



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA, BIOQUÍMICA Y FARMACIA



Líquenes como bioindicadores de calidad ambiental en la Ciudad de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires



ALUMNA: MARSAL, VICTORIA
DIRECTORA: VAZQUEZ, MARIA BELEN

Bahía Blanca, Junio 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA, BIOQUÍMICA Y FARMACIA



Líquenes como bioindicadores de calidad ambiental en la Ciudad de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Victoria Marsal
Tesisista

Maria Belen Vázquez
Directora

Título Abreviado: Líquenes como bioindicadores ambientales en Bahía Blanca



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA, BIOQUÍMICA Y FARMACIA



Lichens as Bioindicators of Environmental Quality in Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina

BACHELOR'S THESIS IN BIOLOGICAL SCIENCES

Short title: Lichens as Environmental Bioindicators in Bahía Blanca

AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis, Belén Vázquez, por brindarme la oportunidad de crecer en la investigación y de estudiar los líquenes, una pasión que compartimos. Estuvo a mi lado en cada paso, enseñándome y compartiendo sus conocimientos con mucho cariño y respeto.

A mis amigos, quienes estuvieron siempre en todas, me acompañaron a lo largo de la carrera, y con quienes siempre voy a estar agradecida. El camino con ustedes fue mucho más lindo y fácil, los quiero.

A mi familia que me apoyó incondicionalmente y estuvieron presentes en este camino. A mi novio Manuel, a quien estoy eternamente agradecida por acompañarme en todos los momentos importantes de estos últimos años.

Y por último, a la Universidad Nacional del Sur por darme espacio para crecer personal y profesionalmente, donde conocí gente increíble y me llevo muchos recuerdos.

RESUMEN

La contaminación atmosférica constituye una problemática ambiental global, lo que resalta la importancia de contar con metodologías de monitoreo accesibles. Los líquenes son bioindicadores sensibles a los cambios en la calidad del aire. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la cobertura y diversidad morfológica de líquenes cortícolas a lo largo del gradiente urbano-industrial en la ciudad de Bahía Blanca, como medida indirecta de la calidad ambiental. El muestreo se realizó mediante transectas en zonas rurales, urbanas e industriales donde se evaluó el desarrollo liquénico. Se analizó la cobertura total y la presencia de distintos morfotipos en relación con la orientación del tronco, estructura del arbolado, tránsito vehicular y distancia al parque industrial. Los resultados mostraron que la orientación sur ofrece condiciones más favorables para el desarrollo liquénico. No se halló una correlación directa entre la cobertura total y la distancia al parque industrial; sin embargo, los morfotipos respondieron de forma diferencial: las formas foliosas y fruticulosas disminuyeron en zonas potencialmente más contaminadas, mientras que las crustosas y escamulosas mostraron mayor tolerancia. Las zonas con alto tránsito vehicular presentaron menor cobertura liquénica, demostrando ser sensibles a esta fuente de contaminación atmosférica.

Palabras clave: Contaminación Atmosférica, Gradiente Urbano-Industrial.

ABSTRACT

Air pollution is a global environmental issue, highlighting the importance of accessible monitoring methodologies. Lichens are sensitive bioindicators of changes in air quality. This study aimed to evaluate the cover and morphological diversity of corticolous lichens along the urban-industrial gradient in the city of Bahía Blanca, as an indirect measure of environmental quality. Sampling was conducted using transects in rural, urban, and industrial areas. Total cover and the presence of different morphotypes were analyzed in relation to trunk orientation, tree structure, vehicle traffic, and distance from the industrial park. The results showed that south-facing orientations provided more favorable conditions for lichen development. No direct correlation was found between total lichen cover and distance to the industrial park; however, morphotypes responded differently: foliose and fruticose forms decreased in potentially more polluted areas, while crustose and squamulose forms showed greater tolerance. Areas with high vehicle traffic exhibited lower lichen cover, demonstrating the sensitivity of lichens to this source of atmospheric pollution.

Keywords: Atmospheric Pollution, Urban-Industrial Gradient.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1 Área de estudio	7
2.2 Protocolo para el muestreo de líquenes cortícolas	8
2.3 Análisis de imagen	8
2.4 Reconocimiento de Morfos e identificación a nivel de Género	9
2.5 Análisis estadístico	10
3. RESULTADOS	11
3.1 Hipótesis sur	11
3.2 Cambios en la cobertura liquénica en función del gradiente urbano industrial	12
3.3 Cobertura de los distintos morfotipos liquénicos en función del gradiente urbano industrial	13
3.4 Variación área cubierta por líquenes en función del tipo de ambiente	17
3.5 Análisis de la cobertura liquénica total en función del tipo de vía vehicular y de la intensidad del tránsito	20
3.6 Líquenes identificados a nivel de género	21
4. DISCUSIÓN	27
5. CONCLUSIONES	30
6. BIBLIOGRAFÍA	31

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas ambientales que afecta a nivel mundial es la contaminación del aire (Torres Sanchez, 2019). En la mayoría de las ciudades del mundo el incremento masivo de contaminantes tóxicos en la atmósfera constituye una de las principales fuentes que afectan la calidad del aire. Estos contaminantes son generados principalmente por la combustión de hidrocarburos proveniente de los motores de vehículos y de industrias, participando ambos de manera significativa en la emisión de partículas suspendidas (Cohn-Berger & Quezada, 2016).

La combustión de hidrocarburos, tanto en actividades industriales como en el transporte, libera a la atmósfera gases, vapores y partículas sólidas en suspensión que generan múltiples impactos negativos, entre ellos el aumento del efecto invernadero y el calentamiento global, la pérdida de biodiversidad y la alteración de los ciclos climáticos (Conti & Cecchetti, 2001; IPCC, 2021).

Para la Organización Mundial de la Salud, el aire está contaminado cuando en su composición se encuentran una o varias sustancias extrañas en concentraciones elevadas y durante un período de tiempo que las convierte en nocivas para toda forma de vida (Andrés et al., 2002). Esta definición deja clara la importancia de cuidar la calidad del aire, por lo que muchos países tienen leyes que regulan las sustancias peligrosas que éste pueda contener. Entre las sustancias extrañas que pueden contaminar el aire se encuentran: óxido de nitrógeno, óxido de azufre, dióxido y monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, metales pesados y material particulado fino con un diámetro igual o inferior a 2,5 micrómetros (PM_{2,5}) (Bambill et al., 2017; Mellouki et al., 2015). El cuidado de la atmósfera, ha sido una prioridad en las agendas de la política ambiental durante décadas en muchos países desarrollados (Mares Rueda et al., 2017). En los últimos años, esta preocupación se ha profundizado ante el incremento de la contaminación del aire en áreas urbanas e industriales y sus efectos negativos sobre la salud y el ambiente (Mares Rueda et al., 2017). A nivel internacional, acuerdos como el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París han establecido compromisos para reducir las emisiones contaminantes y mitigar el cambio climático (Naciones Unidas, 1997; 2015). En Argentina, la Ley General del Ambiente (Ley N.º 25.675) establece principios fundamentales como la prevención y la gestión sostenible del ambiente. Sin embargo, existen otras normativas vigentes que regulan los contaminantes atmosféricos, la Ley N.º 20.284 establece los presupuestos mínimos de protección del aire. En la provincia de Buenos Aires, la Ley N.º 5965 regula las emisiones gaseosas de fuentes fijas y la Ley N.º 1356 establece procedimientos de control y sanciones (Congreso de la Nación Argentina, 2002). El municipio de Bahía Blanca ha adoptado decretos y normativas específicas, creando el Comité Técnico Ejecutivo (CTE), un ente encargado del monitoreo y control de la calidad del aire. La implementación de estas políticas adquiere particular importancia en entornos urbanos e industriales, donde la calidad del aire se ve significativamente afectada por las actividad antrópica (Mares Rueda et al., 2017).

Existen diversos métodos que son empleados para evaluar la calidad del aire, ellos permiten medir, predecir o estimar las emisiones, niveles o efectos de la contaminación atmosférica. Según el tipo de contaminante, algunos métodos son más recomendables que otros debido a su mayor precisión. Los

métodos pueden clasificarse en dos grandes categorías: instrumentales y biológicos. Los métodos de tipo instrumental que incluyen mediciones fijas y modelización son ampliamente utilizados. Si bien estos métodos proporcionan información precisa sobre la cantidad de sustancias contaminantes, éstos no permiten evaluar directamente los efectos que las concentraciones elevadas de contaminantes ejercen sobre los organismos vivos y su alto costo limita su implementación. Es por ello que a partir de 1960, comenzaron a emplearse los bioindicadores como una metodología alternativa para la evaluación de la calidad del aire (Mares Rueda et al., 2017).

Los bioindicadores son organismos, comunidades o procesos biológicos cuya presencia, abundancia o respuesta funcional permite evaluar el estado de un ambiente determinado. Su uso en el monitoreo de la contaminación atmosférica ha demostrado ser una herramienta eficaz, especialmente en contextos donde se busca integrar información a lo largo del tiempo y reducir los costos operativos asociados a métodos instrumentales (Conti & Cecchetti, 2001; Mares Rueda et al., 2017; Nash, 2008).

Entre las principales ventajas del uso de bioindicadores en estudios de calidad del aire se destacan:

- **Bajo costo de implementación**, en comparación con los sistemas de monitoreo instrumental continuo (Conti & Cecchetti, 2001).
- **Capacidad de integración temporal**, ya que algunos organismos empleados pueden permanecer en el ambiente durante periodos prolongados, permitiendo registrar condiciones ambientales acumuladas o fluctuaciones a lo largo del tiempo, a diferencia de las mediciones químicas puntuales que sólo reflejan el estado en el momento del muestreo (Nash, 2008).
- **Alta sensibilidad**, permitiendo detectar contaminantes en concentraciones extremadamente bajas que podrían no ser identificadas por métodos convencionales (Conti & Cecchetti, 2001).
- **Evaluación directa de los efectos ecológicos**, ya que estos organismos reflejan no solo la presencia de contaminantes, sino también las consecuencias biológicas que estos generan en los ecosistemas (Nash, 2008).

Los grupos de organismos empleados como bioindicadores varían según el tipo de ambiente, el objetivo del estudio y las alteraciones específicas presentes. Entre los más utilizados para monitorear la contaminación del aire se encuentran los musgos, los líquenes y ciertas plantas vasculares, debido a su sensibilidad a los contaminantes atmosféricos y a su amplia distribución (Conti & Cecchetti, 2001; Nash, 2008). Particularmente, los líquenes son organismos sensibles que se han empleado con muy buenos resultados como bioindicadores de calidad del aire en gradientes urbano-industriales. Este uso ha sido documentado en diversos países, como Italia (Conti & Cecchetti, 2001), donde el clima mediterráneo incluye zonas con características semiáridas; en Estados Unidos, especialmente en

regiones áridas y semiáridas del suroeste Estadounidense (Nash, 2008); y en varios países europeos con clima templado como Suiza y el Reino Unido (Nimis, Scheidegger & Wolseley, 2002).

Los líquenes son organismos simbióticos, cosmopolitas y perennes, ampliamente distribuidos en la mayoría de los ecosistemas terrestres. En entornos urbanos éstos pueden encontrarse creciendo sobre la corteza de árboles y arbustos, rocas, suelo e incluso sustratos artificiales como techos, monumentos o postes (Rodríguez et al., 2021). Los líquenes están formados principalmente por un hongo, el micobionte y uno o más biontes fotosintéticos, los fotobiontes, que pueden ser un alga verde unicelular o una cianobacteria (Nash, 2008). Esta simbiosis da origen a una estructura denominada talo que es el cuerpo vegetativo del líquen. Los talos liquénicos presentan morfologías con distintos grados de complejidad, siendo las morfologías más conspicuas las crustosas, foliosa, escamulosa y fruticulosa (Figura 1) (Rodríguez et al., 2021).



Figura 1. Morfologías básicas encontradas en los líquenes de la ciudad de Bahía Blanca.

Existen tres tipos de morfologías básicas de los líquenes que se pueden diferenciar fácilmente. Los líquenes crustosos están firmemente adheridos al sustrato, no presentan corteza inferior ni estructuras diferenciadas para su fijación. Los líquenes foliosos poseen forma de hoja, su talo forma lóbulos aplanados dorsiventralmente, se fijan al sustrato por estructuras denominadas ricinas y tienen corteza superior e inferior diferenciadas. Los líquenes escumulosos tienen el talo en forma de pequeñas escamas, con menor cohesión entre sus unidades. Por último, los líquenes fruticulosos se desarrollan en forma tridimensional formando “ramas” cilíndricas o aplanadas que se adhieren en uno o varios puntos al sustrato (Nash, 2008; Rodríguez et al., 2021).

