

**Evaluación de la calidad del aire  
para el logro de un transporte  
urbano sustentable en la ciudad de  
San Fernando del Valle de Catamarca  
Aplicación de biosensores**

Cañas, Martha Susana  
Ocampo, Alejandra Irupé  
Aybar, Carolina B. Mohaded  
Jasan, Raquel C.  
Palomeque, Luis I.  
Plá, Rita R.  
Moyano, Rodolfo G.  
Coronel, Ronald J.

**Evaluación de la calidad del aire  
para el logro de un transporte  
urbano sustentable en la ciudad de  
San Fernando del Valle de Catamarca**

---

**Aplicación de biosensores**

**Cañas, Martha Susana  
Ocampo, Alejandra Irupé  
Aybar, Carolina B. Mohaded  
Jasan, Raquel C.  
Palomeque, Luis I.  
Plá, Rita R.  
Moyano, Rodolfo G.  
Coronel, Ronald J.**



**Evaluación de la calidad del aire para el logro de un transporte urbano sustentable en la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca**  
**Aplicación de biosensores**

Biomonitoreo y transporte urbano sustentable en SFV Catamarca  
- Informe PFIP / Martha Susana Cañas ... [et.al.]. - 1a ed. - Catamarca : Editorial Científica  
Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca, 2013.  
57 p. ; 20x14 cm.

ISBN 978-987-661-149-7

1. Ecología. I. Cañas, Martha Susana  
CDD 304.28

Diseño y diagramación interior y tapa:

Impreso en Argentina - Printed in Argentina

ISBN: 978-987-661-149-7

Queda hecho el depósito que marca la ley N° 11.723

Editorial Científica Universitaria -2016-

Avda. Belgrano 300 - Edif. Pab. Variante I. 2do. Piso Predio Universitario

C.P. 4700 - San Fernando del Valle de Catamarca

Catamarca - Argentina

## RESUMEN

En este informe se presentan los resultados de un estudio de calidad de aire mediante biomonitores/biosensores realizado en el año 2009, en el área central de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca (SFVC). La ubicación de los sitios de monitoreo fue sugerida por la Dirección Provincial de Transporte y la Dirección Ejecutiva del Plan de Desarrollo Urbano Ambiental (P.U.A.) de la Municipalidad de SFVC. La selección incluyó un sitio ubicado en las proximidades de la Estación Terminal de Ómnibus, y siete sitios del micro centro de la ciudad correspondientes a dos corredores del Transporte Urbano de Pasajeros existentes al momento del estudio: corredor Esquiú y corredor Chacabuco. Así mismo, se establecieron cuatro sitios de menor tránsito ubicados por fuera de esta área que sirvieron de control para el estudio. Los sitios de monitoreo fueron caracterizados de acuerdo al tipo de vehículo que circula y la frecuencia vehicular; y a los mismos se trasplantaron en bolsa sobre postes, líquenes de la especie *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale empleados como biomonitores. Luego de tres meses de exposición, éstos se analizaron en laboratorio para la cuantificación de metales pesados y elementos traza (*parámetros de acumulación* de elementos presentes en el aire), y determinación de parámetros químico-fisiológicos (*parámetros de respuesta* del líquen ante la presencia de polutantes). Con algunos de estos

parámetros se calculó un *Índice de Polución (I.P.)*, que expresa el grado de afectación del biomonitor relacionado a la calidad del aire a la que está expuesto en el sitio de monitoreo.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis estadísticos univariados, bivariados y multivariados. Para los elementos químicos cuantificados y en cada sitio de monitoreo se calculó también un *Índice de Carga (I.C.)*, que expresa el grado de enriquecimiento o acumulación elemental en los líquenes trasplantados.

En general, en los sitios monitoreados se detectó la presencia en el biomonitor de algunos elementos característicos de emisiones vehiculares (Pb, Pd, S, Sb, Zn) en concentraciones similares a las encontradas en líquenes expuestos a otras áreas urbanas, tales como la ciudad de Córdoba. El contenido de Sb fue significativamente mayor en los sitios correspondientes a los corredores de transporte urbano de pasajeros respecto de los sitios de bajo tránsito. La concentración de este elemento correlacionó positivamente con las frecuencias de taxis, motos y colectivos, así como con la frecuencia vehicular total.

La mayor bioacumulación multielemental se observó en sitios correspondientes al corredor Chacabuco (dos de ellos fueron, de todos los monitoreados, los de mayor tránsito), como así también en un sitio de bajo tránsito ubicado en una zona de talleres mecánicos (Buenos Aires esq. Maipú). La menor bioacumulación se verificó en sitios pertenecientes al corredor Esquiú, y en un sitio de bajo nivel de tránsito sin registro de circulación de colectivos (Samuel Molina esq. Lavalle).

Fue, así mismo, baja la acumulación de elementos provenientes de emisiones vehiculares en líquenes trasplantados en proximidades de la Estación Terminal de Ómnibus. Los valores de acumulación intermedios observados en dos sitios poco

transitados (Pje. Sánchez Gardel esq. Caseros; República esq. Pje. Amalia), pueden atribuirse a otras posibles fuentes de emisión presentes en la ciudad.

No se detectaron diferencias significativas entre sitios de monitoreo, respecto de los valores de los parámetros marcadores de respuesta en los líquenes trasplantados. Tampoco se detectaron correlaciones significativas entre éstos y la frecuencia de tránsito vehicular en cada sitio. Más aún, los valores obtenidos para el I.P. fueron similares en los distintos sitios de monitoreo. Esto probablemente se deba a que los niveles de inmisión en el centro de SFVC no son lo suficientemente elevados como para producir una respuesta diferencial en el biomonitor trasplantado a los distintos sitios; o bien, debido al efecto de dispersión y/o barrido de los polutantes producido por los fuertes y frecuentes vientos imperantes en el valle de Catamarca.

Por tanto, en SFVC el empleo de biomonitores permitió detectar en el aire elementos provenientes principalmente de tránsito vehicular; siendo los contenidos en líquenes similares a los de estos organismos expuestos a otras áreas urbanas. Esto demuestra que las fuentes móviles constituyen un factor determinante de la calidad del aire de la ciudad. En ciertos sitios, se detectaron, además, posibles aportes de otras fuentes de emisión tales como talleres mecánicos y ejecución de una obra civil.

Respecto del Sistema de Transporte Urbano de Pasajeros, y sobre la base de la acumulación elemental en el biomonitor, se estima que en general la calidad del aire durante el período de estudio fue inferior en sitios correspondientes al corredor Chacabuco. No obstante, considerando la respuesta químico-fisiológica del biomonitor y el I.P., se infiere una cierta



homogeneidad de la calidad del aire en los distintos sitios monitoreados, aun aquellos caracterizados por bajos niveles de tránsito.

Los resultados del presente trabajo se constituyen en líneas de base de calidad de aire inferida a partir de biomonitores para el área central de SFVC. Los mismos podrán emplearse para un futuro seguimiento ambiental aplicando como herramienta el monitoreo biológico mediante trasplante de líquenes, en un marco de gestión de la calidad del aire para el logro de un transporte urbano sustentable en la ciudad.

## SÍMBOLOS QUÍMICOS

Al	Aluminio
As	Arsénico
B	Boro
Ba	Bario
Be	Berilio
Br	Bromo
Cd	Cadmio
Ce	Cerio
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cs	Cesio
Cu	Cobre
Eu	Europio
Fe	Hierro
Hf	Hafnio
La	Lantano
Lu	Lutecio
Mg	Magnesio
Na	Sodio
Nd	Neodimio
Ni	Níquel
Pb	Plomo
Pd	Paladio
Rb	Rubidio
S	Azufre
Sb	Antimonio
Sc	Escandio
Se	Selenio
Sm	Samario

Ta	Tantalio
Tb	Terbio
Th	Torio
U	Uranio
V	Vanadio
Yb	Iterbio
Zn	Cinc

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	13
2. METODOLOGÍA.....	17
2.1. Área de estudio .....	17
2.2. Selección de sitios de monitoreo .....	18
2.3. Caracterización de los sitios de monitoreo .....	18
2.4. Material liquénico y trasplante .....	19
2.5. Análisis de laboratorio.....	24
2.5.1. Determinación del contenido de agua .....	25
2.5.2. Cuantificación de pigmentos .....	25
2.5.3. Cuantificación de malondialdehído .....	26
2.5.4. Cuantificación de azufre .....	26
2.5.5. Análisis de composición multielemental mediante INAA .....	26
2.5.6. Análisis de metales pesados mediante ICP-MS .....	27
2.5.7. Determinación de un Índice de Polución (I.P.) .....	28
2.5.8. Determinación de un Índice de Carga (I.C.) .....	28
2.6. Análisis estadísticos .....	29
2.6.1. Análisis univariados .....	29
2.6.2. Análisis bivariados .....	29
2.6.3. Análisis multivariado .....	29
3. RESULTADOS .....	30
3.1. Estimación de la calidad del aire a partir de la composición multielemental en el biomonitor .....	30
3.2. Estimación de la calidad del aire a partir de parámetros fisiológicos y un Índice de Polución.....	40
4. CONCLUSIONES .....	45
5. REFERENCIAS .....	46
ANEXO 1. Ilustraciones .....	51
ANEXO 2. Tablas generales .....	53



## 1 INTRODUCCIÓN

La ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca (SFVC), muestra actualmente una urbanización en expansión, con una serie de problemas ambientales derivados de la misma. Así, en un diagnóstico realizado por el municipio en el marco del Plan de Desarrollo Urbano Ambiental (P.U.A.), se considera entre otros aspectos de importancia, la polución del aire en la ciudad [1]. En el P.U.A. se puntualiza la presencia de algunas fuentes fijas dentro del ejido municipal, a la vez que se considera al tránsito vehicular como el principal emisor de polutantes, fundamentalmente en el área del microcentro. Esta es el área de mayor afluencia de vehículos tanto particulares como del transporte público de pasajeros, por lo cual, en horas pico, el tránsito se convierte en un problema crucial para la funcionalidad de la ciudad.

Así mismo, el transporte automotor representa el mayor emisor de contaminantes en el Área Gran Catamarca (capital más zona de influencia). De acuerdo a datos suministrados por la Dirección Provincial de Transporte, el 100 % del transporte público de pasajeros funciona actualmente con gasoil, mientras que la nafta y el gas natural comprimido (GNC) quedan reservados para automóviles particulares, taxis y remises, estos últimos muy numerosos en el medio. Debido al acelerado crecimiento poblacional de la ciudad de SFVC y sus departamentos aledaños, el parque automotor de la capital de la provincia se vio marcadamente acrecentado en los últimos años, con el consecuente deterioro ambiental de la misma. Surgen así el diagnóstico y el monitoreo como etapas clave en la gestión de la calidad del aire en la ciudad, siendo los biomonitores o biosensores una alternativa válida y viable para tal fin.

