la anatomía del talo, su capacidad para mantenerse inactivo y la producción de sustancias específicas del córtex (Barreno y Pérez-Ortega, 2003). Por otro lado, si bien los estudios enzimáticos en líquenes son escasos, la mayoría muestran que la acción de las lacasas estaría asociada a una respuesta a condiciones de estrés, siendo este comportamiento similar al de especies de hongos saprófitos (Piscitelli *et al.*, 2011). En particular, los estudios de estrés lumínico en líquenes asociado a dicha actividad resultan escasos. El trabajo realizado por Matee *et al.* (2016) es único en esta temática e indica que individuos de *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. muestran una alta actividad lacasa en condiciones de alta intensidad lumínica a campo.

Ramalina celandri (Spreng.) Krog & Swinscow presenta un talo fruticoso cortícola. Su distribución es Pantropical, con numerosos registros en todo el mundo, excepto en la Antártida y el Ártico, desde el nivel del mar hasta los 1000 m s.n.m. (Gumboski 2016). Es una especie común que crece preferentemente en zonas iluminadas y sensible a la contaminación atmosférica, en Argentina se distribuye en provincias templado cálidas, pudiendo encontrarlas en bosques templados, secos, húmedos y también sobre materiales manufacturados (Calvelo y Liberatore, 2002; Bermudez *et al.* 2009; Estrabou *et al.*, 2014; Filippini *et al.*, 2014). En el presente estudio se analizó la actividad lacasa en la especie *R. celandri* con el fin de detectar su presencia y evaluar nivel de actividad en relación a su exposición a la luz.

Materiales y métodos

Recolección de material

La recolección de los talos fue realizada en dos reservas de la costa sur del río de la Plata, la Eco Área de Avellaneda (34°39'45.0"S 58°19'07.2"W) durante los años 2019 y 2021 y la Reserva Natural de Punta Lara (34°47'25.3"S 58°00'27.4"W) durante el año 2022. Se recolectaron ejemplares de la especie *R. Celandri* en 2 condiciones diferentes de exposición a la luz, una en la que se encontraban los ejemplares creciendo bajo el dosel de árboles a la sombra (baja exposición) y ejemplares creciendo sobre árboles solitarios (alta exposición) (figura 1). Los ejemplares se recolectaron sin dañar el talo retirándose con el disco basal, se guardaron en bolsas de papel y se mantuvieron a -20 °C hasta su posterior análisis.

Ensayos in vitro de incubación a condiciones de luz y oscuridad y obtención de fracciones acuosas a partir de talos de R. celandri

Para evaluar la incidencia de la luz sobre ejemplares de *R. celandri* se obtuvieron extractos de las muestras luego de su recolección como condición inicial y luego de ser incubadas en cámara húmeda a 25 °C a la luz o en oscuridad durante 24 hs. Para obtener los extractos se molieron los talos de forma individual con mortero hasta alcanzar un polvo fino y se agregó buffer fosfato de potasio 0.1 M, pH 7 hasta una concentración de 0.1 g/ml. Para separar los sólidos del extracto se centrifugaron los homogenatos a 5000 rpm durante 20 minutos (Rolco 2036) y se recuperó el sobrenadante. Las muestras se reservaron a -20 °C.

Actividad lacasa

La actividad lacasa se determinó espectrofotométricamente como el aumento de la absorbancia a 469 nm debido a la oxidación de 2,6 dimetoxifenol (DMP) 5 mM ($\epsilon_{369} = 27,5 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) a 30 °C en buffer fosfato de potasio 0,5 mM a pH 3,5 (Hofrichter, *et al.*, 1998). Por otro lado, se obtuvo el pH óptimo de actividad lacasa de los extractos realizando las reacciones a pH 2; 3,5; 4; 5; 6; 7 y 8. Se calculó la actividad relativa al punto de mayor actividad mediante la fórmula:

$$\text{Actividad relativa} = (\text{actividad a evaluar} / \text{actividad máxima}) * 100$$

Se definió unidad enzimática (UE) como la cantidad de enzima necesaria para oxidar 1 μmol de DMP por minuto.

Análisis estadístico

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. En los ensayos en que se realizaron extracciones, cada una correspondió a un individuo de *R. celandri*. Los datos obtenidos se analizaron mediante ANOVA de dos vías. El contraste de los tratamientos se efectuó a posteriori mediante test

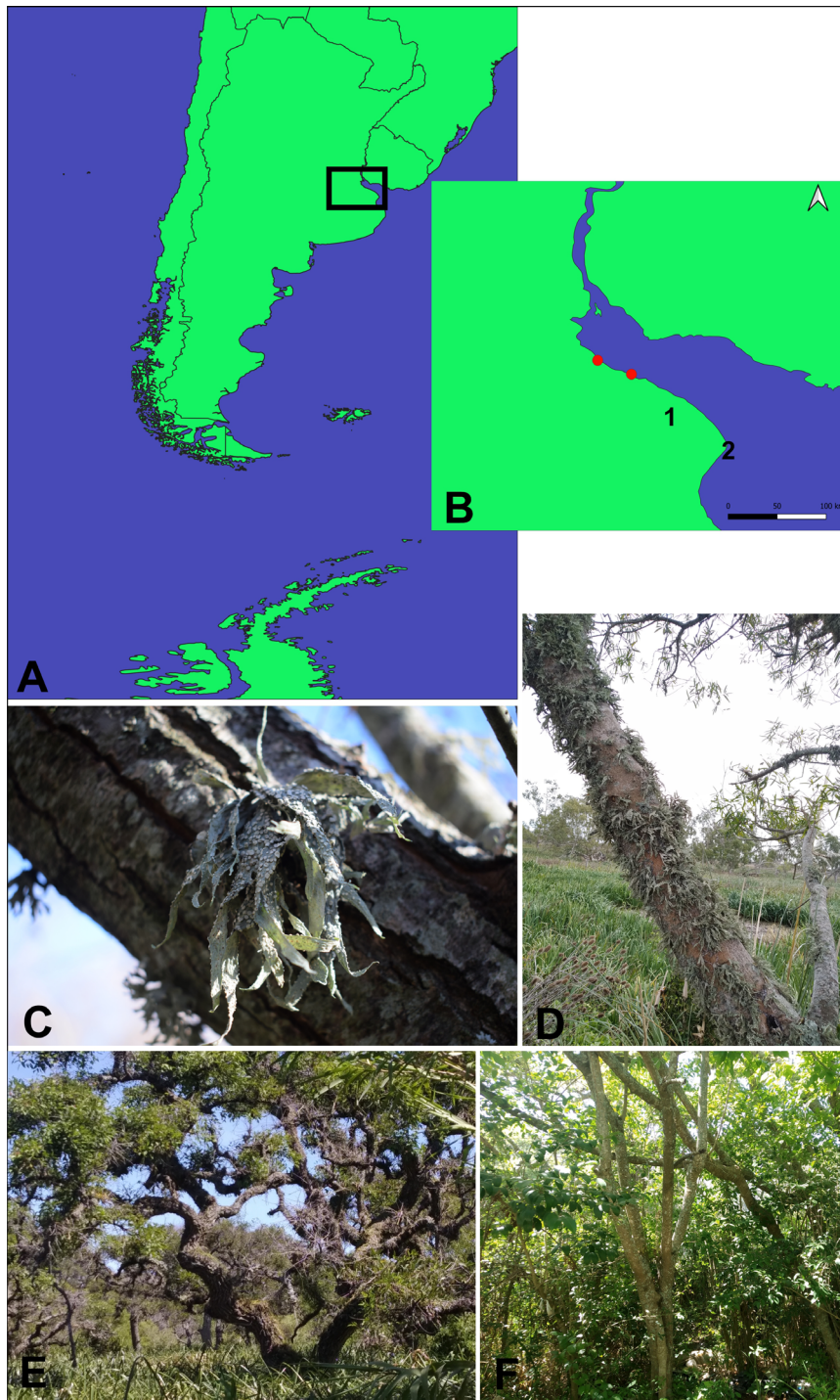


Fig. 1. A. Mapa de Argentina indicando el área de muestreo. B. Detalle de los sitios donde se recolectaron muestras (1. Eco Área de Avellaneda; 2. Reserva Natural Punta Lara). C. Detalle de *R. celastri*. D. Rama colonizada por *R. celastri*. E. ejemplares creciendo sobre árboles solitarios (alta exposición). F. Ejemplares creciendo bajo el dosel de árboles a la sombra (baja exposición).

de Tukey. En ambos casos, el valor de significancia establecido fue de $p < 0.05$. Se utilizó el software Graphpad Prism 8.0.1 (GraphPad Software).

Resultados

Incidencia de la luz sobre la actividad lacasa de R. celastri

Se detectó actividad lacasa en todas las muestras de *R. celastri* analizadas. Las muestras correspondientes a condiciones de alta exposición a la luz mostraron una mayor actividad lacasa que aquellas que se encontraban en condiciones de baja exposición ($p < 0.05$). No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos recolectados los diferentes años ($p > 0.05$) mostrando una tendencia marcada por la incidencia de la luz (Fig. 2).

Con el fin de analizar el efecto de la luz sobre los niveles de actividad lacasa en los talos liquénicos, individuos recolectados que se encontraban en alta y baja exposición a la luz se incubaron durante 24 hs en luz u oscuridad. Los resultados muestran que sólo aquellos individuos que pasaron de estar expuestos de una exposición alta a oscuridad mostraron un aumento en la actividad lacasa, mientras que aquellos que mantuvieron la condición inicial o pasaron de baja a alta exposición no mostraron diferencias significativas (Fig. 3).

Se determinó el pH óptimo de actividad lacasa de los extractos de los talos liquénicos expuestos en el campo a alta y baja exposición a la luz. Como se puede observar en la figura 4, las muestras provenientes de individuos con alta exposición a la luz alcanzan su máximo de actividad entre pH 3 y 3.5, mientras que las muestras provenientes de individuos con baja exposición a la luz lo hacen alrededor de pH 5.

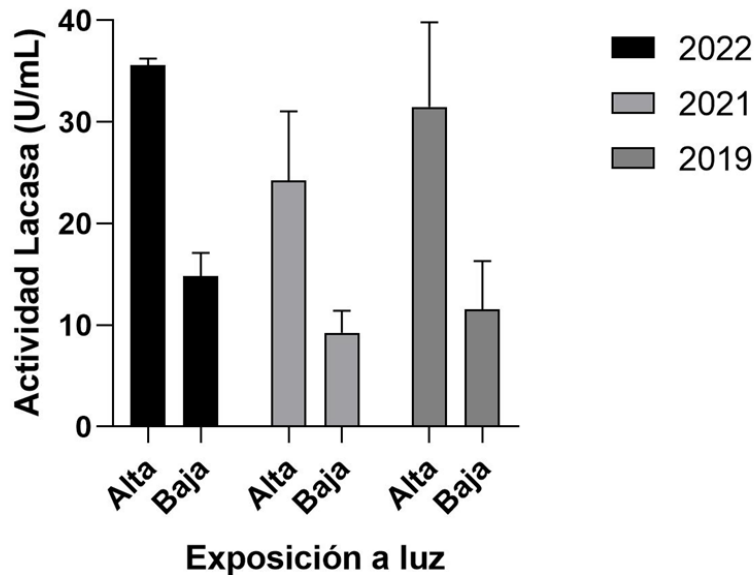


Fig. 2. Actividad lacasa de fracciones acuosas derivadas de talos de *R. celastri* recolectados en condiciones de alta y baja exposición a la luz.

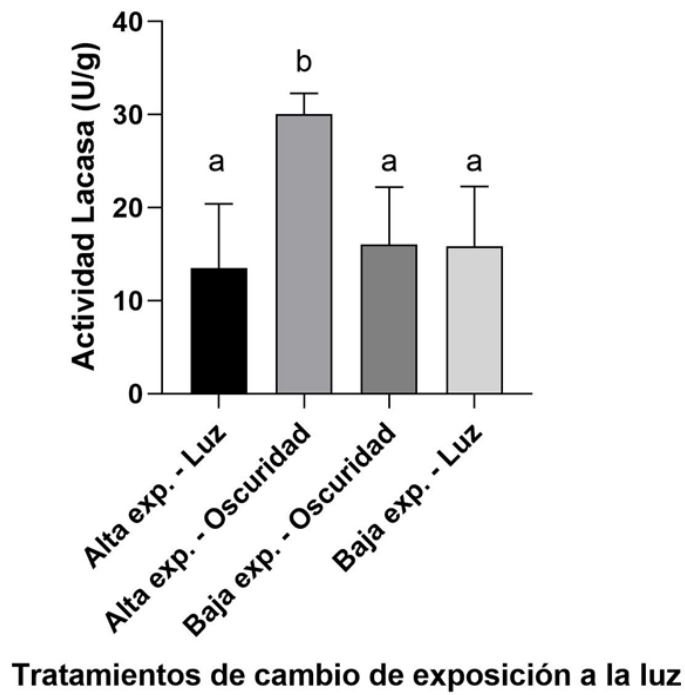


Fig. 3. Actividad lacasa determinada a partir de extractos de talos de *R. celastri* expuestos a campo a alta o baja exposición a la luz (Alta exp. o Baja exp.) y que luego fueron incubados *in vitro* a la luz o a la oscuridad.

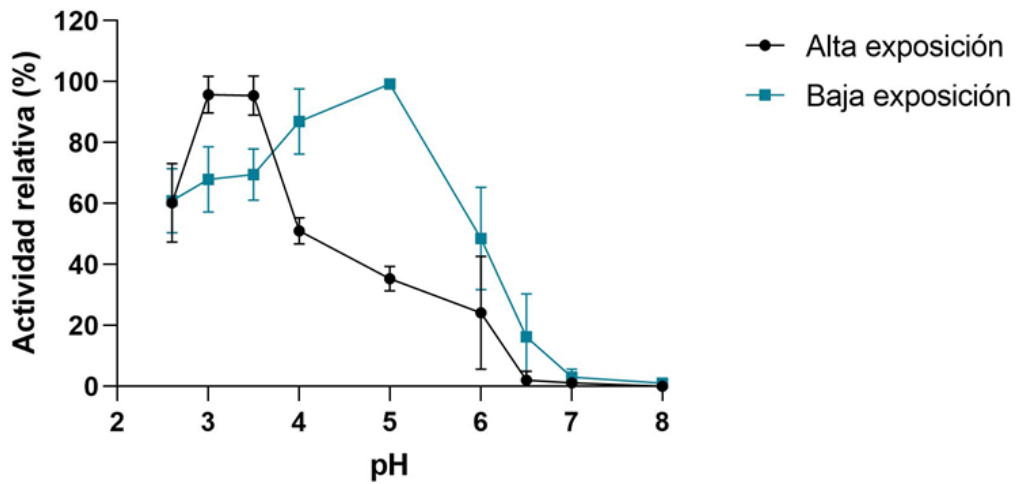


Fig. 4. Perfil de pH de actividad lacasa de extractos de individuos en alta y baja exposición a la luz.

Discusión

La actividad lacasa se encuentra ampliamente distribuida en algas, hongos, bacterias y animales (Janusz *et al.*, 2020) pero en líquenes fue reportada en un grupo acotado, principalmente en algunas especies pertenecientes a los órdenes Peltigerales y Lecanorales (Zavarzina & Zavarzin, 2006; Beckett *et al.* 2005).

En el caso de *R. celastri* los individuos expuestos a la luz mostraron una tendencia a duplicar la actividad lacasa respecto a aquellos que estaban en bajos niveles de exposición. Esta tendencia parecería indicar que la exposición a la luz podría modificar los niveles de expresión de la enzima. Esta tendencia se observó en talos liquénicos de *L. pulmonaria* que al ser expuestos a luz con filtros UV mostraron menor actividad lacasa que aquellos sin filtrar (Matee *et al.*, 2016).

Por otro lado, se evaluó la actividad lacasa de individuos que se encontraban en niveles altos y bajos de exposición a la luz que fueron incubados en condiciones de oscuridad y luz. En este ensayo solo se observó un aumento en la actividad lacasa de aquellos que pasaron de una condición de alta exposición a la luz a oscuridad. Este cambio en los niveles de actividad, que aparenta ser opuesto a lo determinado para los individuos provenientes del campo, podría tratarse de una adaptación fisiológica. Hay evidencia parcial que relaciona a la actividad peroxidasa con la degradación de ácido úsnico en momentos de baja intensidad lumínica. Esta teoría explica que al actuar el ácido úsnico como protector a niveles altos de intensidad lumínica la abundancia del mismo en condiciones de baja intensidad podría disminuir la tasa fotosintética y como respuesta a esto, el líquen podría degradarlo por medio de las enzimas. A su vez, se cree que en condiciones de baja exposición a la luz, la actividad lacasa podría formar parte de cocteles enzimáticos que permitirían a los líquenes breves etapas de heterotrofia (Beckett *et al.*, 2015).

Asociado a los cambios en los niveles de exposición a la luz se observó que los extractos de los individuos recolectados mostraron perfiles de actividad diferentes respecto al pH. Aquellos que estaban a niveles altos de exposición a la luz tuvieron máximos de actividad a pH 3,5, mientras que aquellos expuestos a niveles bajos de exposición los mostraron a pH 5. Estos cambios podrían indicar la presencia de isoformas de lacasas con funciones fisiológicas diferentes. La expresión de isoformas específicas al cambiar las condiciones de cultivo fue altamente reportada en hongos de vida libre (Majul *et al.*, 2020; Baldrian 2006), así como también en menor medida, a partir de cultivos de micobiontes liquénicos (Değerli *et al.*, 2019). En talos de *Solorina crocea* (L.) Ach. se detectaron al menos 2 isoformas de lacasa una monomérica con pH óptimo de oxidación de DMP 4,5 y una oligomérica con pH óptimo de 4 y diferentes potenciales de oxidación (Lisov *et al.*, 2012). De forma similar, en el trabajo de Beckett *et al.* (2005), los autores informaron la expresión de lacasas en especies del género *Peltigera* con un pH óptimo de oxidación de ABTS igual a 5.

Cabe destacar que el presente constituye la primera caracterización de enzimas provenientes de líquenes en sudamérica y su relación con la calidad del ambiente. Consideramos importante el abordaje de los estudios enzimáticos y fisiológicos en la diversidad y abundancia de especies de líquenes para obtener nuevos y mejores parámetros de calidad ambiental y monitoreo.

Conclusiones

Se comprobó la presencia de actividad lacasa en extractos de talos de *R. celastri*. La expresión de la enzima fue mayor en individuos con alta exposición a la luz y en aquellos que provenían de alta exposición pero que pasaban a la oscuridad. Por otro lado, se observó que el perfil de actividad lacasa en función del pH fue diferente para los individuos con alta y baja exposición a la luz, siendo posible que estos patrones sean debidos a reacciones desencadenadas por la luz.

Agradecimientos

Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT-2020-SERIE A-00021).