Sus características biológicas particulares, entre las que se pueden mencionar su longevidad, su escasa tasa de crecimiento y la ausencia de cutículas protectoras o mecanismos de excreción, los convierte en organismos especialmente sensibles a los cambios del entorno (Nash, 2008). Los líquenes absorben agua, nutrientes y contaminantes directamente desde el aire, por lo que reflejan con precisión la composición química de la atmósfera local en la que se encuentran (Pardo González et al., 2017). A su

vez, muchas especies de líquenes presentan amplios rangos geográficos, lo que permite estudiar gradientes de contaminación atmosférica en extensas áreas (Nimis et al., 2002).

Esta alta sensibilidad a las impurezas del ambiente posiciona a los líquenes como bioindicadores eficaces de la calidad del aire. Su capacidad para acumular contaminantes a lo largo del tiempo permite integrar información ambiental de manera continua (Conti & Cecchetti, 2001). Además, la variabilidad en la tolerancia de las especies liquénicas a los contaminantes atmosféricos es clave para los estudios de monitoreo: las especies con morfología crustosa son consideradas más resistentes, mientras que las formas foliosas y fruticulosas tienden a desaparecer en zonas contaminadas (Brodo, Sharnoff & Sharnoff, 2001; Nimis et al., 2002; Purvis, 2010). Esta información puede utilizarse para confeccionar mapas ambientales que reflejen los niveles de contaminación a partir de la composición y cobertura de las comunidades liquénicas presentes en distintas áreas de estudio (Conti & Cecchetti, 2001).

Las metodologías que utilizan líquenes como bioindicadores han demostrado ser económicamente accesibles y relativamente precisas en la detección del tipo y nivel de contaminación atmosférica, debido a su alta sensibilidad a cambios en las condiciones ambientales (Conti & Cecchetti, 2001). Empleando el mapeo de especies liquénicas presentes en grandes ciudades se pudo diferenciar zonas con distinta calidad del aire en función a la reducción o la desaparición de los grupos de líquenes más sensibles y a la dominancia de los más resistentes (Nimis et al., 2002). En Argentina, son escasos los grupos de investigación que se dedican a estudiar la biología de los líquenes y sus múltiples aplicaciones por lo que el número de estudios que han utilizado estos organismos como bioindicadores es reducido. Habiendo reportes para los parques nacionales del noroeste de la patagonia (Passo et al. 2020), centro de Argentina (Rodríguez et al. 2021), Buenos Aires (Osorio, 1977), San Luis (Santoni & Lijteroff, 2006). Sin embargo aún no hay registros actualizados para el SO de la provincia de Buenos Aires.

La ciudad de Bahía Blanca se encuentra al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina ($38^{\circ}43'00''\text{S}$, $62^{\circ}16'00''\text{O}$) y presenta una población estimada de 335.190 personas (INDEC 2022), se encuentra próxima a uno de los polos petroquímicos más importantes del país. Esta región se caracteriza por vientos predominantes provenientes del norte y noroeste, cuya velocidad y dirección pueden influir en las condiciones microambientales que afectan el desarrollo de los líquenes. Estos vientos modifican la humedad relativa y la temperatura superficial de los sustratos donde los líquenes se desarrollan, lo que repercute en su fisiología y capacidad de supervivencia (Garty et al., 2001).

La calidad del aire en la ciudad de Bahía Blanca se halla fuertemente influenciada por la actividad industrial y por los gases de combustión vehicular. Durante la década de 1990, el municipio de Bahía Blanca comenzó a implementar medidas para el control de la contaminación atmosférica, instalando estaciones de monitoreo continuo del aire (EMCABB). Esta infraestructura permitió medir contaminantes como CO , SO_2 , NO_x , PM_{10} , NH_3 y compuestos orgánicos volátiles (VOC),

especialmente en zonas cercanas al parque industrial, como Ingeniero White (Bambill et al., 2017). En el año 2007, el total de contaminantes gaseosos emitidos por las fuentes fijas industriales fue de 15.000 toneladas anuales, siendo el 18 % de hidrocarburos, 15 % de monóxido de carbono, 5 % de material particulado, 29 % de óxidos de nitrógeno, 19 % de ácidos sulfúrico y 14 % de otros contaminantes (Puliafito & Allende, 2007). Si bien actualmente existen tres estaciones de monitoreo de calidad del aire activas en Bahía Blanca, ubicadas en el Aeródromo, Ingeniero White y Villa Rosas, (Centro de Tecnología Ambiental de Bahía Blanca, s.f.). La estación más cercana al centro está ubicada a aproximadamente 6 km, lo que deja a esta zona sin una medición directa y continua. Esta limitación deja sin caracterización directa a sectores densamente poblados, lo que evidencia la necesidad de enfoques complementarios que permitan una evaluación ambiental más integral. En este contexto, el uso de líquenes como bioindicadores se presenta como una alternativa que puede reflejar de manera indirecta las condiciones atmosféricas del entorno (Conti & Cecchetti, 2001; Nimis et al., 2002).

En el presente estudio se emplearon como objeto de estudio los líquenes cortícolas, debido a la accesibilidad y disponibilidad de este sustrato en ambientes urbanos y periurbanos. Los líquenes cortícolas se desarrollan en condiciones microambientales comparables entre sitios y brindan una superficie estable para evaluar patrones de cobertura, diversidad morfológica y respuesta a gradientes de contaminación (Nash, 2008; Nimis et al., 2002). El objetivo general del presente trabajo fue evaluar cambios en la composición de líquenes cortícolas como indicadores indirectos de la calidad ambiental atmosférica en un gradiente urbano-industrial en la ciudad de Bahía Blanca. Para lograr este objetivo se plantearon las siguientes preguntas (i) Teniendo en cuenta el viento predominante de la zona que es del sector norte a noroeste: ¿La orientación sur de los troncos presenta una mayor cobertura de líquenes cortícolas en comparación al resto de las orientaciones? (ii) ¿Se observan cambios en la abundancia y diversidad de líquenes a lo largo del gradiente urbano-industrial? (iii) ¿Qué patrones de prevalencia presentan las distintas morfologías de líquenes (crustosa, escamulosa, foliosa, fruticosa) a lo largo del gradiente urbano-industrial?

Los objetivos específicos del presente trabajo fueron

1. Identificar los distintos líquenes presentes en el gradiente urbano-industrial de la ciudad de Bahía Blanca, reconociendo la morfología de sus talos (crustosos, escumulosos, foliosos, fruticosos).
2. Estimar la prevalencia liquénica diferenciando entre los distintos morfos presentes.
3. Generar un mapa del gradiente de calidad ambiental para la ciudad de Bahía Blanca y alrededores empleando la información generada durante esta investigación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de Estudio

El área de estudio abarca un gradiente urbano-industrial en un radio de 15 km alrededor del centro de la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Se trazaron tres transectas: una con orientación norte-sur (NS), una con orientaciones sureste (SE) y una con orientación suroeste (SO) (Figura 2). A lo largo de cada transecta se establecieron puntos de muestreo aproximadamente cada un kilómetro, totalizando 35 puntos: 17 puntos en la transecta NS, 11 puntos en la transecta SE y 7 puntos en la transecta SO. Este gradiente incluye diversos ambientes que fueron categorizados como urbano, industrial, periurbano, parque urbano y rural. El muestreo se realizó entre diciembre de 2023 y junio de 2024.

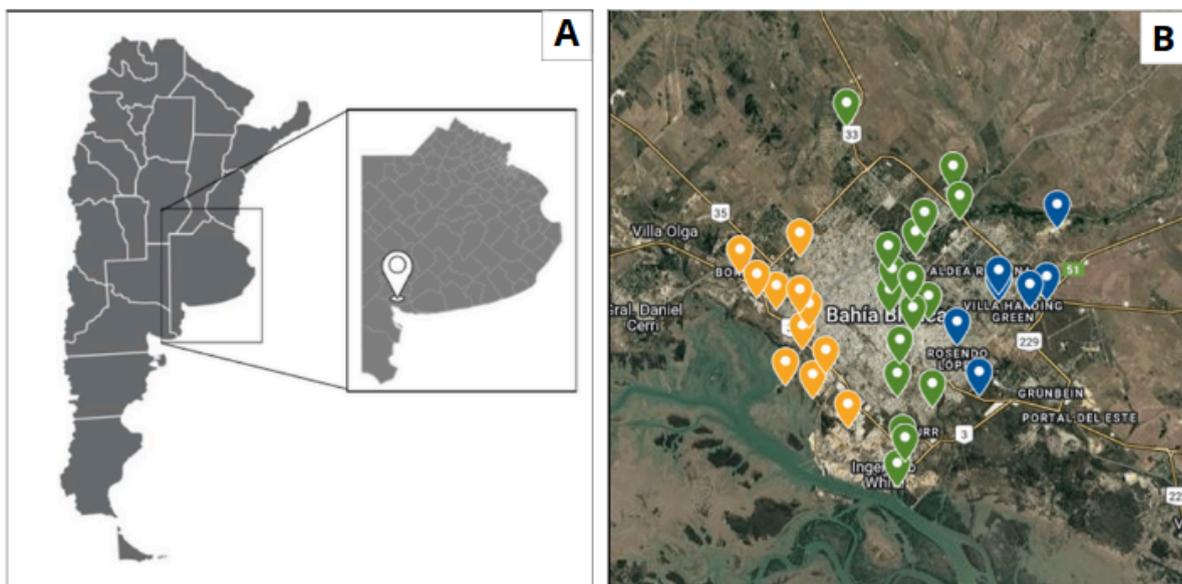


Figura 2. Área de Muestreo. A. República Argentina, Provincia de Buenos Aires. El punto indica la ubicación de la ciudad de Bahía Blanca. B. Mapa satelital de la ciudad de Bahía Blanca con los 35 sitios de muestreo distribuidos en tres transectas: orientación sudoeste (amarillo), orientación norte-sur (verde) y orientación sudeste (azul).

En cada sitio de muestreo se seleccionaron 10 árboles al azar, registrando la especie de cada uno. En cada árbol se muestrearon 4 parcelas, una ubicada en cada punto cardinal del tronco (norte, sur, este y oeste).

Los sitios de muestreo se caracterizaron teniendo en cuenta:

- I. Tipo de vía vehicular más próxima (ruta, avenida, calle, camino rural) y su distancia en metros al sitio de muestreo.
- II. Nivel de tránsito vehicular, clasificado como:

- Alto: congestión frecuente, presencia de semáforos; más de 20 vehículos por minuto.
- Medio: circulación constante, entre 10 y 20 autos por minuto.
- Bajo: tránsito ocasional; entre 1 y 10 autos por minuto.
- Casi nulo: tránsito esporádico o inexistente; menos de 1 vehículo por minuto.

III. Tipo de ambiente, clasificado como: urbano, industrial, periurbano, parque urbano, rural.

2.2 Protocolo para el muestreo de líquenes cortícolas

En cada árbol se muestrearon 4 parcelas de 100 cm² cada una empleando parcelas de goma de 10 x 10 cm de lado. Cada parcela se corresponde con un punto cardinal. El área de la parcela fue hidratada con 50 ml de agua y luego de 15 minutos se tomó una foto de la parcela (Figura 3).

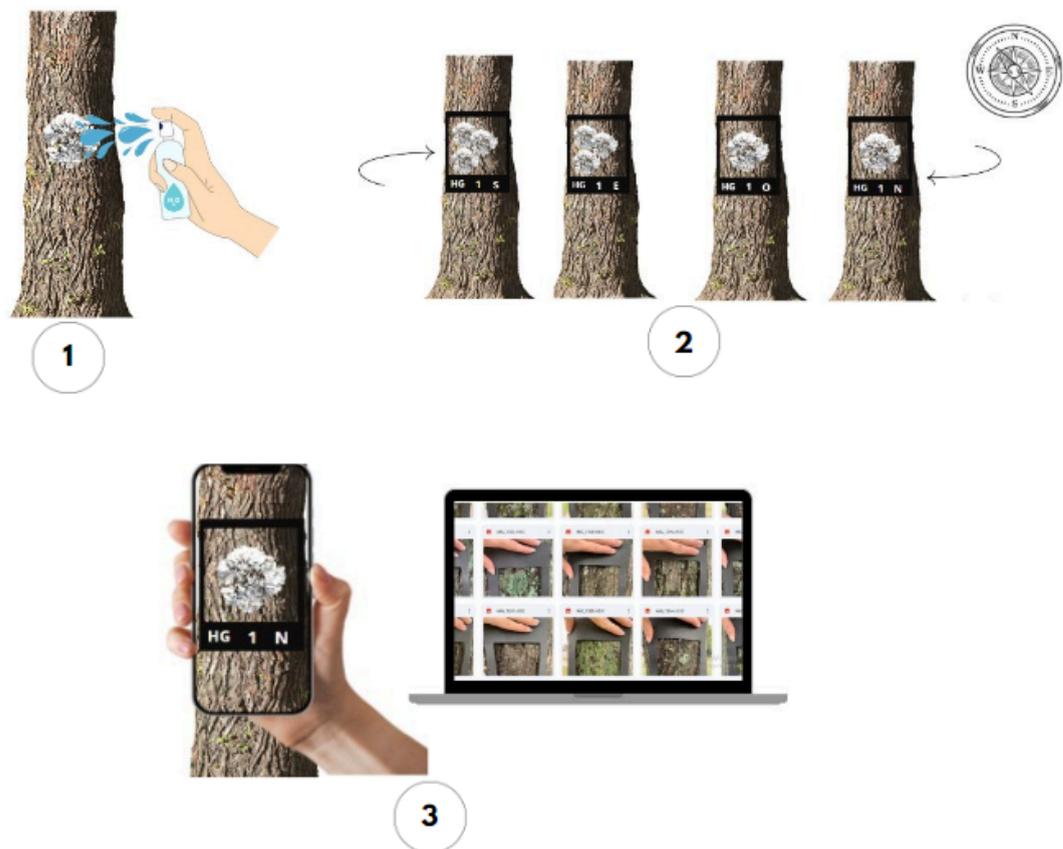


Figura 3. Protocolo de muestreo de líquenes cortícolas. 1. hidratación (espera de 15 minutos), 2 y 3 registro fotográfico.