Las técnicas de biomonitoreo/bioindicación consideran la respuesta de un organismo ante determinadas condiciones de polución. Los or-

ganismos que permiten cuantificar la calidad del aire y cuyos parámetros cambian en respuesta a la polución se denominan biomonitores [2]. Estos pueden clasificarse en "sensitivos" o "acumulativos". Los biomonitores sensitivos pueden ser usados como integradores del estrés causado por contaminantes, y como un sistema de alarma preventivo. Los bioindicadores acumulativos tienen la habilidad de almacenar contaminantes en sus tejidos y son usados para la medición integrada de las concentraciones de contaminantes en el ambiente [3]. Actualmente, los líquenes son utilizados como biomonitores en muchas ciudades del mundo, incluso de Argentina [4, 5, 6]. Esto representa una importante contribución para este país, ya que las mediciones de material particulado y otros tipos de polutantes requieren de equipamiento técnico costoso, no disponible aún en la mayoría de las ciudades.

El empleo de líquenes como biomonitores de acumulación se debe a su capacidad específica de absorber y/o retener diversos elementos desde la atmósfera, asociado a su longevidad cuando se emplean especies "in situ" y a su resistencia al estrés ambiental. El biomonitoreo asume que la concentración de elementos traza en líquenes refleja las concentraciones promedio de material particulado en el aire y la deposición tanto húmeda como seca de polutantes durante un período determinado [7]. Más aún, el contenido de metales en ciertas especies liquénicas permite inferir la proporción de estos elementos en el ambiente [8]. De acuerdo a Basile et al. (2008) (2), la composición elemental del talo refleja de manera integrada, los elementos gaseosos, disueltos o particulados presentes en la atmósfera.

En líquenes empleados, además, como biomonitores sensitivos, se analizan parámetros bioquímicos y químico-fisiológicos como marcadores de la respuesta del organismo a la polución. En este sentido, en el biomonitor las alteraciones metabólicas son usualmente las primeras respuestas cuantificables que permiten detectar rápidamente la

presencia de contaminantes, su acción aditiva o sinérgica y el grado de alteración ocasionado sobre el organismo [9]. Las respuestas fisiológicas en un bioindicador han sido propuestas como indicadoras aún de bajos niveles de contaminación, ya que si bien la concentración de algunos contaminantes en el aire puede no ser lo suficientemente elevada como para ser detectada por métodos convencionales (monitoreo por sensores químicos), ésta puede provocar modificaciones permanentes en un bioindicador por efecto acumulativo [10].

En aquellas áreas donde los líquenes frecuentemente están ausentes, comúnmente se emplean técnicas de trasplante para monitorear la calidad del aire [11-14]. No obstante, la aplicación de estas técnicas a situaciones complejas tales como áreas urbanas requiere, no sólo de la cuantificación de varios parámetros en el liquen, sino también de una combinación de éstos a través de índices que sean sensibles a las modificaciones de la calidad atmosférica que se pretende evaluar [15]. Por tal motivo, González y Pignata (1994) [16] propusieron un índice de polución (I.P.) en el cual se relacionan diferentes parámetros de respuesta químico-fisiológica y el contenido de azufre como parámetro de acumulación.

En este informe se presentan los resultados de un estudio de calidad de aire mediante biomonitores realizado en el año 2009, en el área central de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca; de acuerdo a un muestreo que consideró sitios ubicados en los corredores de Transporte Urbano de Pasajeros. Se presentan datos de composición multielemental (parámetros de acumulación), de parámetros químico-fisiológicos (parámetros de respuesta) y del índice I.P., determinados en líquenes empleados como biomonitores. Sobre la base de la información obtenida, se caracterizan los sitios de muestreo, relacionando la calidad relativa del aire con los niveles de tránsito vehicular en los mismos. Se hace referencia, así mismo, a otras posibles fuentes de emisión de polutantes detectadas en el



área de estudio. Este diagnóstico de calidad de aire se constituye en una línea de base para un posterior seguimiento y control ambiental de la misma.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Área de estudio

La ciudad de SFVC, capital de la provincia de Catamarca (Argentina), se encuentra emplazada a los  $28^{\circ} 28' 02''$  S y  $65^{\circ} 46' 51''$  O, a una altura de 545 m s.n.m. Está ubicada en el denominado valle de Catamarca o valle central, extensa depresión tectónica delimitada al oeste por la Sierra de Ambato-Manchao y al este por la Sierra de El Alto – Ancasti. Su límite norte está dado por las últimas estribaciones de las Sierras de Fariñango y Gracianas, las cuales descienden hasta hundirse en el relleno cuartario un poco al norte y este, respectivamente, de la ciudad capital. Fitogeográficamente, corresponde a la Región del Chaco Árido [17], Provincia Chaqueña [18]. El clima es semi-árido, con un promedio de precipitación anual que oscila entre los 300 y 360 mm. Las lluvias se concentran en verano, cayendo el 50 % de las mismas de diciembre a febrero. El resto se distribuye casi totalmente entre octubre, noviembre, marzo y abril, de modo que existe un período muy seco de mayo a septiembre que corresponde así mismo al período con probabilidad de ocurrencia de heladas. La temperatura media anual para la ciudad capital es de  $20,2^{\circ}\text{C}$ , promediando  $27,7^{\circ}\text{C}$  la temperatura del mes más cálido (enero) y  $10,8^{\circ}\text{C}$  la del mes más frío (julio) [19]. Los vientos predominantes son del NEE con velocidades entre los 10 a 30 km /hora, y del S y SO que no superan los 10 km /hora.

La jurisdicción del Municipio de SFVC coincide con el límite del Departamento Capital ( $684\text{ Km}^2$ ), por lo que adquiere el carácter de un municipio territorial. Cuenta con una población de 160.058 habitantes [20], a la cual deben agregarse los pobladores de los departamentos aledaños (Valle Viejo y Fray Mamerto Esquiú, con 28.291 y 11.751 habitantes, respectivamente), los cuales conforman el "Gran Catamarca".

Con una densidad poblacional de 354 hab./Km<sup>2</sup>, se caracteriza por concentrar toda la actividad comercial y administrativa en un área de aproximadamente 1,5 Km<sup>2</sup>. Dentro de la misma se encuentra el microcentro, que es el área cívico-comercial dentro del trazado fundacional de cuadrícula hispánica. Las vías que encierran el amanzanamiento fundacional hacen de anillo colector donde desembocan las vías principales de acceso a la Capital.

## 2.2 Selección de sitios de monitoreo

La ubicación de los sitios de monitoreo (Fig. 1) fue sugerida por la Dirección Provincial de Transporte y la Dirección Ejecutiva del Plan de Desarrollo Urbano Ambiental (P.U.A.) de la Municipalidad de SFVC. La selección incluyó sitios del microcentro de la ciudad considerados *a priori* críticos por sus niveles de tránsito vehicular (sitios 1-8). Los mismos correspondieron a dos de los corredores del Transporte Urbano de Pasajeros existentes al momento del estudio, a saber: corredor Esquiú y corredor Chacabuco. El sitio 1 se ubicó en las proximidades de la Estación Terminal de Ómnibus. Así mismo, se establecieron otros sitios de menor tránsito ubicados por fuera de esta área (sitios 9-12), que sirvieron de control para el estudio.

## 2.3 Caracterización de los sitios de monitoreo

En cada sitio de monitoreo se registró por el período de una hora (entre 12:30 y 13:30 hs., correspondiente a uno de los dos picos diarios de tránsito), el tipo de vehículo y la frecuencia, medida como la cantidad de vehículos que pasan por el lugar en ese intervalo de tiempo. El registro se realizó durante tres (3) días consecutivos, y los resultados se presentan como valores medios ( $\pm$  Desvío Estándar) para cada sitio (Tabla 1).

Con respecto al Transporte Público de Pasajeros, en la Tabla 2 se presenta la cantidad de unidades (media  $\pm$  desvío estándar) corres-

pondientes a cada empresa que circula por cada sitio seleccionado para el biomonitoreo. En la Tabla 3 se muestra el tipo de unidades y modelo para cada línea de Transporte Urbano y Suburbano de Pasajeros, según información suministrada por la Dirección Provincial de Transporte.

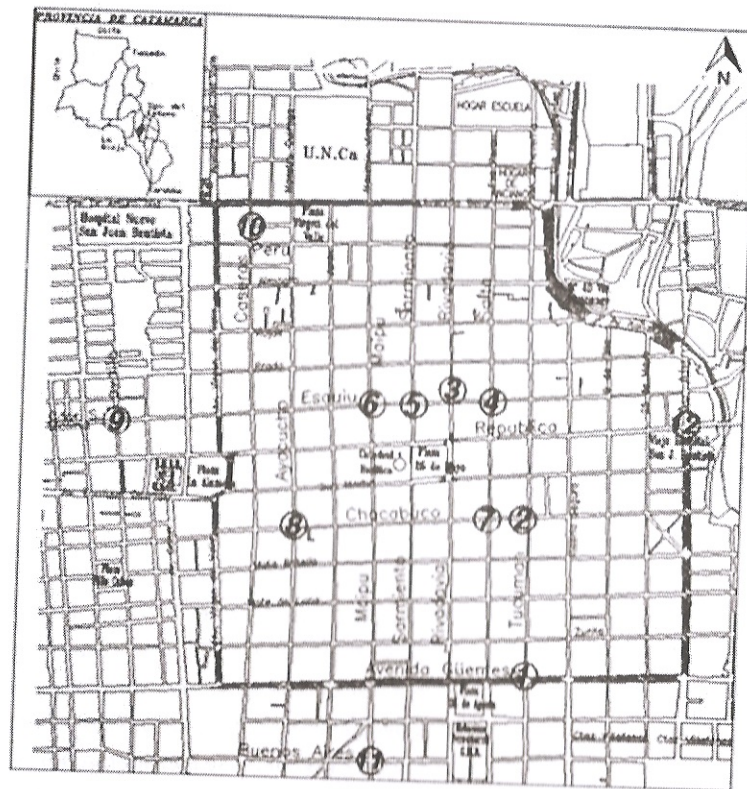
A fin de georeferenciar cuando sea necesario la información obtenida en este estudio a partir del monitoreo, se registraron las coordenadas y la cota de cada sitio de muestreo. Estos datos se presentan en la Tabla 4.

## 2.4 Material líquénico y trasplante

Como biomonitor se empleó el líquen folioso *Parmotrema austrosi-nense* (Zahlbr.) Hale (Anexo I, Ilustr. 1). Los talos fueron colectados en un área poco antropizada en las cercanías de la localidad de Coneta (Departamento Capayán; Anexo 1, Ilustr. 2), y con los mismos se prepararon bolsas líquénicas de acuerdo a la metodología descrita por González y Pignata (1994) [16]. Para ello, los líquenes fueron cuidadosamente limpiados a fin de eliminar material extraño, así como restos de corteza de los arbustos que les sirven de soporte. Posteriormente, fueron colocados en bolsas de malla de nylon (bolsas líquénicas; aproximadamente 20 talos por bolsa), las cuales se consideran unidades experimentales en el monitoreo (Anexo 1, Ilustr. 3).

En julio de 2009, en cada sitio de monitoreo se trasplantaron tres bolsas líquénicas sobre diferentes postes, donde permanecieron expuestas durante un período de tres meses. Transcurrido dicho período, en el laboratorio el material líquénico fue triturado a fin de obtener homogeneidad, y conservado a - 15 °C en oscuridad hasta el momento de su análisis.





