

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE BIOINDICADORES EN LA PROVINCIA DE SAN LUIS, ARGENTINA

Celina Sofía SANTONI y Rubén LIJTEROFF

Departamento de Bioquímica y Ciencias Biológicas, Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia, Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco y Pedernera 5700 San Luis, Argentina.

(Recibido octubre 2004, aceptado mayo 2006)

Palabras clave: calidad de aire, líquenes, bioindicadores, índice de pureza atmosférica

RESUMEN

Se estudió la comunidad de líquenes, en la ciudad de Juana Koslay, San Luis (Argentina), asumiendo que son bioindicadores de la calidad del aire de la zona. Se comparó un área urbana de crecimiento poblacional rápido, con fuentes fijas y móviles de contaminación, versus dos áreas testigo sin fuentes de contaminación. Se utilizó el método del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), como variable de análisis para determinar la existencia de contaminación aérea. El método supone la disminución en la frecuencia de especies a medida que aumenta la contaminación del aire. Se determinaron parámetros ecológicos: diversidad, riqueza y equitatividad. Los resultados obtenidos muestran que las tres áreas evaluadas no presentan diferencias estadísticamente significativas en los valores de IPA ni en los valores de diversidad. Los resultados indican homogeneidad en los ambientes estudiados, a pesar de las diferencias que tienen en cuanto al uso del suelo (área urbana vs. áreas naturales).

Key words: air quality, lichens, bioindicators, index of atmospheric purity

ABSTRACT

The lichen community was evaluated in Juana Koslay City, San Luis (Argentina), as environmental pollution bio-indicators. The urban area was compared against two control areas with no pollution sources. In the urban area there is a growing human population and fixed and mobile sources of pollutants. The Index of Atmospheric Purity (IAP) was calculated to determinate the presence of air pollution. The assumption of the method is that the frequency of species will be reduced when the pollutants increase. Ecological parameters like diversity, richness and equitativity were determined. According to the results, the areas evaluated do not present differences in the values of IAP neither in lichen diversity. The results would indicate homogeneity in the air in the study areas, even though the areas chosen have remarkable differences in ground use (urban area vs. natural areas).

INTRODUCCIÓN

Es adecuado el uso de comunidades liquénicas para la evaluación de la calidad del aire con el objeto de realizar las primeras aproximaciones al problema de la contaminación, en áreas naturales y urbanas no exploradas previamente.

Los líquenes pueden colonizar numerosos ambientes aparentemente hostiles, como son las altas montañas y los desiertos. Sin embargo, el sensible balance entre los simbioses (algas: Clorofitas o Cianofitas; y hongos: Ascomycetes, Basidiomycetes o Phycomycetes) puede ser fácilmente alterado. Esto los vuelve vulnerables a variaciones ambientales, como por ejemplo la contaminación aérea (Kricke y Loppi 2002).

Los cambios en la composición de las comunidades liquénicas son correlacionados con los que ocurren a nivel de la contaminación atmosférica. Los líquenes pueden ser usados como bioindicadores o biomonitores en dos formas diferentes: la primera, por mapeo de todas las especies presentes en un área específica; la segunda, mediante el muestreo individual de las especies liquénicas y la medición de los contaminantes acumulados en sus talos (transplante de líquenes, cambios morfo fisiológicos, evaluación de bioacumulación) (Conti y Cecchetti 2001).

Los líquenes son comúnmente utilizados como biomonitores, bioacumuladores o bioindicadores (Rubiano 1988, Geiser *et al.* 1994, Ariño Vila *et al.* 1997, Pignata 1998, Loppi *et al.* 1998, Calatayud Lorente y Sanz Sánchez 2000, Van Dobben *et al.* 2001, Nimis y Purvis 2002, Loppi *et al.* 2002a, b, Brunialti y Giordani 2003, Ferretti *et al.* 2004, Loppi *et al.* 2004).

La conocida eficacia de los líquenes en la evaluación de la calidad del aire deriva de sus características biológicas: carecen de raíz y de sistemas de conducción; dependen completamente de la atmósfera y del sustrato en el que viven para su metabolismo; no tienen estructuras selectivas o protectoras del medio externo (epidermis o cutícula) que actúen como barrera ante las sustancias del ambiente (por esto, los procesos de absorción de aerosoles y gases ocurren sobre toda la superficie de sus talos); no poseen mecanismos de eliminación de los contaminantes; son cosmopolitas, pero al mismo tiempo se desarrollan en ambientes con características bien definidas; son perennes, con crecimiento lento y gran longevidad.

Los líquenes epifitos resultan ser muy efectivos como sistemas de alerta ya que permiten detectar tempranamente signos de cambio ambiental (Loppi y Pirintsos 2003) que pueden manifestarse en modifi-

caciones en las comunidades liquénicas (Loppi *et al.* 1998).

La disminución en la calidad del aire va ligada a la reducción y a la desaparición de los grupos de líquenes más sensibles y a la dominancia de los más resistentes. Las comunidades se van empobreciendo y pasan a estar constituidas por unos pocos grupos de especies liquénicas.

Se han propuesto diversos métodos para evaluar la calidad del aire utilizando líquenes y sus valores de diversidad (Brunialti y Giordani 2003).