2.3. Análisis de las imágenes

El análisis de las fotografías de cada parcela se realizó utilizando el software ImageJ junto con el complemento Grid Overlay. El software ImageJ se empleó para realizar las mediciones y el

complemento Grid Overlay se empleó como guía facilitando la evaluación de las áreas de interés. Se realizaron mediciones del área de la parcela cubierta por líquenes, diferenciando el tipo de morfología en cada caso (Figura 4).

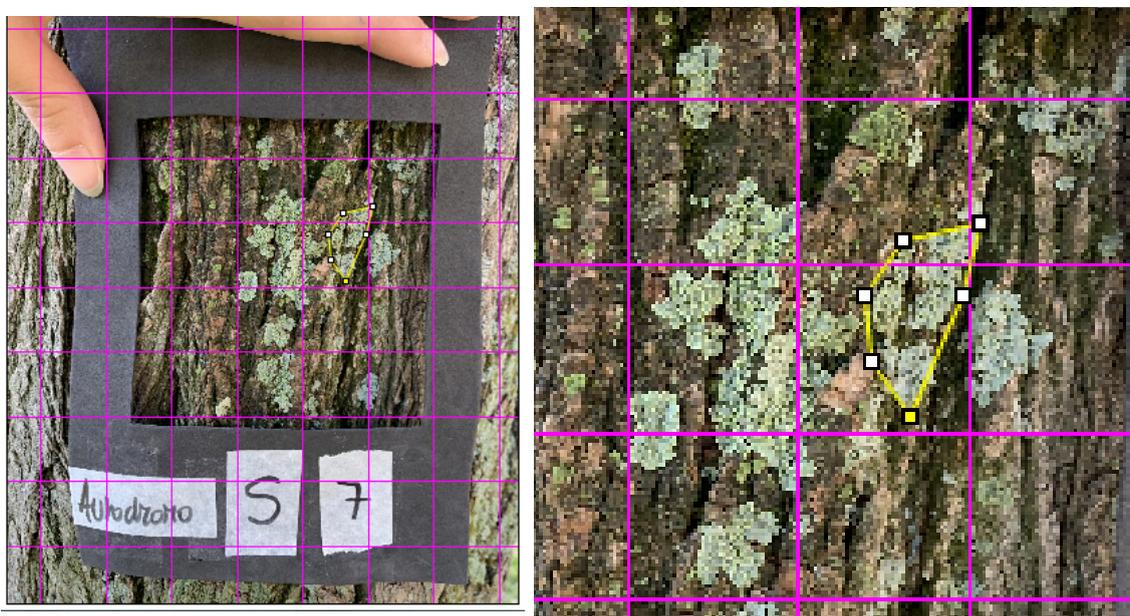


Figura 4. Detalle del software ImageJ. Superposición de grilla empleando el complemento Grid overlay (fucsia), detalle de área líquénica marcada (amarillo).

2.4. Reconocimiento de morfos e identificación a nivel de Género

Se recolectaron muestras de líquenes de cada sitio de muestreo. El reconocimiento se realizó siguiendo la metodología propuesta por Passo et al. (2004 y 2020), utilizando las claves de identificación de Lavornia et al. (2016). La identificación de los líquenes se realizó en laboratorio, utilizando lupa binocular y microscopio óptico. Mediante el uso de la lupa se identificaron características diagnósticas del talo como forma, márgenes, presencia de cilias, ricinas, coloración de la corteza y la médula, forma y color de las estructuras reproductivas sexuales del micobionte. Posteriormente se empleó el microscopio óptico para observar con más detalle cortes a mano alzada del talo con el objetivo de observar caracteres diagnósticos como corteza, médula y estrato de fotobionte, así como también cortes longitudinales de los apotecios, con el objetivo de observar los márgenes de los mismos. Además, se realizaron pruebas colorimétricas adicionales utilizando reacciones químicas básicas: hidróxido de potasio (KOH) al 5 %, Melzer y Lugol. Estas reacciones permiten evidenciar ciertos metabolitos secundarios y componentes estructurales específicos, facilitando la identificación a nivel de género (Kranter et al., 2002). La reacción de KOH revela cambios de color en compuestos

fenólicos, mientras que Melzer y Lugol detectan polisacáridos en estructuras reproductivas. Las pruebas bioquímicas complementan la identificación morfológica (Kranter et al., 2002; Nash, 2008).

2.5 Análisis estadístico

Con el objetivo de evaluar la variación en la cobertura líquénica entre distintas orientaciones cardinales de las parcelas, se empleó un modelo lineal mixto con la cobertura líquénica total como variable de respuesta, la orientación cardinal de la parcela como efecto fijo y el árbol como efecto aleatorio, con el fin de controlar la estructura anidada de la variabilidad y evitar así las pseudoréplicas. La significancia de la orientación fue evaluada mediante un análisis de Devianza y luego se realizó un test de Tukey para comparar las distintas orientaciones. Todos los análisis se realizaron empleando el software estadístico R (R core Team, 2024). Los gráficos se realizaron empleando ggplot2.

3. RESULTADOS

3.1 Hipótesis Sur

Los resultados muestran diferencias en la cobertura líquénica entre las distintas orientaciones cardinales (Modelo Lineal Mixto, $\text{Chi}^2_{(3)} = 75,5$, $p < 0,001$). La orientación sur presentó una mayor área cubierta por líquenes en comparación con los otros puntos cardinales (Test de Tukey, $p < 0,05$, Figuras 5), encontrando una cobertura promedio de $27,7 \text{ cm}^2$, (IC 95 % = [19,2 - 36,2]). Las orientaciones norte, este y oeste mostraron valores inferiores de cobertura, con promedio $2,3 \text{ cm}^2$ (IC 95 % = [-6,2 - 10,8]), $7,7 \text{ cm}^2$ (IC 95% = [-0,8 - 16,2]) y $8,8 \text{ cm}^2$ (IC 95 % = [0,3 - 17,3]), respectivamente (Figura 6). Todos los análisis posteriores se realizaron teniendo en cuenta este resultado.

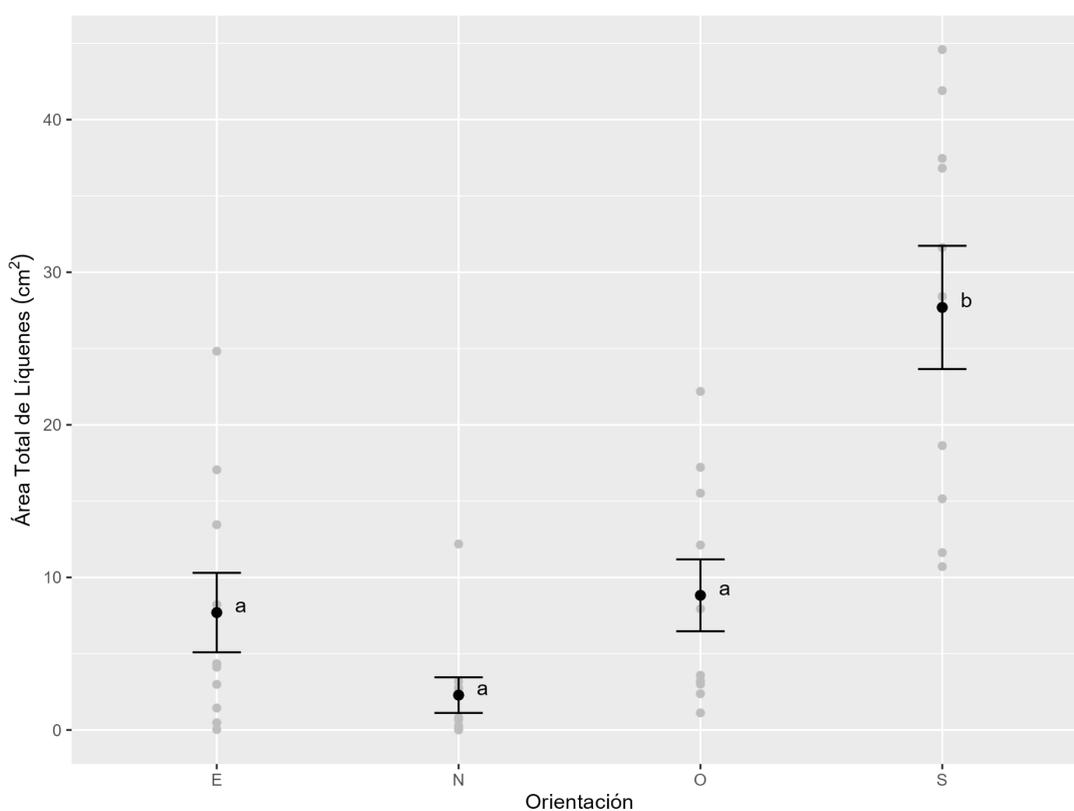


Figura 5. Relación entre la orientación de la parcela Norte (N), Sur (S), Oeste (O) Y Este (E) y el área total de líquenes cortícolas, expresada como cm^2 , en la ciudad de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Letras diferentes indican diferencias significativas (Test de Tukey, $p < 0,05$).



Figura 6. Parcelas representativas de los cuatro puntos cardinales Norte (N), Sur (S), Este (E) y Oeste (O) donde se observa la abundancia de líquenes cortícolas.

3.2 Cambios en la cobertura liquénica en función del gradiente urbano industrial

Con las variables empleadas durante el presente estudio no se encontró una relación definida entre la cobertura liquénica total y el gradiente urbano industrial (Análisis de Correlación de Spearman, $r = -0,01$, $p = 0,84$). Así mismo, no se encontró una relación significativa entre el número de morfos presente en cada árbol y la distancia al parque industrial (Análisis de Correlación de Spearman $r = -0,009$, $p = 0,87$). El número de morfos encontrado no varía a lo largo del gradiente urbano-industrial, encontrándose en la mayoría de los sitios muestreados las cuatro morfologías liquénicas estudiadas: crustoso, escamuloso, folioso y fruticoso.