Referencias

- AUGUSTINE, A. J., KRAGH, M. E., SARANGI, R., FUJII, S., LIBOIRON, B. D., STOJ, C. S., KOSMAN D. J., HODGSON, K. O., HEDMAN B. & SOLOMON, E. I. (2008) Spectroscopic studies of perturbed T1 Cu sites in the multicopper oxidases *Saccharomyces cerevisiae* Fet3p and *Rhus vernicifera* laccase: allosteric coupling between the T1 and trinuclear Cu sites. *Biochemistry* **47**(7): 2036–2045.
- BARRENO, E., & PÉREZ-ORTEGA, S. (2003) *Líquenes de la reserva natural integral de Muniellos, Asturias*. KRK ediciones.
- BALDRIAN, P. (2006) Fungal laccases—occurrence and properties. *FEMS microbiology reviews* **30**(2): 215–242.
- BECKETT, R. P., MINIBAYEVA, F. V. & LAUFER, Z. (2005) Extracellular Reactive Oxygen Species Production by Lichens. *The Lichenologist* **37**: 397–407.
- BECKETT, R. P., NTOMBELA, N., SCOTT, E., GURJANOV, O. P., MINIBAYEVA, F. V. & LIERS, C. (2015) Role of laccases and peroxidases in saprotrophic activities in the lichen *Usnea undulata*. *Fungal Ecology* **14**: 71–78.
- BERMUDEZ, G. M., RODRIGUEZ, J. H. & PIGNATA, M. L. (2009) Comparison of the air pollution biomonitoring ability of three *Tillandsia* species and the lichen *Ramalina celastri* in Argentina. *Environmental Research* **109**(1): 6–14.
- BERTHET, S., THEVENIN, J., BARATINY, D., DEMONT-CAULET, N., DEBEAUJON, I., BIDZINSKI, P., LEPL, J. C., HUIS R., HAWKINS S., GOMEZ, L. D., LAPIERRE C., JOUANIN, L. & LAPIERRE, C. (2012) Role of plant laccases in lignin polymerization. In: JOUANIN, L. & LAPIERRE, C. (eds.) *Advances in Botanical Research*: 145–172. Academic Press.
- BOERJAN, W., RALPH, J. & BAUCHER M. (2003) Lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology* **54**: 519–46.
- CÁCERES, D. L. (2015) *Relación de la producción de metabolitos y la actividad fenoloxidasa de líquenes del género Peltigera con sus comunidades bacterianas asociadas*. Tesis de Magister, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- CALVELO, S., & LIBERATORE, S. (2002) Catálogo de los líquenes de la Argentina. *Kurtziana* **29**(2): 7–170.
- CAMARERO, S., IBARRA, D., MARTINEZ, M. J. & MARTINEZ, A. (2005) Lignin-derived compounds as efficient laccase mediators for decolorization of different types of recalcitrant dyes. *Applied Environmental Microbiology* **71**: 1775–1784.
- DEĞERLI, E., YANGIN, S. & CANSARAN-DUMAN, D. (2019) Determination of the effect of RBBR on laccase activity and gene expression level of fungi in lichen structure. *3 Biotech* **9**(8): 1–11.
- DITTMER, N. T. & KANOST, M. R. (2010) Insect multicopper oxidases: diversity, properties, and physiological roles. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* **40**(3): 179–188.
- DWIVEDI, U. N., SINGH, P., PANDEY, V. P. & KUMAR, A. (2011) Structure–function relationship among bacterial, fungal and plant laccases. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic* **68**(2): 117–128.
- ESTRABOU, C., QUIROGA, C. & RODRÍGUEZ, J. M. (2014) Diversidad de la comunidad líquénica en un bosque remanente del sur de la región chaqueña (Córdoba, Argentina). *Bosque* **35**(1): 49–55.
- FILIPPINI, E. R., RODRIGUEZ, J. M. & ESTRABOU, C. (2014) Comunidad líquénica de un bosque en peligro de extinción, con diferentes situaciones de manejo en el centro de Argentina. *Lazaroo* **35**: 55–64.
- GARCÍA, R. A. (2018) *Contribución al estudio de la liquenobiota del patrimonio edilicio de la provincia de Buenos Aires (Argentina)*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- GUMBOSKI, E. L. (2016) *Estudos taxonômicos em espécies de Ramalina Ach. (Ascomycota liquenizados, Ramalinaceae)*. Tese de Doutorado. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Brasil.
- HARRIS, L. I., MOORE, T. R., ROULET, N. T. & PINSONNEAULT, A. J. (2018) Lichens: A limit to peat growth? *Journal of Ecology* **106**: 2301–2319.
- HOEGGER, P. J., KILARU, S., JAMES, T. Y., THACKER, J. R. & KÜES, U. (2006) Phylogenetic comparison and classification of laccase and related multicopper oxidase protein sequences. *FEBS Journal* **273**: 2308–2326.
- HOFRICHTER, M., ZIEGENHAGEN, D., VARES, T., FRIEDRICH, M., JÄGER, M. G., FRITSCHKE, W. & HATAKKA, A. (1998) Oxidative decomposition of malonic acid as basis for the action of manganese peroxidase in the absence of hydrogen peroxide. *FEBS letters* **434**(3): 362–366.

- JANUSZ, G., PAWLIK, A., Świdarska-Burek, U., POLAK, J., SULEJ, J., JAROSZ-WILKOLAZKA, A. & PASZCZYŃSKI, A. (2020) Laccase properties, physiological functions, and evolution. *International journal of molecular sciences* **21(3)**: 966.
- KJAERGAARD, C. H., DURAND, F., TASCIA, F., QAYYUM, M. F., KAUFFMANN, B., GOUNEL, S., SURANITI, E., HODGSON, K. O., HEDMAN, B. & MANO, N. (2012) Spectroscopic and crystallographic characterization of “alternative resting” and “resting oxidized” enzyme forms of bilirubin oxidase: implications for activity and electrochemical behavior of multicopper oxidases. *Journal of the American Chemical Society* **134**: 5548–5551.
- LAUFER, Z., BECKETT, R. P., MINIBAYEVA, F.V., LÜTHJE, S. & BÖTTGER, M. (2006) Occurrence of laccases in lichenized ascomycetes of the Peltigerineae. *Mycological Research* **110(7)**: 846–853.
- LEVIN, L. N. (1998) *Biodegradación de materiales lignocelulósicos por Trametes trogii (Aphyllophorales, Basidiomycetes)*. Tesis doctoral, Universidad De Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- LEIVA, D., CLAVERO-LEÓN, C., CARÚ, M. & ORLANDO, J. (2016) Intrinsic factors of *Peltigera* lichens influence the structure of the associated soil bacterial microbiota. *FEMS Microbiology Ecology* **92**: 1–9.
- LISOV, A., ZAVARZINA, A., ZAVARZIN, A., DEMIN, V. & LEONTIEVSKY, A. (2012) Dimeric and monomeric laccases of soil-stabilizing lichen *Solorina crocea*: purification, properties and reactions with humic acids. *Soil Biology and Biochemistry* **45**: 161–167.
- MAJUL, L., WIRTH, S. & LEVIN, L. (2020) High dye removal capacity of *Peniophora laxitexta* immobilized in a combined support based on polyurethane foam and lignocellulosic substrates. *Environmental Technology* **43(5)**: 684–695.
- MATEE, L. P., BECKETT, R. P., SOLHAUG, K. A. & MINIBAYEVA, F. V. (2016) Characterization and role of tyrosinases in the lichen *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. *The Lichenologist* **48(4)**: 311–322.
- MOROZOVA, O. V., SHUMAKOVICH, G. P., GORBACHEVA, M. A., SHLIEV, S. V. & YAROLOPOV, A. I. (2007) “Blue” laccases. *Biochemistry (Moscow)* **72(10)**: 1136–1150.
- MONTOYA, S. B., SÁNCHEZ O. T. & LEVIN, L. (2014) Evaluación de actividades endoglucanasa, exoglucanasa, lacasa y lignina peroxidasa en diez hongos de pudrición blanca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria* **12**: 115–124.
- PISCITELLI, A., GIARDINA, P., LETTERA, V., PEZZELLA, C., SANNIA, G., & FARACO, V. (2011) Induction and transcriptional regulation of laccases in fungi. *Current genomics* **12(2)**: 104–112.
- POLLEGIONI, L., TONIN, F. & ROSINI, E. (2015) Lignin-degrading enzymes. *The FEBS journal* **282(7)**: 1190–1213.
- PURVIS, W. (2000) *Lichens*. Natural History Museum. London.
- ZAVARZINA, A. G., & ZAVARZIN, A. A. (2006) Laccase and tyrosinase activities in lichens. *Microbiology* **75(5)**: 546–556.

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 liquénicas 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 liquénicas como bioindicadores y su comprobado potencial de biomonitoreo en calidad del aire, en este trabajo se presentan los resultados de muestreos ecológicos de comunidades liquénicas 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

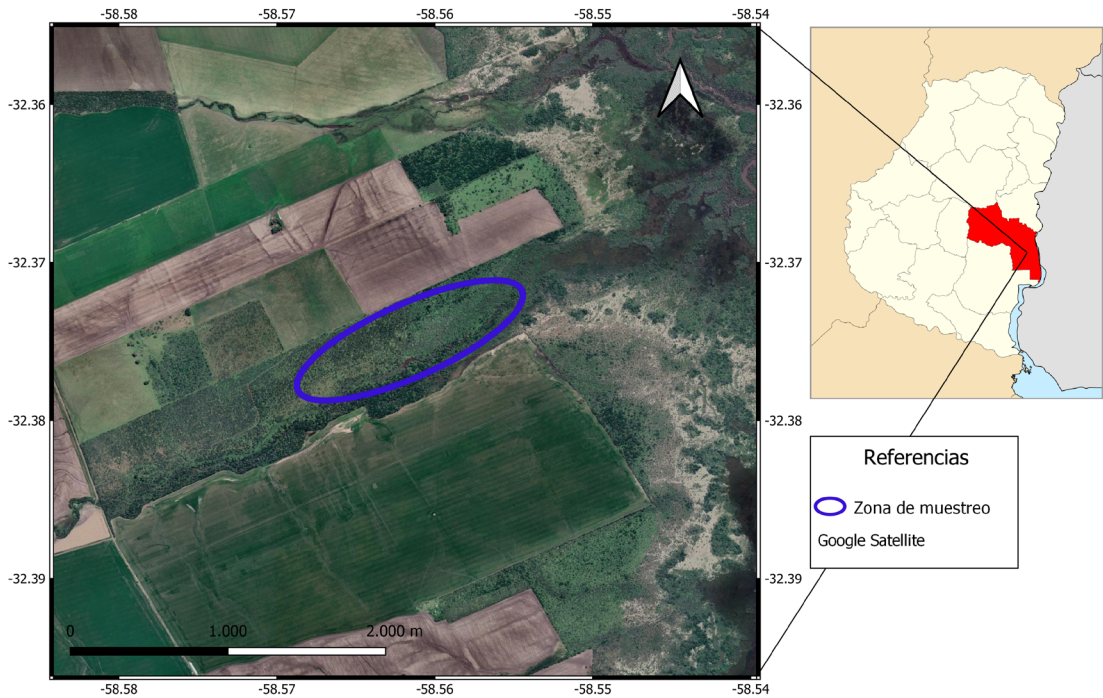
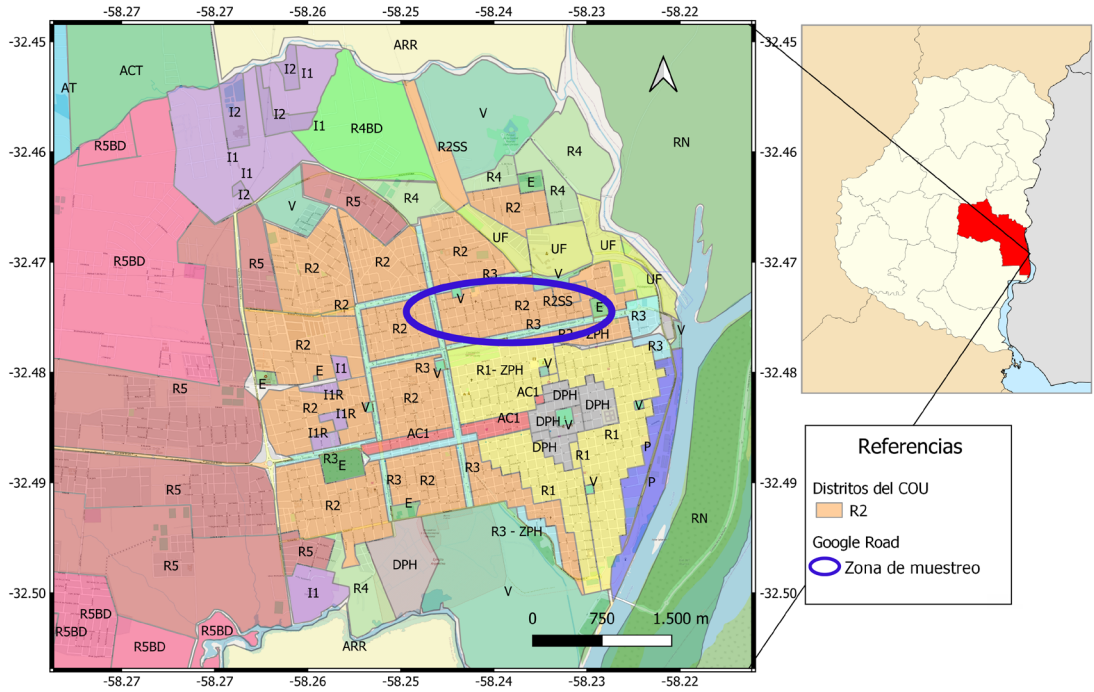
En este trabajo, se plantea como área de estudio al departamento Uruguay, ubicado en el margen este de la provincia de Entre Ríos. Esta región se caracteriza por tener una fisiografía con peniplanicies onduladas y suavemente onduladas. En cuanto al clima predominante, corresponde al templado húmedo de 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>	Hyptuc	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>	Leptcy	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.

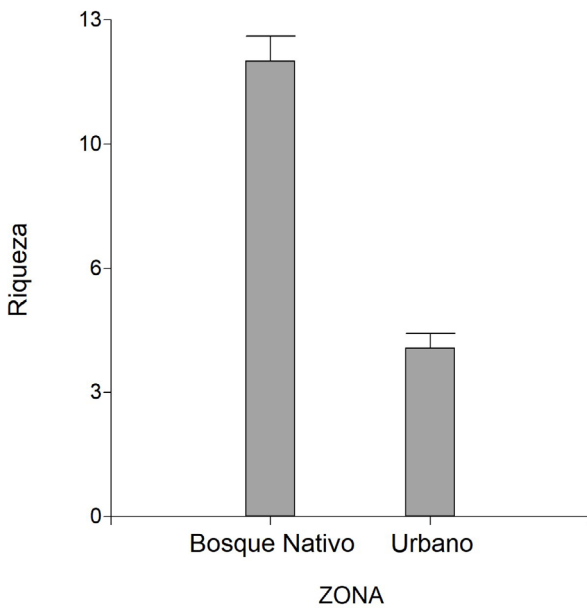


Fig. 3. Riqueza de especies promedio en cada zona. Las barras delgadas representan el Error Estándar.

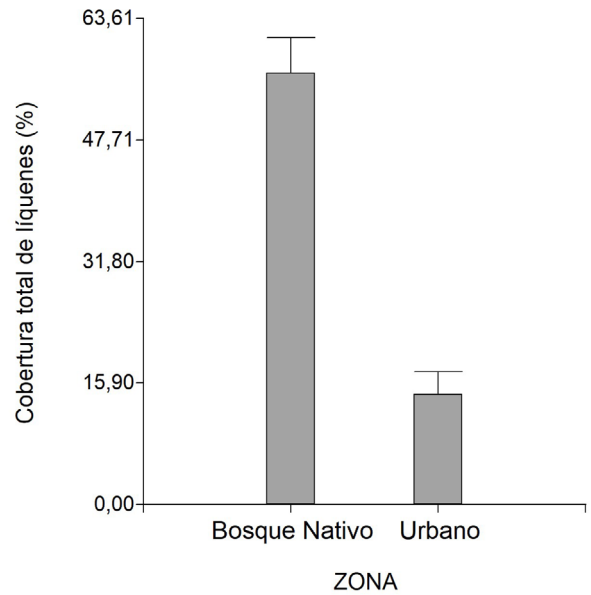


Fig. 4. Cobertura de líquenes promedio en cada zona. Las barras delgadas representan el Error Estándar.

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* ($f=70$).

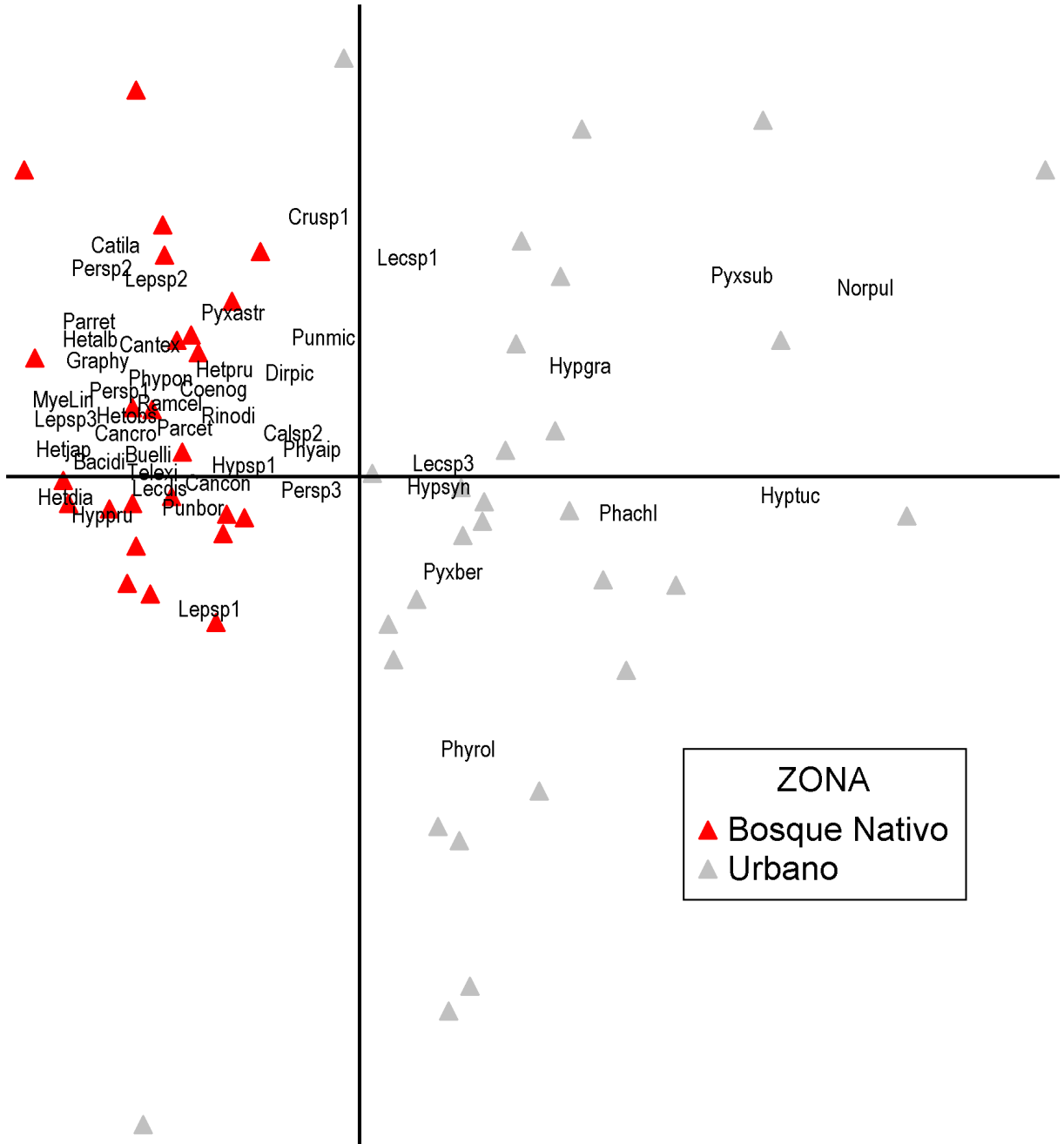


Fig. 5. Biplot del Escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para la frecuencia de especies por árbol en zona de Bosque Nativo y zona urbana.

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.

Diversidad alfa de líquenes en conglomerados de areniscas en la Reserva Provincial Los Colorados, La Rioja – Argentina

Alpha Lichens diversity in sandstone conglomerates in the Provincial Reserve Los Colorados, La Rioja - Argentina

Iván A. Pozo¹⁾, Norma N. Canton¹⁾, Mariana Jausoro¹⁾, Gloria S. Jaime¹⁾ & Juan M. Rodríguez²⁾

¹⁾ Instituto de Ambiente y Regiones Áridas (IAMRA), Universidad Nacional de Chilecito (UNDeC), Argentina
Email: ipozo@undec.edu.ar, ncanton@undec.edu.ar, mjausoro@undec.edu.ar, gjaime@undec.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, Argentina.
Email: juan.rodriguez@unc.edu.ar

Resumen

La Reserva Provincial de Los Colorados está localizada en el Departamento Independencia, provincia de La Rioja. Geológicamente, es una formación del triásico superior, que presenta conglomerados de areniscas de color rojo conformando un paisaje atípico por la erosión eólica y fluvial. Se caracteriza por su aridez y clima cálido continental; la vegetación típica corresponde a la provincia fitogeográfica del Monte. Nuestro objetivo fue determinar la composición de la comunidad de líquenes saxícolas en La Reserva Los Colorados. Para ello, se realizaron tres transectos de 100 m, a lo largo de los cuales se establecieron 3 cuadrantes de 20 x 20 cm. Cada cuadrante se dividió en 100 cuadrículas de 2 cm x 2 cm. Se colectaron muestras para la identificación taxonómica en el Laboratorio de Alta Complejidad (LAC) de la Universidad Nacional de Chilecito (UNDeC) con técnicas de rutina. Se representa la frecuencia de líquenes en porcentajes por familia: Acarosporaceae (55,7%), Peltulaceae (19,7%), Physciaceae (15,9%), Parmeliaceae (4,6%), Candelariaceae (3,5%) y Teloschistaceae (0,6%). De éstas se identificaron 6 géneros, 10 especies y 6 morfoespecies. Acarosporaceae: *Acarospora* aff. *schleicheri* y *A. xanthophana*, además de seis morfoespecies, Candelariaceae: *Candelariella vitellina*, Peltulaceae: *Peltula lobulata*, Physciaceae: *Physcia undulata*, *P. lopezii*, *P. crispa* y *P. tribacia*, Parmeliaceae: *Xanthoparmelia ferrarioiana*, Teloschistaceae: *Rusavskia elegans*. *Peltula lobulata* se menciona por primera vez para Argentina y se encontraron tres nuevas citas para la provincia: *Acarospora* aff. *schleicheri*, *Physcia crispa* y *P. lopezii*. Se amplía el área de distribución en la provincia de La Rioja de las especies: *Acarospora xanthophana*, *Candelariella vitellina*, *Physcia tribacia*, *P. undulata*, *Xanthoparmelia ferrarioiana* y *Rusavskia elegans*.