El método del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) permite evaluar la calidad del aire con líquenes, combinando el número de especies presentes en un sitio con la sensibilidad de éstas a ciertos contaminantes ambientales. La fórmula del IPA que utiliza la frecuencia como parámetro de bioindicación ha demostrado ser la más eficaz (Kricke y Loppi 2002); además que aporta datos sobre la cobertura liquénica y la diversidad de especies (Calatayud Lorente y Sanz Sánchez 2000). Este índice puede ser también identificado en la bibliografía como "Lichen Biodiversity" (LB) (Ferretti *et al.* 2004).

En el presente trabajo se estudió la comunidad de líquenes epifitos presentes en la ciudad Juana Koslay, en la Provincia de San Luis, Argentina. Juana Koslay es un área urbana de aproximadamente 450 hectáreas, donde existen simultáneamente dos esquemas de uso del suelo: uno estrictamente urbano-residencial y otro de fabricación artesanal de ladrillos, antiguo en la zona. La cocción de los ladrillos se realiza en hornos que se ubican en distintos puntos de esta ciudad, utilizando para ello combustibles fósiles y madera.

Esta área urbana ha registrado un importante incremento poblacional en los últimos 10 años, duplicando su población de 4,186 (censo 1991) a 8,770 (censo 2001) habitantes (INDEC 2004). El incremento poblacional, generalmente trae aparejado un aumento en los niveles de contaminación atmosférica, generada tanto a nivel domiciliario como por la circulación vehicular (Seinfeld 1978). Por lo tanto, se reconocen fuentes móviles (vehículos) y fijas de contaminación (calefacción domiciliaria y hornos de fabricación de ladrillos). Las fuentes fijas pueden ser de tipo estacional (domiciliario) o permanentes (hornos ladrilleros).

Partiendo del conocimiento de la clara relación existente entre actividades antrópicas y contaminación ambiental, se plantea el problema de la existencia de un proceso de contaminación del aire en la ciudad de Juana Koslay, producto de las fuentes fijas y móviles de contaminación presentes en la zona.

La hipótesis del presente trabajo es que en el área urbana existen niveles de contaminación del aire, producto de fuentes fijas y móviles de contaminación, que pueden ser identificados por medio del método del IPA.

Se fijaron como objetivos la determinación del IPA en el área urbana de Juana Koslay y en áreas testigo cercanas, a partir de datos de frecuencia liquénica, y la descripción de características generales de las comunidades de líquenes presentes, aportando datos nuevos para la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se consideraron 3 áreas de estudio: un área urbana (ciudad de Juana Koslay) ubicada en el centro de la provincia de San Luis (33° 16' S - 66° 16' W); un área rural ubicada a 11 km. del área urbana (localidad de Donovan: 33° 21' S - 66° 14' W) y un área de reserva, a 35 km. del área urbana (reserva florofaunística La Florida: 33° 07' S - 66° 02' W). Estas áreas testigo fueron consideradas como "naturales" como lo proponen Loppi *et al.* (2002b). El régimen de vientos predominante de la región es de dirección SE y en menor medida del N, por lo que los contaminantes generados en el área urbana, no serían trasladados a las áreas testigo.

En la **figura 1** se presenta la ubicación de la provincia de San Luis en la República Argentina y en ampliación la provincia con las 3 áreas de estudio.

Juana Koslay y Donovan se encuentran en la formación bosque de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) y algarrobo (*Prosopis flexuosa*), mientras que la reserva La Florida es parte de la formación pastizales y bosques serranos (Anderson *et*

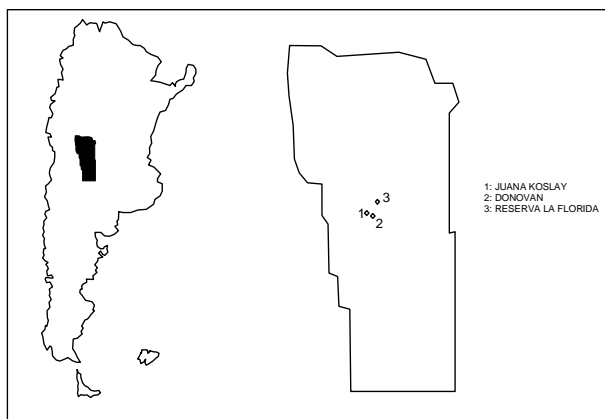


Fig. 1. República Argentina. Detalle de ubicación de la provincia de San Luis

al. 1970). Según Cabrera (1976), estas tres áreas se encuentran en la Provincia Fitogeográfica Chaqueña. En clasificaciones actualizadas, las tres áreas pertenecen al extremo sur del Gran Chaco Sudamericano, específicamente a la región del Chaco árido y serrano (Naumann y Madariaga 2004), por lo tanto, siguiendo la clasificación actual, todas las áreas incluidas en el estudio se encuentran en una misma región fitogeográfica.

La localidad de Juana Koslay es un área periurbana de la ciudad de San Luis, donde se encuentran áreas no degradadas con relictos de bosque nativo. La localidad de Donovan responde fisonómicamente a las características de un parque (bosque abierto) cuya especie arbórea predominante es el algarrobo (*Prosopis* sp.). La reserva florofaunística La Florida, también responde fisonómicamente a las características de un parque, con predominio de *Prosopis* sp. y con gran presencia de pastizales en el estrato herbáceo. Se aclara que La Florida no tiene influencia antrópica por ser un área de reserva estricta.