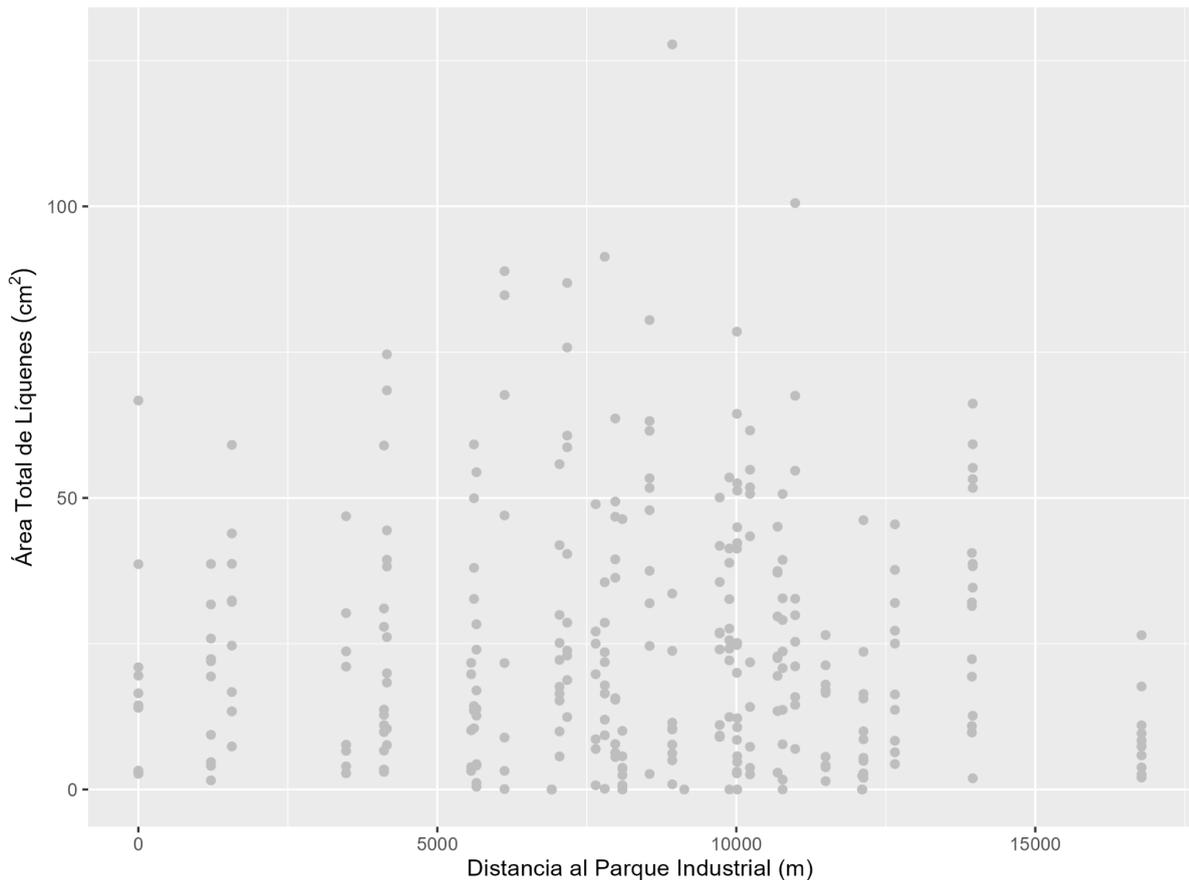
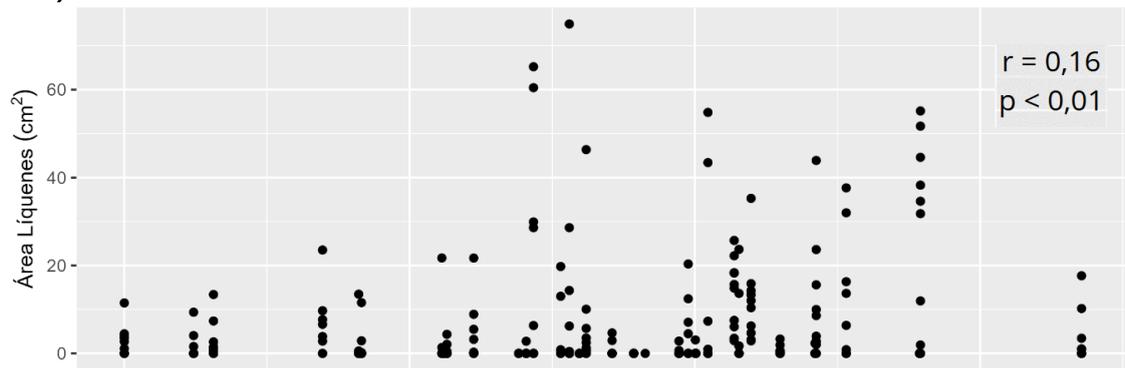


Figura 7. Cambios en la cobertura liquénica total a lo largo del gradiente urbano-industrial en Bahía Blanca, Argentina.

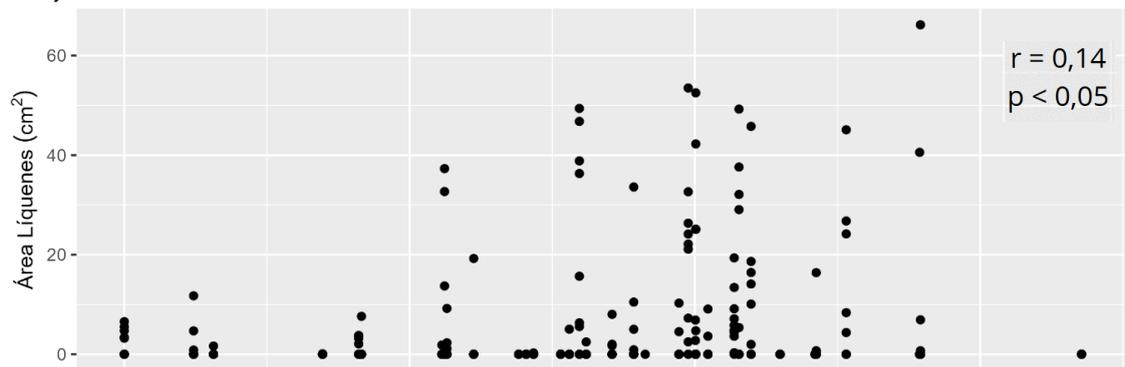
3.3 Cobertura de los distintos morfotipos liquénicos en función del gradiente urbano industrial.

La cobertura de los distintos morfotipos mostró respuestas variables a lo largo del gradiente urbano industrial (Figura 8). En el caso de los líquenes crustosos, se encontró una relación positiva débil entre la distancia al parque industrial y el área cubierta por líquenes (Análisis de Correlación de Pearson $r = 0,16$, $p < 0,01$). Este resultado indica una tendencia a una mayor cobertura de líquenes crustosos al aumentar la distancia al parque industrial. Los líquenes escamulosos también presentaron una relación positiva débil entre la distancia al parque industrial y el área cubierta por líquenes con morfología escamulosa (Análisis de Correlación de Pearson $r = 0,14$, $p < 0,05$). En contraste, los líquenes foliosos mostraron una relación negativa débil entre la distancia al parque industrial y el área cubierta por líquenes con morfología foliosa (Análisis de Correlación de Pearson $r = -0,21$, $p < 0,001$). Por último, se encontró una relación positiva débil entre la distancia al parque industrial y el área cubierta por líquenes con morfología fruticosa (Análisis de Correlación de Pearson $r = 0,18$, $p < 0,01$). Las máximas coberturas de líquenes fruticulosos ($> 5 \text{ cm}^2$) se encontraron en áreas alejadas del parque industrial ($> 10 \text{ km}$) como por ejemplo la Reserva Urbana Cueva de Los Leones (Figura 9) (tabla 1).

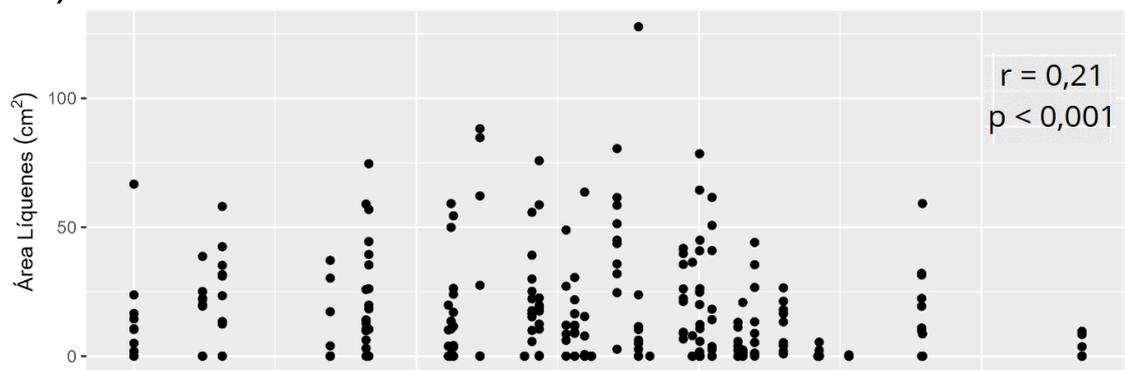
A) Crustosos



B) Escamulosos



C) Foliosos



D) Fruticulosos

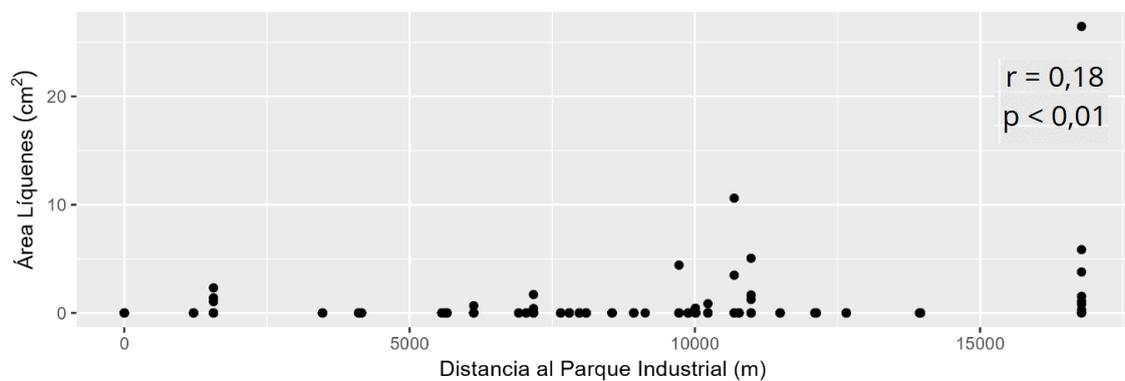


Figura 8. Relación entre la cobertura de líquenes y la distancia al polo petroquímico. A. Crustoso. B. Escamuloso. C. Folioso. D. Fruticuloso. Se utilizó un Análisis de Correlación de Pearson para evaluar las asociaciones entre variables.

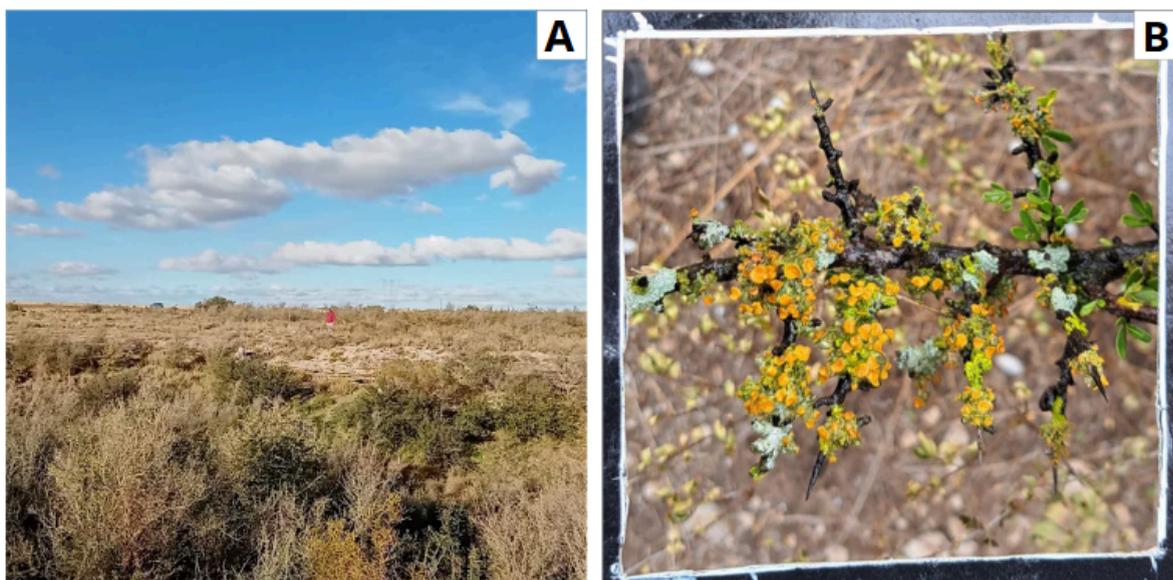


Figura 9. Reserva urbana Cueva de los Leones, Bahía Blanca. a. Vista general del paisaje característico de la Reserva, b. Rama Aloysia Gratisima (Cedrón de Monte) cubierta de líquenes.