**Figura 1.** Ubicación de los sitios de monitoreo en la ciudad de SFVC. (1) Tucumán esq. Güemes; (2) Chacabuco esq. Tucumán; (3) Esquiú esq. Rivadavia; (4) Esquiú esq. Salta; (5) Esquiú esq. Sarmiento; (6) Esquiú esq. Maipú; (7) Chacabuco esq. Salta; (8) Ayacucho esq. Chacabuco; (9) Samuel Molina esq. Lavalle; (10) Pje. Sánchez Gardel esq. Caseros; (11) Buenos Aires esq. Maipú; (12) República esq. Pje. Amalia.

**Tabla 1.** Frecuencia vehicular (cantidad de vehículos/hora) en cada sitio seleccionado para el biomonitoreo de calidad de aire en la ciudad de SFVC. Los valores corresponden a la media aritmética  $\pm$  el desvío estándar.

Sitio	Automóviles particulares	Taxis/remises	Motos	Colectivos	Camiones	Total
1	595 $\pm$ 176	204 $\pm$ 39	319 $\pm$ 84	57 $\pm$ 1	25 $\pm$ 4	1199 $\pm$ 294
2	813 $\pm$ 115	215 $\pm$ 33	337 $\pm$ 81	69 $\pm$ 4	4 $\pm$ 2	1439 $\pm$ 205
3	664 $\pm$ 65	282 $\pm$ 82	213 $\pm$ 15	74 $\pm$ 2	21 $\pm$ 13	1254 $\pm$ 78
4	534 $\pm$ 259	273 $\pm$ 82	259 $\pm$ 63	103 $\pm$ 22	0	1169 $\pm$ 400
5	668 $\pm$ 140	258 $\pm$ 66	177 $\pm$ 42	81 $\pm$ 8	9 $\pm$ 11	1193 $\pm$ 181
6	837 $\pm$ 39	245 $\pm$ 27	228 $\pm$ 47	66 $\pm$ 18	2 $\pm$ 2	1377 $\pm$ 95
7	585 $\pm$ 263	325 $\pm$ 149	335 $\pm$ 131	135 $\pm$ 19	0	1380 $\pm$ 528
8	824 $\pm$ 282	204 $\pm$ 74	224 $\pm$ 74	44 $\pm$ 19	3 $\pm$ 1	1299 $\pm$ 433
9	397 $\pm$ 31	82 $\pm$ 11	169 $\pm$ 13	0	7 $\pm$ 1	654 $\pm$ 47
10	417 $\pm$ 35	69 $\pm$ 5	177 $\pm$ 31	3 $\pm$ 1	5 $\pm$ 2	671 $\pm$ 44
11	309 $\pm$ 84	95 $\pm$ 25	253 $\pm$ 14	2 $\pm$ 2	12 $\pm$ 5	670 $\pm$ 129
12	255 $\pm$ 5	33 $\pm$ 6	107 $\pm$ 11	0	3 $\pm$ 3	399 $\pm$ 10

**Tabla 2.** Cantidad de unidades (media  $\pm$  desvío estándar) correspondientes a cada empresa de transporte que circula por cada sitio seleccionado para el biomonitoreo de calidad de aire en la ciudad de SFVC.

Punto	El Nene S.R.L.	Líneas GM S.R.L.	Coop. San Fernando Ltda.	25 de Agosto S.R.L.	Varias
1	15 $\pm$ 1	12 $\pm$ 0	11 $\pm$ 1	12 $\pm$ 0	7 $\pm$ 1
2	31 $\pm$ 1	24 $\pm$ 0	6 $\pm$ 0	0	7 $\pm$ 5
3	23 $\pm$ 8	35 $\pm$ 5	9 $\pm$ 1	7 $\pm$ 3	0
4	24 $\pm$ 7	46 $\pm$ 7	11 $\pm$ 4	21 $\pm$ 5	0
5	23 $\pm$ 2	37 $\pm$ 4	15 $\pm$ 2	6 $\pm$ 2	1 $\pm$ 1
6	16 $\pm$ 4	21 $\pm$ 8	13 $\pm$ 3	16 $\pm$ 9	0
7	38 $\pm$ 14	59 $\pm$ 6	20 $\pm$ 0	18 $\pm$ 3	0
8	22 $\pm$ 2	17 $\pm$ 15	0	5 $\pm$ 4	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	3 $\pm$ 1	0	0
11	0	1 $\pm$ 1	0	0	1 $\pm$ 1
12	0	0	0	0	0

**Tabla 3.** Tipo de unidades y modelo para cada línea de Transporte Urbano y Suburbano de Pasajeros, correspondientes a las diferentes empresas que circulan por la ciudad de SFVC.

Razón Social de la Empresa	Línea	Unidades		Modelo Promedio	Tipo de Línea
		Cantidad	Tipo		
Coop. San Fernando Ltda.	101	7	Grande	2007/2008	Urbana
Coop. San Fernando Ltda.	101-A	4	Grande	2007	Urbana
Coop. San Fernando Ltda.	101-Variante	4	Grande	2008	Urbana
Coop. San Fernando Ltda.	109	16	Grande	1998	Urbana
Coop. San Fernando Ltda.	109-A	4	Chico	1996	Urbana
Coop. San Fernando Ltda.	102	4	Grande	2007	Urbana
El Nene S.R.L.	104	22	Grande	2006	Urbana
El Nene S.R.L.	106	8	Grande	2005	Urbana
El Nene S.R.L.	104-B <sup>o</sup> Milagro	2	Grande	2008	Urbana
El Nene S.R.L.	104-Rapido	4	Grande	2008	Urbana
25 de Agosto S.R.L.	201	17	Grande	2005	Suburbana
25 de Agosto S.R.L.	203	4	Chico	2004	Suburbana
Líneas GM S.R.L.	103	7	Grande	1995	Urbana
Líneas GM S.R.L.	103-A y B	8	Grande	1991	Urbana
Líneas GM S.R.L.	103-Rapido	4	Chico	1993	Urbana
Líneas GM S.R.L.	105-Rapido	4	Chico	1998	Urbana
Líneas GM S.R.L.	105-A y B	6	Grande	1992	Urbana
Líneas GM S.R.L.	202	8	Grande	1994	Suburbana
Líneas GM S.R.L.	202-Sumalao	1	Grande	1994	Suburbana
Líneas GM S.R.L.	204	6	Grande	1998	Suburbana
Líneas GM S.R.L.	204-Portezuelo	1	Grande	1994	Suburbana
Líneas GM S.R.L.	204-Sumalao	2	Grande	1994	Suburbana
Líneas GM S.R.L.	207	4	Chico	1990	Suburbana

Información suministrada por la Dirección Provincial de Transporte.



**Tabla 4.** Coordinada y cota de los sitios seleccionados para el biomonitorio de calidad de aire en la ciudad de SFVC.

Sitio	Latitud S	Longitud O	Altitud (m s.n.m.)
1	28° 28' 36"	65° 46' 34"	516
2	28° 28' 14"	65° 46' 31"	517
3	28° 28' 01"	65° 46' 42"	524
4	28° 28' 01"	65° 46' 37"	520
5	28° 28' 01"	65° 46' 47"	528
6	28° 28' 02"	65° 46' 53"	533
7	28° 28' 15"	65° 46' 36"	520
8	28° 28' 16"	65° 47' 02"	540
9	28° 28' 05"	65° 47' 27"	562
10	28° 27' 41"	65° 47' 10"	547
11	28° 28' 43"	65° 46' 51"	528
12	28° 28' 03"	65° 46' 14"	517

## 2.5 Análisis de laboratorio

La determinación de los parámetros químico-fisiológicos en el biomonitor se realizó según técnicas espectrofotométricas específicas, ya validadas en trabajos anteriores para la especie de líquen utilizada. Se analizaron la concentración de malondialdehído (MDA) y el contenido de clorofilas, feofitinas y carotenoides. Así mismo se cuantificaron metales pesados y elementos traza, empleando para ello dos métodos analíticos: Análisis por Activación Neutrónica Instrumental (INAA) y Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS). El contenido de azufre se analizó mediante un método turbidimétrico.

Todas las determinaciones se realizaron en tres submuestras independientes extraídas de cada bolsa líquénica (unidad experimental). Parte del material fresco sin trasplantar fue así mismo analizado, a fin de obtener un nivel basal para el estudio.

### 2.5.1. Determinación del contenido de agua

Dado que para interpretar procesos fisiológicos es necesario conocer el grado de hidratación del líquen, se calculó el contenido de agua de las muestras. Para ello, 1 g de material fresco fue colocado en estufa a  $60 \pm 2$  °C hasta alcanzar peso constante. El contenido de agua fue calculado por diferencia entre el peso fresco (P.F.) y el peso seco (P.S.) y se expresó como g/g P.F.

### 2.5.2. Cuantificación de pigmentos

Se homogeneizaron 100 mg de material líquénico en 10 mL de etanol al 96 % v/v a temperatura ambiente. Luego de 15 minutos se separó el sobrenadante y en el mismo se midió la absorbancia de clorofilas (665 y 649 nm) y carotenoides (470 nm). Posteriormente se agregó 1 mL HCl 0,06 M a 5 mL del extracto de clorofilas a fin de lograr la formación de feofitinas. Luego de 10 minutos se registró la absorbancia de feofitinas a 666 y 654 nm. En todos los casos las mediciones se realizaron con un espectrofotómetro *Labomed UV-2502*. Sobre la base de peso seco se calcularon las concentraciones (en mg/g) de clorofilas (Clor. a, Clor. b y Clor. Total como Clor. a + Clor. b) y carotenoides, de acuerdo a Lichtenthaler y Wellburn (1983) [21]. Las concentraciones de feofitinas (Feof. a, Feof. b y Feof. Total como Feof. a + Feof. b) fueron calculadas según Wintermans y De Mots (1965) [22]. Se obtuvo, además, el cociente Clor. b/Clor. a y el índice de feofitinización Feof. a/Clor. a.

### 2.5.3. Cuantificación de malondialdehído

Se midió la concentración de malondialdehído (MDA) mediante un método colorimétrico [23]. Se homogeneizaron 50 mg de material liquénico en 2,5 mL de agua destilada, agregándose luego un volumen igual de TBA (ácido 2-tiobarbitúrico) al 0,5% en solución de TCA (ácido tricloroacético) al 20%. Las muestras se incubaron a 95 °C durante 30 minutos y posteriormente fueron centrifugadas a 1.800 r.p.m. durante 30 minutos. Se separó el sobrenadante, se leyó la absorbancia específica a 532 nm y la no específica a 600 nm con un espectrofotómetro *Labomed UV-2502*. El contenido de MDA fue calculado a partir del coeficiente de extinción molar  $\epsilon = 155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  [24]. Los resultados se expresaron en  $\mu\text{mol/g P.S.}$

### 2.5.4. Cuantificación de azufre

A 0,5 g de material liquénico se agregaron 5 mL de una solución saturada de  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ , calentando hasta sequedad en un calentador eléctrico. Posteriormente la muestra fue colocada en mufla a 500 °C durante 30 minutos. Las cenizas fueron suspendidas en 10 mL de HCl 6 M, se filtró, y la solución resultante fue llevada a ebullición durante 3 minutos, enrasándose luego hasta un volumen de 50 mL con agua destilada. El contenido de  $\text{SO}_4^{2-}$  en la solución fue determinado por un método turbidimétrico en suspensión ácida con  $\text{BaCl}_2$  y la absorbancia fue medida a 420 nm [16], con un espectrofotómetro *Labomed UV-2502*. A partir de una curva de calibración, preparada con estándares de  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , fue calculado el contenido de azufre en cada muestra. La concentración se expresó en  $\text{mg/g P.S.}$

### 2.5.5. Análisis de composición multielemental mediante INAA

En el Centro Atómico Ezeiza de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), se cuantificaron algunos metales pesados y elementos traza mediante Análisis por Activación Neutrónica Instrumental

(INAA). Para ello, las muestras liquénicas fueron molidas mediante un molino criogénico *Spex CentiPrep 6750*, y liofilizadas por 24 horas. Muestras de alrededor de 300 mg de material liofilizado fueron pastilladas y envasadas para su posterior irradiación.