Palabras clave: Frecuencia, Riqueza, *Peltula lobulata*, Saxícolas, Monte, Comunidad.

Abstract

The Provincial Reserve Los Colorados is located in the Independencia Department, province of La Rioja. Geologically, it is a formation of the Upper Triassic, which presents conglomerates of red sandstones forming an atypical landscape due to wind and fluvial erosion. Characterized by its aridity and warm continental climate, the typical vegetation corresponds to the phytogeographic province of Monte. Our objective was to determine the composition of the community of saxicolous lichens in the Reserve Los Colorados. For that, we carried out three transects of 100 m along which we established 3 quadrants of 20 x 20 cm. Each quadrant was divided into 100 grids of 2 cm x 2 cm. Samples were collected for the taxonomical identification in the High Complex Laboratory (LAC) of the National University of Chilecito

(UNDeC) with routine techniques. The frequency of lichens is represented in percentages per family: Acarosporaceae (55,7%), Peltulaceae (19,7%), Physciaceae (15,9%), Parmeliaceae (4,6%), Candelariaceae (3,5%) and Teloschistaceae (0,6%). Of these, 6 genera, 10 species and 6 morphospecies were identified. Acarosporaceae: *Acarospora* aff. *schleicheri* and *A. xanthophana*, plus six morphospecies. Candelariaceae: *Candelariella vitellina*. Peltulaceae: *Peltula lobulata*. Physciaceae: *Physcia undulata*, *P. lopezii*, *P. crispa* and *P. tribacia*. Parmeliaceae: *Xanthoparmelia ferraroiana*. Teloschistaceae: *Rusavskia elegans*. *Peltula lobulata* is mentioned for the first time for Argentina and three species are new for the province: *Acarospora* aff. *schleicheri*, *Physcia crispa* and *P. lopezii*. The distribution range in the province of La Rioja is extended for the following species: *Acarospora xanthophane*, *Candelariella vitellina*, *Physcia tribacia*, *P. undulata*, *Xanthoparmelia ferraroiana* y *Rusavskia elegans*.

Key words: Frequency, Richness, *Peltula lobulata*, Saxicolous, Monte, Community.

Introducción

La Reserva Provincial de Los Colorados se localiza en el Departamento Independencia, provincia de La Rioja, ubicada al Noroeste de la República Argentina. Dicha zona se caracteriza por su aridez y clima cálido continental. Geológicamente, es una formación del triásico superior, que presenta conglomerados de areniscas de color rojo conformando un paisaje atípico por la erosión eólica y fluvial. En esta localidad se realizaron estudios arqueológicos, históricos (Torres & Falchi, 2021) y fitogeográficos (Cabrera, 1971; Biurrum *et al.*, 2012; Cabido *et al.*, 2018). Esta área protegida fue creada en el año 2015 con el propósito de conservar los ambientes naturales y sus recursos ya que constituyen un patrimonio natural de fundamental valor cultural e importancia socioeconómica (Ley Provincial N° 9.714). La importancia cultural e histórica, radica en que se encuentran sitios de valor arqueológico con petroglifos, indicando la presencia de comunidades aborígenes que habitaron la región. El valor histórico radica en que fue refugio de un importante caudillo argentino: Chacho Peñaloza. Esta localidad fue declarada de interés provincial y Monumento Natural Provincial (Torres & Falchi, 2021). Además, presenta importancia local ya que la comunidad que allí habita trabaja como guía de turismo (Canton N. comunicación personal, 2022).

La región de interés presenta características desérticas, vegetación xerófila, baja humedad y elevada radiación, siendo los líquenes organismos capaces de vivir en estas condiciones extremas. En cuanto a la vegetación circundante, es característica de la provincia fitogeográfica del Monte, representada por una vegetación homogénea con predominio del matorral, en la que se identifican distintos tipos de jarilla (*Larrea cuneifolia* Cav. y *L. divaricata* Cav.), retamo (*Bulnesia retama* Gillies ex Hook. & Arn. Griseb.), brea (*Caesalpinia praecox* Ruiz & Pav. ex Hook.) y cactáceas de los géneros *Opuntia* y *Cereus*. A lo largo de los cauces se encuentran formaciones de leguminosas como chañares (*Geoffrea decorticans* Gillies ex Hook. & Arn. Burkart) y algarrobos (*Neltuma flexuosa* (DC.) C. E. Hughes & G. P. Lewis, = *Prosopis chilensis*) y *N. chilensis* (Molina) C. E. Hughes & G. P. Lewis, = *P. flexuosa*) (Cabrera, 1971; Varela *et al.*, 2015; Hughes *et al.*, 2022).

Existen escasos antecedentes de estudios taxonómicos o ecológicos de líquenes en la Reserva Provincial Los Colorados (Costas *et al.*, 2021 y Canton, 2022). Por esta razón, es importante avanzar en trabajos que permitan incrementar el conocimiento de la diversidad y distribución de líquenes para ser utilizados como línea de base en conservación, biogeografía o biomonitorio ambiental de zonas áridas ya que son organismos relevantes como indicadores ambientales (Carballal *et al.*, 2006). Entonces, el objetivo de este trabajo es determinar la composición de la comunidad de líquenes saxícolas de la Reserva Provincial Los Colorados.



Fig. 1. Vista general del Área de estudio.

Materiales y Métodos

El Valle de Antinaco – Los Colorados, se ubica entre las Sierras del Velasco y la Sierra del Famatina, es una región árida sometida a condiciones ambientales extremas. Se caracteriza por las escasas precipitaciones anuales (≤ 250 mm), elevada evapotranspiración con un índice de aridez inferior a 0,20, alta irregularidad espacial y temporal de las precipitaciones, elevada insolación y amplitud térmica, alta frecuencia e intensidad de los vientos, así como el escaso desarrollo de los suelos y la baja productividad primaria (Varela *et al.*, 2015). El sitio de muestreo georreferenciado: $29^{\circ}56'8.82''$ S - $67^{\circ}06'53.56''$ O, a los 1060 msnm se ubica en el Departamento Independencia, provincia de La Rioja, sobre la Ruta Nacional 74, a 100 Km al sudeste de la ciudad de Chilcito (Figura 1).

Para medir la frecuencia de las especies de líquenes se trazaron tres transectas de 100 m cada una y se utilizaron cuadrantes de 20 x 20 cm divididas en 100 cuadrículas de 2 x 2 cm. Las mediciones se realizaron en la parte superior y laterales de los conglomerados de arenisca. *In situ*, se identificaron ejemplares a nivel de género y familia y se tomaron registros fotográficos.

Por otro lado, también se colectaron ejemplares de líquenes para su posterior identificación en el Laboratorio de Alta complejidad (LAC) – Universidad Nacional de Chilecito (UNdeC) y Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables (CERNAR) – Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Para la identificación de las especies, se utilizaron métodos de rutina analizando características morfológicas (macro y microscópicas), anatómicas y químicas. Para estas últimas se utilizaron reacciones puntuales de color (K, C, KC) y fluorescencia en cámara de luz ultravioleta.

Para cada especie citada, se informan datos de distribución conocida a nivel mundial (Nash *et al.*, 2002; 2004 y 2007) y en Argentina (Calvelo & Liberatore, 2002). En *material estudiado* se menciona el país, provincia, localidad georreferenciada, y el tipo de sustrato. El material examinado forma parte de la colección de líquenes de la UNdeC con duplicados en el herbario LUTI.

Resultados y Discusión

En La Reserva Los Colorados se identificaron 10 especies y 6 morfoespecies de líquenes, agrupados en 6 géneros pertenecientes a 6 familias. Acarosporaceae: *Acarospora* aff. *schleicheri* y *A. xanthophana*. Candelariaceae: *Candelariella vitellina*. Peltulaceae: *Peltula lobulata*. Physciaceae: *Physcia undulata*, *P. lopezii*, *P. crispa* y *P. tribacia*. Parmeliaceae: *Xanthoparmelia ferrarioiana*. Teloschistaceae: *Rusavskia elegans*. *Peltula lobulata* se presenta como nueva cita para Argentina y *Acarospora* aff. *schleicheri*, *Physcia crispa* y *P. lopezii* son nuevas citas para la provincia de La Rioja. A su vez, se amplía la distribución en la provincia de La Rioja de 6 especies (*Acarospora xanthophana*, *Candelariella vitellina*, *Physcia undulata*, *P. tribacia*, *Xanthoparmelia ferrarioiana* y *Rusavskia elegans*). Cabe aclarar que algunos ejemplares pertenecientes al género *Acarospora* se presentan como “morfoespecies” debido a que exhiben características afines a especies ya identificadas, sin embargo, se necesita profundizar estudios para alcanzar su correcta identificación.

La familia Acarosporaceae fue la más frecuente con un 55,7%, seguida por las familias Peltulaceae (19,7%), Physciaceae (15,9%), Parmeliaceae (4,6%), Candelariaceae (3,5%) y Teloschistaceae (0,6%, Tabla 1, Figura 2). En cuanto a los géneros y las especies/morfoespecies las familias más diversas fueron: Acarosporaceae con 2 especies y 6 morfoespecies seguida por Physciaceae con 4 especies (Tabla 1 y Figura 3).

A continuación, se realiza una breve descripción de la especie identificada como nueva cita para el país y se detalla la distribución conocida de las novedades para la provincia de La Rioja.

Tabla 1. Lista de Géneros y especies/morfoespecies saxícolas identificados en areniscas en la Reserva Provincial Los Colorados, provincia de La Rioja.

Familia	Especie	Morfoespecie
Acarosporaceae	<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	
	<i>Acarospora</i> aff. <i>schleicheri</i> (Ach.) A. Massal.	
		<i>Acarospora</i> sp. 1 (naranja)
		<i>Acarospora</i> sp. 2 (amarilla)
		<i>Acarospora</i> sp. 3 (marrón)
		<i>Acarospora</i> sp. 4 (negra)
		<i>Acarospora</i> sp. 5 (gris)
	<i>Acarospora</i> sp. 6 (verde)	
Candelariaceae	<i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg.	

Familia	Especie	Morfoespecie
Peltulaceae	<i>Peltula lobulata</i> Q.X. Yang & X.L. Wei	
Physciaceae	<i>Physcia crispa</i> Nyl.	
	<i>Physcia lopezii</i> Moberg	
	<i>Physcia undulata</i> Moberg	
	<i>Physcia tribacia</i> (Ach.) Nyl.	
Parmeliaceae	<i>Xanthoparmelia ferraroiana</i> Nash, Elix & Johnston	
Teloschistaceae	<i>Rusavskia elegans</i> (Link) S.Y. Kondr. & Kärnefelt	

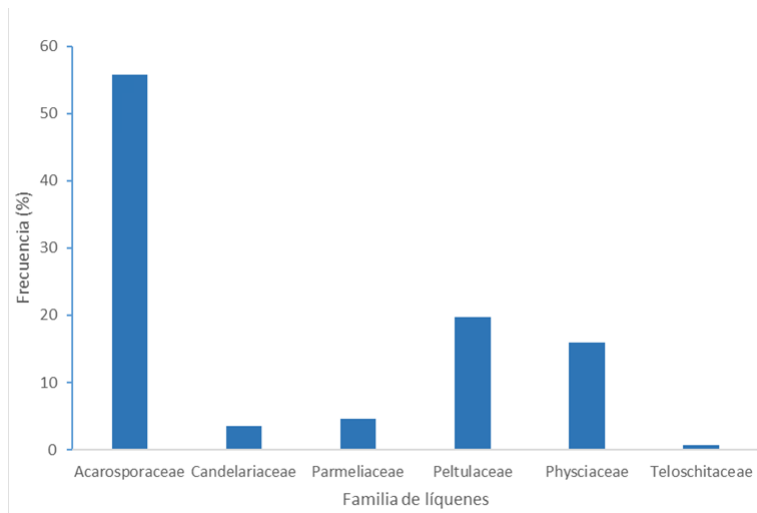


Fig. 2. Frecuencia de familias de líquenes saxícolas en la Reserva Provincial Los Colorados.

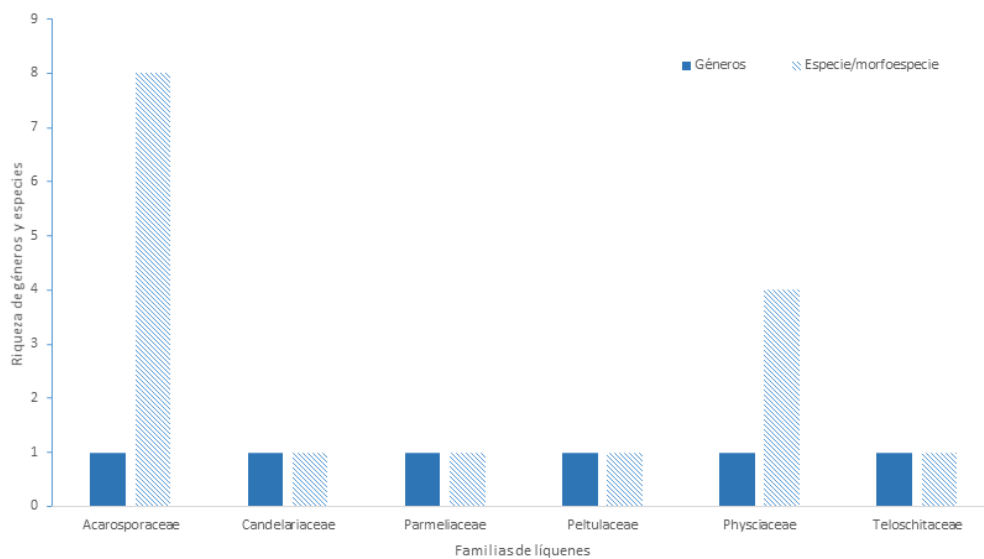


Fig. 3. Riqueza de géneros y especies de líquenes saxícolas en cada familia, en la Reserva Provincial Los Colorados.

Nueva cita para Argentina

Peltula lobulata Q.X. Yang & X.L. Wei
(Figura 4, A_D)

Talo saxícola, verde oliváceo oscuro, escamoso, de hasta 2,5 mm de diámetro, irregularmente redondeado, convexo a plano, muchos lóbulos presentes en el talo maduro; márgenes lobulados. Lóbulos de hasta 125 µm de espesor. Superficie superior, rugosa, a veces agrietado, epruinoso. Capa algal con cianobionte en grupos de 2 a 4 células. Médula con hifas débilmente entretejidas y células redondeadas. Superficie inferior mate, casi negro, adherido al sustrato por un ombligo corto y central. Corteza inferior paraplectenquimática, formado por 3–5 capas de células grandes. Estructuras reproductivas: isidios y soredios ausentes. Apotecio raro, cuando presentes de 1–2 por escuámula, raramente 5, puntiformes y sumergido, ascos clavados, más de 60 esporas; ascosporas hialinas, elipsoides, simples de 5,5 – 8 × 2,7 – 4 µm.

Notas: El talo de esta especie es irregular, con muchos lóbulos en cada escuámula como la característica diagnóstica (Yang *et al.*, 2022).

Material estudiado: Argentina, Provincia de La Rioja, Localidad de Los Colorados, 29°56'8.82" S - 67°06'53.56" O, 1060 msnm, 28/09/2021, Cantón, N. y Pozo, I. 393 (UNdeC). Sustrato: saxícola.

Distribución: China (Yang *et al.*, 2022), citada por primera vez para América del Sur, Argentina y provincia de La Rioja.

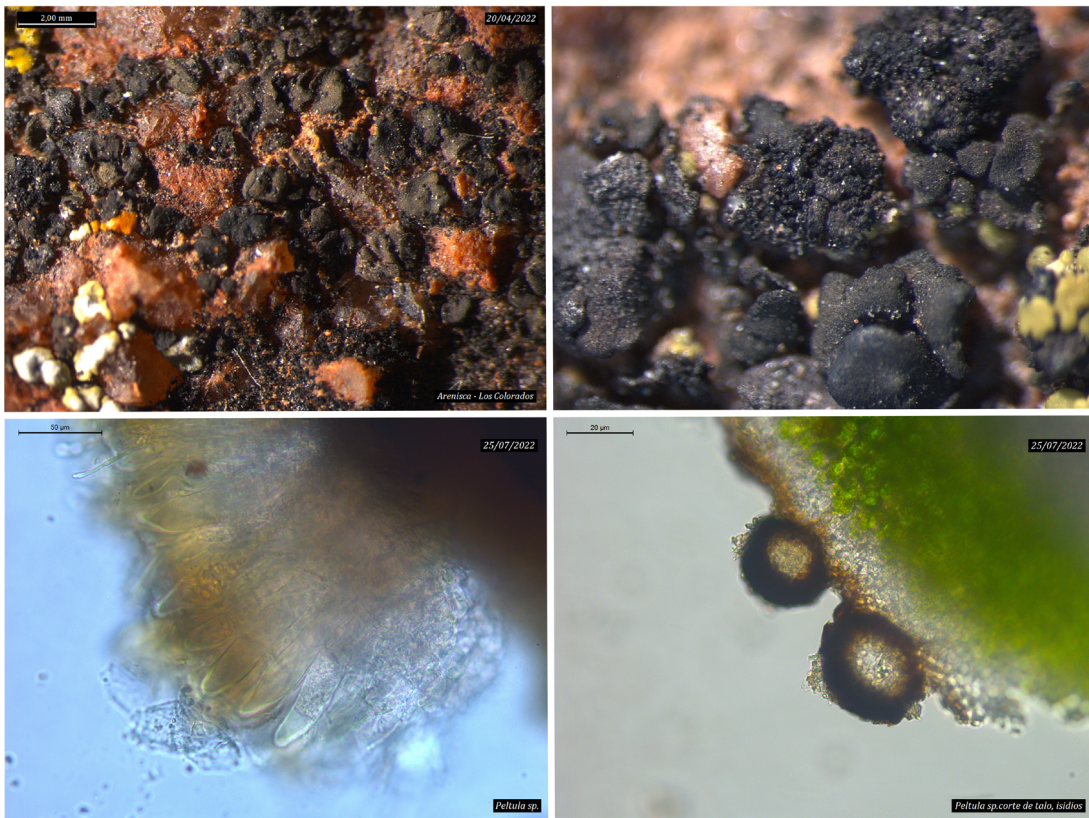


Fig. 4. A. Vista general de *Peltula lobulata*. B. Detalle del talo. C. Ascosporas. D. detalle de los lobulillos.

Novedades para la provincia de La Rioja

Acarospora* aff. *schleicheri (Ach.) A. Massal. Lich.
(Fig. 5)

Material estudiado: Argentina, Provincia de La Rioja, Localidad de Los Colorados, 29°56'8.82" S - 67°06'53.56" O, a los 1060 msnm, 28/09/2021, Canton. N. y Pozo, I. 390 (UNdeC). Sustrato: terrícola en (Nash *et al.*, 2007), Terrícola y saxícola (Galloway, 1985), saxícola en material estudiado.

Distribución: Australia, África, América del Norte, América Central, China, Europa, Nueva Zelanda, Perú, Rusia (Nash *et al.*, 2007). En Argentina citada para las provincias de Jujuy, Mendoza, Salta, Buenos Aires, Río Negro, Neuquén y Chubut (Calvelo & Liberatore, 2002). Citada por primera vez para la provincia de La Rioja.

Observaciones: especie citada previamente como *Aspicilia schleicheri* (Ach.) Pit. & Harm.

Acarospora xanthophana (Nyl.) Jatta

Material estudiado: Argentina, Provincia de La Rioja, Localidad de Los Colorados, 29°56'8.82" S - 67°06'53.56" O, a los 1060 msnm, 28/09/2021, Canton. N. y Pozo, I. 391 (UNdeC). Sustrato: saxícola.

Distribución: América del Norte y América del Sur (Nash *et al.*, 2007). En Argentina citada para las provincias de Mendoza (Rodríguez *et al.*, 2013), Jujuy, Salta, Buenos Aires, Río Negro, Neuquén y Chubut (Calvelo & Liberatore, 2002) y La Rioja (Costas *et al.*, 2021).



Fig. 5. Vista general de *Acarospora* aff. *schleicheri*.

Candelariella vitellina (Hoffm.) Müll. Arg.

(Fig. 6)

Material estudiado: Argentina, Provincia de La Rioja, Localidad de Los Colorados, 29°56'8.82" S - 67°06'53.56" O, a los 1060 msnm. 22/09/2021, Canton, N. y Pozo, I. 392 (UNdeC). Sustrato: saxícola.