Sitio	ambiente	Vía vehicular	nivel de tránsito vehicular	Cobertura total líquénica	Crustoso	Escamuloso	Folioso	Fruticuloso
1	Periurbano	Avenida	Alto	21.259	2.9043	2.5327	15.822	0
2	Periurbano	Calle	Bajo	19.9539	1.5015	2.1498	16.3026	0
3	Periurbano	Calle	Bajo	32.047	3.2455	0.1978	28.0637	0.54
4	Periurbano	Calle	Bajo	38.1254	1.5555	0.8337	35.7362	0
5	Parque Urbano	Calle	Medio	18.5995	1.6029	1.3382	15.6584	0
6	Urbano	Calle	Alto	17.2481	0.7405	1.3955	15.1121	0
7	Parque Urbano	Avenida	Alto	46.6455	20.6531	0.0285	25.7336	0.2303
8	Parque Urbano	Avenida	Medio	27.3269	13.4087	0.5126	13.4056	0
9	Urbano (Plaza Rivadavia)	Calle	Alto	30.2486	0	21.0572	9.1914	0
10	Parque Urbano	Avenida	Medio	49.3654	0.823	1.2446	47.2978	0
11	Urbano	Avenida	Alto	25.3813	0	5.097	20.2843	0

12	Parque Urbano (Parque de mayo)	Calle	Alto	26.2386	0	15.5964	10.6422	0
13	Urbano	Calle	Medio	28.4194	15.2624	7.6082	3.9787	1.5701
14	Paseo Lineal Urbano	Ruta	Alto	33.0089	31.5433	1.4656	0	0
15	Periurbano (arroyo napostá)	Ruta	Medio	46.004	33.7197	12.1882	0.0961	0
16	Periurbano	Ruta	Medio	40.931	30.4489	9.5895	8.5618	0
17	Reserva Urbana, Arbustal	Ruta	Alto	9.6841	3.6028	0	2.1016	3.9797
18	Periurbano	Ruta	Alto	11.8296	0	9.0402	2.7894	0
19	Urbano	Calle	Medio	29.7061	0	9.0402	20.6659	0
20	Urbano	Calle	Medio	26.5434	0.3002	0	26.2432	0
21	Urbano	Calle	Medio	26.7102	0.3651	1.6657	24.1986	0.4808
22	Urbano	Calle	Medio	40.0041	5.155	2.2733	32.4194	0.1564
23	Periurbano	Avenida	Medio	35.3272	11.635	1.474	22.1163	0.1019
24	Periurbano	Calle	Medio	41.2895	12.9801	11.7212	15.7046	0.8836
25	Periurbano	Ruta (acceso galvan)	Alto	30.5059	4.2383	4.682	21.5856	0
26	Periurbano	Ruta	Alto	20.7486	8.7498	0.0128	11.986	0
27	Periurbano	Calle (acceso refinería)	Medio	15.0183	6.4531	2.3106	6.2546	0
28	Periurbano	Ruta	Alto	36.8927	4.8695	2.1145	29.8375	0.0712
29	Periurbano	Ruta	Alto	13.398	3.6013	0	9.7967	0
30	Urbano	Calle	medio	7.2994	7.0288	0.2706	0	0
31	Urbano	Calle	Medio	0	0	0	0	0
32	Urbano	Ruta	Alto	34.6803	4.9879	24.1006	5.5918	0
33	Periurbano	Ruta	Alto	25.2357	4.3916	18.3493	2.4948	0
34	Periurbano	Ruta	Alto	13.3366	10.6552	1.9115	0.7699	0
35	Parque Urbano	Calle	Medio	14.5646	0.7422	0	13.8224	0

Tabla 1. Cobertura relativa de líquenes cortícolas expresada como porcentaje total y por cada morfotipo (crustoso, escamuloso, folioso y fruticuloso).

3.4 Variación área cubierta por líquenes en función del tipo de ambiente

Se encontraron diferencias altamente significativas en la cobertura liquénica total entre los distintos tipos de ambiente (ANOVA, $F_{(4,285)} = 6,40$, $p < 0,001$). El ambiente que presentó la máxima cobertura fue el ambiente urbano con valores promedio de $24,7 \text{ cm}^2$, significativamente mayor a los ambientes rural, periurbano e industrial (valores promedio entre 9 y 12 cm^2 , Test de Tukey $p < 0,05$, Figura 10). El parque urbano mostró valores de cobertura intermedios ($19,4 \text{ cm}^2$).

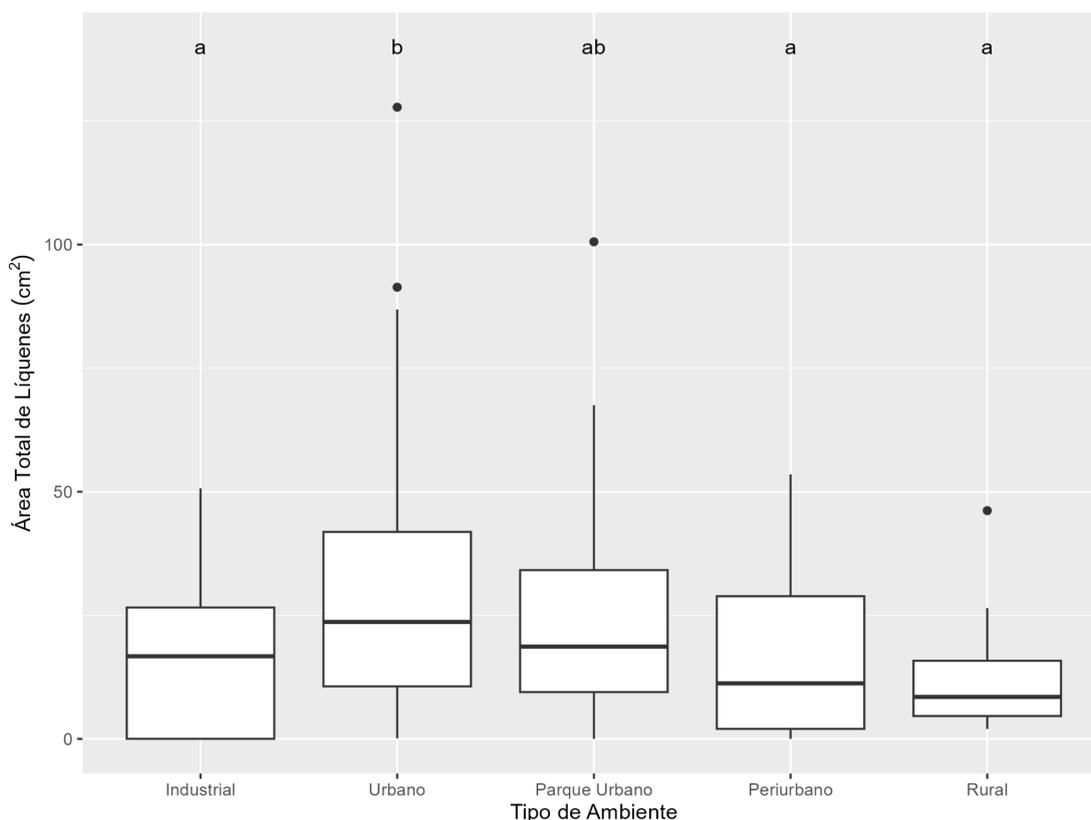


Figura 10. Cobertura liquénica total en los diferentes tipos de ambiente. Diferentes letras indican diferencias significativas en función del tipo de ambiente (Test de Tukey, $p < 0,05$).

Se analizó la cobertura de cada morfología liquénica (crustosa, foliosa, escamulosa y fruticulosa) entre los distintos tipos de ambientes estudiados (urbano, industrial, parque urbano, periurbano y rural) (Figura 11). Los líquenes crustosos, se encontraron presentes en todos los ambientes sin un patrón claro. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el área cubierta por líquenes crustosos entre los distintos ambientes estudiados (ANOVA, $F_{(4,285)} = 1,03$, $p = 0,3886$). Sin embargo, en el ambiente industrial los valores de cobertura son más uniformes, mientras que en los otros ambientes se registran coberturas máximas más altas y mayor variabilidad entre sitios. En el caso de los líquenes escamulosos, se detectaron diferencias marginalmente significativas en el área cubierta por este morfo entre los distintos ambientes estudiados (ANOVA, $F_{(4,285)} = 2,4$, $p = 0,053$). Por otro

lado, la cobertura relativa de líquenes foliosos varió significativamente entre los distintos tipos de ambiente analizados (ANOVA, $F_{(4,285)} = 15,21$, $p < 0,001$). En los ambientes industrial, periurbano y rural, la cobertura de líquenes foliosos mostró valores por debajo de $1,2 \text{ cm}^2$. En cambio, en los ambientes urbano y parque urbano, se observó una mayor cobertura, con valores de $13,4$ y $6,8 \text{ cm}^2$ respectivamente. Respecto a los líquenes fruticulosos, en los ambientes periurbano e industrial no se encontraron líquenes con morfología fruticulosa. En los ambientes urbano y parque urbano los valores promedio fueron de $0,008$ y $0,006 \text{ cm}^2$, respectivamente. Por su parte en el ambiente rural se encontraron coberturas de $0,44 \text{ cm}^2$ (ANOVA, $F_{(4,285)} = 7,4993$, $p < 0,001$, Test de Tukey).

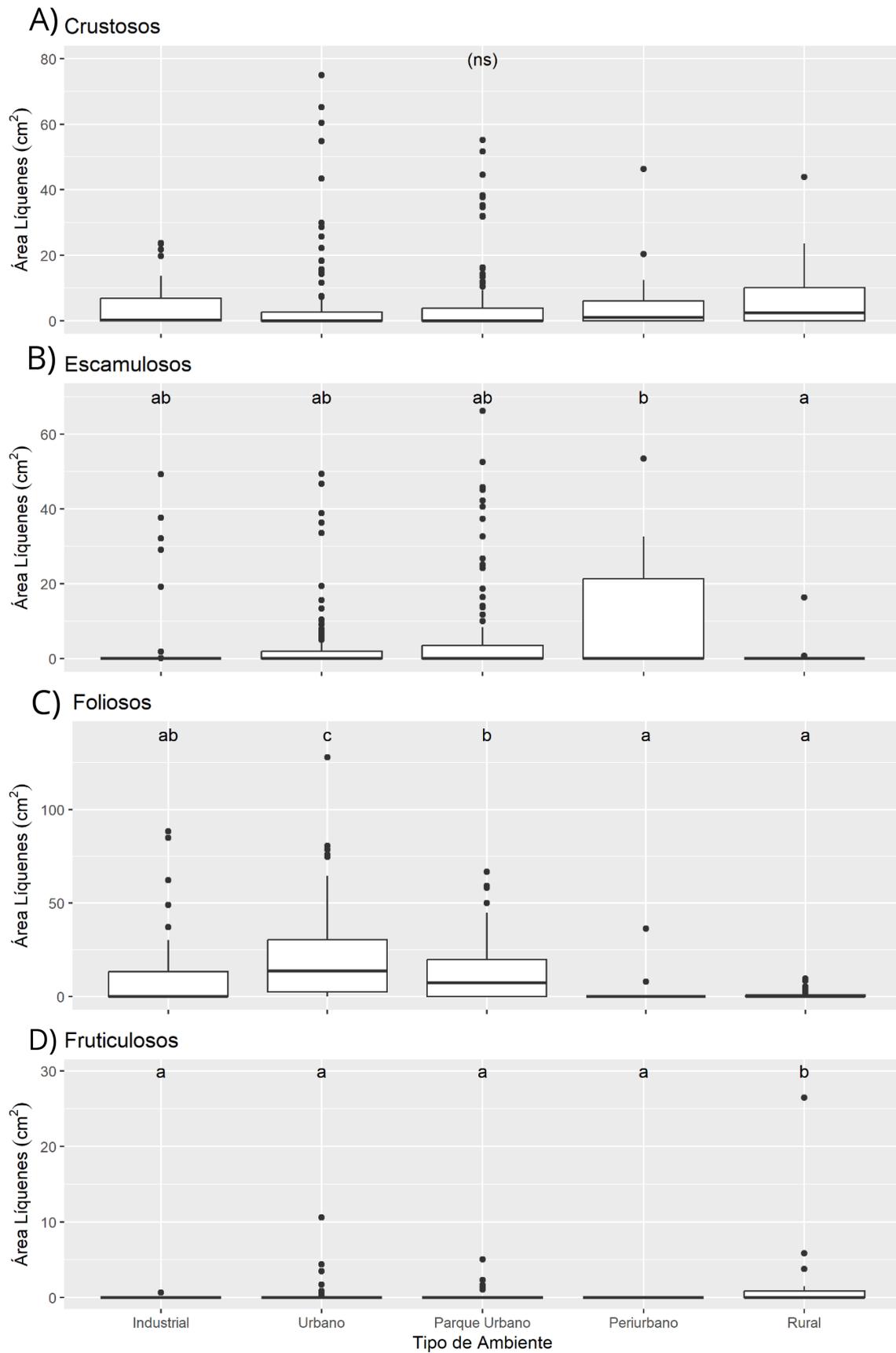


Figura 11. Cobertura relativa de líquenes según tipo de ambiente. A. Crustáceo. B. Escamuloso. C. Folioso. D. Fruticuloso. Diferentes letras indican diferencias estadísticas en función del tipo de ambiente (Test de Tuckey, $p < 0,05$).

3.5. Análisis de la cobertura liquénica total en función del tipo de vía vehicular y de la intensidad del tránsito.

Se encontraron diferencias significativas en el área liquénica total según el tipo de vía vehicular (ANOVA, $F_{(3,304)} = 7,08$, $p < 0,001$). En ambientes cercanos a caminos rurales se encontraron valores máximos de cobertura liquénica, valor promedio $37,2 \text{ cm}^2$, significativamente mayores a los encontrados en sitios cercanos a rutas, donde los valores observados fueron los más bajos, con promedio de $14,1 \text{ cm}^2$ (Test de Tukey, $p < 0,05$, Figura 12).