La región donde se encuentran las áreas de estudio se caracteriza por presentar temperatura media anual de 17.2 °C y precipitaciones medias de 628 mm anuales (datos 1961-1990, Servicio Meteorológico Nacional), ubicándose entre las isoyetas de 400-600 mm anuales (Naumann y Madariaga 2004) La altura media es de 853 msnm.

Todos los muestreos de líquenes cortícolas fueron realizados en árboles del género *Prosopis* sp. con un perímetro de tronco mayor o igual a 30 cm. Los árboles dañados por el fuego o que presentaran alteraciones fitosanitarias fueron excluidos del estudio. Las evaluaciones se realizaron a través de transectos lineales, de largo variable.

El cálculo de la muestra mínima de árboles a evaluar se realizó con la siguiente fórmula (Bonham 1989):

$$n = S^2 \cdot t^2 / (x - \mu)^2$$

n= núm. de árboles requeridos.

S= desviación estándar de la muestra.

t= desviación normal en el nivel de límite de confianza y grados de libertad dados.

x= media de la muestra

μ= media poblacional

En todos los casos el número de árboles muestreado, superó la muestra mínima.

El área urbana de estudio se dividió en 5 parcelas, aproximadamente de 90 ha cada una (**Fig. 2**). Se cal-

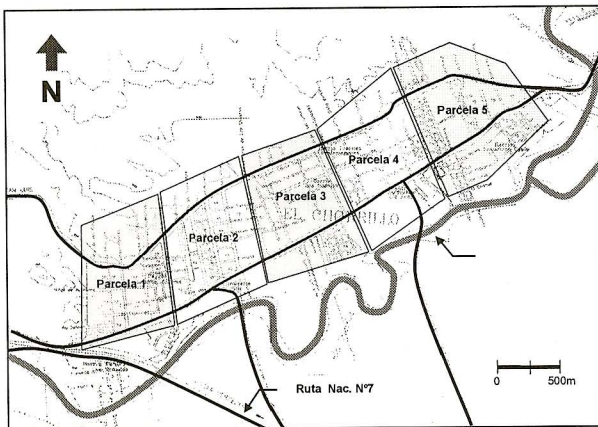


Fig. 2. Área urbana de la localidad de Juana Koslay. División en 5 parcelas de muestreo de comunidades liquénicas

culó la muestra mínima para el área urbana y para las áreas testigo por separado. La superficie total evaluada en la zona urbana y en las zonas testigo fue similar.

Todos los muestreos fueron realizados en el período estival, época en que se concentran las lluvias, momento favorable para el crecimiento de las estructuras vegetativas necesarias para la identificación en campo. Es aconsejable la utilización de líquenes como bioindicadores cuando las condiciones climáticas resultan especialmente favorables para su desarrollo y de esa manera descartar el clima como variable que pueda afectar su crecimiento (Loppi *et al.* 2002b).

Se trabajó con especies liquénicas que se perciben a simple vista o con el uso de una lupa de campo, siguiendo las recomendaciones de Kinnunen *et al.* (2003).

Se utilizó una cuadrícula metálica de 10x50 cm, dividida en 20 cuadros de 5 cm de lado. La base de la misma se ubicó a 120 cm del suelo en el lado del tronco con mayor presencia de líquenes. Se relevaron las especies liquénicas que quedaban comprendidas dentro de la cuadrícula, junto a sus valores de frecuencia (número de unidades de la cuadrícula en que la especie estaba presente) (Calatayud Lorente y Sanz Sánchez 2000).

Se calculó el IPA para cada árbol como la suma de las frecuencias de líquenes presentes en la cuadrícula, siendo la fórmula:

$$\text{IPA árbol} = \sum F;$$

donde F es el número de cuadros ocupados por cada especie en la cuadrícula de muestreo en cada árbol.

El IPA de las parcelas del área urbana y de cada área testigo se determinó como el promedio de los

IPA de los árboles allí analizados.

Se calcularon diversidad, equitatividad y riqueza como:

Índice de Diversidad de Shannon-Weaver:

$$H = - \sum P_i \ln P_i$$

Equitatividad:

$$J = - \sum P_i \ln P_i / \ln S$$

Siendo, S = riqueza (núm. de especies)

P_i = n_i/n_T

n_i = núm. de cuadros de la gradilla ocupados por una especie

n_T = núm. total de cuadros de la cuadrícula (20)

La comparación entre los datos obtenidos del IPA y de diversidad en las distintas áreas de muestreo (5 parcelas urbanas y 2 áreas testigo), se evaluaron por medio del estadístico ANOVA de una vía, con un $\alpha=0.05$.

RESULTADOS

Se muestrearon 120 árboles en total entre las 2 áreas testigo y las 5 parcelas del área urbana.

Se identificaron 19 taxa liquénicos diferentes; 15 a nivel de especie, y los restantes a nivel de género. En el **cuadro I** se presenta el listado de taxa encontrados y su presencia en las áreas estudiadas.