Distribución: América del Norte, América Central y América del Sur, Europa, África, Nueva Zelanda, Portugal (Nash *et al.*, 2004). En Argentina: Jujuy, Entre Ríos, Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe (Calvelo & Liberatore, 2002), La Rioja (Costas *et al.*, 2021).

Phycia crispa Nyl.

Material estudiado: Argentina, Provincia de La Rioja, Localidad de Los Colorados, 29°56'8.82" S - 67°06'53.56" O, a los 1060 msnm, 22/09/2021, Canton, N. y Pozo, I. 394 (UNdeC). Sustrato: saxícola.

Distribución: África, Australia, América del Norte, América Central, América del Sur en Brasil, Colombia, Paraguay, Uruguay y Venezuela (Jungbluth, 2010). En Argentina: Buenos Aires (Scutari, 1995). Entre Ríos, Misiones, Mendoza y Salta (Calvelo & Liberatore, 2002). Citada por primera vez para la provincia de La Rioja.



Fig. 6. Vista general de *Candelariella vitellina*.

Physcia lopezii Moberg

Material estudiado: Argentina, Provincia de La Rioja, Localidad de Los Colorados, 29°56'8.82" S - 67°06'53.56" O, a los 1060 msnm, 22/9/2021, Canton, N. y Pozo, I. 395 (UNdeC). Sustrato: saxícola.

Distribución: América del Sur en Brasil, Ecuador, Guayana Francesa, Guyana, Venezuela y Chile (Jungbluth, 2010). En Argentina: Córdoba (Robiatti, 2010). Citada por primera vez para la provincia de La Rioja.

Physcia tribacia (Ach.) Nyl.

Material estudiado: Argentina, Provincia de La Rioja, Localidad de Los Colorados, 29°56'8.82" S - 67°06'53.56" O, a los 1060 msnm, 22/09/2021, Canton, N. y Pozo, I. 396 (UNdeC). Sustrato: saxícola.

Distribución: Australia, Europa, Nueva Zelanda, América del Norte, América del Sur en Brasil, Chile, Ecuador, Venezuela (Jungbluth, 2010). En Argentina: Buenos Aires y Córdoba (Calvelo & Liberatore, 2002), Catamarca (Rodríguez *et al.*, 2016), La Rioja (Canton, 2022).

Physcia undulata Moberg

Material estudiado: Argentina, Provincia de La Rioja, Localidad de Los Colorados, 29°56'8.82" S - 67°06'53.56" O, a los 1060 msnm, 22/09/2021, Canton, N. y Pozo, I. 397 (UNdeC). Sustrato: saxícola.

Distribución: África, Europa, Nueva Zelanda, América del Norte y América del Sur, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Perú (Moberg, 1990). En Argentina: Córdoba, San Luis y Santiago del Estero (Robbiati, 2010), Buenos Aires (Scutari, 1992, 1995), Catamarca (Estrabou *et al.*, 2010) y La Rioja (Canton, 2022).

Xanthoparmelia ferrarioiana Nash, Elix & Johnston

(Fig. 7)

Material estudiado: Argentina, Provincia de La Rioja, Localidad de Los Colorados, 29°56'8.82" S - 67°06'53.56" O, a los 1060 msnm, 22/09/2021, Canton, N. y Pozo, I. 398 (UNCdeC). Sustrato: saxícola.

Distribución: América del Sur (Nash *et al.*, 1995). En Argentina: Mendoza (Nash *et al.*, 1995), Catamarca (Rodríguez *et al.*, 2016) y La Rioja (Canton *et al.*, 2020).

Rusavskia elegans (Link) S.Y. Kondr. & Kärnefelt

Material estudiado: Argentina, Provincia de La Rioja, Localidad de Los Colorados, 29°56'8.82" S - 67°06'53.56" O, a los 1060 msnm, 22/09/2021, Canton, N. y Pozo, I. 399 (UNdeC). Sustrato: saxícola.

Distribución: Cosmopolita (Nash *et al.*, 2002). En Argentina: Chubut, Santa Cruz, Tierra del Fuego e Islas Malvinas y del Atlántico sur (Calvelo & Liberatore, 2002) y La Rioja (Canton, 2022).



Fig. 7. Vista general de *Xanthoparmelia ferraroiana*.

Agradecimientos

Queremos agradecer a la comunidad de La Reserva Provincial de Los Colorados. A la Universidad Nacional de Chilecito. A la Secretaría de Ciencia y Técnica por el financiamiento a través del proyecto FICYT: "Estudio de hongos liquenizados y no liquenizados de la provincia de La Rioja" - Universidad Nacional de Chilecito (UNdeC 2019 - 2022).

Referencias

- BIURRUN, F. N., AGÜERO, W. D. & TERUEL, D. F. (2012) *Consideraciones fitogeográficas sobre la vegetación de los llanos de La Rioja*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Catamarca, Argentina.
- CABIDO, M. R., ZAK, M. R. & BIURRUN, F. (2018) *La vegetación y el ambiente de la provincia de La Rioja*. Universidad Nacional de Chilecito. La Rioja, Argentina.
- CABRERA, A. L. (1971) Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **14**: 1–142.
- CALVELO, S. & LIBERATORE, S. (2002) Catálogo de los líquenes de la Argentina. *Kurtziana* **29**: 7–170.
- CANTON, N. V., RODRÍGUEZ, J. M. & ESTRABOU, C. (2020) La familia Parmeliaceae (Ascomycota liquenizados) en la provincia de La Rioja, Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **55**: 195–213.

- CANTON, N. V. (2022) *Estudio sistemático y de distribución de los macrolíquenes de la provincia de La Rioja*. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- CARBALLAL, R., CASARES, M., PORCEL, L. G. & GARCÍA ROWE J. (2006) Introducción a los líquenes. En: Giralda (ed.) *Proyecto Andalucía Enciclopedia de la Naturaleza*: 157–188. Publicaciones Comunitarias, Sevilla, España.
- COSTAS, S. M., CANTON, N. V. & RODRÍGUEZ, J. M. (2021) The relative effect of altitude and aspect on saxicolous lichen communities at mountain summits. *Rodriguesia* **72**: e00282020.Br.
- 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**: 25–43.
- ESTRABOU, C., AYBAR, M., RODRÍGUEZ, J. M. & CAÑAS, M. (2010) Diversidad Liquélica en Tres Áreas de la Provincia de Catamarca: Bases para el Control de Modificaciones Ambientales. *Ciencia* **5**: 85–93.
- GALLOWAY, D. J. (1985) *Flora of New Zealand, Lichens*. RD. Hasselberg, Government Printer, Wellington, New Zealand.
- HUGHES, C. E., RINGELBERG, J. J., LEWIS, G. P. & CATALANO, S. A. (2022) Disintegration of the genus *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, mimosoid clade). *PhytoKeys* **205**: 147-189.
- JUNGBLUTH, P. (2010) *Estudos taxonômicos em Physcia (Schreb.) Michx. e Pyxine Fr. (Physciaceae, Ascomycota)*. Doutora em biodiversidade vegetal e meio ambiente. Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Brasil.
- MOBERG, R. (1990) The lichen genus *Physcia* in central and South America. *Nordic Journal of Botany* **10**: 319–342.
- NASH, T. H., GRIES, C. & ELIX, J. A. (1995) A Revision of the Lichen Genus *Xanthoparmelia* in South America. *Bibliotheca Lichenologica* **56**: 1–157.
- NASH, T. H., RYAN, B. D., GRIES, C. & BUNGARTZ, F. (2002) *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region*. Vol. 1. Arizona State University Lichen Herbarium. Arizona, USA.
- NASH, T. H., RYAN, B. D., DIEDERICH, P., GRIES, C. & BUNGARTZ, F. (2004) *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region*. Vol. 2. Arizona State University Lichen Herbarium. Arizona, USA.
- NASH, T. H., RYAN, B. D., GRIES, C. & BUNGARTZ, F. (2007) *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region*. Vol. 3. Arizona State University Lichen Herbarium. Arizona, USA.
- ROBBIATI, F. (2010) *La Familia Physciaceae (Ascomycetes liquenizados) en el Centro de Argentina*. Tesis de grado en biología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- RODRÍGUEZ, J. M., ESTRABOU, C., COPETTI, M. & PAPÚ, O. (2013) Diversidad de líquenes (Hongos Liquenizados) en rocas volcánicas de la Reserva Provincial La Payunia, Mendoza. *9no Encuentro del International Center for Earth Sciences (E-ICES 9)*.
- RODRÍGUEZ, J. M., HERNANDEZ, J. M., FILIPPINI, E., CAÑAS, M. & ESTRABOU, C. (2016) Nuevas citas de macrolíquenes para Argentina y ampliaciones de distribución en el centro del país. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **51**: 405–417.
- SCUTARI, N. C. (1992) Estudios sobre Pyxinaceae Foliosas (Lecanorales, Ascomycotina) de la Argentina, IV: Claves de los Géneros y las especies de la Provincia de Buenos Aires. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **28**: 169–173.
- SCUTARI, N. C. (1995) Los macrolíquenes de Buenos Aires, II: Phaeophyscia, *Physcia* y *Pyxine* (Physciaceae, Ascomycotina). *Darwiniana* **33**: 211–231.
- TORRES, M. A. & FALCHI, M. P. (2021) Herramientas interdisciplinarias para un plan de interpretación del patrimonio. La Reserva provincial de usos múltiples Los Colorados (Provincia de La Rioja) entre los años 2009-2017. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano – Series Especiales* **9**: 452–571.
- VARELA, O., PARRADO, M. F. & BUEDO, S. E. (2015). Diversidad de Plantas Vasculares del Valle Antinaco-Los Colorados, La Rioja Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **50**: 385–411.
- YANG, Q., CHENG, X., ZHANG, T., LIU, X., WEI, X. (2022) Five New Species of the Lichen-Forming Fungal Genus *Peltula* from China. *Journal of Fungi* **8**: 134. <https://doi.org/10.3390/jof8020134>.

Micro y mesoplásticos en la infusión “té de la piedra”

Micro and mesoplastics derived from “stone tea” infusion

Maira S. Gollo¹⁾, Juan M. Rodríguez²⁾, Andrés F. Pighín¹⁾, Elizabeth Villagra ¹⁾,
Juan Ferro³⁾ & Jonatan J. Gomez¹⁾

¹⁾ Grupo de Estudio en Líquenes Argentinos (GELA), Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Lujan, P.O. Box 221, B6700ZBA Lujan, Argentina.

Email: maigollo_04@hotmail.com, andresfabianpighin@yahoo.com.ar, villagra.elb@gmail.com, gomezjonatanjose@ahoo.com.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

³⁾ Programa de Eco fisiología Aplicada, Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (PRODEA, INEDES-CONICET), Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Lujan, P.O. Box 221, B6700ZBA Luján, Argentina.

Email: juanferro@gmail.com

Resumen

La presencia de meso y micropartículas plásticas es casi omnipresente en los productos de consumo humano, incluyendo infusiones. Algunas especies de líquenes son frecuentemente comercializadas para la preparación de infusiones. Sin embargo, no existen estudios sobre el contenido de partículas plásticas en las infusiones ni dentro (acumulación) de los líquenes utilizados para hacer dichas infusiones. En el presente trabajo registramos y cuantificamos, por primera vez, el contenido de meso y micropartículas plásticas en las infusiones y talos (acumuladas) de *Usnea amblyoclada*, líquen empleado en la preparación del té “yerba de la piedra”. Los talos utilizados provienen de tres herboristerías del Gran Buenos Aires (GBA, Buenos Aires, Argentina). Realizamos tres infusiones de 250 ml por herboristería. Siguiendo recomendaciones, cada infusión fue llevada a 100 ° C (por 1 minuto). Las infusiones y el material liquénico digerido (método del peróxido de hidrógeno) se filtraron por filtro de 1 µm (poro). Se observaron: número, largo y forma de las partículas plásticas (se reconoció un total de 90 partículas). Se registró un promedio de 3,56 partículas plásticas acumuladas y 6,44 en las infusiones. Los polímeros identificados fueron: nylon 6, poliéster y polipropileno. Las partículas plásticas midieron un largo promedio de 3822,76 µm; con mayor frecuencia de partículas traslucidas (sin color). Aquí relevamos por primera vez la capacidad de *U. amblyoclada* para acumular partículas plásticas. Un consumidor frecuente de té de la piedra implica una ingesta de más de 1000 partículas plásticas por año. Estudios más profundos sobre los procesos de recolección y almacenaje del té de la piedra deberán llevarse a cabo.

Palabras clave: Mesoplásticos, Microplásticos, *Usnea amblyoclada*, Infusión, Té de la piedra.

Abstract

The presence of plastic meso- and micro-particles is almost ubiquitous in products for human consumption, including herbal teas. Some lichen species are frequently marketed for the preparation of herbal teas. However, there are no studies on the content of plastic particles in herbal teas or within (accumulation) of lichens used

to make herbal teas. In the present work, we recorded and quantified, for the first time, the content of meso- and microplastic particles in the infusions and thalli (accumulated) of *Usnea amblyoclada*, a lichen used in the preparation of “stone tea”. The thalli used came from three herbalist’s shops in Greater Buenos Aires (GBA, Buenos Aires, Argentina). We made three infusions of 250 ml per herbalist’s shop. Following recommendations, each infusion was brought to 100°C (for 1 minute). The infusions and the digested liquid material (hydrogen peroxide method) were filtered through a 1 µm filter (pore). The number, length and shape of plastic particles were recorded (a total of 90 particles were recorded). An average of 3.56 cumulative plastic particles and 6.44 in infusions were recorded. The polymers identified were: nylon 6, polyester and polypropylene. Plastic particles recorded an average length of 3822.76 µm; with a higher frequency of translucent (colourless) particles. Here we record for the first time the ability of *U. amblyoclada* to accumulate plastic particles. A frequent consumer of stone tea implies an intake of more than 1000 plastic particles per year. Further studies on the collection and storage processes of stone tea should be carried out.

Key words: Mesoplastics, Microplastics, *Usnea amblyoclada*, Infusion, Stone tea.

Introducción

Los residuos plásticos son casi omnipresentes en los productos de consumo humano. Esta afirmación se encuentra respaldada por un creciente número de publicaciones en una gran diversidad de productos: Bai *et al.* (2022) registraron un total de 639 micropartículas plásticas (tamaño < 5 mm) por kilogramo de “comida para llevar” (alimentos sólidos más bebidas), Zhang *et al.* (2020) observaron micropartículas plásticas en peces comerciales mientras que Karami *et al.* (2018) encontraron mesopartículas plásticas (tamaño > 5 mm) en sardinas enlatadas comerciales, Conti *et al.* (2020) encontraron miles de micropartículas plásticas en una amplia variedad de productos hortícolas (ej., lechuga, zanahoria) y Li *et al.* (2022) registraron la presencia de cientos a miles de meso y micropartículas plásticas por litro en diferentes bebidas comerciales (ej., agua, cerveza, leche). A pesar de que alguna vez fueron consideradas inertes, las partículas plásticas se consideran potencialmente dañinas para los organismos (Galloway 2015). La gran área de superficie de las partículas plásticas puede provocar estrés oxidativo, citotoxicidad y translocación a otros tejidos, mientras que su naturaleza persistente limita su eliminación del organismo, lo que lleva a una inflamación crónica, aumentando el riesgo de cáncer (Prata *et al.* 2020). Además, los residuos plásticos, en particular los microplásticos, pueden liberar sustancias químicas de sus matrices o adsorbidos del medio ambiente (Crawford 2019).

Así como es creciente el número de publicaciones relacionadas al estudio del contenido de residuos plásticos en los productos de consumo humano, estos están lejos de abarcar la totalidad de los productos disponibles. En general, los estudios están profundamente orientados a productos de consumo masivo, mientras que aquellos que no pueden ser enmarcados en dicha categoría han sido poco explorados. Este es el caso de los hongos liquenizados o líquenes. Los líquenes son un importante recurso en la medicina tradicional en muchas culturas (Crawford 2019). El uso medicinal de los líquenes se ha llevado a cabo desde los comienzos de la civilización china y egipcia hasta la actualidad (Hernández *et al.* 2010). Se han reportado diversos efectos benéficos del consumo de líquenes (ej., antihemorrágico, antitusivo, astringente, vermífugo) debido a la presencia de metabolitos secundarios con propiedades antibióticas (Illana 2012). Dichos líquenes se utilizan de distintas maneras para cada afección, ya sea en forma de tónico, pomadas, polvos (Illana 2012), decocción e infusiones (Hernández *et al.* 2010, Illana 2012). Esta última forma de uso, las infusiones de los talos, son muy populares entre los consumidores

del "té de la piedra" (o "té de barba de piedra"). Uno de los géneros más reconocidos, alrededor del mundo, para la realización de infusiones es *Usnea* Dill. ex Adans. Existen varias especies de este género que se comercializan en comercios especializados bajo el nombre de té de la piedra (ej., *U. durietzii* Motyka, *U. amblyoclada* (Müll. Arg.) Zahlbr, *U. hieronymi* Kremp. *U. caespitia* Motyka, Rodríguez y Estrabou 2008). Actualmente, no hay estudios que analicen la ocurrencia de microplásticos en las infusiones del té de la piedra.

Los líquenes acumulan micropartículas plásticas. Esta afirmación fue demostrada por Loppi *et al.* (2021). Estos autores demostraron que la acumulación de micropartículas plásticas estaba directamente relacionada con la distancia a la fuente de producción (basural). A priori, poblaciones naturales de líquenes que se encuentren alejadas de fuentes de producción de residuos plásticos (ej., ciudades, basurales, áreas de uso agropecuario intensivo) deberían presentar niveles relativamente bajos de micropartículas plásticas acumuladas. Este podría ser el caso de las poblaciones naturales de los líquenes que son comercializados bajo el nombre de té de la piedra. La mayoría de estas especies presentan núcleos poblacionales alejados de las fuentes de producción de residuos plásticos. Un claro ejemplo es *U. amblyoclada*, una especie principalmente saxícola que crece en rocas expuestas asociadas a sistemas montañosos alejados de los grandes conglomerados urbanos (Rodríguez y Estrabou 2008). Sin embargo, la cadena de colecta, almacenamiento y comercialización podría incorporar cantidades significativas de partículas plásticas al té de la piedra. Flamini *et al.* (2018) indicaron que los habitantes de Valle Traslasierra (Córdoba, Argentina) recolectan "barba de la piedra" (*Usnea* sp.) en grandes bolsas de nylon para venderlas en herboristerías y acopiadoras. El uso de nylon para recolectar y acopiar *Usnea* sp. podría representar la primera fuente de partículas plásticas que se presenta en la cadena de comercialización del té de la piedra. Las rutas de comercialización, el embalaje y la venta serían otros puntos de incorporación de microplásticos al té de la piedra.

Frente al grado de desconocimiento asociado a la ocurrencia de partículas plásticas en el té de la piedra, en el presente artículo, se cuantificará el número de meso y micropartículas plásticas: (i) en suspensión derivada de las infusiones del té de la piedra y (ii) acumuladas en los talos.

Materiales y Métodos

Recolección de talos comerciales de Usnea sp.

Se adquirió té de la piedra mediante compra en tres locales del rubro herboristería pertenecientes al AMBA (Área Metropolitana de Buenos Aires). Estas herboristerías fueron denominadas con el nombre de la localidad donde se ubican: Luján, Gral. Rodríguez y Mercedes. En cada uno de estos locales se compró un total de 100 gramos del mencionado té. El rango de número de talos por herboristería (mínimo-máximo) fue de 186-250. De cada una de estas muestras se registró cuando fue posible: (i) ubicación geográfica de la herboristería, (ii) localidad de pertenencia original del material, (iv) material del envasado comercial del té (plástico o no plástico). Cada una de las muestras se almacenaron en sobres cerrados de papel aluminio hasta los análisis posteriores. Todos los talos utilizados correspondieron a la especie *U. amblyoclada*.

Infusión y digestión de talos

Infusiones. Mediante consulta directa a los comerciantes se determinó que, en la mayoría de sus formas de uso, las infusiones de té de la piedra se realizan con 1-2 talos de líquenes y se colocan en agua hirviendo (100 °C) durante 3-5 minutos. Basándose en la información suministrada seguimos un procedimiento similar, pero en condiciones controladas. Estandarizamos el número de talos a uno por infusión. El peso promedio de los talos utilizados en infusión fue de 0,12 gramos. Las infusiones se realizaron en vasos de precipitado (250 ml), con un volumen de agua

ultrapura Mili-Q ® previamente filtrada (Fisherbrand G6 [09-804-42A]: 1,6 µm). Se realizaron tres infusiones por herboristería. Todo el procedimiento (i) se realizó bajo flujo laminar para minimizar la contaminación ambiental y (ii) todo el material de laboratorio fue lavado con agua Mili-Q ® previamente filtrada (Fisherbrand G6 [09-804-42A]: 1,6 µm). Por otro lado, se realizó un control por cada infusión, para verificar que el agua Mili-Q ® utilizada en las infusiones no este contaminada con partículas plásticas y que no haya incorporación accidental de partículas plásticas en alguno de los puntos del procedimiento. Se dejó reposar 10 minutos cada una de las infusiones obtenidas. A posteriori, cada talo fue retirado con pinzas metálicas de su respectiva infusión.