Las muestras fueron irradiadas junto con los materiales de referencia certificados NIST SRM 1633b Coal Fly Ash y IAEA/V – 10 Hay Powder, durante 4 horas en el reactor RA-3 (flujo térmico  $3.10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 8 MW), perteneciente al Centro Atómico Ezeiza (Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA). Se realizaron dos mediciones con tiempos de decaimiento de 7 y 30 días para la determinación de As, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb y Zn. Se utilizaron detectores de GeHP Ortec (30% de eficiencia, 1.9 keV de resolución para el pico de 1332.5 keV de  $^{60}\text{Co}$ ), un módulo buffer multicanal *Ortec 919E* y el software de adquisición de datos *Gamma Vision*. El cálculo de concentraciones se realizó a través de programas desarrollados en el Laboratorio de Técnicas Analíticas Nucleares (CNEA). La concentración se expresó en ppm.

### 2.0.6. Análisis de metales pesados mediante ICP-MS

Para el análisis elemental mediante Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS), 1 g de material liquénico seco fue reducido a cenizas a 650 °C durante 4 hs. Estas se sometieron a digestión ácida con una mezcla de HCl 18 % v/v -  $\text{HNO}_3$  concentrado (25:5 por vol.) a calor moderado. El residuo sólido fue posteriormente eliminado por centrifugación y la solución resultante fue diluida con agua milli Q hasta un volumen final de 50 mL.

El contenido de Al, B, Be, Cd, Cu, Mg, Ni, Pb, Pd y V en las muestras fue determinado con un Espectrómetro de Masas con Fuente de Iones por Plasma y Filtro de Masas por Cuadrupolo (ICPMS) X Series II *Thermo Scientific*.

Cada muestra fue analizada mediante una lectura de respaldo y tres



lecturas principales en modo Peak Jump, obteniéndose una desviación estándar de 5 % para todas las muestras. La concentración se expresó en ppm.

#### 2.5.7. Determinación de un Índice de Polución (I.P.)

Para cada punto de muestreo, y a partir de los datos químicos obtenidos, se calculó un índice de polución (I.P.), el cual permite estimar la calidad de aire de cada sitio en función de la respuesta químico-fisiológica del biosensor que fuera trasplantado al mismo.

El I.P. fue calculado usando la ecuación citada por González y Pignata (1994) [16]; la misma incluye parámetros químico-fisiológicos tales como Feof. a/Clor.a y MDA, y azufre como parámetro de acumulación:

$$I.P. = [(Feof. a/Clor. a) + (S_T/S_B)] (MDA_T/MDA_B)$$

Donde, Feof. a corresponde a feofitina a en cada muestra trasplantada, expresada en mg/g P.S.; Clor. a corresponde a clorofila a en las mismas, expresada en mg/g P.S.; S es el contenido de azufre en cada muestra, expresado en mg/g P.S.; mientras que MDA es el contenido de malondialdehído en las mismas, expresado en  $\mu\text{mol/g.P.S.}$  El subíndice T corresponde a las determinaciones en muestras trasplantadas, mientras que el subíndice B, corresponde a aquellas realizadas sobre la muestra basal.

#### 2.5.8. Determinación de un Índice de Carga (I.C.)

Para cada elemento químico cuantificado y en cada sitio de monitoreo se calculó un Índice de Carga (I.C.), de acuerdo a la relación propuesta por otros autores [25, 26]:

$$I.C. = Ce/Cc$$

Donde Ce es la concentración promedio del elemento en las muestras líquidas luego de la exposición, y Cc es la concentración promedio del elemento en el nivel basal o control (muestras líquidas antes de la exposición).

## 2.6 Análisis estadísticos

### 2.6.1. Análisis univariados

Para cada parámetro cuantificado y para el I.P., los datos obtenidos se analizaron mediante técnicas analíticas y gráficas: El supuesto de distribución normal se evaluó mediante métodos gráficos sobre los residuos y test de Shapiro-Wilks; la homocedasticidad mediante test de Levene.

Para la comparación de medias muestrales, los datos se analizaron mediante Análisis de la Varianza (ANOVA). Cuando las diferencias fueron significativas a un  $p < 0,05$ , se aplicó el test de Tukey de comparaciones múltiples.

### 2.6.2. Análisis bivariados

Las asociaciones bivariadas entre todos los parámetros cuantificados y entre éstos y las variables asociadas a los niveles de tránsito, se analizaron mediante Análisis de Correlación de Pearson.

### 2.6.3. Análisis multivariado

El análisis multivariado de los datos se realizó mediante Análisis de Conglomerados Jerárquicos o Análisis de Cluster, usando el Método de Ward como algoritmo de aglomeración y Distancia Euclídea al Cuadrado como medida de disimilaridad. Para la composición elemental, las variables se estandarizaron previamente mediante puntuaciones Z.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Estimación de la calidad del aire a partir de la composición multielemental en el biomonitor

Los valores obtenidos para la composición multielemental del biomonitor expuesto a cada sitio de muestreo en SFVC, así como en el nivel basal (líquenes sin trasplantar), se muestran en el Anexo 2 (Tablas I-II). Un resumen de la información referida a concentración de metales pesados y elementos traza obtenida en el biomonitor trasplantado al área urbana se presenta en la Tabla 5(a, b).

En general, para los elementos cuantificados mediante INAA (Tabla 5a), los valores detectados fueron del mismo orden de magnitud que aquéllos registrados en esta especie trasplantada a un área del departamento Belén (Catamarca) durante el invierno del año 2005 [14]. Sólo el contenido de Sb se vio notablemente aumentado en la ciudad Capital respecto de los valores de Belén.

Con relación a los elementos cuantificados mediante ICP-MS (Tabla 5b), los contenidos de Cu y Ni fueron similares a los registrados en este biomonitor expuesto a sitios de baja contaminación en la ciudad de Córdoba [12]. Las concentraciones de Al, Cd, Ni y Pb fueron inferiores a los detectados en otras especies expuestas en ciudades industrializadas [27-29]; mientras que las de V y Be fueron similares a estas últimas [13, 25]. El contenido de B en el biomonitor fue mayor respecto a lo reportado por otros investigadores para líquenes trasplantados a áreas urbanas [27]; por el contrario, el contenido de Mg estuvo marcadamente por debajo de esos valores [25]. Respecto de Pd, el contenido de este elemento fue similar al de otras especies de líquenes expuestas a polución por tránsito vehicular [30].

A su vez, los contenidos de S, Zn y Pb en el biomonitor trasplantado a SFVC (Tablas 5a y 5b), fueron similares a los de líquenes expuestos a polutantes atmosféricos en la ciudad de Córdoba [5]. Los contenidos

de Co y Fe (elementos litogénicos) fueron mayores en los primeros. La comparación entre los valores de concentración obtenidos en el biomonitor trasplantado a sitios control (sitios 9-12, con bajo nivel de tránsito) versus los demás sitios de monitoreo, no mostró diferencias significativas, excepto para Sb (Análisis de la Varianza, ANOVA; datos no mostrados). Este elemento presentó concentraciones significativamente mayores en los sitios correspondientes a los corredores de transporte urbano de pasajeros ( $0,27 \pm 0,05 \mu\text{g/g P.S.}$ ) respecto a los sitios de bajo tránsito ( $0,22 \pm 0,03 \mu\text{g/g P.S.}$ ) a un p-valor = 0,07.

Sb es un elemento presente en el material particulado, cuyo origen es el tránsito vehicular [31, 32]. En este estudio, y mediante Análisis de Pearson, se obtuvieron correlaciones significativas a un  $p < 0,05$  entre Sb y las frecuencias de taxis ( $r = 0,673$ ), motos ( $r = 0,691$ ), colectivos ( $r = 0,784$ ) y frecuencia total ( $r = 0,586$ ). Así mismo V, otro elemento asociado a polución de origen vehicular [33-35], correlacionó significativamente con la frecuencia de motos ( $r = 0,583$ ;  $p = 0,047$ ). No se observaron correlaciones significativas para el resto de los elementos analizados.



**Tabla 5a.** Estadísticos descriptivos de la concentración elemental (expresada en ppm.) y coeficiente de variación (C.V.) en *P. austrosinense* trasplantada al área central de SFVC.

Elemento	Media	Mínimo	Máximo	C.V.
As	1,99	1,61	2,60	0,14
Ba	30,6	24,0	41,8	0,19
Br	4,57	3,83	5,05	0,07
Ce	5,38	4,03	6,69	0,14
Co	0,73	0,52	0,93	0,16
Cr	3,85	2,74	4,76	0,17
Cs	0,70	0,49	0,85	0,15
Eu	0,094	0,069	0,114	0,13
Fe	1825	1254	2334	0,17
Hf	0,28	0,17	0,36	0,22
La	2,78	2,04	3,72	0,15
Lu	0,035	0,024	0,044	0,19
Na	703	435	957	0,20
Nd	2,96	1,97	3,86	0,21
Rb	7,97	5,60	10,08	0,17
Sb	0,26	0,18	0,36	0,20
Sc	0,67	0,46	0,84	0,16
Se	0,35	0,30	0,40	0,11
Sm	0,59	0,43	0,72	0,14
Ta	0,076	0,050	0,104	0,21
Tb	0,071	0,050	0,114	0,24
Th	0,80	0,51	1,08	0,22
U	0,28	0,19	0,40	0,38
Yb	0,20	0,14	0,25	0,16
Zn	27,3	21,6	35,0	0,15

**Tabla 5b.** Estadísticos descriptivos de la concentración elemental (expresada en ppm) y coeficiente de variación (C.V.) en *P. austrosinense* trasplantada al área central de SFVC.

Elemento	Media	Mínimo	Máximo	C.V.
Al	12,40	8,70	16,70	0,20
B	52,5	49,0	55,5	0,04
Be	0,050	0,038	0,075	0,20
Cd	0,068	0,056	0,101	0,17
Cu	5,43	3,10	8,98	0,30
Mg	5,19	3,52	10,65	0,43
Ni	1,17	0,98	1,71	0,18
Pb	5,38	5,06	5,70	0,04
Pd	0,13	0,11	0,14	0,05
V	6,99	2,07	8,92	0,29
S*	1,51	1,30	1,80	0,10

\* La concentración está expresada en mg/g P.S.)