La especie que se halló en todos los ambientes fue *Buellia punctata*, con cobertura elevada; mientras que *Physconia* sp., *Candelaria concolor*, *Lecanora* aff. *flavidomarginata* y *Teloschistes chrysophthalmus*, si bien estuvieron en todas las áreas, mostraron una cobertura menor y variable según cada sitio. *Punctelia microsticta*, por su parte, presentó una escasa cobertura en las áreas urbanas y en Donovan, pero en la reserva La Florida su cobertura fue muy alta. En el **cuadro II** se presentan los valores de IPA para cada árbol muestreado y los valores de IPA de las parcelas urbanas y de las áreas testigo.

Análisis estadístico de los IPA entre áreas analizadas

El IPA de la parcela 1 (área urbana de Juana Koslay) presentó el mayor valor de todo el muestreo, superando incluso los IPA de las áreas testigo. Sin embargo, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre las 5 parcelas urbanas de Juana Koslay ($p=0.28402$). En cuanto a las áreas testigo, no se encuentran diferencias significativas

CUADRO I. LISTADO DE TAXA ENCONTRADOS EN LAS PARCELAS URBANAS Y EN LAS ÁREAS TESTIGO. FRECUENCIA Y VALORES DEL IPA DE CADA ÁREA

	Frecuencias						
	Áreas Urbanas – Juana Koslay					Áreas Testigo	
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Parcela 5	Donovan	La Florida
<i>Buellia punctata</i> (Hoffm.) Massal	18.47	18.11	19.24	17.54	17.76	9.94	15.47
<i>Physconia</i> sp.	13.18	15.42	15.12	13.85	14.29	4.33	14.95
<i>Hyperphyscia syncolla</i> (Nyl.) Kalb	11.94	10.05	7.65	10.62	8	12.5	3.58
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein	10.65	6.74	9.76	5.15	9.82	18.61	9.63
<i>Lecanora</i> aff. <i>flavidomarginata</i> Lesd.	12.24	9.53	8.94	12.08	8.94	5.56	1.11
<i>Punctelia microsticta</i> (Müll. Arg.) Krog	3.18	1.11	1.71	0.54	2.06	10.94	14
<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th. Fr.	0.24	0.26	0.12	-	-	0.11	1
<i>Teloschistes chrysopthalmus</i> (L.) Beltr.	5.00	4.95	1.82	0.92	4.65	8.00	0.74
<i>Parmotrema melanothrix</i> (Mont.) Hale.	1.24	0.47	0.29	-	0.12	1.89	0.26
<i>Caloplaca erythranta</i> (Tuck.) Zahlbr	0.24	0.05	0.06	0.85	0.29	-	-
<i>Physcia</i> sp. (A)	6.35	3.26	2.18	6	4.53	3.06	0.42
<i>Physcia</i> sp. (B)	-	-	-	-	-	-	0.11
<i>Lepraria</i> sp.	-	-	-	-	-	-	3.95
<i>Rimelia reticulata</i> (Taylor) Hale y Fletcher	-	-	-	-	-	-	1.58
<i>Rimeliella conferenda</i> Kurok	-	-	-	-	-	-	0.11
<i>Rimeliella uruguensis</i> Kurok	-	-	-	-	-	-	0.42
<i>Canomaculina muelleri</i> (Vain.) Elix y Hale	-	-	-	-	-	-	0.32
<i>Ramalina ecklonii</i> (Spreng.) Meyen y Flot.	-	-	-	-	-	-	0.05
<i>Usnea amblyoclada</i> (Müll. Arg.) Zahlbr.	-	-	-	-	-	-	0.05
I.P.A. área	82.71	69.95	66.88	67.54	70.47	74.94	68.00

entre ellas ($p= 0.19386$) y al comparar entre todas las áreas analizadas (5 urbanas y 2 testigo), no se hallaron diferencias estadísticamente significativas en

los valores de IPA ($p= 0.31771$), lo que evidencia la homogeneidad en la calidad del aire analizado con la metodología seguida en el presente trabajo.

CUADRO II. VALORES DEL IPA DE LOS ÁRBOLES MUESTREADOS. VALORES PROMEDIO (X) Y NÚMERO DE ÁRBOLES MUESTREADOS POR PARCELA

	Áreas Urbanas – Juana Koslay					Áreas Testigo	
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Parcela 5	Donovan	La Florida
	64	49	67	52	72	69	78
	68	21	93	59	91	60	54
	99	68	73	48	106	65	82
	50	36	59	57	72	74	59
	35	53	21	90	120	45	62
	34	66	69	68	55	68	45
	109	51	69	43	75	70	62
	83	83	74	79	62	97	60
	75	86	88	43	78	66	81
	73	67	52	99	53	70	75
	135	75	74	63	88	91	67
	139	72	65	93	66	99	45
	64	60	59	84	32	66	97
	110	121	44		60	51	64
	100	96	70		31	88	56
	71	83	87		64	91	54
	97	95	73		73	95	65
		73				84	85
		74					101
x	82.71	69.95	66.88	67.54	70.47	74.94	68.00
n	17	19	17	13	17	18	19
S	30.65	22.76	17.15	19.53	22.86	15.94	15.93