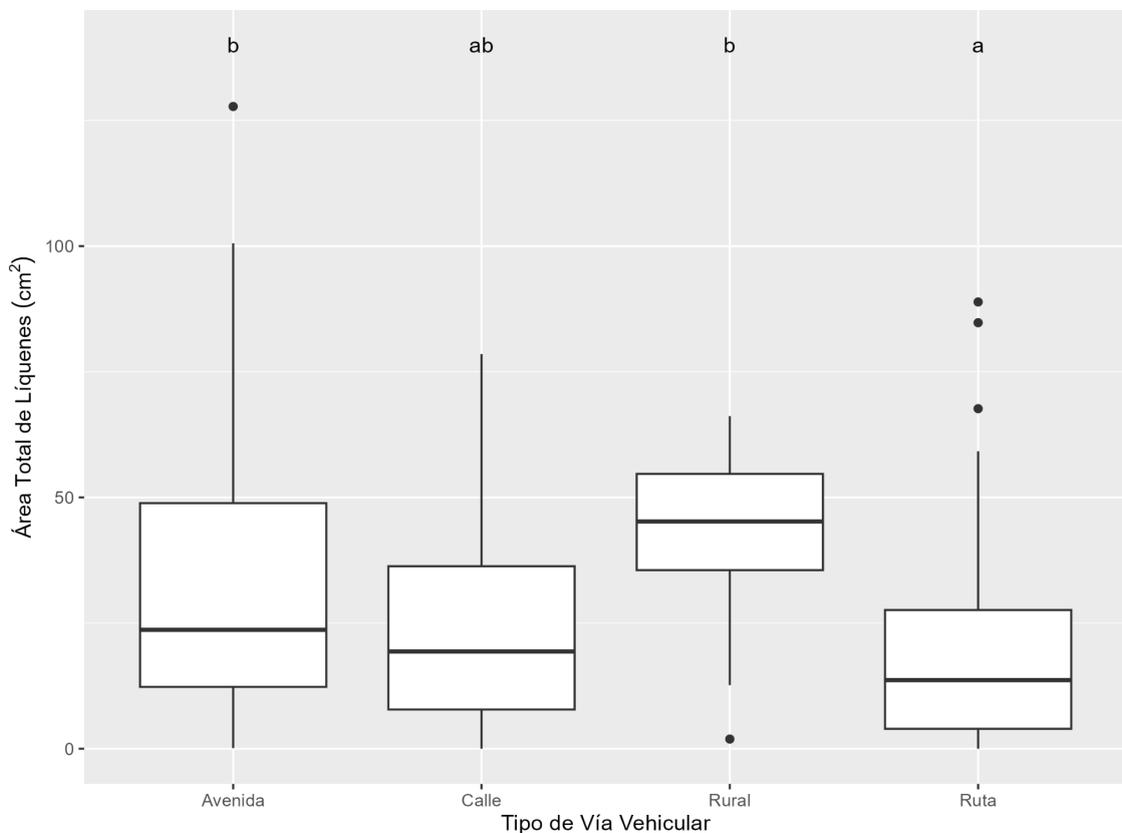


Figura 12. Relación entre la cobertura liquénica y los distintos tipos de vía vehicular. Diferentes letras indican diferencias estadísticas en función del tipo de vía vehicular (Test de Tukey, $p < 0,05$).

Con respecto a la intensidad de tránsito vehicular (bajo, medio, alto), se encontraron diferencias significativas y valores de cobertura más bajos en áreas de tránsito alto (ANOVA, $F_{(2,302)} = 5,62$, $p < 0,01$, Test de Tukey, Figura 13).

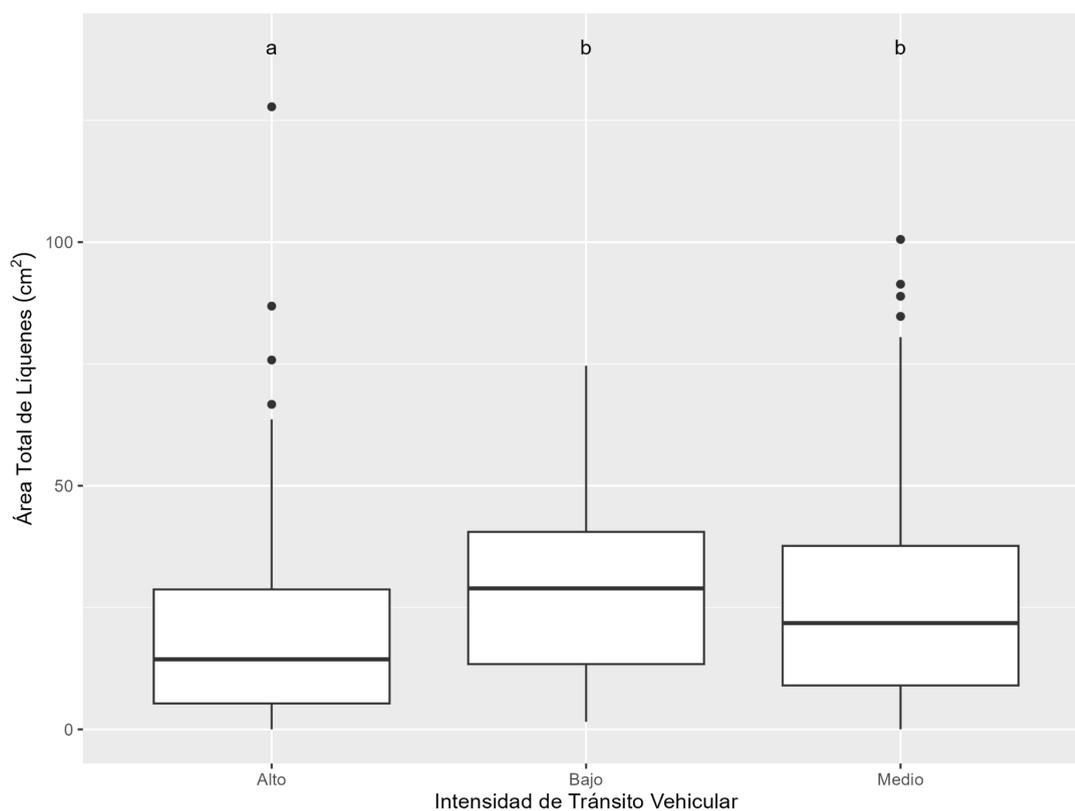


Figura 13. Relación entre la cobertura líquénica y el nivel de tránsito. Diferentes letras indican diferencias estadísticas en función de la intensidad del tránsito vehicular (Test de Tuckey, $p < 0,05$).

3.6 Líquenes identificados a nivel de género

Se identificaron ejemplares pertenecientes a 16 géneros de líquenes cortícolas. Se identificaron dos géneros con morfología crustosa, uno con morfología escamulosa, once con morfología foliosa y dos con morfología fruticosa. Se presenta la lista de los géneros identificados, sus descripciones morfológicas y sus caracteres diagnósticos empleados en la identificación. En algunos casos no fue posible confirmar la identidad de las muestras debido a la ausencia de caracteres diagnósticos.

Líquenes con morfología crustosa (Figura 14)

Bacidia Talo crustoso de apariencia granular, agrietado compuesto por areolas contiguas. Como estructura reproductiva, presentan pequeños apotecios biatorinos, de hasta 2 mm de ancho, con margen propio formado por hifas del mismo apotecio y una coloración amarronada.

Lecanora Talo crustoso de tamaño variable, de coloración grisácea. Presenta apotecios del tipo lecanorino o talino, con los márgenes del mismo color que el talo, el centro del apotecio es de color negro.

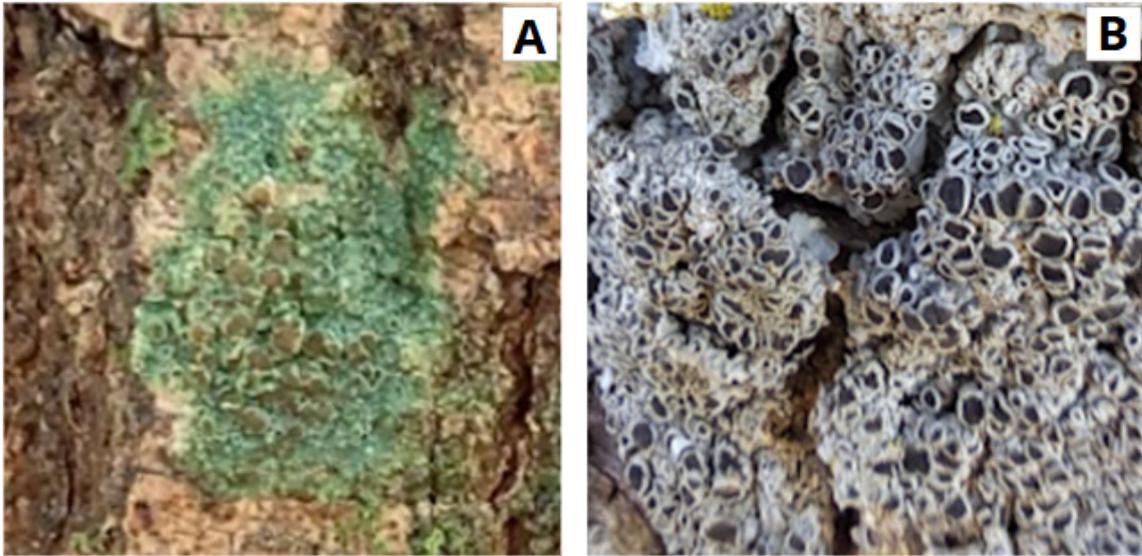


Figura 14. Líquenes crustosos. A. *Bacidia*. B. *Lecanora*.

Líquenes con morfología escamulosa (Figura 15)

Candelariella Talo crustoso areolado a subescamuloso de color verde amarillento que suele presentar pequeñas areolas. Como estructuras reproductivas presenta apotecios lecanorinos de coloración más fuerte que el talo que pueden o no estar presentes.

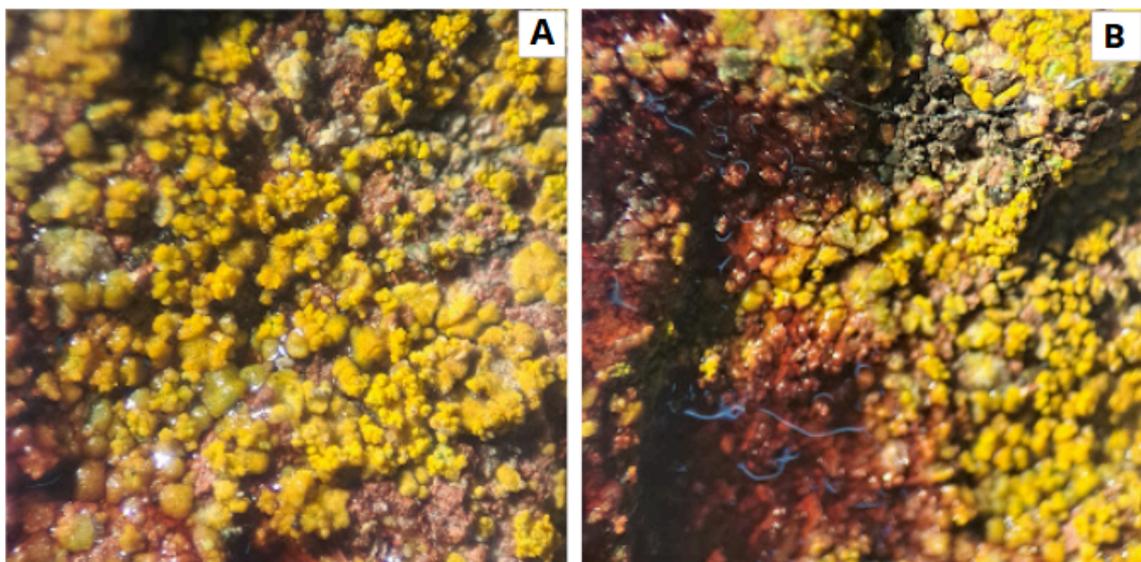


Figura 15. *Candelariella*.. A. vista del talo sin tratamiento. B. vista del talo con Reaccion K⁺, se observa cambio de color del talo de amarillo alimonado a rosa intenso.

Líquenes con morfología foliosa (Figura 16)

Candelaria Talo folioso pequeño, puede formar rosetas, adnato, y también puede formar lóbulos. La coloración del talo es amarillo limón. En la superficie inferior presenta rizinas simples.

Canoparmelia Talo de color gris verdoso, adherido al sustrato, con lóbulos pequeños. Presenta apotecios de color pardo oscuro. La superficie inferior del talo es de color marrón claro a negra, con rizinas simples.

Dirinaria Talo folioso, generalmente con disposición radiada y bastante adherido al sustrato, gris blanquecino. Los lóbulos suelen ser redondeados y estrechos, de menos de 3 mm.