El Análisis de *Cluster* es un método exploratorio comúnmente aplicado a los fines de determinar el origen natural o antrópico de los elementos cuantificados en un biomonitor [28, 36]. En este estudio se obtuvo un dendrograma con tres grupos principales de elementos al nivel de *subcluster* (Fig. 2). El *subcluster la* incluye en su mayoría elementos litogénicos tales como Fe, Co, Na y tierras raras, lo cual estaría indicando un origen natural para el grupo. En la ciudad Capital, así como en todo el valle central de Catamarca son muy frecuentes los vientos con grandes masas de polvo en suspensión durante todo el año, y particularmente en el período en que se realizó este estudio. Por tanto, el *subcluster la* indicaría el aporte de material particulado de origen edáfico a la composición elemental del biomonitor, tal como ha sido observado en otras áreas urbanas [13, 28]. El *subcluster*

Ib incluye elementos usualmente presentes en el material particulado asociado a tránsito vehicular [5, 13, 27, 28], excepto Sb que se encuentra en el *subcluster Ia*. El *cluster II* podría asociarse principalmente a otras fuentes antrópicas de emisión presentes en la ciudad, ya que Ni también es marcador de tránsito vehicular.

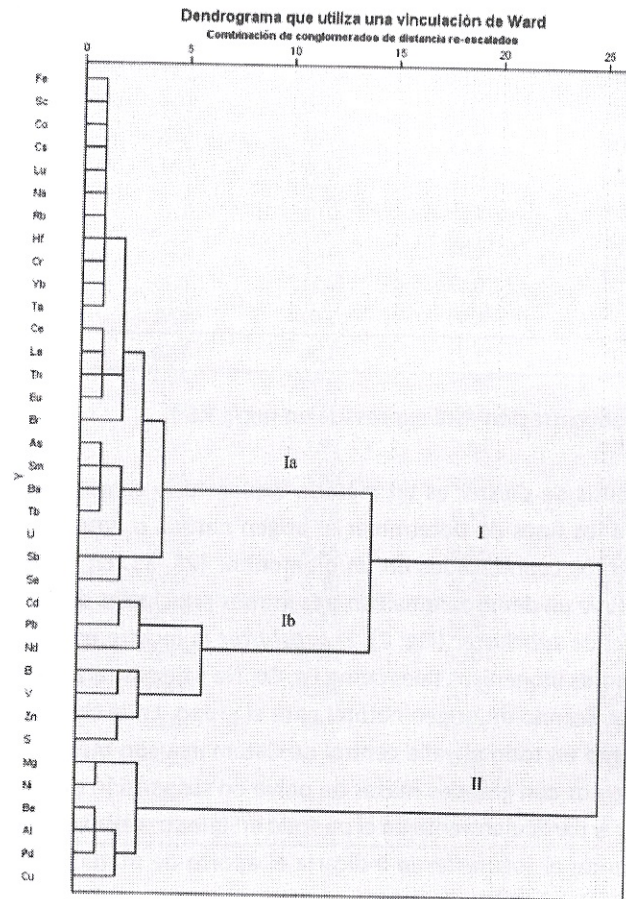


Figura 2. Dendrograma de todos los elementos analizados en *P. australis* trasplantada a 12 sitios en SFVC.

A los fines de estimar la acumulación elemental en cada sitio de monitoreo, se calculó un índice de carga (I.C.), que da cuenta del grado de enriquecimiento de las muestras trasplantadas respecto de la muestra basal. La interpretación de los I.C. se realiza según una escala basada en la desviación de los I.C. respecto a la condición "normal" [25], la cual en este estudio se asume como  $\pm 50\%$  del índice igual a uno. Como regla general, esta desviación debe considerar las fluctuaciones naturales en la concentración de los elementos en el biomonitor [37].

De los 36 elementos analizados, sólo 5 de ellos mostraron acumulación ( $1,50 < I.C. \leq 2,50$ ) en el biomonitor expuesto a los sitios urbanos (Tabla 6a-d). Así, en promedio para el área de estudio, se detectó enriquecimiento de Sb, Al, V, Ni y Cu, el cual se produjo en la mayoría de los sitios de trasplante. Otros elementos mostraron una acumulación más restringida, como Be (en los sitios 5, 6, 12), Mg (en los sitios 5 y 6) y Cd (en los sitios 5, 6 y 8). El resto de los elementos se encontraron en concentraciones normales ( $0,50 \leq I.C. \leq 1,50$ ); no detectándose, en general, acumulación severa ( $2,50 < I.C.$ ) de ningún elemento, a excepción de algunos enriquecimientos puntuales en V (en los sitios 7 y 8) y Cu (en los sitios 4 y 12).



**Tabla 6a.** Índice de carga (I.C.) para los elementos analizados en el biomonitor expuesto en 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitio	Elemento								
	As	Ba	Br	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe
1	0,94	0,87	0,75	0,77	0,77	0,90	0,81	0,83	0,78
2	1,25	1,29	0,77	0,96	1,00	1,16	0,98	0,95	1,00
3	0,95	1,06	0,76	0,84	0,78	0,99	0,83	0,77	0,78
4	0,83	0,75	0,72	0,75	0,71	0,86	0,74	0,85	0,69
5	0,91	0,79	0,71	0,77	0,71	0,70	0,71	0,85	0,65
6	0,78	0,78	0,64	0,62	0,57	0,68	0,57	0,63	0,54
7	1,03	1,19	0,80	1,03	0,98	1,18	0,99	1,04	0,99
8	0,83	0,74	0,80	0,74	0,71	0,91	0,73	0,81	0,72
9	0,96	0,95	0,77	0,77	0,76	0,99	0,78	0,79	0,76
10	1,02	0,86	0,84	0,83	0,75	0,98	0,82	0,86	0,76
11	1,11	1,11	0,77	0,94	0,90	1,14	0,95	0,94	0,90
12	0,86	0,99	0,77	0,89	0,84	0,95	0,86	0,99	0,82
X*	0,95	0,95	0,76	0,82	0,79	0,95	0,82	0,86	0,78

\* X: I.C. promedio para cada elemento

**Tabla 6b.** Índice de carga (I.C.) para los elementos analizados en el biomonitor expuesto en 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitio	Elemento								
	Hf	La	Lu	Na	Nd	Rb	Sb	Se	Se
1	0,75	0,81	0,92	0,73	0,84	0,62	1,51	0,76	0,78
2	0,93	0,97	1,16	1,01	0,82	0,83	2,17	0,98	0,88
3	0,79	0,84	0,84	0,72	1,15	0,64	1,75	0,77	0,67
4	0,66	0,81	0,80	0,67	0,65	0,51	1,94	0,69	0,86
5	0,44	0,77	0,74	0,56	1,01	0,61	1,80	0,66	0,76
6	0,44	0,62	0,64	0,46	0,94	0,46	1,44	0,54	0,66
7	0,90	1,14	1,13	0,92	1,24	0,81	2,35	0,97	0,82
8	0,65	0,73	0,75	0,68	0,82	0,66	1,49	0,72	0,68
9	0,68	0,78	0,94	0,76	0,63	0,62	1,22	0,76	0,74
10	0,67	0,85	0,96	0,78	1,05	0,66	1,52	0,77	0,86
11	0,80	0,95	1,06	0,81	1,09	0,76	1,66	0,88	0,85
12	0,88	0,93	0,97	0,81	1,17	0,73	1,39	0,85	0,71
X*	0,72	0,85	0,91	0,74	0,95	0,66	1,69	0,78	0,77

\* X: I.C. promedio para cada elemento

**Tabla 6c.** Índice de carga (I.C.) para los elementos analizados en el biomonitor expuesto en 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitio	Elementos								
	Sm	Ta	Tb	Th	U	Yb	Zn	Al	B
1	0,86	0,60	0,99	0,75	0,78	0,81	1,14	1,57	1,16
2	1,07	0,85	1,44	1,05	1,07	0,94	1,14	1,50	1,24
3	0,93	0,73	1,04	0,79	0,71	0,85	0,90	1,08	1,24
4	0,82	0,59	0,64	0,68	-	0,83	1,01	1,46	1,23
5	0,94	0,49	0,71	0,68	0,68	0,64	1,01	2,01	1,13
6	0,66	0,43	0,68	0,51	0,50	0,59	1,22	1,91	1,20
7	1,01	0,73	0,95	1,09	0,98	1,03	1,13	1,32	1,27
8	0,75	0,54	0,79	0,67	0,64	0,72	1,36	1,52	1,13
9	0,83	0,68	0,92	0,72	0,87	0,88	1,11	1,33	1,23
10	0,92	0,64	0,82	0,80	0,77	0,81	1,50	1,23	1,25
11	1,10	0,88	0,97	0,96	0,91	0,99	1,23	1,51	1,24
12	0,88	0,61	0,86	1,04	0,92	0,86	0,94	2,08	1,12
X*	0,90	0,65	0,90	0,81	0,73	0,83	1,14	1,54	1,20

\* X: I.C. promedio para cada elemento

**Tabla 6d.** Índice de carga (I.C.) para los elementos analizados en el biomonitor expuesto en 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitio	Elementos								
	Be	Cd	Cu	Mg	Ni	Pb	Pd	V	S
1	1,45	1,36	2,21	0,96	1,73	1,19	1,33	2,06	1,13
2	1,39	1,25	1,98	0,83	1,34	1,26	1,26	2,19	0,92
3	1,09	1,45	1,51	0,70	1,44	1,26	1,20	2,50	1,11
4	1,46	1,20	2,76	0,78	1,59	1,16	1,28	2,28	1,12
5	1,67	1,52	1,63	2,13	1,69	1,18	1,30	1,12	0,96
6	1,67	1,58	1,63	1,75	2,36	1,22	1,32	2,22	1,04
7	1,22	1,49	1,62	0,85	1,51	1,23	1,24	2,61	1,03
8	1,32	2,17	1,72	0,85	1,57	1,31	1,22	2,65	1,11
9	1,20	1,24	1,07	0,78	1,40	1,22	1,15	2,38	1,05
10	1,17	1,42	1,72	0,72	1,36	1,24	1,28	2,05	1,16
11	1,34	1,45	1,56	0,85	1,47	1,27	1,28	2,25	1,27
12	2,14	1,48	3,11	1,21	1,87	1,30	1,40	0,62	0,94
X*	1,43	1,47	1,88	1,04	1,61	1,24	1,27	2,08	1,07

\* X: I.C. promedio para cada elemento

Analizando el enriquecimiento multielemental del biomonitor en cada sitio de monitoreo, reflejada en la sumatoria de los I.C. de cada elemento (I.C. General; Tabla 7), puede inferirse que la mayor acumu-

lación se verificó en los sitios 2, 7 y 11. Los sitios 2 y 7 son, de todos los monitoreados, los de mayor tránsito, por lo cual se infiere que la acumulación detectada en el biomonitor en estos sitios se debe al aporte de esta fuente. Si bien el sitio 11 es de bajo tránsito, en el área circundante se encuentran diversos talleres mecánicos; entre éstos, talleres de chapa y pintura, actividad que, de acuerdo a Tahír et al. (2010) [38], genera polutantes tanto particulados como en fase de vapor, que impactan sobre el ambiente que rodea al taller.

**Tabla 7.** Índice de carga (I.C.) para los elementos analizados en el biomonitor expuesto en 12 sitios de monitoreo en SFVC. I.C. General: calculado sobre 36 elementos; I.C. Tránsito: calculado sobre 9 elementos.