Digestión de talos. Se escogieron al azar tres talos de las muestras obtenidas para cada una de las herboristerías. Estos talos fueron almacenados y debidamente rotulados dentro de sobres de papel aluminio hasta su posterior digestión. La digestión se realizó utilizando el protocolo utilizado por Loppi *et al.* (2021). Resumiendo, en el laboratorio, las submuestras de líquenes fueron secadas, se pesaron, se colocaron en vasos de cristal y se digirieron individualmente mediante un método de oxidación con peróxido húmedo (Masura *et al.* 2015).

Filtrado y cuantificación de meso y microplásticos. Siguiendo a Loppi *et al.* (2021), tanto las infusiones como los talos digeridos, se filtraron al vacío utilizando papeles de filtro de fibra de vidrio (Fisherbrand G6 [09-804-42A]: 1,6 µm). Se tiñó cada uno de los filtros con una solución de ferroína 0,02 N (C₃₆H₂₄FeN₆O₄S) con el objetivo de facilitar la distinción visual del material orgánico del sintético (ej., microplásticos). Los papeles de filtro teñidos se transfirieron a placas de Petri para su almacenamiento y posterior visualización. Siguiendo a Loppi *et al.* (2021) se observaron los filtros bajo Lupa Estereoscópica y se clasificaron en fibras y fragmentos.

Microscopia e identificación de meso y microplásticos. Se analizó la presencia de meso y microplásticos en los papeles de filtro utilizando un microscopio estereoscópico siguiendo un método de identificación visual de cinco criterios modificado (Roblin y Aherne 2020) aplicado a fibras y fragmentos. Se ha demostrado que la identificación de materiales plásticos de acuerdo con criterios estandarizados en relación con un examen estricto y conservador reduce la posibilidad de identificación errónea de la *partícula* (fibra o fragmento plástico). Los cinco criterios fueron: (i) tiene un color antinatural (ej., azul, rojo, verde, morado, negro, gris) en comparación con otras partículas adyacentes; (ii) parece homogénea en material y textura sin estructura celular visible o ramificaciones y, en el caso de las fibras, tiene un ancho constante en toda su longitud; (iii) permanece intacta y no es frágil cuando se comprime, tira o empuja con pinzas finas; (iv) tiene un aspecto brillante; y (v) existe un deshilachado limitado sin similitudes con las fibras naturales. Se recomienda que se cumplan al menos dos de los criterios para que una partícula se clasifique como partícula plástica (Roblin y Aherne 2020). Por otro lado, todos los meso y microplásticos se verificaron mediante la prueba de la aguja caliente. Aunque la prueba de la aguja caliente no se puede utilizar para identificar el tipo de polímero o identidad química, se acepta como una forma económica de verificar las partículas plásticas en función de su respuesta a una aguja caliente (Campbell *et al.* 2017, Silva *et al.* 2018). Si las partículas plásticas identificadas mediante los criterios visuales se fundían al exponerlas a la aguja caliente (Lusher *et al.* 2020) se confirmaba su identidad como meso o microplástico. Se registraron las siguientes variables para cada muestra y la totalidad de las muestras: número de partículas plásticas (i) acumuladas y en infusión, (ii) pertenecientes al morfotipo fibra y fragmento, (iii) que pertenezcan a categorías de tamaño cualitativas (meso-microplásticos) y cuantitativas (largo en µm) y (iv) color de partícula plástica. El largo en las fibras correspondió al largo total en micras de cada partícula. En el caso de los fragmentos correspondió a la longitud mayor registrado en la superficie visible del fragmento.

Cada partícula plástica fue fotografiada y su longitud medida utilizando el programa ImageJ ®. Finalmente, la identidad química de los microplásticos extraídos y aislados en una placa Petri de vidrio se realizó mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Debido a los límites operativos lícitos, el FTIR de microplásticos sólo se llevó a cabo para el 55,55 % de las partículas. En particular, los espectros IR se recogieron utilizando el espectrofotómetro Shimadzu IR Prestige 21 y el rango del espectro fue 4000-400 cm^{-1} (40 barridos, resolución espectral 4 cm^{-1}). La composición química de las partículas de polímero se identificó por comparación con la base de datos de espectros de referencia (biblioteca de instrumentos y https://www.effemm2.de/spectragryph/down_databases.html). La identificación se aceptó cuando al menos el 70 % de las frecuencias de pico correspondían en frecuencia al espectro de referencia.

Análisis estadístico

Se calculó el valor promedio y su respectivo desvío estándar para las variables cuantitativas bajo estudio.

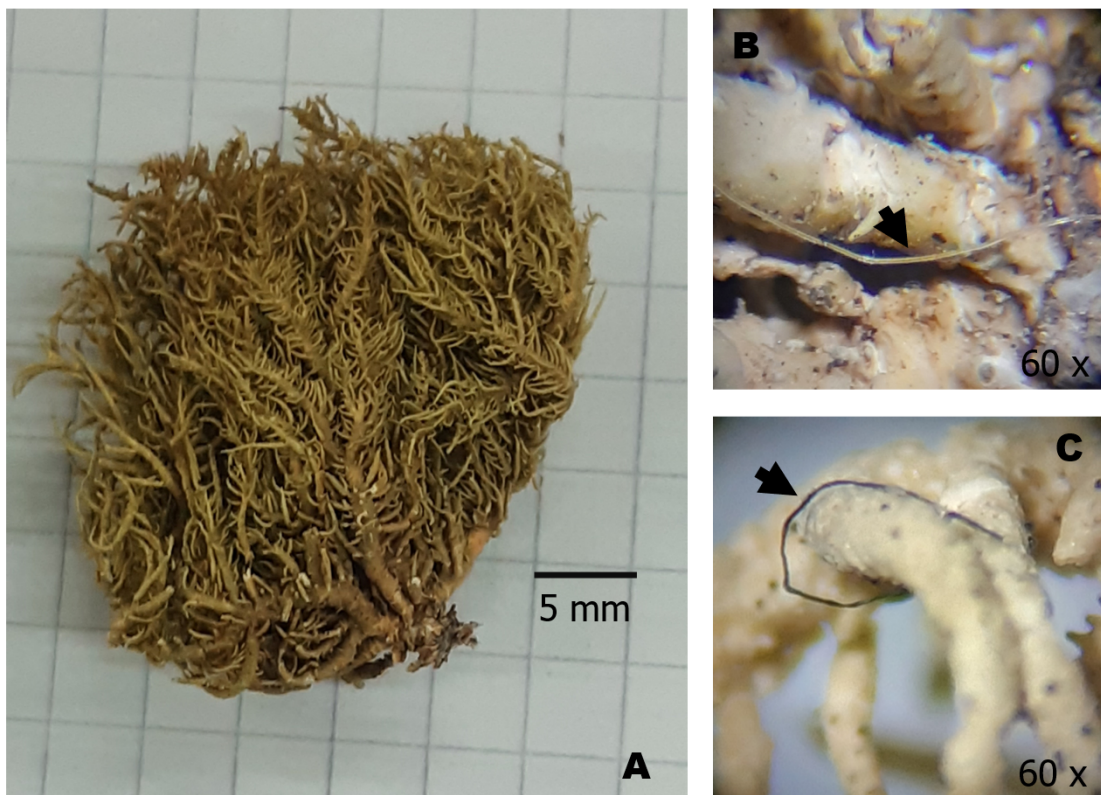


Fig. 1. Talo de *U. amblyoclada* (A) obtenido en una de las herboristerías. Fibras sin color (B) y negra (C) sobre las ramas del talo. Obsérvese la dificultad de detección a simple vista que plantean las fibras sin color. Las flechas señalan la ubicación de las fibras.

Resultados

Se registró (i) un total 90 partículas plásticas, (ii) un promedio de 10 partículas por muestra y (iii) un rango de 5-21 por muestra, (iv) un promedio de 3,56 partículas plásticas acumuladas y 6,44 depositadas en las infusiones, (v) un promedio de 5,11 partículas del morfotipo fibra y 4,11 para el morfotipo tipo fragmento, (vi) un promedio de 5,89 microplásticos y 3,33 para mesoplásticos y (vii) un largo promedio de 3822,76 μm . Se registraron las siguientes categorías de colores: azul, blanco, naranja, negro, rojo, verde y sin color (o translucido). La categoría de color más frecuente fue “sin color”. La información específica por herboristería se detalla en la Tabla 1. Respecto a la identidad química de las partículas plásticas, estas mostraron una coincidencia de más del 70 % respecto de las frecuencias de los picos de absorbancia, a excepción de dos partículas que mostraron una coincidencia de ~ 60 %. Las partículas identificadas fueron asignadas a los siguientes polímeros sintéticos (entre paréntesis número de partículas): Nylon 6 (33), Poliéster (13) y Polipropileno (2). En la Figura 2 se muestran ejemplos de espectros de absorción de cada uno de los polímeros.

Discusión

La capacidad de acumular microplásticos por parte de los líquenes fue demostrada, hasta la fecha, en una sola especie, *Flavoparmelia caperata* (Loppi et al. 2021). El presente trabajo demuestra, por primera vez, que el líquen *U. amblyoclada* es capaz de acumular partículas plásticas.

Las poblaciones naturales de *U. amblyoclada* se encuentran alejadas de áreas urbanas o fuentes de contaminación puntual dentro del territorio de la República Argentina (Rodríguez y Estrabou 2008). En ausencia de fuentes cercanas de producción de partículas plásticas, solo existen dos vías posibles a través de las cuales estas partículas podrían haber llegado a incorporarse a los talos: (1) dispersión a larga distancia e (2) incorporación en el circuito comercial. La primera vía es, tal vez, la más preocupante en términos de estrategias de mitigación. Las partículas plásticas pueden desplazarse distancias considerablemente grandes. Por ejemplo, Allen et al. (2019) sugieren una distancia de

Tabla 1. Resumen de la información obtenida de la extracción de las partículas plásticas en las muestras por herboristería (tres muestras por herboristería). Se muestra el promedio y desvío estándar del número de partículas pertenecientes a cada categoría. Por otro lado, se muestra el color más frecuente de partícula, y entre paréntesis (3) el porcentaje que representa. Referencias: (1) Microplásticos, (2) Mesoplásticos, (4) Cualitativo, (5) Cuantitativo, (6) Longitud en micras.

		Herboristería				
		Luján	Gral. Rodríguez	Mercedes	Total	
Acumuladas		3,33 \pm 6,34	6,00 \pm 7,94	1,33 \pm 1,53	3,56 \pm 4,77	
En infusión		6,67 \pm 3,32	9,00 \pm 2,65	3,67 \pm 1,15	6,44 \pm 3,40	
Morfotipo	Fibra	4,33 \pm 1,83	7,33 \pm 1,53	3,67 \pm 2,08	5,11 \pm 2,26	
	Fragmento	5,33 \pm 1,53	5,67 \pm 2,08	1,33 \pm 1,15	4,11 \pm 2,52	
Tamaño	Cuali ⁽⁴⁾	Micro ⁽¹⁾	8,00 \pm 1,00	7,33 \pm 2,52	2,33 \pm 0,58	5,89 \pm 3,02
		Meso ⁽²⁾	1,67 \pm 1,15	5,67 \pm 1,15	2,67 \pm 3,06	3,33 \pm 2,50
	Cuanti ⁽⁵⁾	Long ⁽⁶⁾	3802,81 \pm 9358,40	4225,12 \pm 5863,78	4678,07 \pm 6022,03	4159,42 \pm 7219,90
Color más frecuente⁽³⁾		Sin color (40,00 %)	Sin color (44,44 %)	Azul (53,33 %)	Sin color (42,22 %)	

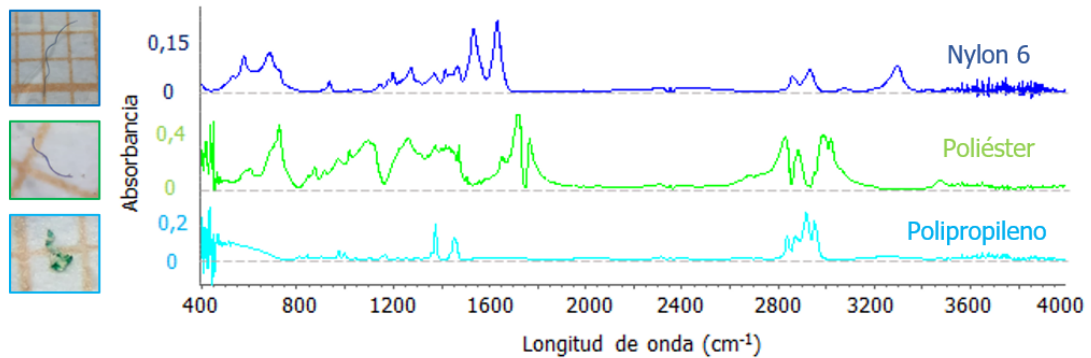


Fig. 2. Espectros de absorbancia correspondiente a tres partículas plásticas encontradas en las infusiones de *U. amblyoclada*. Los tres perfiles corresponden a los tres tipos de polímeros plásticos encontrados en las infusiones: Nylon 6, Poliéster y Polipropileno. A la izquierda de la imagen se pueden observar las partículas plásticas correspondientes. Las celdas que conforman la grilla de referencia al fondo de cada una de las partículas tienen un tamaño de 1 mm x 1 mm.

dispersión de microplásticos, mediada por el viento, de un máximo de 95 km. Por otro lado, en el marco del estudio del transporte a través de las masas de aire de microplásticos entre el continente y los océanos, González-Pleiter *et al.* (2020) demostraron que las partículas microplásticas son capaces de alcanzar distancias de al menos 100 km. Frente a la increíble capacidad de dispersión de las partículas plásticas no hay mucho que se pueda hacer, desde un punto de vista estratégico, para reducir su incorporación mediante la primera vía. Sin embargo, la segunda vía, permitiría incorporar alguna estrategia de mitigación. La incorporación de partículas plásticas en el circuito comercial parece una regla en muchos productos y, en particular, en las infusiones y bebidas. En estos casos es difícil reducir o limitar la incorporación de partículas plásticas producto de la constitución del envase. En la mayor parte de los casos, los envases son parcial o totalmente construidos con polímeros sintéticos (plástico). Como ya hemos mencionado, se ha registrado la presencia de partículas plásticas en diferentes bebidas comerciales: ej., agua, cerveza, leche (Li *et al.* 2022) e incluso en infusiones de té (Hernández *et al.* 2019). En este último caso, la presencia de partículas plásticas (micro y nanoplásticos) está directamente relacionada con el envase, ya que dichas partículas se desprenden de dicho recipiente (nylon y tereftalato de polietileno). Aunque no conozcamos en profundidad el circuito comercial y las potenciales fuentes de partículas plásticas en el mismo, a priori, podríamos asumir que parte de la incorporación de partículas plásticas a las muestras de *U. amblyoclada* provendría de las bolsas de colecta y almacenamiento ya que como menciona Flamini *et al.* (2018) los habitantes de Valle Traslasierra (Córdoba, Argentina) recolectan talos de *Usnea* sp. en grandes bolsas de nylon para venderlas en herboristerías y acopiadoras. Esto es coincidente con la alta proporción de partículas plásticas de nylon identificadas a través del método FTIR (~ 72 %). Sin embargo, la presencia de partículas plásticas de poliéster y polipropileno sugiere que existen otras fuentes de incorporación en otros puntos del circuito de comercialización. Una de las herboristerías, la perteneciente al partido de Mercedes, presentaba los talos en envases cerrados de polipropileno. Las dos partículas de polipropileno registradas en el presente trabajo se encontraron en las infusiones derivadas de los talos obtenidos en esta herboristería. Por otro lado, el poliéster es la fibra plástica más común en las prendas de vestir y esta es, probablemente, la principal fuente de poliéster en nuestras muestras. Los resultados aquí presentados son la primera evidencia de la incorporación de microplásticos en los talos de *U. amblyoclada* y potenciales fuentes de incorporación en los

circuitos comerciales. Sin embargo, es necesario profundizar en el conocimiento de dichos circuitos para reconocer en mayor detalle las fuentes de partículas plásticas. Esta profundización permitirá proponer estrategias de mitigación.

El problema principal asociado a la presencia de partículas plásticas en las infusiones de *U. amblyoclada* está representado por la ingesta de estas partículas. Derivado de consulta a los dueños de las herboristerías, resulta que un consumidor frecuente de té de la piedra, comprará por año aproximadamente unos 50 gramos de té de la piedra. Esto representa un consumo de más de 1000 partículas plásticas por año. Incluso con un consumo repartido entre cuatro personas por hogar, el rango de incorporación de partículas plásticas será de aproximadamente 300-400 partículas plásticas por año. Aunque los valores de partículas microplásticas promedio por infusión ($\sim 5,9$ cada 250 ml de infusión) son bajos comparados con los encontrados en bebidas como el vino ($\sim 664 - 1464$ cada 250 ml, Prata *et al.* 2020), resultan similares a los encontrados en algunas bebidas comercializadas en botellas plásticas retornables (7 – 60 cada 250 ml, Schymanski *et al.* 2018). El consumo frecuente del té de la piedra podría incorporar cantidades significativas de partículas plásticas al cuerpo de los consumidores. Por otro lado, las partículas sin color fueron las más frecuentes, excepto en el caso de las muestras pertenecientes a Mercedes. Teniendo en cuenta que estamos frente a un producto de consumo (té de la piedra) es preocupante que las partículas más frecuentes sean aquellas que no pueden individualizarse a simple vista. En general, el té de la piedra, no se lava o limpia antes de ser utilizado para realizar infusiones. Los talos son retirados de sus empaques originales y utilizados sin proceso de limpieza. Algunas de las fibras encontradas en las muestras superaron las 5 mil micras de longitud (5 mm). Estas fibras serían rápidamente visualizadas por los consumidores y, probablemente, extraídas antes de su utilización. Sin embargo, las partículas sin color son transparentes al ojo humano y, por lo tanto, de difícil detección. El caso de las muestras provenientes de la herboristería de Mercedes, fue especial, ya que fue la única herboristería que comercializa su producto en envase cerrado de polipropileno. Las herboristerías restantes reciben el material en bolsas de celulosa de 5-10 kilos y las comercializan fraccionando el contenido según pedido del cliente en bolsas de celulosa más pequeñas. Frecuencias altas de partículas plásticas sin color ya han sido registradas en otros productos de consumo humano (Bai *et al.* 2022). Esto es, potencialmente, un grave problema para la salud humana. Aunque los efectos de la ingesta de microplásticos aun no son totalmente conocidos, existe cada vez mayor evidencia de su existencia. Consideremos algunos ejemplos: Schirinzi *et al.* (2017) demostraron que la exposición a microplásticos puede inducir una elevada producción de especies reactivas de oxígeno en células humanas cerebrales y epiteliales; Chiu *et al.* (2015) demostraron que la exposición de macrófagos y cultivos de células epiteliales de pulmón a microplásticos causa muerte celular autofágica; Patra *et al.* (2020) proponen que la ingesta de microplásticos podría modificar la microbiota intestinal humana. Las diferentes vías de incorporación de microplásticos a través de la ingesta de productos alimenticios, incluyendo el té de la piedra, debe ser exploradas en mayor profundidad, ya que podría conducir a problemas en la salud humana.

En definitiva, el presente artículo, demuestra que (i) *U. amblyoclada* es capaz de acumular microplásticos y que (ii) la utilización del té de la piedra para la realización de infusiones puede incorporar en el cuerpo niveles preocupantes de partículas plásticas por año. Esto hace imprescindible realizar estudios más profundos relacionados a la cadena de cosecha, almacenamiento y comercialización del té de la piedra en la República Argentina, así como la caracterización polimérica de las partículas plásticas, con el fin de mejorar el entendimiento de dichas cadenas y sus orígenes.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Nacional de Luján por proveer la infraestructura para poder llevar a cabo el presente trabajo.