CUADRO III. VALORES DE RIQUEZA (S), ÍNDICE DE DIVERSIDAD SHANNON-WEAVER (H) Y EQUITATIVIDAD (J) DE LAS ÁREAS ESTUDIADAS

	Áreas Urbanas - Juana Koslay					Áreas Testigo	
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Parcela 5	Donovan	La Florida
S	11	11	11	9	10	10	18
H	1.78	1.63	1.41	1.31	1.30	1.40	1.44
J	0.87	0.84	0.76	0.70	0.72	0.67	0.73

Descripción de la comunidad: diversidad, riqueza y equitatividad

En la reserva floro-faunística La Florida, se encontró mayor cantidad de especies ($S=18$) en comparación con el área urbana y la testigo Donovan, que presentaron valores semejantes entre sí. Con respecto a la diversidad, los valores más altos corresponden a las parcelas 1 y 2 (área urbana). Por su parte, en los testigos se obtuvieron valores bajos de equitatividad, posiblemente por la baja cobertura que presentaron muchas de las especies allí presentes (**Cuadro III**).

Se realizó un análisis estadístico para comparar los valores de diversidad entre las áreas estudiadas. Para el análisis estadístico los datos de diversidad en cada árbol debieron ser normalizados. De la comparación entre todas las áreas analizadas (5 urbanas y 2 testigos), no se hallaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de diversidad ($p=0.12224$).

Orientación de los líquenes sobre el tronco

El análisis de la distribución de los líquenes sobre los troncos de los árboles mostró variaciones según

los puntos cardinales. Estos datos se tomaron sólo para las parcelas del área urbana y para el área testigo La Florida.

Para Juana Koslay se observó una predominancia clara de presencia de líquenes en la superficie orientada hacia el sur (28.31 % de los casos), siguiéndole la SE (con el 19.31 %) y finalmente la SW (el 19.82 % de las veces). La orientación que mostró menor presencia de individuos fue la N, con un 2 % del total, mientras que las ubicaciones NE y NW también se mostraron en valores bajos (**Fig. 3**). En el caso de La Florida, la NE es la que muestra mayor presencia líquénica, con porcentaje de 31.57 %, mientras que las N y E fueron las que siguieron (15.79 %). Las orientaciones del tronco hacia el S, SE y W fueron de 10.53 %, mientras que en la NW de 5.26 %. La que en ningún caso mostró una cobertura líquénica considerable fue la SW (**Fig. 4**).

DISCUSIÓN

En el presente estudio se realizó la comparación

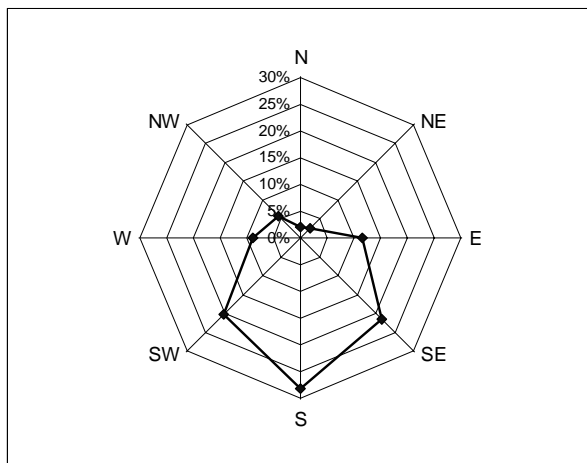


Fig. 3. Porcentaje de árboles con mayor presencia líquénica según los puntos cardinales, en la localidad de Juana Koslay

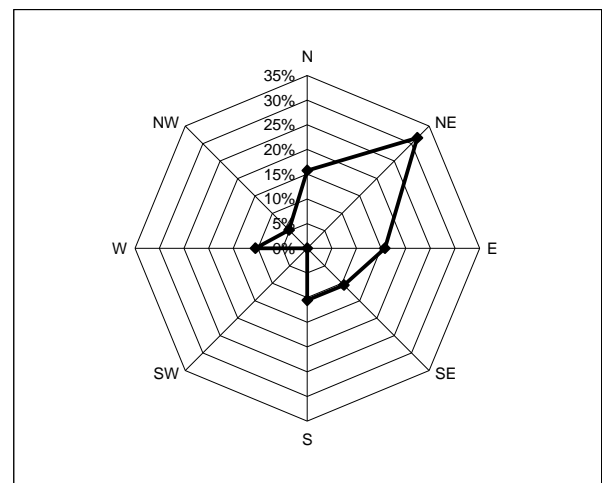


Fig. 4. Porcentaje de árboles con mayor presencia líquénica según los puntos cardinales en la reserva La Florida

entre un área urbana (con presencia de fuentes fijas y móviles de contaminación) y áreas testigo que no presentan fuentes de contaminación.

Con respecto a la distribución de los líquenes alrededor del tronco, Rubiano (1988) observó mayor número de especies en la cara opuesta a la fuente de contaminación. En el presente trabajo, la margen sur (de menor insolación), es donde se esperaba la mayor cantidad de líquenes. Esto se observó en el área urbana, donde la gran mayoría se ubicó en la dirección sur. En la reserva La Florida, la mayor presencia, se observó en la margen NE, donde hay más exposición a la radiación solar. Es probable que vientos con direcciones localmente modificadas por la topografía puedan influenciar la distribución de los líquenes en la corteza del árbol en este sector, y no necesariamente una fuente de contaminación como en el trabajo antes citado.