Punto	I.C. General		I.C.-Tránsito	
	$\Sigma^*$	$\chi^{**}$	$\Sigma$	$\chi$
1	37,21	1,03	11,17	1,24
2	41,86	1,16	11,87	1,32
3	36,43	1,01	12,03	1,34
4	35,39	0,98	11,45	1,27
5	35,62	0,99	10,49	1,17
6	34,48	0,96	11,52	1,28
7	41,82	1,16	13,17	1,46
8	36,21	1,01	12,72	1,41
9	34,73	0,96	10,82	1,20
10	36,67	1,02	12,05	1,34
11	40,15	1,12	12,31	1,37
12	39,77	1,1	9,67	1,07

\*  $\Sigma$ : Sumatoria de los I.C. para cada sitio

\*\*  $\chi$ : I.C. promedio para cada sitio

La menor acumulación multielemental en el biomonitor se verificó en los sitios 4, 5 y 6 (pertenecientes al corredor Esquiú); y en el sitio 9 que es de bajo nivel de tránsito, no registrándose en el mismo circulación de colectivos al momento de este estudio.

Los sitios con niveles de acumulación intermedia correspondieron a la Estación Terminal de Ómnibus (sitio 1), sitios de alto nivel de tránsito como el 3 y el 8 (pertenecientes a los corredores Esquiú y Chacabuco, respectivamente) y los sitios 10 y 12 de bajo nivel de tránsito. Este último, si bien es el de menor tránsito vehicular de todos los monitoreados, la elevada acumulación observada en el biomonitor trasplantado al mismo se relaciona con la ejecución de una obra civil de gran envergadura en sus cercanías, lo cual implicó una gran remoción de tierra y escombros, así como una circulación inusual de maquinaria y camiones. De hecho Al, un elemento litofílico cuya presencia en aire se asocia no sólo a tránsito [33] sino también a partículas de suelo en suspensión [27, 28], mostró en este sitio el valor más elevado de I.C. en el biomonitor (Tabla 6d).

Con los I.C. correspondientes a los elementos incluidos en el subcluster Ib del dendrograma presentado en la Fig. 2, se calculó el denominado I.C.-Tránsito para cada sitio de muestreo (sumatoria de los I.C. de cada elemento; Tabla 7); a los fines de estimar la acumulación relacionada al aporte elemental del tránsito vehicular al aire de la ciudad. Se incluyeron, así mismo, en el cálculo del I.C.-Tránsito los elementos Sb y Se, cuya presencia en la atmósfera se asocia al tránsito vehicular [31, 32, 39], y como se observara también en este estudio a partir del Análisis de Correlación Pearson mencionado anteriormente para Sb. La separación de Sb y Se del resto de los elementos de origen vehicular que muestra el dendrograma, posiblemente esté indicando diferencias en el grado de dispersión en la atmósfera urbana [31, 32, 39].

Sobre la base del I.C.-Tránsito, pudo inferirse que el mayor enriqueci-



miento del biomonitor se produjo en los sitios 7 y 8, correspondientes al corredor Chacabuco. Debido a que la acumulación elemental en el biomonitor refleja los niveles atmosféricos del material particulado y los elementos asociados al mismo [7, 8], estos resultados estarían indicando un mayor aporte de elementos por tránsito vehicular en estos puntos. El sitio 2 del mismo corredor mostró valores del índice intermedios, a semejanza de los sitios 3 (corredor Esquiú), 10 y 11. No se pueden explicar al momento los valores de acumulación elemental observados en el punto 10.

Los valores más bajos de I.C.-Tránsito se obtuvieron en los sitios 1 (Estación Terminal de Ómnibus), sitios 4, 5, 6 (Corredor Esquiú) y sitio 9, este último de bajo tránsito y sin afluencia de colectivos.

### 3.2 Estimación de la calidad del aire a partir de parámetros fisiológicos y un Índice de Polución

Los valores obtenidos para los distintos parámetros fisiológicos y para el I.P. determinados en el biomonitor expuesto a los distintos sitios de muestreo en SFVC, así como en el nivel basal (líquenes sin trasplantar), se muestran en el Anexo 1 (Tablas III-V).

Los datos de pigmentos fotosintéticos, MDA y agua obtenidos en el biomonitor trasplantado a los 12 sitios de monitoreo en SFVC fueron analizados mediante Análisis de la Varianza; a los fines de comparar el estatus fisiológico del liquen e inferir a partir del mismo la calidad del aire en cada sitio. Este análisis no mostró diferencias significativas entre sitios para ninguno de los parámetros analizados, a un nivel  $p < 0,1$  (datos no mostrados).

Así mismo, no se detectaron correlaciones significativas entre la frecuencia de tránsito vehicular en los distintos sitio de monitoreo y los parámetros fisiológicos cuantificados en el biomonitor trasplantado a los mismos (Análisis de Correlación de Pearson, datos no mostrados). Esto probablemente se deba a que los niveles de inmisión en el cen-

tro de S.F.V. de Catamarca no son lo suficientemente elevados para producir un efecto mensurable sobre el biomonitor; o bien, al efecto de dispersión y/o barrido de los polutantes producido por los fuertes y frecuentes vientos imperantes en el valle de Catamarca.

El análisis estadístico multivariado arrojó resultados en el mismo sentido. Así, en la clasificación de los sitios de monitoreo mediante Análisis de *Cluster* se obtuvo un dendrograma con dos *clusters* principales, *I* y *II* (Fig. 3). El *cluster I* contiene 10 de los 12 sitios, quedando incluidos en el *cluster II* los sitios 3 y 11. Este último se caracteriza por una baja frecuencia de tránsito vehicular (Tabla 1). A su vez, el *cluster I* se divide en dos *subcluster*: el *cluster Ia*, incluye un sitio de bajo tránsito vehicular (sitio 12) y otros de alto tránsito correspondientes a los corredores del Transporte Urbano de Pasajeros (sitios 2, 4, 5, 6 y 7) y a la Estación Terminal de Ómnibus (sitio 1); el *cluster Ib* incluye los sitios 9 y 10 de bajo tránsito y el sitio 8 que, si bien corresponde al corredor Chacabuco, posee menor afluencia de colectivos que los demás sitios del mismo corredor (sitios 2 y 7) y que otros ubicados, al igual que los anteriores, en el micro-centro de la ciudad (sitios 4, 5 y 6).

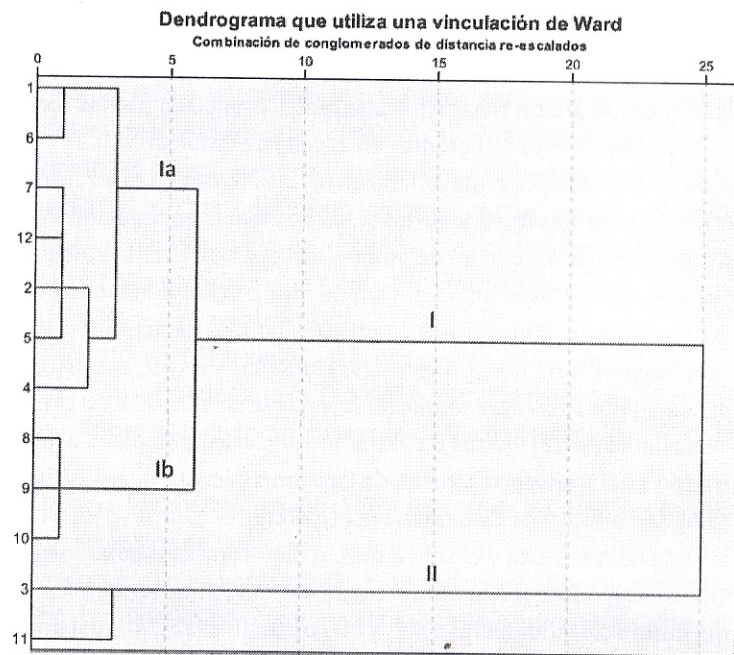


Figura 3. Clasificación de los sitios de exposición mediante Análisis de Cluster

La estimación de la calidad del aire en cada sitio de monitoreo se realizó, además, mediante un Índice de Polución (I.P.) [16]; en el cual se relacionan diferentes parámetros de respuesta químico-fisiológica y el contenido de azufre como parámetro de acumulación. Este índice ha sido muy útil para establecer niveles de calidad de aire en áreas remotas del oeste de Catamarca empleando biomonitores, reflejando el efecto producido por material particulado en suspensión proveniente de suelo y roca [14, 40].

Como puede observarse en la Figura 4, los valores obtenidos para el I.P. fueron similares en los distintos sitios de monitoreo en SFVC.

Estos resultados, junto con aquéllos obtenidos del Análisis de Cluster (Fig. 3) sugieren que existe una gran homogeneidad respecto de la calidad del aire del área de estudio. Como se dijera anteriormente, esto podría atribuirse a que los niveles de polución aún en el microcentro de la ciudad no son lo suficientemente elevados como para producir una respuesta diferencial en el biomonitor trasplantado a los distintos sitios; o bien, al efecto de dispersión y/o barrido de los polutantes producido por los fuertes y frecuentes vientos imperantes en el valle de Catamarca.

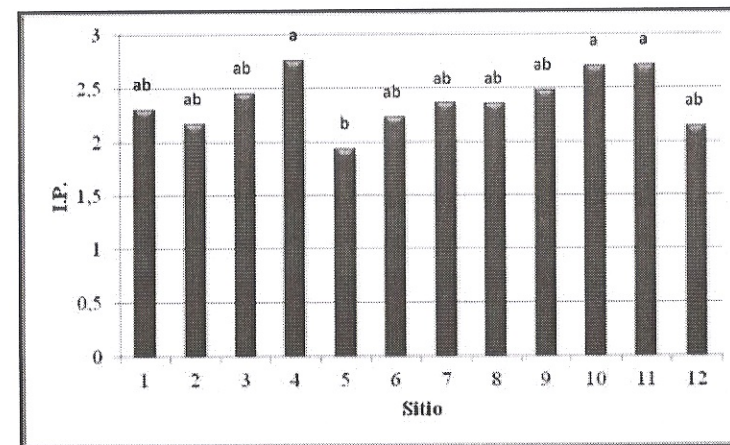


Figura 4. Índice de Polución (I.P.) en el biomonitor expuesto a 12 sitios en SFVC. Los valores con una misma letra no difieren significativamente a un  $p < 0,05$  (Test de Tukey).

Si bien no se observaron correlaciones significativas entre el I.P. y el nivel de tránsito vehicular en cada sitio de monitoreo (datos no mostrados), el Análisis de Pearson detectó correlación significativa entre este índice y el contenido de B ( $r = 0,618$ ;  $p = 0,032$ ). En relación con elementos de origen vehicular, pudieron observarse las siguientes correlaciones: Se – MDA ( $r = 0,590$ ;  $p = 0,043$ ), Zn – Clor. b/Clor.



a ( $r = 0,631$ ;  $p = 0,028$ ) y Sb – agua ( $r = 0,728$ ;  $p = 0,007$ ). A partir de estos resultados podría inferirse una moderada asociación entre algunos elementos provenientes del tránsito vehicular y parámetros marcadores del efecto producido por contaminación atmosférica en el biomonitor.