Referencias

- ALLEN, S., ALLEN, D., PHOENIX, V. R., LE ROUX, G., DURÁNTEZ JIMÉNEZ, P., SIMONNEAU, A. & GALOP, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience* **12(5)**: 339–344.
- BAI, C. L., LIU, L. Y., GUO, J. L., ZENG, L. X. & GUO, Y. (2022). Microplastics in take-out food: Are we over taking it? *Environmental Research* **215(3)**: 114390.
- CAMPBELL, S. H., WILLIAMSON, P. R. & HALL, B. D. (2017). Microplastics in the gastrointestinal tracts of fish and the water from an urban prairie creek. *Facets* **2(1)**: 395–409.
- CHIU, H. W., XIA, T., LEE, Y. H., CHEN, C. W., TSAI, J. C. & WANG, Y. J. (2015). Cationic polystyrene nanospheres induce autophagic cell death through the induction of endoplasmic reticulum stress. *Nanoscale* **7(2)**: 736–746.
- CONTI, G. O., FERRANTE, M., BANNI, M., FAVARA, C., NICOLOSI, I., CRISTALDI, A., FIORE, M. & ZUCCARELLO, P. (2020). Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environmental Research* **187**: 109677.
- CRAWFORD, S. D. (2019). Lichens used in traditional medicine. In: RANKOVIĆ, B. (ed.) *Lichen secondary metabolites*: 31–97. Springer, Cham.
- FLAMINI, M., SUÁREZ, M. E., & ROBLEDO, G. (2018). Hongos útiles y tóxicos según los yuyeros de La Paz y Loma Bola (Valle de Traslasierra, Córdoba, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **53(2)**: 1–10.
- GALLOWAY, T. S. (2015). Micro- and nano-plastics and human health. In: BERGMANN, M.; GUTOW, L. & KLAGES, M. (eds.) *Marine anthropogenic litter*: 343–366. Springer, Cham.
- GONZÁLEZ-PLEITER, M., VELÁZQUEZ, D., EDO, C., CARRETERO, O., GAGO, J., BARÓN-SOLA, Á. & FERNÁNDEZ-PIÑAS, F. (2020). Fibers spreading worldwide: Microplastics and other anthropogenic litter in an Arctic freshwater lake. *Science of the Total Environment* **722**: 137904.
- HERNANDEZ, L. M., XU, E. G., LARSSON, H. C., TAHARA, R., MAISURIA, V. B. & TUFENKJI, N. (2019). Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental science & technology* **53(21)**: 12300–12310.
- HERNÁNDEZ, M. P., CIVITELLA, S. M. & ROSATO, V. G. (2010). Uso medicinal popular de plantas y líquenes de la Isla Paulino, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* **9(4)**: 258–268.
- ILLANA-ESTEBAN, C. (2012). Líquenes usados en medicina tradicional. *Boletín de la Sociedad Micológica de Madrid* **36**: 163–174.
- KARAMI, A., GOLIESKARDI, A., CHOO, C. K., LARAT, V., KARBALAEI, S. & SALAMATINIA, B. (2018). Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. *Science of the Total Environment* **612**: 1380–1386.
- LI, Y., PENG, L., FU, J., DAI, X. & WANG, G. (2022). A microscopic survey on microplastics in beverages: the case of beer, mineral water and tea. *Analyst* **147(6)**: 1099–1105.
- LOPPI, S., ROBLIN, B., PAOLI, L. & AHERNE, J. (2021). Accumulation of airborne microplastics in lichens from a landfill dumping site (Italy). *Scientific reports* **11(1)**: 1–5.
- LUSHER, A. L., WELDEN, N. A., SOBRAL, P. & COLE, M. (2017). Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Analytical Methods* **9**: 1346.
- MASURA, J., BAKER, J., FOSTER, G. & ARTHUR, C. (2015). *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. Silver Spring, NOAA Marine Debris Division.
- PRATA, J. C., DA COSTA, J. P., LOPES, I., DUARTE, A. C. & ROCHA-SANTOS, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the total environment* **702**: 134455.
- ROBLIN, B. & AHERNE, J. (2020). Moss as a biomonitor for the atmospheric deposition of anthropogenic microfibrils. *Science of The Total Environment* **715**: 136973.
- RODRIGUEZ, J. M. & ESTRABOU, C. (2008). *Usnea amblyoclada* «Barba de piedra» (Ascomycetes liquenizados) en Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **43(3-4)**: 221–225.
- SCHIRINZI, G. F., PÉREZ-POMEDA, I., SANCHÍS, J., ROSSINI, C., FARRÉ, M. & BARCELÓ, D. (2017). Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. *Environmental Research* **159**: 579–587.

- SCHYMANSKI, D., GOLDBECK, C., HUMPF, H. U. & FÜRST, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water research* **129**: 154–162.
- SILVA, A. B., BASTOS, A. S., JUSTINO, C. I., DA COSTA, J. P., DUARTE, A. C. & ROCHA-SANTOS, T. A. (2018). Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry-A review. *Analytica chimica acta* **1017**: 1–19.
- ZHANG, C., WANG, S., PAN, Z., SUN, D., XIE, S., ZHOU, A. & ZOU, J. (2020). Occurrence and distribution of microplastics in commercial fishes from estuarine areas of Guangdong, South China. *Chemosphere* **260**: 127656.

Comunidades líquénicas urbanas de la Ciudad de Concepción

Urban lichen communities of the city of Concepción

Francibelk Roa García¹⁾, Mailen Ríos²⁾ & Víctor Hernández Santander¹⁾

¹⁾Universidad de Concepción, Chile.

Email: froa@udec.cl, vhernand@udec.cl

²⁾Universidad Nacional de Quilmes, Argentina.

Email: mrios@uvq.edu.ar

Resumen

La Ciudad de Concepción, perteneciente a la región del Biobío, delimitada por la Cordillera de la Costa y Cordillera de los Andes en Chile, posee amplia vegetación de Bosque esclerófilo y bosque caducifolio, que confluyen en el casco urbano de la ciudad; resguardado por los Parques: a) Metropolitano Cerro Caracol y b) Ecuador, ambos habitat de líquenes urbanos. Se muestrearon más de 201 forófitos de la ciudad y se registraron 15 familias de líquenes predominando: Parmeliaceae, Ramalinaceae y Teloschistaceae. Se muestrearon un total de cuatro (4) zonas del casco urbano de Concepción, y se identificaron : a) líquenes típicos de sitios soleados y abiertos como *Flavopunctelia soledica* (Nyl.) Hale, *Xanthoria parie* (L.) Th. Fr., y *Usnea* sp. hasta, b) líquenes de micrositos semi-abiertos como *Haematomma puniceum* (Ach.) A. Massal. Se concluyó, que la ciudad alberga un total de 30 especies, que deben ser conservados como parte de patrimonio natural del casco urbano de la ciudad, y enmarcado en los bosques urbanos de Concepción como potencial para propiciar la conservación y estudio de la liquenología.

Palabras claves: Biobío, caducifolio, esclerófilo, tolerantes.

Abstract

The City of Concepción, belonging to the Biobío region, bounded by the Coastal Range and the Andes Mountains in Chile, has extensive vegetation of sclerophyll forest and deciduous forest, which converge in the urban area of the city; protected by the Parks: a) Metropolitan Cerro Caracol and b) Ecuador, both habitats for urban lichens. More than 201 phorophytes from the city were sampled and 15 predominant lichen families were recorded: Parmeliaceae, Ramalinaceae, and Teloschistaceae. A total of four (4) areas of the urban area of Concepción were sampled, they were identified: a) lichens typical of sunny and open sites such as *Flavopunctelia soledica* (Nyl.) Hale, *Xanthoria parie* (L.) Th. Fr., and *Usnea* sp. to, b) semi-open microsite lichens such as *Haematomma puniceum* (Ach.) A. Massal. It was concluded that the city houses a total of 30 species, which must be preserved as part of the natural heritage of the urban area of the city, and framed in the urban forests of Concepción as a potential to promote the conservation and study of lichenology.

Key words: Biobío, deciduous, sclerophyllous, tolerant.

Introducción

Particularmente, Chile posee un diverso patrimonio ambiental, protegido por el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), creado y administrado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). El Sistema se compone actualmente por 106 unidades, distribuidas en 42 Parques Nacionales, 46 Reservas Nacionales y 18 Monumentos Naturales (CONAF 2022).

La mayoría de los ecosistemas en Chile, son destruidos anualmente por la tala ilegal y quema indiscriminada de miles de hectáreas de bosques, y muchos de estos sitios son devastados (Armesto *et al.* 2014). No todos los sitios y ecosistemas están dentro de la jurisdicción de SNASPE y CONAF (Anderson *et al.* 2010, Armesto *et al.* 2014), existen en la actualidad varios sitios no frecuentados o visitados por especialistas en líquenes y entre ellos se encuentran los de zonas perimetrales urbanas y cascos urbanos de las ciudades.

Una de las ciudades que están perimetradas por relictos de bosques esclerófilos, en el centro-Sur de Chile, es la ciudad de Concepción perteneciente a la Región del Biobío (Zamora-Mansur *et al.* 2011), que posee un casco urbano central, caracterizado por alto tránsito vehicular e impacto antropogénico, típico de las urbes, y que suele ser considerados desierto de líquenes (Correa-Ochoa *et al.* 2020).

Además, debido al aumento poblacional, se incrementa, el empleo de estufas y calderas en épocas de invierno [León *et al.* 2019, Consejo Políticas de Infraestructuras (CPI) 2022, Maturana *et al.* 2022], traduciéndose en un aumento de la contaminación e impacto ambiental (Fenger 1999, Mares 2017, Valdivia *et al.* 2018).

Estos impactos antropogénicos, afectan negativamente el establecimiento y desarrollo del líquen, ya que este último, al no poseer una cutícula protectora o estomas (Farci *et al.* 2011, Garcia & Pineda 2022), permea a través de su talo componentes químicos como dióxido de carbono, dióxido de azufre, ozono, hidrocarburos aromáticos (HAP), entre otros. Por ende, los líquenes son particularmente sensibles al sinergismo provocado por el efecto integrado de varios contaminantes presentes en la atmósfera al mismo tiempo, y no a cada uno por separado (Fernández-Salegui *et al.* 2006, Correa-Ochoa *et al.* 2021), traduciéndose en bioindicadores ambientales de la calidad del aire.

Asimismo, la calidad del aire y sus componentes químicos, característicos de las áreas urbanas, afecta el balance entre los componentes del líquen (ficobionte: alga; micobionte: hongo) (Pereira *et al.* 2018, Zuñiga *et al.* 2015), volviendo al líquen vulnerable a variaciones ambientales, y asociando urbe con desierto de líquenes (Seaward 1997, Vareschi & Moreno 1973).

Sin embargo, existen líquenes que debido a sus características fisiológicas y morfoanatómicas (como metabolitos secundarios: antraquinonas, flavonoides, entre otros) sobreviven dentro de zonas antropizadas de la ciudad (Bravo 2022, Pereira *et al.* 2018), formando parte de la líquenobiota de los cascos perimetrales y urbanos, siendo un potencial recurso para la bioindicación de la calidad de aire a un bajo costo (Mares 2017, Acevedo & Charry 2018) y una manera preventiva para mitigar, evaluar y regularizar a tiempo los efectos negativos de impactos ambientales.

En consecuencia, los cambios en la composición de las comunidades líquénicas, son correlacionados con los que ocurren a nivel de la contaminación atmosférica. Los líquenes pueden ser usados como bioindicadores en tres formas, históricamente comprobadas: la primera, por el mapeo de todas las especies presentes en un área específica; la segunda, mediante el muestreo individual, de las especies líquénicas y la tercera evaluando la medición de los contaminantes acumulados en sus talos (trasplante de líquenes, cambios morfo fisiológicos, evaluación de bioacumulación) (Vareschi & Moreno 1973, Conti & Cecchetti 2000, Santoni & Lijteroff 2006, Pereira *et al.* 2018, Varela *et al.* 2018, Correa-Ochoa *et al.* 2020, Villagra *et al.* 2021, García & Pineda 2022).

Por lo tanto, entre las razones que motivaron la realización de esta investigación, destacan: el potencial investigativo de bajo costo empleando los líquenes urbanos (Calatayud *et al.* 2011, Izquierdo 2015, Garcia & Pineda 2022), la escasez de estudios previos de este tipo, tanto en el ámbito

regional como nacional (Riquelme 2014; Varela *et al.* 2018; Pereira *et al.* 2018; Correa-Ochoa *et al.* 2020; Correa-Ochoa *et al.* 2022), y la necesidad de consolidar especialistas concedores de la biota no solamente dentro de bosques sino en áreas que pasan desapercibidas para estudios ambientales como las ciudades (Hawksworth *et al.* 2005; Armesto *et al.* 2014; González De Luca 2020).

El estudio de los líquenes como bioindicadores de calidad de aire, se cuantifico con el uso del Índice de Pureza Atmosférica (I.P.A: IPA), el cuál ha sido históricamente usado, siendo comprobada su utilidad para evaluar zonas que impliquen una línea base para estudios de bioindicación en el tiempo (Vareschi & Moreno 1973, Fernández-Salegui *et al.* 2006, Conti & Cecchetti 2001, Calatayud *et al.* 2011, Riquelme 2014, Mares 2017, Pereira *et al.* 2018, Correa-Ochoa *et al.* 2021, García & Pineda 2022).

Asimismo, el IPA, es denominado como: Lichen Biodiversity, ya que aporta datos sobre la cobertura líquénica y la diversidad de especies (Calatayud-Lorente & Sanz-Sánchez 2000, Correa-Ochoa *et al.* 2021), ofreciendo un valor numérico del nivel de contaminación atmosférica, en función del número de especies taxonómicas de líquenes y de su frecuencia en el área o zona muestreada.

Para el estudio de las comunidades de líquenes urbanos, se empleó el Índice de Pureza Ambiental (Fernández-Salegui *et al.* 2006, Pereira *et al.* 2018, Correa-Ochoa *et al.* 2020, Correa-Ochoa *et al.* 2021) para poder estimar la calidad del aire (Correa-Ochoa *et al.* 2020, García & Pineda 2022). El objetivo de este trabajo de investigación fue determinar las especies líquénicas del casco urbano de la Ciudad de Concepción, para su empleo como recursos de bioindicación en la calidad del aire, y a largo plazo, emplearse como estrategia didáctica para propiciar la educación ambiental y conocimientos de estos organismos.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Región VIII de Chile: Biobío, en la ciudad de Concepción, UTM: Longitud:73.061828, Latitud:36.787660, la ciudad está delimitada por las Planicies Litorales y la Cordillera de La Costa Chilena; posee un clima templado con temperaturas promedio anuales de 12,7°C y mínima anual de 8°C en invierno (Sistema Nacional de la calidad de aire, usando estación meteorológica Kingston College de Concepción: SINCA 2023), con precipitaciones promedio anuales de 1110 mm (Armesto *et al.* 2014, CONAF 2022).

En Concepción, algunos de los principales agentes contaminantes que influyen en la calidad del aire son NO₂ y SO₂, constatándose para meses a finales de otoño y comienzo de invierno (agosto a septiembre 2022) siendo producto de uso continuo de estufas y quema de leña (SINCA 2023, Ministerio del Ambiente de Chile 2019).

Se tomó un área central de la ciudad de Concepción, la cual abarcó 494 hectáreas aproximadamente (4,94 Km²). Dentro de esta área, se encontraron cuatro (4) zonas características que incluyeron: Parque Metropolitano Cerro Caracol, Parque de la avenida Manuel Rodríguez, Parque Ecuador y su zona aledaña vecina: el Campus de la Universidad de Concepción (UdeC).

Se muestrearon durante un año, las comunidades líquénicas urbanas de la ciudad, presentes a lo largo de la fisionomía vegetal de Concepción, compuesta por árboles como: Pehuén (*Araucaria araucana* (Molina) Molina), Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst), Raulí (*Nothofagus alpina* Pepp & Endl), Liquidambar (*Liquidambar styraciflua* L.), Plátano (*Platanus x hispánica* Mill. Exmünchh.), Aromo (*Acacia caven* (Molina) Molina), Cerezo (*Prunus serrullata* Lindl), Peumo (*Cryptocarpa alba* R.Br.), y Palma chilena (*Jubaea chilensis* Molina Baill) (Alvarado *et al.* 2013).

Para realizar el mapa con las zonas de estudio y estaciones de muestreo respectivas, se utilizó el programa gvSIG-desktop-2.5.1, con uso de datos georreferenciales (shapes) de Concepción disponibles en el Ministerio de Bienes Nacionales: Infraestructura y datos geoespaciales (IDE) (2020) de Chile.

Se utilizó la técnica transectos: cada 100 metros se registraron un mínimo de 4 árboles (forófitos) y mapearon en total 201 forófitos (E: estación de muestreo) sanos, con corteza homogénea, y de difícil desprendimiento en el tiempo, así como con características similares de textura y rugosidad (Richardson 1991, Gries 1996, Seaward 1997, Asta 2002, Correa-Ochoa *et al.* 2021).

Se inventariaron las comunidades liquénicas presentes solo en los forófitos que tuvieran un diámetro más o menos semejante (30-40 cm), para asegurarse que las comunidades liquénicas asentadas en ellos se encontraran bien desarrolladas (Fernández-Salegui *et al.* 2006, Correa-Ochoa *et al.* 2020).

El muestreo de los líquenes, se realizó a una altura máxima de 1,50 metros de cada forófito (E) y se empleó una red (grilla) de muestreo (compuesta por 10 rectángulos de 10 x 15 cm cada uno) (Fernández-Salegui *et al.* 2006). A cada una de las especies presentes en el área que abarcó la red de muestreo, se le asignó un valor de frecuencia de 1 a 10, en función del número de cuadros máximo de la red de muestro (10), en los que estuvieran presente cada especie taxonómica de liquen (Calatayud-Lorente & Sanz 2000, Pereira *et al.* 2018, Correa-Ochoa *et al.* 2020).

Las muestras fueron colectadas en bolsas de papel kraft, con ayuda de espátula y navaja, colectándose solo los líquenes representativos para identificar cada especie taxonómica respectivamente.

Se consideraron para el inventario, todos los flancos del forofito (E), orientación (norte, sur, este y oeste) es decir: 360 grados del tronco, para así evitar la subjetividad y estandarizar la metodología (Fernández - Salegui *et al.* 2006).

Posteriormente, las muestras colectadas, se secaron en una estufa con una temperatura no mayor de 30 grados centígrados, y luego en el laboratorio se procedió a su identificación, realizando las pruebas químicas habituales en liquenología y mediante el uso de claves especializadas, de las siguientes referencias: Consortium of Lichen Herbaria of North América (CNALH: 2021), Farci *et al.* (2011), Gauslaa *et al.* (2006); Lucking *et al.* 2007; Nash (2008) y Conti & Cecchetti (2001) y revisando incidencias en Checklist de líquenes para Chile (Galloway & Quilhot 1998; Vargas & Sandoval 2020).

En el análisis estadístico, se utilizó la frecuencia de especies, es decir la cantidad de ocurrencias de cada especie en cada estación de muestreo (E) y los datos se organizaron en una matriz por zona de estudio, donde la frecuencia de cada especie se expresa como el valor medio de la frecuencia registrada entre todos los inventarios que conforman cada zona de estudio. Además, las especies se categorizaron considerando los diferentes biotipos: Costroso (Cost), Fructiculoso (Fru), Filamentoso (Fila) y Folioso (Fol) (Fernández- Salegui *et al.* 2006).

Para las zonas muestreadas, se usó el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), utilizando la siguiente fórmula:

$$IPAJ = 1/n \sum (f_i * Q_i)$$

Dónde:

IPAJ = Índice de Pureza Atmosférica de la estación j.

n = número total de forófitos muestreados en cada estación j.

f_i = grado de frecuencia.

Q_i = factor de tolerancia/sensibilidad de la especie i.

Para poder definir el Q_i se debe realizar la siguiente ecuación la cual determinará el número de especies i en las estaciones de monitoreo, usando la fórmula siguiente:

$$Q_i = \sum_j (A_j - 1) / N_j$$

Dónde:

Q_i = factor de resistencia de la especie i .

A_j = número de especies presentes en cada estación (j) donde se encuentra la especie i .

N_j = número de estaciones (j) donde se encuentra la especie i .

Se calculó el IPA en cada forófito y luego se obtuvo el IPA total de cada zona de estudio, mostrando indirectamente la diversidad de especies presentes.

Con el programa Past 4.0, se empleó la herramienta de análisis de estadística descriptiva (Bojorque 2020, Rodríguez-Bárceñas 2022) para mostrar relaciones entre datos que no son aparentes a priori: el análisis multivariado, utilizando la opción: clustering classic, permitiendo calcular las similitudes máximas, entre el universo de datos ingresados de toda la zona muestreada.

Mediante el algoritmo exacto y preciso: análisis tipo Clúster (clustering classical:CC) y su distancia Euclidiana, se calcularon las similitudes de los datos y sus variables categóricas, agrupándolos de manera no jerárquica objetivamente (Rodríguez-Bárceñas 2022) obteniéndose un dendrograma principal con las estaciones de muestreo (201) y finalmente de las cuatro zonas resultantes del estudio.

Se obtuvieron cuatro (4) grandes grupos de datos estadísticos, que se traducen en las cuatro (4) zonas características del estudio, agrupándose en conjunto de pares homogéneos correspondientes: a) Zona 1 (Z1) y Zona 2 (Z2); b) Zona 3 (Z3) y Zona 4 (Z4).