Flavoparmelia Talo folioso, verde amarillento, circular, irregular, lóbulos hasta 1 cm de ancho, con ápices redondeados, márgenes enteros. Apotecios de color pardo oscuro. Superficie inferior generalmente negra con rizinas simples.

Flavopunctelia Talo folioso, débilmente adherido al sustrato, color verde amarillento. Lóbulos con ápices redondeados lisos. Presenta pseudocifelas en la corteza superior. Como estructuras reproductivas presenta apotecios laminares. La superficie inferior es negra con rizinas simples.

Hyperphyscia Talo folioso, muy pequeño (1 a 2 cm), fuertemente adheridos al sustrato, de color gris oscuro a parduzco. Presenta apotecios lecanorinos de color negro. La corteza inferior está fuertemente adherida al sustrato, por lo que no se puede observar su color ni la presencia de rizinas.

Parmotrema Talo folioso, grisáceo, de gran tamaño, generalmente mayor a 5 cm, fácilmente separable del sustrato. Los lóbulos suelen ser redondeados. Apotecios con una coloración oscura. La superficie inferior es oscura en el centro y más clara en la periferia, posee rizinas simples.

Physcia Talo folioso grisáceo, de forma circular, la corteza superior presenta reacción positiva al potasio (K⁺) y la cara inferior es rizinada. Presenta numerosos soledios de color grisáceo en la superficie.

Punctelia Talo folioso, flojamente adherido al sustrato, color gris verdoso, lóbulos con ápices redondeados. En los márgenes de los lóbulos la superficie inferior es clara, a veces con márgenes desnudos.

Xanthoria Talo folioso a subfruticuloso de color amarillo anaranjado. Presenta apotecios lecanorinos, con los margenes del mismo color que el talo, el centro del apotecio es amarillo. Una de las características determinantes del género es la presencia de parietina, que da lugar a una reacción K^+ violeta intensa y muy evidente (Figura 17).

Xanthoparmelia Talo folioso, muy adheridos al sustrato, con lóbulos estrechos, los talos son de color amarillo verdoso aunque las partes más senescente, uboicadas ene le centro del talo, suelen presentar coloraciones más oscuras. La superficie inferior es oscura y presenta numerosas rizinas simples.

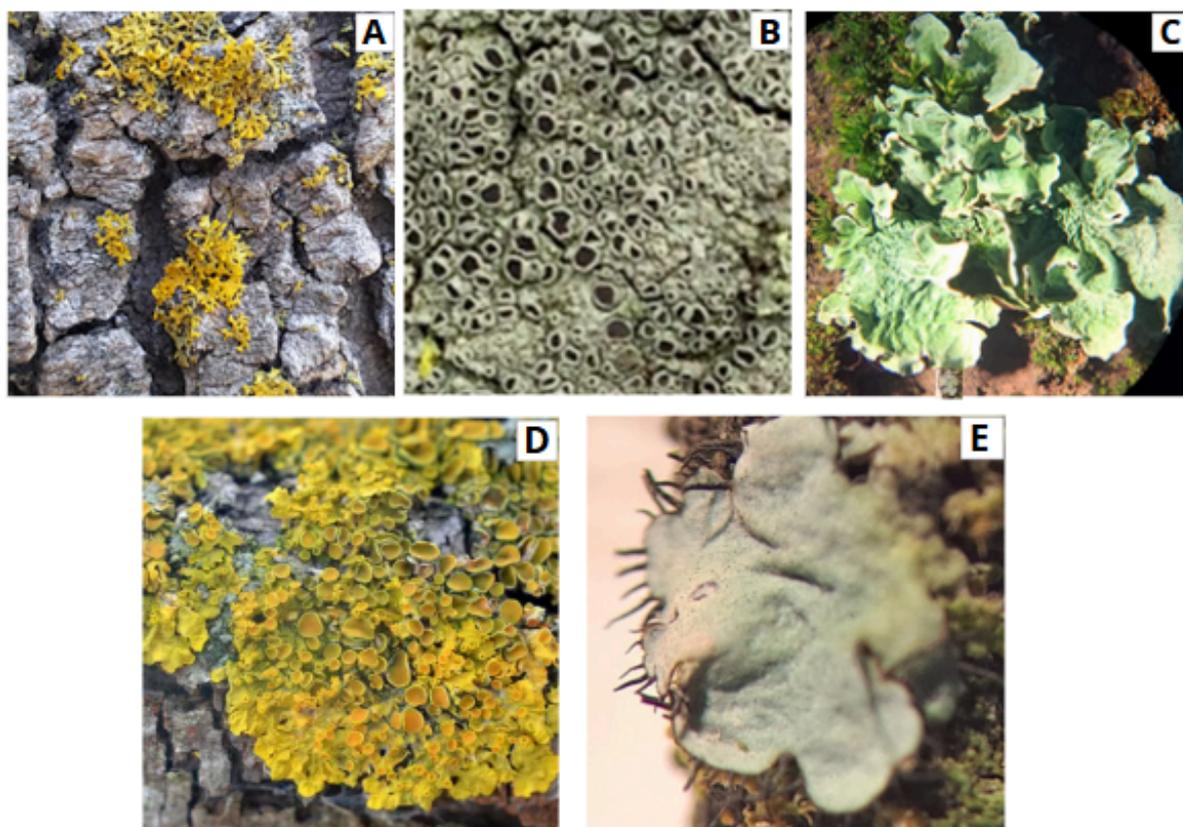


Figura 16. Géneros de líquenes foliosos. A. *Candelaria*, B. *Hyperphyscia*, C. *Punctelia*, D. *Xanthoria*, E. *Xanthoparmelia*.

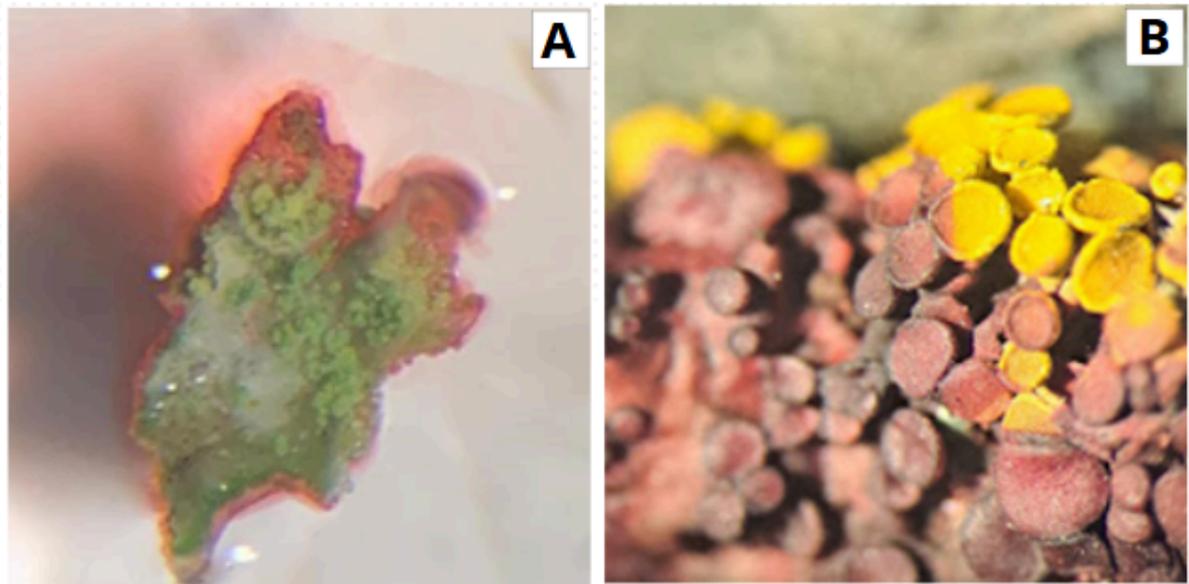


Figura 17. *Xanthoria*. A. mostrando una reacción K^+ . B. Se observa cambio de color del talo de amarillo alimonado a rosa intenso, debido a la presencia de parietina, característica diagnóstica de la especie.

Líquenes con morfología fruticosa (Figura 18)

Ramalina Talos de gran tamaño, aproximadamente 4 cm, erectos a subpéndulos, aplanados y de color gris verdoso. La superficie del talo presentan apotecios de color gris verdoso a blanquecino.

Teloschistes Talo subfruticuloso, tienen una coloración característica roja y anaranjada debido a la presencia de parietina, reacción K^+ , color violeta. Los lóbulos pueden ser aplanados a cilíndricos, muy ramificados y ciliados. Apotecios terminales con superficie interior color naranja a amarilla, con márgenes ciliados.

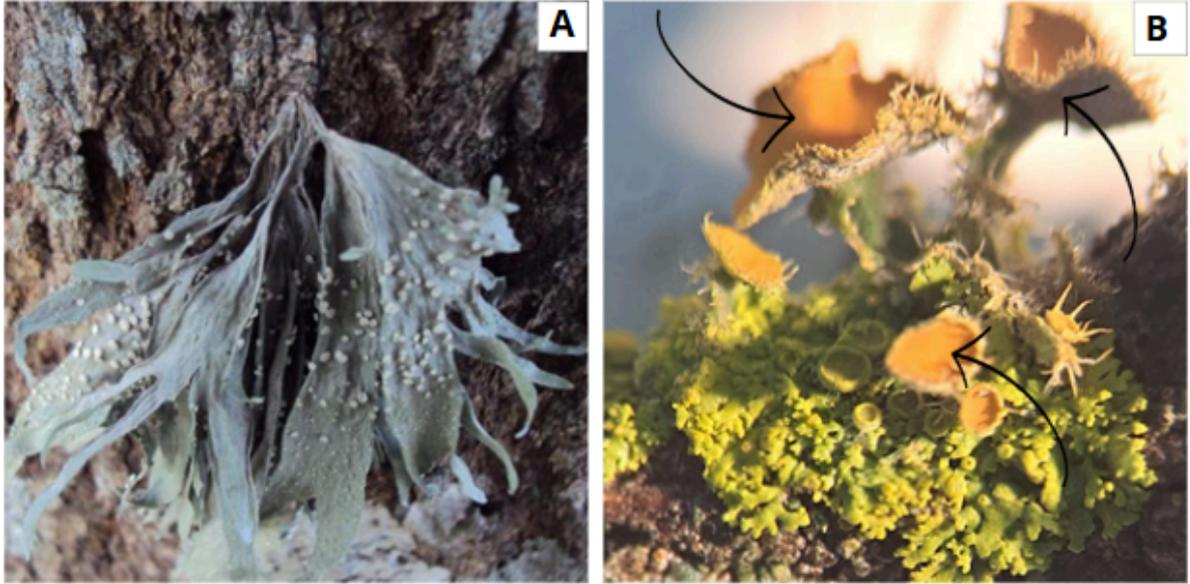


Figura 18. Género de líquenes fruticulosos. A. *Ramalina*. B. Las flechas indican un ejemplar de *Teloschistes*.

4. DISCUSIÓN

Los líquenes cortícolas son ampliamente reconocidos como bioindicadores sensibles de la calidad del aire, ya que responden de manera directa a la presencia de contaminantes atmosféricos y a las condiciones del entorno donde se desarrollan (Conti & Cecchetti, 2001; Nimis, Scheidegger & Wolseley, 2002). En este trabajo se analizaron distintos parámetros relacionados con la cobertura y diversidad de estos líquenes en función de un gradiente ambiental urbano-industrial, con el objetivo de evaluar su utilidad como herramienta de monitoreo en entornos sometidos a presión antrópica.

Los resultados obtenidos demuestran que la mayor cobertura de líquenes se registró en la orientación sur de los troncos, siendo esta la orientación más protegida de la radiación directa y de los vientos secos predominantes. Este microambiente relativamente más húmedo favorece el desarrollo de líquenes cortícolas, tal como ha sido reportado en estudios previos en ambientes con condiciones climáticas similares (Lijteroff, Lima & Prieri, 2009). Diversos autores han reportado que la orientación del sustrato tiene una influencia directa sobre la composición y cobertura de líquenes, especialmente en regiones con alta exposición solar o baja humedad relativa (Asta et al., 2002; Nimis et al., 2002). La ciudad de Bahía Blanca se encuentra en una región semiárida, caracterizada por una baja precipitación anual y una fuerte incidencia de vientos del norte y noroeste, especialmente durante primavera y verano (Ferrelli, 2016). La humedad relativa promedio anual en Bahía Blanca es de aproximadamente 64,6 % (Ferrelli, 2016; Servicio Meteorológico Nacional, Argentina). El patrón de distribución aquí observado, también se ha encontrado en otras regiones del hemisferio sur, como el estudio realizado en la Quebrada de la Plata, Chile, lo que refuerza la hipótesis del microambiente más favorable ofrecido por la orientación sur para el crecimiento de los líquenes (Riquelme Acevedo, 2008). En esta región de la Tierra, la orientación sur suele caracterizarse por retener más humedad y ofrecer menor estrés térmico, factores que favorecen la colonización de organismos como los líquenes (Asta et al., 2002; Nimis et al., 2002).