Los resultados obtenidos, utilizando el IPA como variable de análisis, no son los esperados, ya que no se encontraron diferencias significativas en cuanto a contaminación entre el área urbana y las áreas testigo.

Los valores del IPA pueden interpretarse como estimaciones de la calidad del aire: valores altos corresponderían a una condición de contaminación aérea baja, mientras que valores bajos indicarían una calidad de aire inferior. Por lo tanto, este índice aporta información sobre la disminución en el número de especies, su frecuencia y cobertura en la comunidad líquénica en estudio ante la presencia de ciertos contaminantes gaseosos, como SO_2 o NO_x (Asta *et al.* 2002, Loppi *et al.* 2002a).

Como una de las áreas testigo es una reserva provincial de flora y fauna, pueden confirmarse sus características de área "natural", pudiendo considerarse los datos del IPA obtenidos allí como de buena calidad del aire. De igual manera puede considerarse el área testigo Donovan, ubicada a pocos kilómetros del área de estudio y donde no hay registros de fuentes fijas de contaminación.

Si bien no se han medido los contaminantes generados por los hornos de ladrillo presentes en el área urbana, se sabe que para lograr la combustión se utiliza madera y combustibles fósiles. Esto, sumado a que los hornos funcionan de forma ininterrumpida a lo largo de todo el año, lleva a considerar que estas fuentes fijas de contaminación son un factor muy importante en la composición del aire de la zona urbana. A su vez, existe una fuerte presencia estacional en el uso de calefacción domiciliar, considerada como una fuente secundaria de contaminación. Por otro lado, como en toda área urbanizada, existe tránsito vehicular que aporta gases y partículas contami-

nantes. El aporte de todas las fuentes de contaminación probablemente afecte a las comunidades de líquenes, tal como lo indican los supuestos de la bioindicación.

Al analizar los valores del IPA en las distintas parcelas urbanas, se desprende que no existen diferencias entre ellas. Sin embargo, es interesante observar que la parcela 1 es la de mayor IPA de todo el muestreo, aún por encima de las áreas testigo. Esto resulta contradictorio con los supuestos de la metodología del uso de bioindicadores para determinar calidad de aire empleada en el presente estudio.

Como ya se mencionó, no existen antecedentes de estudios de bioindicación para la región utilizando IPA. Sin embargo, el método es ampliamente utilizado en otras regiones, aún bajo denominaciones como "LB: Lichen biodiversity" (Loppi *et al.* 2002c).

El cálculo del IPA se ha realizado siguiendo una técnica estandarizada por distintos autores, cuyo valor resulta de la suma de frecuencias individuales de las especies que son muestreadas en una cuadrícula. Cuando se observa el tipo y el número de especies presentes en las áreas y parcelas muestreadas (**Cuadro I**) y se analiza la contribución de cada una al valor del IPA de la zona, puede mostrar que existen variaciones. La conformación del valor final del IPA está muy influenciado por la presencia de algunas especies con frecuencias altas de aparición, como ocurre con *Buellia punctata* y *Physconia* sp. en el área urbana. En el área testigo La Florida, en cambio, se registran otras especies con frecuencias altas (por ej. *Punctelia microsticta*). Por otro lado, en el área de Reserva se muestrearon ciertas especies propuestas como sensibles (*Punctelia microsticta*, *Usnea amblyoclada*), y también mayor riqueza de especies, que desafortunadamente no se expresa en el valor final del IPA, ya que cada especie presenta una frecuencia baja de aparición.

Según Van Haluwyn y Van Herk (2002), existen siete factores principales que alteran el estado natural de las comunidades líquénicas: luz, temperatura, continentalidad, humedad, pH, eutrofización y efectos tóxicos de los contaminantes. Por ello, se mantuvo constante el tipo de sustrato, los muestreos se realizaron durante los meses estivales (estación húmeda), se evitó la alteración por radiación solar o viento muestreando siempre el lado del tronco con mayor presencia líquénica. Con esto se buscó disminuir el efecto de otras variables ambientales sobre las comunidades de líquenes, diferentes de la contaminación.

Dada la similitud entre los valores del IPA obtenidos en las áreas evaluadas y teniendo en cuenta todos

los factores que afectarían a las comunidades de líquenes, se podría afirmar que éstas son homogéneas desde el punto de vista de la contaminación del aire.

Los resultados del presente trabajo dejan planteados nuevos interrogantes en cuanto a la utilidad del IPA para la región estudiada. La similitud entre los ambientes en cuanto a contaminación que indican los valores de IPA no se expresa cuando se analizan parámetros de las comunidades, como la riqueza (S) de cada área. Los valores de riqueza del área urbana y de Donovan son similares, pero el número de especies en la reserva La Florida es mucho mayor y se destaca una cantidad elevada de taxa hallados que están ausentes en las otras zonas analizadas. A esto se agrega la presencia en la reserva de *Usnea amblyoclada* que, como ya se mencionó, es sensible a los contaminantes (Estrabou 1998).