#### 4 CONCLUSIONES

En SFVC, el empleo de biomonitores permitió detectar en el aire elementos provenientes principalmente de tránsito vehicular; siendo los contenidos en líquenes similares a los de estos organismos expuestos a otras áreas urbanas. Esto demuestra que las fuentes móviles constituyen un factor determinante de la calidad del aire de la ciudad. En ciertos sitios, se detectaron, además, posibles aportes de otras fuentes de emisión tales como talleres mecánicos y ejecución de obra civil.

Respecto del Sistema de Transporte Urbano de Pasajeros, y sobre la base de la acumulación elemental en el biomonitor, se estima que en general la calidad del aire durante el período de estudio fue inferior en sitios correspondientes al corredor Chacabuco. No obstante, considerando la respuesta químico-fisiológica del biomonitor y el I.P., se infiere una cierta homogeneidad de la calidad del aire en los distintos sitios monitoreados, aun aquellos caracterizados por bajos niveles de tránsito.

Los resultados del presente trabajo se constituyen en líneas de base de calidad de aire inferida a partir de biomonitores para el área central de SFVC. Los mismos podrán emplearse para un futuro seguimiento ambiental aplicando como herramienta el monitoreo biológico mediante trasplante de líquenes, en un marco de gestión de la calidad del aire para el logro de un transporte urbano sustentable en la ciudad.

## 5 REFERENCIAS

- [1] Plan de Desarrollo Urbano Ambiental (P.U.A.). 2004. Documento elaborado por la Municipalidad de San Fernando del Valle de Catamarca, Provincia de Catamarca, República Argentina.
- [2] Basile, A., Sorbo, S., Aprile, G., Conte, B., Castaldo Cobianchi, R. 2008. Comparison of the heavy metal bioaccumulation capacity of an epiphytic moss and an epiphytic lichen. *Environmental Pollution* 151: 401-407.
- [3] Conti, M.E., Cecchetti, G. 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environmental Pollution* 114: 471-492.
- [4] Bergamaschi, L., Rizzio, E., Giaveri, G., Loppi, S., Gallorini, M. 2007. Comparison between the accumulation capacity of four lichen species transplanted to a urban site. *Environmental Pollution* 148 (2): 468-476.
- [5] Carreras, H.A., Pignata, M.L. 2002. Biomonitoring of heavy metals and air quality in Córdoba City, Argentina, using transplanted lichens. *Environmental Pollution* 117: 77-87.
- [6] Fuga, A., Saiki, M., Marcelli, M.P., Saldiva, P.H.N. 2008. Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens. *Environmental Pollution* 151: 334-340.
- [7] Steinnes, E. 1989. Biomonitoring of air pollution by heavy metals. En: Pacyna, J.M., Ottar, B. (eds.): *Control and Fate of Atmospheric Trace Metals*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 321-338.
- [8] Pignata, M.L., Plá, R.R., Jasan, R.C., Martínez, M.S., Rodríguez, J.H., Wannaz, E.D., Gudiño, G.L., Carreras, H.A. González, C.M. 2007. Distribution of atmospheric trace elements and assesment of air quality in Argentina employing the lichen, *Ramalina celastri*, as an passive biomonitor: detection of air pollution emisión

- sources. *International Journal of Environment and Health* 1(1): 29-46.
- [9] Shugart, L.R. 1996. Molecular markers to toxic agents. En: Newman, M.C., Jagoe, C.H. (eds): *Ecotoxicology: A Hierarchical Treatment*. CRC-Lewis Publishers, New York.
- [10] Rabe, R., Kreeb, K.H. 1979. Enzyme activities and chlorophyll and protein content in plants as indicators of air pollution. *Environmental Pollution* 1: 45-56.
- [11] González, C.M., Orellana, L.C., Casanovas, S.S, Pignata, M.L. 1998. Environmental conditions and chemical response of a transplanted lichen to an urban area. *Journal of Environmental Management* 53: 73-81.
- [12] Cañas, M.S., Pignata, M.L. 2003. Efecto de contaminantes atmosféricos urbano-industriales sobre el liquen *Parmotrema austrosiense* (Zahlbr.) Hale. *Ciencia* 1(1): 87-100.
- [13] Giordano, S., Adamo, P., Sorbo, S., Vingiani, S. 2005. Atmospheric trace metal pollution in the Naples urban area based on results from moss and lichen bags. *Environmental Pollution* 136: 431-442.
- [14] Palomeque, L.I. 2008. Evaluación de la calidad del aire en el centro-oeste catamarqueño (Belén) mediante el empleo de líquenes como biomonitores. Tesis de Maestría en Conservación y Gestión Ambiental. Universidad Nacional de Catamarca.
- [15] Gries, C. 1996. Lichens as indicators of air pollution. En: Nash III, T. H. (ed.): *Lichen Biology*, University Press, Cambridge, 240-254.
- [16] González, C.M., Pignata, M.L. 1994. The influence of air pollution on soluble proteins, chlorophyll degradation, MDA, sulphur and heavy metals in a transplanted lichen. *Chemistry and Ecology* 9: 105-113.
- [17] Morello, J., Sancholuz, L., Blanco, C. 1977. Estudio macroecológico de los Llanos de la Rioja. *IDIA* 34: 242-248.
- [18] Cabrera, A. L. 1976. *Regiones fitogeográficas argentinas*. Enciclo-



- pedia Argentina de Agricultura y Ganadería*, ACME, Buenos Aires.
- [19] Morlans, M.C. 1995. Regiones naturales de Catamarca: Provincias Geológicas y Provincias Fitogeográficas. *Revista de Ciencia y Técnica UNCa* 2(2): 1-42.
- [20] INDEC, Censo Nacional de Población, hogares y viviendas. 2010. Serie A, Número 1.
- [21] Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11: 591-592.
- [22] Wintermans, J.F.G.M., De Mots, A. 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls *a* and *b* and their phaeophytins in ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta* 169: 448-453.
- [23] Heath, R.L., Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acids peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 125: 189-198.
- [24] Kosugi, H., Jojima, T., Kikugawa, K. 1989. Thiobarbituric acid-reactive substances from peroxidized lipids. *Lipids* 24: 873-881.
- [25] Frati, L., Brunialti, G., Loppi, S. 2005. Problems related to lichen transplants to monitor trace element deposition in repeated surveys: a case study from central Italy. *Journal of Atmospheric Chemistry* 52: 221-230.
- [26] Boamponsem, L.K., Adam, J.I., Dampre, S.B., Nyarko, B.J.B., Esumang, D.K. 2010. Assessment of atmospheric heavy metal deposition in the Tarkwa gold mining area of Ghana using epiphytic lichens. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 268: 1492-1501.
- [27] Garty, J., Cohen, Y., Kloog, N. 1998. Airborne elements, cell membranes, and chlorophyll in transplanted lichens. *Journal of Environmental Quality* 27: 973-979.
- [28] Adamo, P., Giordano, S., Vingiani, S., Castaldo Cobianchi, R., Violante, P. 2003. Trace element accumulation by moss and lichen

- exposed in bags in the city of Naples. *Environmental Pollution* 122: 91-103.
- [29] Sorbo, S., Aprile, G., Strumia, S., Castaldo Cobianchi, R., Leone, A., Basile, A. 2008. Trace element accumulation in *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf exposed in Italy's so called Triangle of Death. *Science of the Total Environment* 407: 647-654.
- [30] Uluozlu, O.D., Kinalioglu, K., Tuzen, M., Soylak, M. 2007. Trace metal levels in lichen samples from roadsides in east Black Sea region, Turkey. *Biomedical and Environmental Sciences* 20: 203-207.
- [31] Dietl, C., Reifenhguser, W., Peichl, L. 1997. Association of antimony with traffic - occurrence in airborne dust, deposition and accumulation in standardized grass cultures. *The Science of the Total Environment* 205: 235-244.
- [32] Fujiwara, F., Jiménez Rebagliati, R., Marrero, J., Gómez, D., Smichowski, P. 2011. Antimony as a traffic-related element in size-fractionated road dust samples collected in Buenos Aires. *Microchemical Journal* 97: 62-67.
- [33] Garty, J. 2001. Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: Theory and application. *Critical Reviews in Plant Sciences* 20(4): 309-371.
- [34] Garty, J., Kloog, N., Cohen, Y., Wolfson, R., Karnieli, A. 1997. The effect of air pollution on the integrity of chlorophyll, spectral reflectance response, and on concentrations of nickel, vanadium, and sulfur in the lichen *Ramalina duriae* (De Not.) Bagl. *Environmental Research* 74: 174-187.
- [35] Yemets, O.A. 2012. Assessments of traffic pollutants along a rural highway roadside in southeastern Norway by quantifying lichen responses. Norwegian University of Life Sciences. Department of Biology & Natural Resource Management. Master Thesis. 139 pág.

- [36] Wannaz, E.D., Carreras, H.A., Pérez, C.A. Pignata, M.L. 2006. Assessment of heavy metal accumulation in two species of *Tillandsia* in relation to atmospheric emission sources in Argentina. *Science of the Total Environment* 361: 267-278.
- [37] Loppi, S., Giordani, P., Brunialti, G., Isocrono, D., Piervittori, R. 2002. Identifying deviations from naturality of lichen diversity for bioindication purposes. En: Nimis, P. L., Scheidegger, C., Wolseley, P. (eds.): *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*, Kluwer/NATO Science Series, Dordrecht, 281–284.
- [38] Tahir H, JahanZeb, Q., Sultan, M. 2010. Assessment of heavy metal exposure around auto body refinishing shops. *African Journal of Biotechnology* 9(46): 7862-7869.
- [39] Wen, H., Carignan, J. 2007. Reviews on atmospheric selenium: Emissions, speciation and fate. *Atmospheric Environment* 41: 7151–7165.
- [40] Mohaded Aybar, C.B., A.I. Ocampo, L.I. Palomeque, Cañas, M.S. 2010. Determinación del contenido de azufre y un índice de polución en dos especies liquénicas trasplantadas a la región minera del oeste de Catamarca. En: Zutara, M.S., Martínez, S.L. (eds.): *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, EUNSa – EdiUNJu, S.F.V. de Catamarca, 201-205.

## ANEXO 1. ILUSTRACIONES



Ilustración 1. Liqueen *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale empleado como biomonitor.



Ilustración 2. Sitio de colección en cercanías de Coneta (Capayán).