Para evaluar las características estructurales, de las comunidades líquénicas urbanas y entender su composición, se emplearon algunos índices ecológicos, como el índice de Margalef o índice de diversidad específica de Margalef (Álvarez & Guerrero 2022, García Pineda 2022) el cual se utilizó para estimar la diversidad de las zonas de estudio, ya que relaciona la cantidad de unidades de cada especie versus el logaritmo natural del total de individuos en el lugar.

Cuando el índice de Margalef es inferior a dos (2), un sitio es considerado de baja biodiversidad y valores superiores a cinco indican lo contrario, como se supondrá, indica una alta diversidad (García Pineda 2022).

Asimismo, se utilizó, el índice de Shannon (H), ya que considera tanto la riqueza en especies como su abundancia, empleando una escala logarítmica.

Resultados

Se registraron 15 familias de líquenes urbanos, con un total de veinte (20) géneros (Tabla 1) y treinta (30) especies (Figura 1, Tabla 1 y 2). De un total de quince (15) familias, las tres (3) familias más representativas fueron: Parmeliaceae con un total de 25,13%, Ramalinaceae (17,64%), y Teloschistaceae (13,22%).

Las zonas con mayor riqueza de especies (I) y diversidad (H), encontradas respectivamente fueron: la Zona 4 (Z4) (Campus de UdeC) con 8,8968 (I) y 24 especies (es) (Tabla 4).

Entre los líquenes de Z4 se encontraron: *Crypthotecia rubrocincta*, *Cryptothecia candida*, *Cladonia* sp., *Graphis lineola*, *Graphis scripta*, *Flavopunctelia flaventior*, *Flavopunctelia soledica*, *Heterodermia leucomela*, *Leptogium azureum*, *Parmotrema perlatum*, *Parmotrema crinitum*, *Physcia caesia*, *Physcia stellaris*, *Physcia adscendens*, *Punctelia subrudecta*, *Punctelia borrieri*, *Ochrolechia* sp., *Ramalina chilensis*, *Ramalina* sp., *Stereocaulon* sp., *Teloschistes chrysophthalmus*, *Usnea sulcata*, *Usnea nidulans* y *Xanthoria parietina*.

La segunda zona con mayor I, fue la Zona 3 (Parque Ecuador) con 2,912 (I), y 10 (es).

Entre los líquenes representativos de la Zona 3 (Z3), destacan: *Sticta fuliginosa*, *Pertusaria pertusa* y *Haematomma puniceum*, los cuales solo se presentan en esta zona.

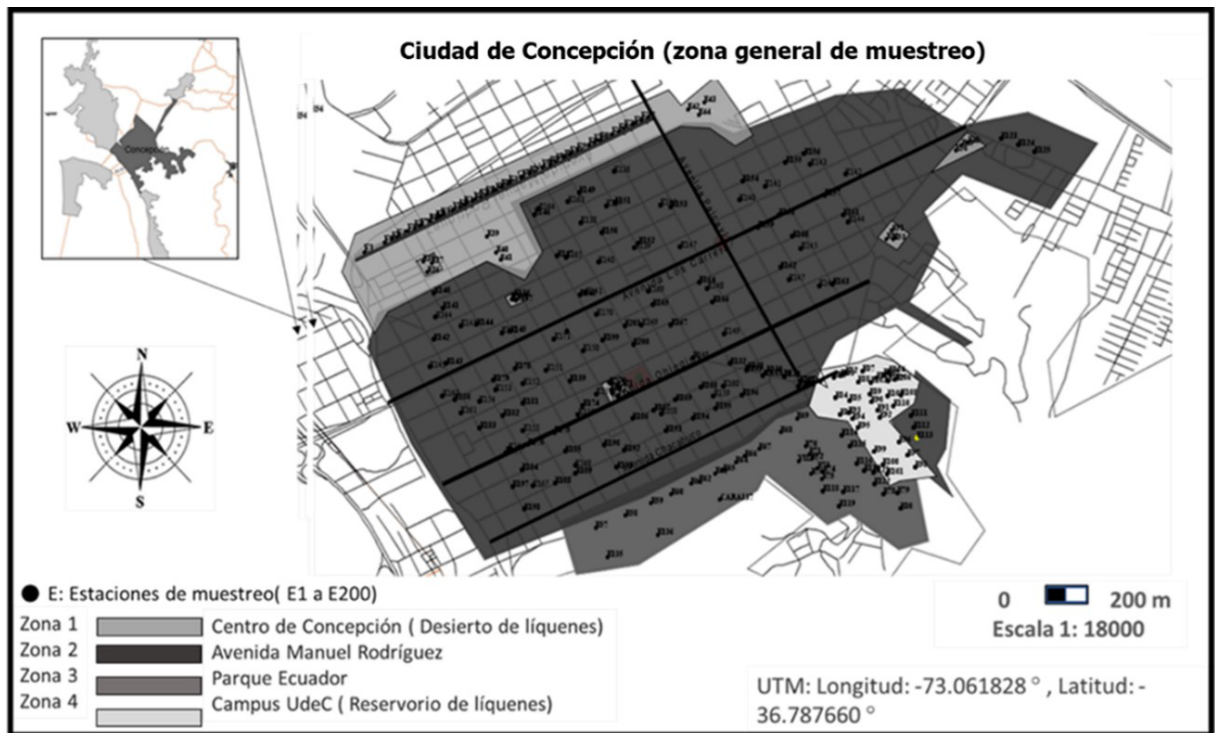


Fig. 1. Mapa de la Ciudad de Concepción con la zona de estudio

La Zona 2 (Z2) (Manuel Rodríguez) resultó con 3,87 I) y 4 (es). Entre los líquenes representativos de esta zona destacan: *Physcia caesia* y *Xanthoria parietina* siendo esta última la más representativa.

Finalmente, la Zona 1 (Z1) (Centro ciudad) resultó con 0 (I) y 3 (es) teniendo entre sus líquenes: *Xanthoria parietina*, *Candelaria concolor*, y la representativa *Chrysothrix candelaris* (Tabla 1 y 2, Figura 2).

La zona de mayor riqueza de especies y diversidad medida por el índice de Shannon (H) fue la Zona 4 (Z4) con $H=2,651$, seguida de la Zona 2 (Z2) ($H=1,8$), Zona 3 (Z3) ($H=1,5$) y Zona 1 (Z1) ($H=1,15$) respectivamente.

En consecuencia, la zona de mayor riqueza de especies, y diversidad fue la Zona 4 (Z4) (Campus de UdeC) en contraposición a la Zona 1 (Z1) (Casco urbano de la ciudad) con menor riqueza de especies y diversidad respectivamente (Tabla 4 y Figura 1).

La zona con mayor IPA fue la Zona 4 (IPA=31,09) indicando un ambiente con nivel C de moderada contaminación (Tabla 3) siendo un escenario y más propicio para el desarrollo de comunidades líquénicas (mayores valor: H, I) considerándose reservorio de líquenes (Figuras 1 y 2).

El IPA de la Zona 1 (IPA=3,57) indica mayor contaminación, con un nivel A de contaminación (Tabla 3), por tanto una zona poco propicia para el desarrollo y sobrevivencia de las comunidades líquénicas (menor valor: H, I) considerándose esta última zona como desierto de líquenes (Tabla 3 y Figura 1).

El resultado del dendrograma se tradujo en la agrupación de zonas homogéneas, y de las

Tabla 1. Familia, géneros y especies de líquenes por zonas de estudio.

Nº	Género	Cant. Especies	Nombre científico	Zonas				fp	Familia
				1	2	3	4		
1	Gyothecia	2	<i>G. candida</i> (Kremp.) R. Sant.				■	4	Arthoniaceae
			<i>G. rubrocineta</i> (Ehrenb.) G. Thor				■	2	Arthoniaceae
2	Gandelaria	1	<i>G. concolor</i> (Dickson) Stein	■	■			100	Gandelariaceae
3	Chysothrix	1	<i>C. candellaris</i> (L.) J.R. Laundon	■	■			50	Chysothricaceae
4	Gadonia		<i>G. sp.</i>				■	2	Gadoniaceae
5	Flavopunctelia	2	<i>F. flaviventris</i> (Sinton) Hale				■	12	Parmelaceae
			<i>F. soredica</i> (Nyl.) Hale				■	8	Parmelaceae
6	Graphis	2	<i>G. lineolata</i> Ach.				■	2	Graphidaceae
			<i>G. scripta</i> (L.) Ach.				■	3	Graphidaceae
7	Haematomma	1	<i>H. puniceum</i> (Ach.) A. Massal				■	4	Haematommataceae
8	Heterodermia	1	<i>H. leucomela</i> (L.) Poet.				■	10	Physciaceae
9	Leptogium	1	<i>L. azureum</i> (Sw.) Mont.				■	2	Colemataceae
10	Ochrolechia	1	<i>Ochrolechia sp.</i>				■	100	Ochrolechiaceae
11	Parmotrema	2	<i>P. perlatum</i> (Huds.) M. Choisy				■	80	Parmelaceae
			<i>P. crinitum</i> (Ach.) M. Choisy				■	120	Parmelaceae
12	Pertusaria	1	<i>P. pertusa</i> (L.) Tuck.				■	4	Pertusariaceae
			<i>P. adnens</i> (Fr.) H. Olivier				■	1	Pertusariaceae
13	Physcia	3	<i>P. caesia</i> (Hoffm.) Hampe ex F. R. Nyl.	■	■		■	74	Physciaceae
			<i>P. stellaris</i> (L.) Nyl.				■	125	Physciaceae
14	Punctelia	2	<i>P. subrudecta</i> (Nyl.) Krog				■	15	Parmalinaceae
			<i>P. borreni</i> (Turner) Krog				■	5	Parmelaceae
15	Ramalina	2	<i>R. chilensis</i> Bertero ex Nyl.				■	180	Ramalinaceae
			<i>Ramalina sp.</i>				■	20	Ramalinaceae
16	Stereocaulon	1	<i>Stereocaulon sp.</i>				■	1	Stereocaulaceae
17	Sticta	1	<i>Sticta fuliginosa</i> (Hoffm.) Ach.				■	1	Lobariaceae
18	Telochytrium	1	<i>T. chrysophthalmus</i> (L.) Norman ex Tuck.				■	10	Telochytriaceae
19	Usnea	2	<i>Usnea nidulans</i> Motyka				■	15	Parmelaceae
			<i>Usnea sulcata</i> Motyka				■	35	Parmelaceae
20	Xanthoria	1	<i>X. parietina</i> (L.) Th. Fr.	■	■	■	■	150	Telochytriaceae
Especímenes por zona				3	4	10	24	1135	
Total		30							

cuatro (4) zonas obtenidas, se encontraron dos (2) zonas con menores ocurrencias de líquenes y bajos niveles de IPA, siendo estas las Zona 1 y Zona 2 (Tabla 2 y Figura 1), que se describieron como sigue:

Zona 1: Casco central de la ciudad (latitud: 36°49'37.09"S, longitud: 73°3'0.74"O), área poligonal, con 280 metros cuadrados aproximadamente. Delimitada por la Zona 2 al norte, y por la Zona 3 al sur (Figuras 1 y 2).

Zona 2: Parque en Avenida Manuel Rodríguez (36°49'3.86"S, 73° 3'26.42"O), área lineal, con 400 metros aproximados de longitud y 60 metros cuadrados. Se sitúa al norte de la ciudad de Concepción (Figuras 1 y 2).

Por otro lado, las otras dos (2) zonas restantes: Zona 3 y Zona 4, se adjudicaron una mayor ocurrencia de líquenes, y un mayor nivel de IPA, que se traduce en una mayor calidad del aire, describiéndose a continuación:

Zona 3: Plaza Ecuador (36°49'57.94"S, 73° 2'50.56"O) área lineal, con 406 metros de longitud y 56 metros cuadrados. Situada al Sur de la ciudad, limitada por la avenida Chacabuco (Figuras 1 y 2).

Zonas 4: Campus de la Universidad de Concepción (36°49'38"S, 73°03'01"O), área poligonal de 200 metros cuadrados aproximadamente, que delimita en uno de sus lados con el Bosque Caracol (Figuras 1 y 2).

Tabla 2. Liquenobiota e IPA por zona de estudio.

N°	Género	Especie	Biotipo	IPA			
				Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
1	<i>Candelaria</i>	<i>Candelaria concolor</i>	Cost	0	3,29	7,89	1,37
2	<i>Chrysothrix</i>	<i>Chrysothrix candelaris</i>	Cost	0,16	2,37	2,57	1,73
3	<i>Cladonia</i>	<i>Cladonia sp.</i>	Fru	1,76	0	0	0,37
4	<i>Cryptothecia</i>	<i>Cryptothecia rubrocincta</i>	Cost	0,66	0	0	0,4
5		<i>Cryptothecia candida</i>	Cost	0	0	0	0,2
6	<i>Flavopunctelia</i>	<i>Flavopunctelia flaventior</i>	Fol	0	0	0	0,98
7		<i>Flavopunctelia soredica</i>	Fol	0	0	0	2,27
8		<i>Flavopunctelia sp.</i>	Fol	0	0	0	4,47
9	<i>Graphis</i>	<i>Graphis lineola</i>	Cost	0	0	0	0,16
10		<i>Graphis scripta</i>	Cost	0	0	0	0,16
11	<i>Haematomma</i>	<i>Haematomma puniceum</i>	Cost	0	0	0,16	0,16
12	<i>Heterodermis</i>	<i>Heterodermis leucomela</i>	Fol	0	0	0	0,32
13	<i>Leptogium</i>	<i>Leptogium azureum</i>	Fol	0	0	0	0,16
14	<i>Ochrolechia</i>	<i>Ochrolechia sp.</i>	Cost	0	0,16	0	0,16
15	<i>Parmotrema</i>	<i>Parmotrema crinitum</i>	Fol	0	0,83	0	0,16
16		<i>Parmotrema reticulatum</i>	Fol	0	1,38	0	3,54
17	<i>Pertusaria</i>	<i>Pertusaria pertusa</i>	Cost	0	0	0,16	0
18	<i>Physcia</i>	<i>Physcia adscendens</i>	Fol	0	0,16	0,61	0,98
19		<i>Physcia caesia</i>	Fol	0	0	0,08	0,08
20		<i>Physcia stellaris</i>	Fol	0,99	0,83	0	5,76
21	<i>Punctelia</i>	<i>Punctelia subrudecta</i>	Fol	0	0,2	4,64	3,3
22		<i>Punctelia borrieri</i>	Fol	0	0	0	0,37
23	<i>Ramalina</i>	<i>Ramalina chilensis</i>	Fru	0	0	0	0,24
24		<i>Ramalina sp.</i>	Fru	0	0	0	1,48
25	<i>Stereocaulon</i>	<i>Stereocaulon sp.</i>	Fru	0	0	0	0,2
26	<i>Sticta</i>	<i>Sticta fulgorans</i>	Fol	0	0	0,2	0
27	<i>Teloschistes</i>	<i>Teloschistes chrysophthalmus</i>	Fru	0	0	0	0,16
28	<i>Usnea</i>	<i>Usnea nidulans</i>	Fru	0	0	0,08	1,57
29		<i>Usnea sulcata</i>	Fru	0	0	0	0,08
30	<i>Xanthoria</i>	<i>Xanthoria parietina</i>	Fol	0	2,37	9,085	0,26
IPA Total				3,57	11,59	25,475	31,09

Tabla 3. Niveles de índice de Pureza ambiental (IPA) (Según Riquelme et al. 2008).

Nivel	IPA	Descripción
A	0 < IPA ≤ 12,5	Muy alto nivel de contaminación
B	12,5 < IPA ≤ 25	Alto nivel de contaminación
C	25 < IPA < 37,5	Moderado nivel de contaminación
D	37,5 < IPA ≤ 50	Bajo nivel de contaminación
E	IPA > 50	Muy bajo nivel de contaminación

Niveles de contaminación propuestos por Riquelme et al. (2008). Siendo en Nivel A, de mayor contaminación, y nivel E de menor contaminación. Traduciéndose en A de mayor impacto antropogénico y E de menor impacto antropogénico.

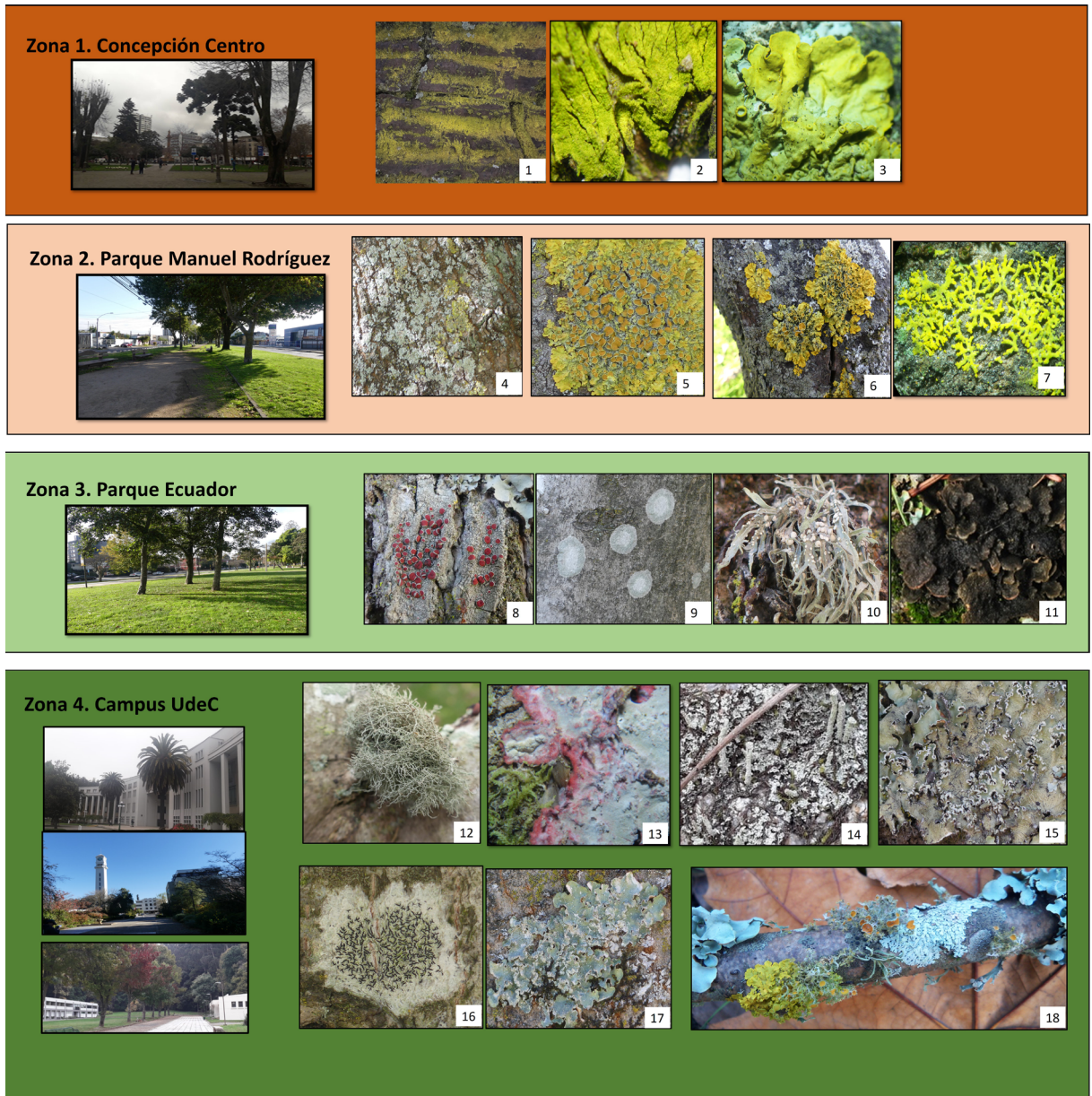


Fig. 2. Zona 1 : Centro de Concepción. Zona 2: Parque Manuel Rodríguez. Zona 3: Parque Ecuador. Zona4: Campus UdeC. 1, 2. *Chrysothrix candelaris*(L.) J.R.Laundon. 3. *Xanthoria parietalis* (L.) Th. Fr ; 4. *Physcia* sp. 5 y 6 *Xanthoria parietalis* (L.) Th. Fr., 7. *Candelaria concolor* (Dickson) Stein ; 8. *Haemmatoma* sp., 9. *Cryptothecia candida* (Kremp.) R. Sant. , 10. *Ramalina chilensis* Bertero ex Nyl. , 11. *Uromyces fuliginosa* (Hoffm.) Ach ; 12. *Usnea* sp., 13 *Cryptothecia rubrocincta* (Ehrenb.) G.Thor , 14. *Cladonia coniocraea* (Flörke) Sprengel ,15. *Flavopunctelia* (Stirton) Hale, 16. *Graphis lineola* Ach. 17. *Punctelia subrudecta* (Nyl.) Krog , 18 Various: *Parmotrema* sp., *Xanthoria parietalis* (L.) Th. Fr., *Teloschistes chrysophthalmus* (L.) Norman ex. Tuck., *Physcia stellaris* (L.) Nyl. .