La clara diferenciación en la riqueza de especies de un área con respecto a las otras, induce a pensar que hay diferencias en la calidad del aire de La Florida en comparación con los ambientes de Donovan y Juana Koslay, pero desafortunadamente el método aplicado no tendría la sensibilidad suficiente para detectarlo, al menos en la región analizada. Si se tiene en cuenta la riqueza entre las áreas, se podría considerar que la del área testigo La Florida, es diferente a la de Donovan y a la de las parcelas urbanas de Juana Koslay. Posiblemente, algunas de las especies encontradas en estas últimas sean tolerantes a los contaminantes allí presentes y logren desarrollarse en mayor magnitud, dando valores altos de frecuencia en la cuadrícula y, por consiguiente, en los valores del IPA. Por otro lado, algunas de las especies encontradas exclusivamente en el área testigo La Florida, podrían tomarse como especies sensibles.

Existen numerosas fórmulas de IPA para determinar las características de una comunidad de líquenes con relación a los contaminantes aéreos, sin embargo sólo en una de ellas se considera el número de especies, incluyendo otros factores como la toxifobia, lo que resulta difícil de estudiar en comunidades de las que se tiene poca información (Kricke y Loppi 2002). En vista de lo anterior, la fórmula utilizada y en vigencia, puede ser modificada incluyendo otros factores que la fortalezcan como la riqueza o equitatividad de las comunidades analizadas. La introducción de alguno de estos factores, podrían aportar mayor sensibilidad al método, especialmente en áreas de climas semidesérticos, donde el número de taxa es menor por la rigurosidad climática. Los esfuerzos que se observan en la literatura, no han sido tendientes a modificar la fórmula en este sentido.

Del análisis de la diversidad de especies en las áreas estudiadas, no se encontraron diferencias entre ellas. Posiblemente la baja diversidad que se observa en los

datos obtenidos (tanto en la zona urbana como en las testigo) se deba a un proceso de exclusión competitiva entre especies, que afecte este índice y no a un efecto de contaminación.

La perturbación del ambiente, las limitaciones fisiológicas que imponen los factores ambientales y la cantidad de recursos de la comunidad, son tres factores importantes, determinantes de la diversidad y de las propiedades ecológicas de las especies en la comunidad. En esta visión de las interacciones entre las estrategias ecológicas y la composición de la comunidad, las situaciones de estrés, de perturbación y la cantidad de recursos dan como resultado una baja diversidad de especies debido a causas muy diferentes. Las especies comunes en lugares con gran abundancia de recursos y escasa perturbación presentarán rasgos típicos de buenas especies competidoras. La máxima riqueza de especies en las comunidades vegetales aparece en lugares con niveles medios de perturbación, limitación y fertilidad. En los lugares muy fértiles, las especies con mayor capacidad competitiva desplazan a las competidoras menos efectivas y evitan su colonización. Por lo tanto, la diversidad de especies es baja debido a una exclusión competitiva. En lugares muy alterados o con fuertes limitaciones, sólo algunas especies con estrategias ecológicas especializadas para explotar dichos ambientes serán capaces de sobrevivir y también la diversidad de especies será baja (Mc Naughton y Wolf 1984).

Los datos encontrados en el presente trabajo, contradicen en cierto modo los principios del biomonitoreo (a mayor contaminación, menor diversidad y frecuencia de aparición de especies), pero cabe preguntarse si el método es aplicable sólo en áreas urbanas con fuerte presencia industrial o de tráfico vehicular con emanaciones de óxidos de azufre y de nitrógeno o puede ser útil para caracterizar un ambiente con otros contaminantes atmosféricos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece en especial a las licenciadas Betsabée Prieri y Lidia Ferraro por su colaboración en la identificación taxonómica de los líquenes utilizados en el presente estudio. Agradecemos al Dr. Antonio Mangione por su colaboración en aspectos estadísticos.

REFERENCIAS

Anderson D. L., Del Águila J. A. y Bernardon A. E. (1970). Las formaciones vegetales en la provincia