Con las variables analizadas en este trabajo, no se encontró una relación significativa entre la cobertura líquénica total y la distancia al parque industrial, utilizada como estimador del gradiente urbano-industrial. No obstante, aunque no se detectó un patrón estadístico definido, se observó que la cobertura total de líquenes fue mayor en los sitios clasificados como “urbanos”. Este resultado sugiere que la cobertura total no refleja de manera directa las condiciones ambientales esperadas a lo largo del gradiente y que otros factores como la especie y el tamaño de los árboles podrían estar influyendo en la distribución de los líquenes (Nimis et al., 2002). Es probable que la edad de los árboles influya en el área cubierta, ya que los ejemplares más longevos brindan mayor superficie y tiempo para la colonización y desarrollo líquénico. Si bien este aspecto no fue estimado en el presente estudio, se propone considerarlo en futuras investigaciones, dado su potencial para explicar diferencias en la abundancia y composición líquénica entre ambientes.

En contraposición, los sitios rurales registraron menor cobertura líquénica total, lo que podría atribuirse a múltiples factores ecológicos y antrópicos. Por un lado, en varios de estos sitios no se logró muestrear los diez árboles esperados, debido a una menor disponibilidad de árboles. Esta escasez podría estar relacionada con el uso de los árboles como fuente de leña (Filippini et al., 2020). Conjuntamente los árboles presentes eran ejemplares jóvenes en los cuáles no tienen edad suficiente como para haber sido colonizados por líquenes (Nash, 2008), esto abre nuevos interrogantes para futuras investigaciones en relación al efecto de la edad de los árboles, la especie y la tasa de colonización líquénica. Además, algunas de las áreas clasificadas como rurales estaban ubicadas en proximidad a un barrio en expansión, predios alterados por basurales y quemas o rutas de tránsito elevado, lo cual podría generar emisiones de contaminantes atmosféricos que afectan negativamente el establecimiento y desarrollo de las comunidades líquénicas. Estos resultados resaltan la necesidad de considerar no solo la distancia al polo industrial, sino también otras fuentes de contaminación al evaluar la calidad ambiental a través de bioindicadores.

La diversidad morfológica total, expresada como el número de morfotipos presentes por sitio, tampoco mostró una asociación clara con dicho gradiente. El análisis realizado por morfología líquénica reveló patrones de respuesta muy débiles frente al gradiente urbano-industrial. Bajo las condiciones ambientales características de la región sudoeste de la provincia de Buenos Aires, los líquenes permanecen inactivos la mayor parte del tiempo, retomando la actividad biológica sólo durante breves periodos de alta humedad ambiental, especialmente luego de precipitaciones, principalmente durante los meses de mayo y junio. Dado que los líquenes, por sus características morfológicas y fisiológicas, sólo pueden absorber contaminantes atmosféricos cuando están activos, su exposición real a estos agentes bajo estas condiciones ambientales no es constante (Gauslaa, 2014). Por lo tanto es importante considerar que la respuesta de los líquenes a la presencia de contaminantes ambientales está fuertemente influenciada por las condiciones físicas de la atmósfera (Lijteroff et al., 2009).

En este estudio se registraron 16 géneros de líquenes cortícolas, que incluyen morfologías en su mayoría foliosas y, en una proporción menor, crustosas, escamulosas y fruticulosas. El número de géneros identificados es similar al encontrado en otros ambientes del centro de la república Argentina (Rodríguez et al., 2021). Un estudio previo realizado en la ciudad de Córdoba, que presenta condiciones climáticas y urbanas similares, identificó aproximadamente 18 géneros, distribuidos principalmente en morfologías foliosa y crustosa, con menor presencia de líquenes fruticulosos (Estrabou et al., 2014). Entre los géneros más comunes en ambos trabajos se encuentran *Physcia*, *Punctelia*, *Xanthoria* y *Candelariella*, todos reconocidos por su tolerancia a condiciones ambientales adversas como la contaminación y la sequedad. Las comunidades líquénicas en ciudades de regiones semiáridas Argentinas tienden a estar dominadas por especies de los mismos géneros.

Con respecto a los tipos de vía vehicular, los valores máximos de cobertura se registraron en sitios cercanos a caminos rurales y los mínimos en sitios cercanos a rutas. A su vez, se observaron que las

zonas con circulación de vehículos intermedia a alta presentaron menor cobertura liquénica. Estos resultados ponen en evidencia el efecto de los gases de combustión, sobre los líquenes. La mayoría de los registros de desaparición de líquenes en ambientes urbanos están correlacionados a la presencia de contaminantes gaseosos producto de la combustión vehicular (Hawksworth et al., 2005). La elevada concentración vehicular coincide con una mayor emisión de contaminantes gaseosos y material particulado, todos ellos conocidos por afectar negativamente la actividad biológica (Conti & Cecchetti, 2001; Nash, 2008). Estudios realizados por la Agencia Ambiental de Bahía Blanca y el Comité Técnico Ejecutivo evidenciaron que el transporte automotor representa el 97 % de las emisiones totales de contaminantes generadas por fuentes móviles en la ciudad. Un estudio realizado por Heim (2013) en la ciudad de Bahía Blanca, señala que los automóviles particulares, camiones de carga y colectivos contribuyen en forma significativa a las emisiones de gases y material particulado. Además, desde el año 2003 el parque automotor ha experimentado un crecimiento exponencial, lo que se traduce en un aumento de las emisiones de gases de combustión vehicular, especialmente en vías con alto tránsito (CREEBBA, 2023). El aumento de la cantidad de vehículos, sumado a el trazado urbano, donde se encuentran vías de alto tránsito vehicular en todo el área abarcada por el presente estudio, pone de manifiesto la necesidad de considerar estos factores a la hora de plantear conclusiones definitivas. Los altos valores de tránsito vehicular han demostrado ser uno de los factores más relevantes durante el presente estudio.

Los hallazgos del presente trabajo demuestran que si bien los líquenes cortícolas servirían como bioindicadores de calidad ambiental, se deben considerar aspectos ambientales puntuales como la distribución de las vías vehiculares de alto tránsito y los parques urbanos. Si bien se necesitan estudios más detallados para determinar el efecto de la intensidad del tránsito vehicular en el área urbana, se puede considerar que los gases de combustión generados por los motores de vehículos son uno de los factores que contribuye a la desaparición de los líquenes en áreas con alto tránsito vehicular.

5. CONCLUSIONES

- La mayor cobertura de líquenes se encuentra en la orientación sur de los troncos.
- No se encontró una tendencia clara en la cobertura de las distintas morfologías de líquenes cortícolas en relación al gradiente urbano-industrial.
- Los mayores valores de cobertura se encontraron en áreas urbanas.
- Las zonas con mayor intensidad de tránsito vehicular presentaron menor cobertura liquénica. En contraste, las zonas con bajo tránsito vehicular como los caminos rurales mostraron mayores valores de cobertura.
- En la ciudad de Bahía Blanca, se encontraron mayor número de géneros de líquenes con morfología foliosa.

6. BIBLIOGRAFÍA

Andrés D, Ferrero E, Mackler C. (2002). Monitoreo de las concentraciones de dióxido de nitrógeno en viviendas. *Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 10, 63 – 67.

Asta, J, Erhardt, W, Ferretti, M, Fornasier, F, Kirschbaum, U, Nimis, PL, & Wirth, V. (2002). Cartografía de la diversidad de líquenes como indicador de calidad ambiental. *Monitoreo con líquenes- monitoreo de líquenes* , 273-279.

Bambill, E, Montero, C, Bukosky, M, Amado, Laura, & Pérez, Daniel (2017). Indicadores de calidad de aire en el diagnóstico de la sustentabilidad de la ciudad de Bahía Blanca. In Libro de Actas VI Congreso bianual PROIMCA IV Congreso bianual prodeca.

Brodo, IM , Sharnoff, SD & Sharnoff, S. (2001). *Líquenes de Norteamérica* . Yale University Press.

Centro de Tecnología Ambiental de Bahía Blanca. (s.f.). Página principal. 14 de julio de 2025, de <https://cte.controlambiental.bahia.gob.ar/>

CREEBBA. (2023). Mercado automotor - Bahía Blanca. Centro Regional de Estudios Económicos de Bahía Blanca. <https://www.creebba.org.ar>

Congreso de la Nación Argentina. (2002). Ley General del Ambiente N.º 25.675. Boletín Oficial de la República Argentina. <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/79980/norma.htm>

Conti ME, Cecchetti G. (2001). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment a review. *Environ. Pollut.* 114 (3): 471-92.

Cohn-Berger, G. & Quezada, M. (2016). Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala. *Revista científica (instituto de investigaciones químicas y biológicas. facultad de ciencias químicas y farmacia. universidad de san carlos de guatemala)*, 26 (1), 20-39.

Estrabou, C, Quiroga, C, & Rodríguez, J. M. (2014). Lichen community diversity on a remnant forest in south of Chaco region (Cordoba, Argentina). *Bosque*, 35(1), 49-55.

Ferrelli, F. (2016). Análisis del clima local y micro-local de la ciudad de Bahía Blanca.

Filippini, E, Rodríguez, J. M, Quiroga, G, & Estrabou, C. (2020). Differential response of epiphytic lichen taxa to agricultural land use in a fragmented forest in central Argentina. *Cerne*, 26(2), 272-278.

Gauslaa, Y. (2014). Rain, dew, and humid air as drivers of morphology, function and spatial distribution in epiphytic lichens. *The Lichenologist*, 46(1), 1-16.

Garty, J. (2001). Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: theory and application. *Critical reviews in plant sciences*, 20(4), 309-371.

Hawksworth, D, Iturriaga, T. & Crespo A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medioambientales en los trópicos. *Rev. Iberoam. Mic.* 22, 71–82.

Heim, V. (2013). Inventario de Emisiones Gaseosas de Fuentes Móviles - Bahía Blanca. Agencia Ambiental. Municipalidad de Bahía Blanca.

IPCC. (2021). Summary for policymakers. In *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.

- Kranner I, Beckett R, Varma A. (2002). Protocols in lichenology: culturing, biochemistry, ecophysiology, and use in biomonitoring. Springer lab manual. ISBN 978-3-540-41139-0.
- Lavornia JMI, Kristensen MJ, Rosato VG. (2016). Clave de identificación de líquenes saxícolas del Paisaje Protegido La Poligonal (Sistema De Tandilia, Buenos Aires). Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales. Nueva serie. 2016;18(2):107-115.
- 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.
- Mares Rueda, I. (2017). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire.
- Mellouki, A, Wallington, T. J, & Chen, J. (2015). Atmospheric chemistry of oxygenated volatile organic compounds: impacts on air quality and climate. *Chemical reviews*, 115(10), 3984-4014.
- Naciones Unidas. (1997). Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).
- Naciones Unidas. (2015). Acuerdo de París. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).
- Nash III. (2008). Lichen Biology. Cambridge: Cambridge University Press. 486 pp.
- Nimis, P. L, & Wolseley, P. A. (Eds.). (2002). Monitoreo con líquenes- monitoreo de líquenes (Vol. 7). Springer Science & Business Media. DOI: 10.1007/978-94-010-0423-7.
- Osorio H. (1977). Apuntes de liquenología y clave para los géneros de líquenes de los alrededores de Buenos Aires.
- Pardo González, A. (2017). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio Institucional UCM. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/20706>
- Passo A, Calvelo S, Stockerworgotter E. (2004). Taxonomic notes on *Pannaria pallida* from Southern South America and New Zealand. Mycotaxon 90: 55-65.
- Passo A, Díaz-Dominguez R.E, Rodriguez J.M. (2020). El género *Pannaria* (Pannariaceae) en la Argentina: nuevos registros y actualización del conocimiento. Bol Soc Arg Botanica 55(3)2020.
- Puliafito, S. E, & Allende, D. (2007). Calidad del aire en ciudades intermedias. Proyecciones, 5(2), 33-52. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.
- Purvis, O. W. (2010). Lichens and industrial pollution. Ecology of industrial pollution, 41-69.
- Riquelme Acevedo, F. S. (2008). Evaluación del uso de líquenes como indicadores biológicos de contaminación atmosférica en la quebrada de la Plata, región metropolitana.
- Rodriguez JM, Estrabou C, Filippini ER, Díaz Dominguez R. (2021). Líquenes del Centro de Argentina. ISBN: 978-987-707-191-7.
- Santoni C, Lijteroff R. (2006). Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 22 (1): 49-58.

Servicio Meteorológico Nacional (Argentina). Datos climáticos de Bahía Blanca mayo 2025, de <https://www.smn.gob.ar>.

Torres Sanchez, M. E. (2019). Líquenes: Los bioindicadores de la calidad del aire (Trabajo de investigación de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Chachapoyas, Perú).