Tabla 4. Frecuencia e índices empleados por zona de estudio.

Zona	Especies	ff	F(E) %	IPA	Shannon(H)	Margalef(I)
Zona 1	3	0,01	1	3,57	1,156	0
Zona 2	4	0,01	1	11,59	1,826	3,847
Zona 3	10	0,04	4	25,47	1,5	2,912
Zona 4	24	2,4	24	31,09	2,651	8,869

Discusión

La familia Parmeliaceae y sus representantes como *Flavopunctelia flaventior*, *Punctelia*, *Parmotrema crinitum*, son dominantes en sitios abiertos conservados y de baja perturbación antropogénica, junto con *Usnea* sp. y *Ramalina chilensis*, que se ubicaron en las zonas menos perturbadas: Z3 y Z4. Estas especies, pierden representatividad en áreas de mayor perturbación: Z1 y Z2.

En consecuencia, *Ramalina*, no cumple con la adjudicación, que históricamente se le ha etiquetado: un líquen tolerante a los efectos antropogénicos (González De Luca 2020, Cohn- Berger & Quezada 2016), en razón que este, no se presentó en Z1 ni Z2, quedando este caso, para futuros estudios de variables directas e indirectas, patrones y mecanismos, que influyan en la presencia de *Ramalina*.

Dominan en la mayoría de las zonas: *Candelaria concolor*, *Chrysothrix candelaris* y *Xanthoria parietina* siendo líquenes típicos de las zonas abiertas y con mayor nivel (A) de contaminación (Figuerola Salina 2020, Mares 2017, Riquelme et al. 2008), confirmándose que estos (3) ejemplares de líquenes, están dentro de los denominados líquenes tolerantes a la contaminación aérea, (Figueredo Salina 2020, Cohn-Berger & Quezada 2016, Mares 2017, Fernández-Salegui et al 2006).

Finalmente, se tiene a *Xanthoria parietina*, como líquen predominante de zonas con alta perturbación antropogénica como lo corroboran estudios previos de líquenes urbanos (Figueredo Salinas 2020, Cohn-Berger & Quezada 2016, Mares 2017) y teniendo una mayor abundancia en sitios de la urbe abiertos y soleados.

Por otro lado, una especie poco común de zonas urbanas y encontrada en un sitio sombreado, conservado y con menor contaminación, al pie de una formación montañosa dentro del Campus de UdeC, fue el representante de la familia Collemataceae: *Leptogium azureum*, siendo un nuevo registro para la ciudad de Concepción y evidenciándose la importancia de conservar los relictos de bosque esclerófilo (Villagra et al. 2021, González De Luca 2020, Gatica et al. 2011) para alguna futura propuesta de proyecto de conservación dentro del Campus UdeC.

Asimismo, el hallazgo en el Campus de UdeC de *Leptogium azureum*, contradice varias hipótesis sobre la inexistencia de líquenes gelatinosos en sitios urbanos, ya que estos pueden ubicarse en fragmentos de bosques y micrositos con condiciones específicas gracias a la plasticidad del componente ficobionte (Vinces 2022, Pulido-Herrea & Ramos 2016, Gatica et al. 2011, Smith & Smith 2007), comprobándose la facultad ubiquista inclusive para la familia Collemataceae.

En cuanto a las similitudes de las zonas de estudio, se obtuvieron y evidenciaron dos (2) grupos zonales: un grupo conformado por: Zona 1 y Zona 2 (con menores niveles de IPA, menores valores: H, I) (Tabla3 y Figura 3) ratificando la influencia de los niveles de contaminación similares, que van, en declive del desarrollo de las comunidades líquénicas. Por otro lado, se tuvo el grupo zonal: Zona 3 y Zona 4 (con mayores niveles de IPA, mayores valores: H, I) constatando la relevancia de calidad atmosférica y una moderada contaminación para el desarrollo de mayor número de comunidades líquénicas urbanas.

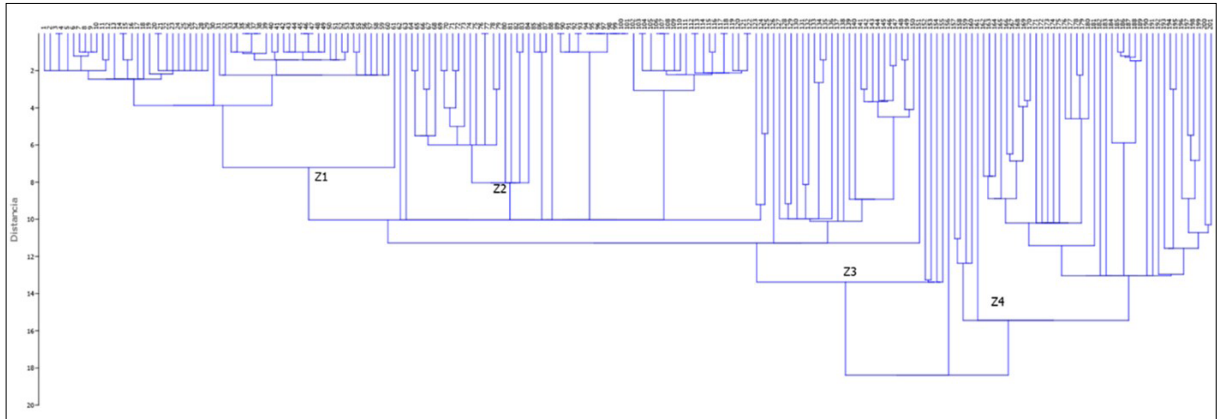


Fig. 3. Dendrograma de todas las estaciones del estudio, producto del análisis clúster general.

Asimismo, un menor valor de IPA, indicó un mejor escenario, para el establecimiento de comunidades liquénicas, lo que se traduce, en una mayor abundancia, frecuencia y riqueza de especies como diversidad, corroborándose a los líquenes como bioindicadores ambientales a corto, mediano y largo plazo (Correa-Ochoa 2021, Mares 2017, Pulido-Herrera & Ramos 2016).

El reservorio de líquenes, que se evidencia en el Campus de UdeC (Zona 4), permite resaltar las propiedades de laboratorio natural, de la Universidad de Concepción en sus áreas verdes, para el mantenimiento, conservación y estudio de la liquenobiota citadina.

En consecuencia, los líquenes como bioindicadores de calidad del aire, representan un recurso de prevención para urbes, siendo estos una herramienta de monitoreo viable por su de bajo costo, coadyuvando en la mitigación de la contaminación dentro y fuera de las ciudades; y al mismo tiempo caracterizando los líquenes propios de cada casco urbano, y cada uno de los sitios con múltiples factores que nos ayuden a la comprensión de las condiciones que rugen el establecimiento de las comunidades liquénicas.

Lo anterior, puede deberse a un conjunto multifactorial de efectos antropogénicos, presentes en el casco central de la ciudad; es decir no solo producto de alto tránsito vehicular, sino también debido al uso de estufas a leña, quema de combustibles indiscriminado, entre otros impactos

antropicos que existen en la Zona 1 y limita el desarrollo de la liquenobiota, en este sentido, pero este no es objetivo de la investigación y debe ser abordados en futuros estudios.

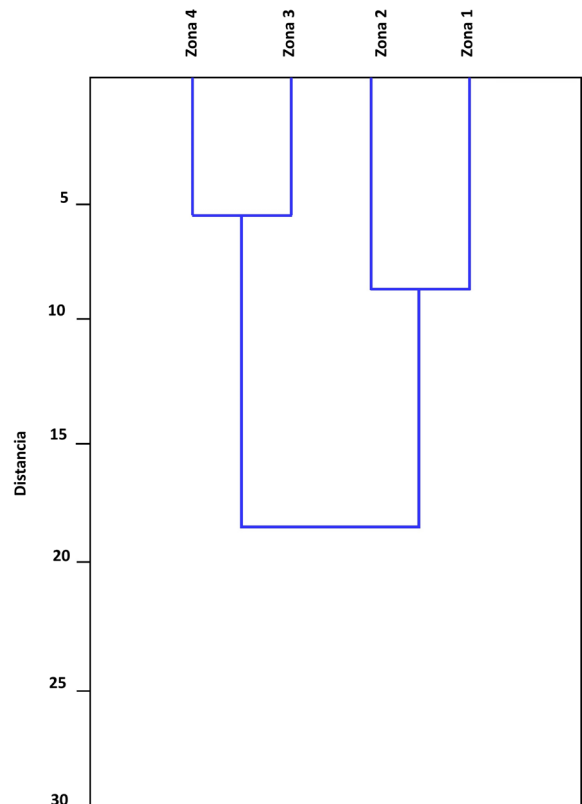


Fig. 4. Análisis Clúster por Zona de Estudio

Para finalizar, este trabajo constituye un esfuerzo preliminar para documentar la diversidad líquénica de la ciudad de Concepción y dar a conocer el patrimonio líquenológico urbano, ya que no existen registros de investigaciones de este tipo en esta urbe, hasta la presente fecha.

En consecuencia, la presente investigación marca un hito en estudios de líquenología urbana, como herramienta y recurso para propiciar el estudio de bioindicadores ambientales a través de la líquenología aplicada y como herramienta para vincular contenidos educativos sobre líquenes de la ciudad de Concepción para promover el conocimiento y conservación de la líquenobiota chilena.

Agradecimientos

Universidad Pedagógica Experimental Libertador de Barquisimeto (UPEL-IPB). Venezuela.
 Mis mentores líquenólogos.
 Grupo Latinoamericano de líquenólogos (GLAL).
 Universidad de Concepción (UdeC). Chile.
 Universidad Nacional de Quilmes. Argentina.
 Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID).

Referencias

- ACEVEDO, S. & CHARRY, Y. (2018) *Líquenes como bioindicadores de calidad de aire*. Universidad Autónoma de Occidente: Cali. Proyecto de Tesis. Disponible en: www.unao.edu.co. Consulta: Mayo 2023.
- ANDERSON, C., ROZZI, R., ARMESTO, J., & GUTIÉRREZ, J. (2010) Construyendo una Red Chilena para estudios socioecológicos a largo plazo: Avances, enfoques y relevancia. *Revista chilena de historia natural*. **83(1)**: 1–11. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2010000100001>
- ARMESTO, J., NÚÑEZ-ÁVILA, M., DONOSO, P., & ROZZI, R. (2014) Introducción a la Sección Especial de Revista Bosque. Avances de una red de sitios de estudios ecológicos a largo plazo en el suroeste de Sudamérica. *Bosque* (Valdivia) **35(3)**: 413–414. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002014000300015>.
- ASTA, J. (2002) Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. *En: NIMIS, P. L., SCHEIDEGGER C. & WOLSELEY, P. A. (eds.) Monitoring with lichens-Monitoring lichens*, pp. 273–279. Italia: Kluwer Academic Publishers.
- BOJORQUE, R. (2020) *Clustering de sistemas de recomendación mediante técnicas de factorización matricial*. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. de Sistemas Informáticos (UPM). <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.58156>.
- CALATAYUD-LORENTE V. & SANZ-SÁNCHEZ M. J. (2000) *Guía de líquenes epífitos*. Ministerio de Medio Ambiente-Parques Nacionales, Serie Técnica, Madrid, 185 pp.
- CALATAYUD, V., CORRALES, J.M & HERNÁNDEZ, S. (2011) *Guía de líquenes del Parque Nacional Monfrague*. Universidad de Extremadura: España. ISBN 978-84-7723-951-2. Disponible en: <http://catedraia.unex.es/wp-content/uploads/2021/04/Guia-de-los-Liquenes-del-Parque-Nacional-de-Monfrague>.
- COHN-BERGER, G. & QUEZADA, M. (2016) Lichens as bioindicators of air pollution in the metropolitan corridor Guatemala City. *Revista Científica (Guatemala)* **6(1)**: 20–39. Disponible en: Lasalle.edu.com.
- Corporación Nacional Forestal Chilena (CONAF) (2022) Disponible en: <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/>. Consulta Enero 2022.
- CONSEJO POLÍTICAS INFRAESTRUCTURALES (CPI) (2022) Disponible en: infraestructurapublica.cl/. Provisto por Diario de Concepción.
- CONSORTIUM LICHEN HERBARIA (CNALH) (2021). Disponible en: <https://lichenportal.org/portal> Consulta Enero 2022.
- CONTI, M.E., & CECCHETTI, G. (2001) Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environmental Pollution*. **114**: 471–492.

- CORREA-OCHOA, M. A., VÉLEZ-MONSALVE, L. C. & SALDARRIAGA-MOLINA, J. C. (2021) Spatial distribution of Lichen communities and air pollution mapping in atropical city: Medellín, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, **69**: 1107–1123.
- CORREA-OCHOA, M. A., VÉLEZ-MONSALVE L. C., SALDARRIAGA-MOLINA, C. & JARAMILLO-CIRO M. (2020) Evaluation of the Index of Atmospheric Purity in an American tropical valley through the sampling of corticolous lichens in different phorophyte species. *Ecological Indicators* **115**: 106355. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106355> .
- FARCI, G., HERRERA, M., ROA-GARCÍA, F. & HERNÁNDEZ, J. (2011). *Los líquenes un matrimonio curioso*. Cuaderno 1. UPEL-IPB. Fundación Jardín Botánico de Venezuela. ISBN 978-980-7464-00-0.
- FENGER, J. (1999) Urban air quality. *Atmospheric Environment*, **33**: 4877–4900. Doi: 10.1016/S1352-10(99)00290-3.
- FERNÁNDEZ-SALEGUI, A., ARSEÑO-TERRÓN, A. & BARRENO, E. (2006). Bioindicadores de la calidad del aire en La Robla (León, noroeste de España) diez años después.
- FIGUEREDO SALINAS, C. A. (2020) *Uso de líquenes foliosos como bioindicadores de la calidad del aire de Bogotá, D.C.* Retrieved from <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/86>
- GALLOWAY, D. J., & QUILHOT, W. (1998). Checklist of Chilean lichen-forming and lichenicolous fungi. *Gayana Botánica* **55**: 111–185.
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (2021) GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset Disponible en : <https://www.gbif.org/es/https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2021-07-30.
- GARCÍA, A. & PINEDA, I. (2022) *Líquenes como bioindicadores para la evaluación de la contaminación del aire por fuentes móviles*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA). Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/53855/amgarciaj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consulta Mayo 2023.
- GATICA, A., PEREIRA, I. & VALLEJOS, O. (2018) Epiphytic lichens: a tool for to study the ecological continuity Mocha Island, Chile. *Gayana Botanica* **68(2)**: 226–235. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432011000200014>.
- GAUSLAA, Y., LIE, M., SOLHAUG, K. A., & OHLSON, M. (2006) Growth and ecophysiological acclimation of the foliose lichen *Lobaria pulmonaria* in forests with contrasting light climates. *Oecologia* **147**: 406–416. doi:10.1007/s00442-005-0283-1.
- GONZÁLEZ DE LUCA, C. (2020) *Evaluación de la comunidad de líquenes en matorral y bosque esclerófilo una temporada después de un incendio en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata*. Universidad de Chile. Memoria de título. Disponible en: <ps://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/183254/Evaluacion-de-la-comunidad-de-liquenes-en-matorral>.
- GRIES, C. (1996) Lichens as indicators of air pollution. In: NASH, T. H. III (Ed). *Lichen Biology*. pp. 240–254. Cambridge University Press, Cambridge.
- HAWKSWORTH, D., ITURRIAGA, T. & CRESPO A. (2005) Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología* **22(2)**: 71–82. DOI: 10.1016/S1130-1406(05)70013-9.
- IZQUIERDO, A. (2015) El mundo de los líquenes: Naturaleza y utilización de unos organismos únicos. *Biología on line* **4**. ISSN:2339-5745.
- LEÓN J., CERDA F., & DEL VALLE, A. (2019) Participación ciudadana y movilidad sostenible: el caso del área metropolitana de Concepción, Chile. *Revista de Urbanismo* **40**. ISSN 0717-5051 <http://revistaurbanismo.uchile.cl>.
- 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)**.
- LUCKING, R., SIPMAN, H. & LOENGRIN, U. (2007) *Guía de Géneros de Líquenes*. The Field Museum.
- MARES RUEDA, I. (2017) *Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire*. Universidad Complutense: España. Facultad de Farmacia: Trabajo fin de grado.
- MATURANA, F., MORALES, M., SEPÚLVEDA U. & MALDONADO J. (2022) Ciudades intermedias y parque automotriz en Chile. ¿En jaque la sustentabilidad territorial?. *Revista de Ciencias Sociales* **72**: 139–159. DOI: <https://doi.org/10.17141/iconos.72.2022.4866>
- MINISTERIO DE BIENES NACIONALES DE CHILE: INFRAESTRUCTURA Y DATOS GEOESPACIALES (2022) Disponible en: <https://www.ide.cl/index.php/informacion-territorial/descargar-informacion-territorial>.

- MINISTERIO DEL AMBIENTE DE CHILE. (2019) Decreto 6: Establece plan de prevención y de descontaminación atmosférica para las comunas de concepción metropolitana ministerio del medio ambiente. Fecha Publicación: 17-DIC-2019. Promulgación: 25-ENE-2018. Disponible en: Biblioteca de Congreso Nacional de Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1140121>.
- NASH, T. H. III (2008). *Lichen Biology*. Cambridge. ISBN en línea:9780511790478. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511790478>.
- PEREIRA, I., TAPIA, J., ERRAZURIZ, I. & BASUALTO, S. (2018). Comparative study of the presence of heavy metals utilizing epiphytic corticolous lichens in Talca city, Maule Region, Chile. *Gayana Botanica* **75(1)**: 494–500, 2018. Original Article. ISSN 0016-5301.
- Pulido-Herrera, K & Ramos C. (2016) 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* **64(4)**: 1683–1697 Universidad de Costa Rica San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.
- Rodríguez-Bárceñas, G. (2022) Método de algoritmo de clúster para el análisis del perfil de investigadores científicos. *Revista e-Ciencias de la Información* **12(2)**: 160–184. DOI: <https://doi.org/10.15517/eci.v12i2.50456>.
- SANTONI, C. & LIJTEROFF, R. (2006) Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la Provincia de Dan Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* **22(1)**: 49–58.
- SEAWARD, M. R. D. (1997) Urban deserts bloom: a lichen renaissance. In: KAPPEN, L. (ed.) *New species and novel aspects in lichenology and physiology of lichens*.
- Sistema de Información de calidad del aire (SINCA) (2023) Gobierno de la República de Chile. Disponible en: <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/VIII>. Consulta Junio 2023.
- SMITH, T. M. & SMITH, R. L. (2007) *Ecología*. 6a. ed. Madrid, España: Pearson Educación. 664p.
- Valdivia, D. & Ramírez, Á. (2018) Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Ancash, Perú. *The Biologist (Lima)* **16**: 77–95.
- VILLAGRA, J., MANUEL MUÑOZ-MUÑOZ, M., NÚÑEZ, P. & CASANOVA-KATNY, A. (2021) Estudio preliminar de líquenes del orden Peltigerales presentes en el Parque Ecológico y Cultural Rucamanque, Región de La Araucanía, Chile. *Gayana Botanica* **78(1)**: 104–111. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/gbot/v78n1/0717-6643-gbot-78-01-104.pdf>.
- VARELA, Z., LÓPEZ-SÁNCHEZ, G., YÁÑEZ, M., PÉREZ, C., FERNÁNDEZ, J. A., MATOS, P., BRANQUINHO, C. & ABOAL, J. R. (2018) Changes in epiphytic lichen diversity are associated with air particulate matter levels: The case study of urban areas in Chile. *Ecological Indicators* **91**: 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.023>.
- VARESCHI, V. & MORENO, E. (1973) La contaminación atmosférica en Caracas en 1953 y 1973. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* **30**: 387–444.
- VARGAS CASTILLO, R., SANDOVAL LEIVA, P. (2020) *Lista sistemática de los hongos liquenizados y liquenícolas presentes en Chile*. Version 1.6. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/jxynx2> accessed via GBIF.org on 2023-03-07.
- VINCES, F. (2022) *Cap a una Ecología Integral de paisatge*. España: Tirant Humanidades. ISBN: 9788419286840.
- ZAMORA-MANZUR, C., PARRA, L. & JAQUE, E. (2011) Patrones de distribución de los geométridos de la Región del Biobío, Chile: Una aproximación para su conservación. *Revista chilena de historia natural* **84(4)**: 465–480. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000400001>.
- ZÚÑIGA, C, LEIVA, D, RAMÍREZ-FERNÁNDEZ, L., CARÚ, M., YAHR, R & ORLANDO, J. (2015) Phylogenetic diversity of *Peltigera* cyanolichens and their photobionts in southern Chile and Antarctica. *Microbes and Environment* **30(2)**: 172–179. doi: 10.1264/jsme2.ME14156.