- de San Luis. Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA, Buenos Aires. Serie 2, Biología y Producción Vegetal 7, 153-162.
- Ariño Vila X., Azuaya García T. y Gómez-Bolea A. (1997). Els líquens com a bioindicadors de la qualitat atmosfèrica: el cas de la vall de Fumanya (Cercs, Barcelona). Butll. Inst. Cat. Hist. Nat. 65, 5-13.
- Asta J., Erhardt W., Ferretti M., Fornasier F., Kirschbaum U., Nimis P. L., Purvis O. W., Pirintsos S., Scheidegger C., van Haluwyn C. y Wirth V. (2002). Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. . En: *Monitoring with lichens-Monitoring lichens* (P. L. Nimis, C. Scheidegger y P. A. Wolseley, Eds.). Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 273-284.
- Bonham, C. D. (1989). Measurements for terrestrial vegetation. Wiley, New York, pp. 66-67.
- Brunialti G., Giordani P. (2003). Variability of lichen diversity in a climatically heterogeneous area (Liguria, NW Italy). *Lichenologist* 35, 55-69.
- Cabrera A. L. (1976). Fitogeografía de la República Argentina. Bol. Soc. Argent. de Bot. 14, 1-42.
- Calatayud Lorente V. y Sanz Sánchez M. J. (2000). *Guía de líquenes epífitos*. Ministerio de Medio Ambiente-Parques Nacionales, Serie Técnica, Madrid, 185 pp.
- Conti M. E. y Cecchetti G. (2001). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environ. Pollut.* 114, 471-492.
- Estrabou C. (1998). Lichens species identification and distribution according tolerance to airborne contamination in the city of Córdoba (Argentina). En: *Lichenology in Latin America: history, current knowledge and applications* (M. P. Marcelli y M. R. D. Seaward, Eds.). CETESB, Sao Paulo, pp.165-169.
- Ferretti M., Brambilla E., Brunialti G., Fornasier F., Mazzali C., Gioirdani P. y Nimis P. L. (2004). Reliability of different sampling densities for estimating and mapping lichen diversity in biomonitoring studies. *Environ. Pollut.* 127, 249-256.
- Geiser L. H., Deer C. C. y Dillman K. L. (1994). *Air quality monitoring on the Tongass National Forest. Methods and baselines using lichens*. United States, Department of Agriculture – Forest Service, Alaska, 85 pp.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Argentina). <http://www.indec.mecon.ar/webcenso/nacionales/datos/c6c1374.xls>
- Kinnunen H., Holopainen T. y Karenlampi L. (2003). Sources of error in epiphytic lichen variables mapped as bioindicators: needs to modify the Finnish standard. *Ecol. Indic.* 3, 1-11.
- Kricke R. y Loppi S. (2002). Bioindication: The I.A.P. approach. En: *Monitoring with lichens-Monitoring lichens* (P. L. Nimis, C. Scheidegger y P. A. Wolseley, Eds.). Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 21-37.
- Loppi S., Frati L., Paoli L., Bigagli V., Rossetti C., Bruscoli C. y Corsini A. (2004). Biodiversity of epiphytic lichens and heavy metal contents of *Flavoparmelia caperata* thalli as indicators of temporal variations of air pollution in the town of Montecatini Terme (central Italy). *Sci. Total Environ.* 326, 113-122.
- Loppi S. y Pirintsos S. A. (2003). Epiphytic lichens as sentinels for heavy metal pollution at forest ecosystems (central Italy). *Environ. Pollut.* 121, 327-332.
- Loppi S., Ivanov D. y Boccardi R. (2002a). Biodiversity of epiphytic lichens and air pollution in the town of Siena (Central Italy). *Environ. Pollut.* 116, 123-128.
- Loppi S., Giordani P., Brunialti G., Isocrono D. y Piervittori R. (2002b). Identifying deviations from naturalness of lichen diversity for bioindications purposes. En: *Monitoring with lichens-Monitoring lichens* (P. L. Nimis, C. Scheidegger y P. A. Wolseley, Eds.). Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 281-284.
- Loppi S., Giordani P., Brunialti G., Isocrono D. y Piervittori R. (2002c). A new scale for the interpretation of lichen biodiversity values in the Tyrrhenian side of Italy. *Bibliot. Lichenologica* 82, 237-243.
- Loppi S., Putorti E., Signorini C., Fommei S., Pirintsos S. A. y De Dominicis V. (1998). A retrospective study using epiphytic lichens as biomonitors of air quality: 1980 and 1996 (Tuscany, central Italy). *Acta Oecol.* 19, 405-408.
- Mc Naughton S. J. y Wolf L. L. (1984). *Ecología General*. Ediciones Omega, Barcelona, pp. 378-395.
- Naumann M. y Madariaga M. C. (2004). Atlas del Gran Chaco Sudamericano. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Hereje y Asoc. Buenos Aires, 95 pp.
- Nimis P. L. y Purvis O. W. (2002). Monitoring lichens as indicators of pollution. En: *Monitoring with lichens-Monitoring lichens* (P. L. Nimis, C. Scheidegger y P. A. Wolseley, Eds.). Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 7-10.
- Pignata M. L. (1998). Studies on lichens and atmospheric pollution in Argentina. En: *Lichenology in Latin America: history, current knowledge and applications* (M. P. Marcelli y M. R. D. Seaward, Eds.). CETESB, Sao Paulo, 155-164.

- Rubiano L. J. (1988). Líquenes como indicadores de contaminación en el Complejo Industrial de Betania y la Termoeléctrica de Zipaquira, Cundinamarca. *Acta Biol. Colombiana* 1, 95-125.
- Seinfeld J. H. (1978). *Contaminación atmosférica. Fundamentos físicos y químicos*. Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid, pp. 558.
- Servicio Meteorológico Nacional. Fuerza Aérea Argentina. Comando de Regiones Aéreas. <http://www.meteonet.com.ar>
- Van Dobben H. F., Wolterbeek H. Th., Wamelink G. W. W. y Ter Braak C. J. F. (2001). Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants. *Environ. Pollut.* 112, 163-169.
- Van Haluwyn C. y Van Herk C. M. (2002). Bioindication: The community approach. En: *Monitoring with lichens-Monitoring lichens* (P. L. Nimis, C. Scheidegger y P. A. Wolseley, Eds.). Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 39-64.