Ilustración 3. Bolsa líquénica y trasplante

## ANEXO 2. TABLAS GENERALES

Tabla I. Contenido elemental (Media  $\pm$  Desvío Estándar, expresado en ppm) determinado mediante INAA en el nivel basal y en talos de *P. austrosinense* trasplantada a 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitio de monitoreo	As	Ba	Br	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe
1	1,90	27,3	4,37	4,89	0,69	3,55	0,68	0,09	1759
2	2,50	40,0	4,46	6,02	0,89	4,51	0,81	0,10	2236
3	1,88	32,5	4,38	5,19	0,69	3,80	0,68	0,08	1727
4	1,65	23,2	4,18	4,65	0,63	3,33	0,61	0,09	1549
5	1,82	24,5	4,10	4,84	0,63	2,73	0,58	0,09	1454
6	1,57	24,3	3,72	3,92	0,51	2,66	0,48	0,07	1216
7	2,04	36,4	4,61	6,36	0,86	4,53	0,81	0,11	2191
8	1,68	23,3	4,68	4,67	0,64	3,56	0,60	0,09	1634
9	1,95	30,1	4,51	4,88	0,69	3,91	0,65	0,08	1739
10	2,07	27,0	4,93	5,26	0,67	3,87	0,69	0,09	1725
11	2,19	34,06	4,41	5,80	0,80	4,38	0,78	0,10	1990
12	1,72	30,87	4,47	5,60	0,75	3,68	0,71	0,10	1845
N. Basal	1,99	30,83	5,77	6,23	0,88	3,87	0,82	0,10	2234

Tabla I (cont.). Contenido elemental (Media  $\pm$  Desvío Estándar, expresado en ppm) determinado mediante INAA en el nivel basal y en talos de *P. austrosinense* trasplantada a 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitio de monitoreo	Hf	La	Lu	Na	Nd	Rb	Sb	Sc
1	0,28	2,58	0,034	669	2,53	7,24	0,22	0,64
2	0,35	3,05	0,042	917	2,45	9,66	0,32	0,80
3	0,29	2,60	0,031	647	3,40	7,36	0,25	0,63
4	0,24	2,53	0,029	610	1,94	5,95	0,28	0,57
5	0,16	2,44	0,027	510	3,04	7,10	0,26	0,55
6	0,17	1,98	0,024	422	2,84	5,43	0,21	0,45
7	0,33	3,54	0,041	829	3,67	9,27	0,34	0,79
8	0,24	2,33	0,028	624	2,48	7,69	0,22	0,60
9	0,26	2,51	0,035	705	1,93	7,38	0,18	0,63
10	0,25	2,71	0,036	722	3,18	7,77	0,22	0,64
11	0,29	2,95	0,039	732	3,23	8,69	0,24	0,72
12	0,33	2,93	0,036	736	3,51	8,47	0,20	0,70
N. Basal	0,37	3,13	0,036	904	2,97	11,55	0,15	0,82

Evaluación de la calidad del aire para el logro de un transporte urbano sustentable en la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca

APLICACIÓN DE BIOSENSORES

**Tabla I (cont.).** Contenido elemental (Media  $\pm$  Desvío Estándar, expresado en ppm) determinado mediante INAA en el nivel basal y en talos de *P. austrosinense* trasplantada a 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitio de monitoreo	Se	Sm	Ta	Tb	Th	U	Yb	Zn
1	0,34	0,55	0,069	0,076	0,72	0,28	0,19	26,5
2	0,38	0,67	0,096	0,109	0,99	0,38	0,22	26,1
3	0,29	0,58	0,081	0,078	0,74	0,25	0,20	20,5
4	0,37	0,52	0,066	0,048	0,65	-	0,19	23,1
5	0,33	0,59	0,055	0,054	0,65	0,25	0,15	23,2
6	0,29	0,42	0,049	0,052	0,49	0,18	0,14	28,4
7	0,35	0,63	0,082	0,071	1,02	0,35	0,24	25,7
8	0,30	0,47	0,062	0,061	0,65	0,23	0,17	31,5
9	0,33	0,53	0,079	0,071	0,70	0,32	0,21	26,0
10	0,38	0,58	0,073	0,063	0,77	0,28	0,19	35,1
11	0,37	0,68	0,099	0,073	0,91	0,33	0,23	28,1
12	0,31	0,56	0,069	0,066	0,99	0,33	0,20	21,6
N. Basal	0,43	0,63	0,112	0,075	0,95	0,36	0,23	22,9

**Tabla II.** Contenido elemental (Media  $\pm$  Desvío Estándar, expresado en ppm) determinado mediante ICP-MS en el nivel basal y en talos de *P. austrosinense* trasplantada a 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitio de monitoreo	Al	B	Be	Cd	Cu
1	12,59	50,6	0,050	0,063	6,39
2	12,08	54,0	0,048	0,058	5,74
3	8,71	54,1	0,038	0,068	4,36
4	11,72	53,6	0,051	0,056	7,99
5	16,19	49,3	0,058	0,071	4,70
6	15,35	52,3	0,058	0,074	4,71
7	10,59	55,5	0,043	0,069	4,69
8	12,18	49,5	0,046	0,101	4,98
9	10,66	53,6	0,042	0,058	3,10
10	9,92	54,4	0,041	0,066	4,97
11	12,14	54,1	0,047	0,068	4,52
12	16,70	49,0	0,075	0,069	8,98
N. Basal	8,04	43,67	0,035	0,047	2,89

Evaluación de la calidad del aire para el logro de un transporte urbano sustentable en la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca

APLICACIÓN DE BIOSENSORES

**Tabla II (cont.).** Contenido elemental (Media  $\pm$  Desvío Estándar, expresado en ppm) determinado mediante ICP-MS en el nivel basal y en talos de *P. austrosinense* trasplantada a 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitio de monitoreo	Mg	Ni	Pb	Pd	V
1	4,80	1,25	5,17	0,13	6,92
2	4,16	0,98	5,49	0,13	7,37
3	3,52	1,04	5,48	0,12	8,42
4	3,89	1,15	5,06	0,13	7,69
5	10,65	1,22	5,12	0,13	3,78
6	8,79	1,71	5,31	0,13	7,47
7	4,28	1,10	5,36	0,12	8,78
8	4,26	1,14	5,70	0,12	8,92
9	3,91	1,02	5,30	0,11	8,02
10	3,62	0,99	5,40	0,13	6,89
11	4,28	1,07	5,51	0,13	7,56
12	6,07	1,36	5,65	0,14	2,07
N. Basal	5,01	0,73	4,35	0,10	3,37

**Tabla III.** Contenido de carotenoides y clorofilas (Media  $\pm$  Desvío Estándar) en el nivel basal y en talos de *P. austrosinense* trasplantada a 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitios de monitoreo	Carotenoides (mg/g P.S.)	Clorofila a (mg/g P.S.)	Clorofila b (mg/g P.S.)	Clorofila Total (mg/g P.S.)
1	0,132 $\pm$ 0,021	0,353 $\pm$ 0,059	0,144 $\pm$ 0,029	0,497 $\pm$ 0,086
2	0,138 $\pm$ 0,020	0,333 $\pm$ 0,017	0,136 $\pm$ 0,012	0,469 $\pm$ 0,026
3	0,142 $\pm$ 0,012	0,458 $\pm$ 0,038	0,17 $\pm$ 0,037	0,629 $\pm$ 0,074
4	0,129 $\pm$ 0,023	0,313 $\pm$ 0,029	0,125 $\pm$ 0,013	0,438 $\pm$ 0,042
5	0,131 $\pm$ 0,019	0,323 $\pm$ 0,046	0,139 $\pm$ 0,005	0,462 $\pm$ 0,045
6	0,133 $\pm$ 0,022	0,353 $\pm$ 0,072	0,141 $\pm$ 0,027	0,494 $\pm$ 0,096
7	0,132 $\pm$ 0,018	0,323 $\pm$ 0,061	0,132 $\pm$ 0,048	0,455 $\pm$ 0,076
8	0,131 $\pm$ 0,022	0,308 $\pm$ 0,04	0,137 $\pm$ 0,023	0,445 $\pm$ 0,061
9	0,129 $\pm$ 0,019	0,307 $\pm$ 0,057	0,136 $\pm$ 0,028	0,444 $\pm$ 0,081
10	0,136 $\pm$ 0,020	0,302 $\pm$ 0,042	0,144 $\pm$ 0,029	0,445 $\pm$ 0,067
11	0,144 $\pm$ 0,011	0,405 $\pm$ 0,082	0,16 $\pm$ 0,025	0,565 $\pm$ 0,103
12	0,135 $\pm$ 0,012	0,311 $\pm$ 0,034	0,132 $\pm$ 0,017	0,443 $\pm$ 0,051
N. Basal	0,139 $\pm$ 0,032	0,393 $\pm$ 0,057	0,155 $\pm$ 0,025	0,548 $\pm$ 0,081



Evaluación de la calidad del aire para el logro de un transporte urbano sustentable en la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca

APLICACIÓN DE BIODIAGNÓSTICOS

**Tabla IV.** Contenido de feofitinas (Media  $\pm$  Desvío Estándar) en el nivel basal y en talos de *P. austrosinense* trasplantada a 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitios de monitoreo	Feofitina a (mg/g P.S.)	Feofitina b (mg/g P.S.)	Feofitina Total (mg/g P.S.)
1	0,416 $\pm$ 0,073	0,682 $\pm$ 0,12	1,099 $\pm$ 0,194
2	0,407 $\pm$ 0,041	0,669 $\pm$ 0,069	1,076 $\pm$ 0,11
3	0,641 $\pm$ 0,055	1,046 $\pm$ 0,095	1,687 $\pm$ 0,15
4	0,362 $\pm$ 0,038	0,591 $\pm$ 0,063	0,953 $\pm$ 0,101
5	0,388 $\pm$ 0,053	0,637 $\pm$ 0,085	1,025 $\pm$ 0,137
6	0,423 $\pm$ 0,089	0,697 $\pm$ 0,146	1,12 $\pm$ 0,236
7	0,374 $\pm$ 0,054	0,615 $\pm$ 0,087	0,989 $\pm$ 0,141
8	0,365 $\pm$ 0,055	0,599 $\pm$ 0,09	0,964 $\pm$ 0,145
9	0,379 $\pm$ 0,055	0,622 $\pm$ 0,091	1,002 $\pm$ 0,146
10	0,367 $\pm$ 0,06	0,604 $\pm$ 0,102	0,971 $\pm$ 0,162
11	0,469 $\pm$ 0,097	0,77 $\pm$ 0,159	1,239 $\pm$ 0,256
12	0,355 $\pm$ 0,045	0,583 $\pm$ 0,073	0,938 $\pm$ 0,118
N. Basal	0,47 $\pm$ 0,06	0,769 $\pm$ 0,098	1,239 $\pm$ 0,158

**Tabla V.** Contenido de azufre, MDA, agua e índice de polución (Media  $\pm$  Desvío Estándar) en el nivel basal y en talos de *P. austrosinense* trasplantada a 12 sitios de monitoreo en SFVC.

Sitio de monitoreo	Azufre (mg/g P.S.)	MDA ( $\mu$ mol/g P.S.)	Agua (g/g P.S.)	P.I.
1	1,6 $\pm$ 0,17	0,112 $\pm$ 0,01	0,031 $\pm$ 0,009	2,29 $\pm$ 0,13
2	1,3 $\pm$ 0,07	0,113 $\pm$ 0,003	0,042 $\pm$ 0,011	2,16 $\pm$ 0,04
3	1,57	0,105 $\pm$ 0,004	0,048 $\pm$ 0,001	2,45
4	1,59 $\pm$ 0,13	0,138 $\pm$ 0,005	0,043 $\pm$ 0,001	2,76 $\pm$ 0,22
5	1,35 $\pm$ 0,05	0,100 $\pm$ 0,004	0,037 $\pm$ 0,002	1,93 $\pm$ 0,09
6	1,47 $\pm$ 0,17	0,111 $\pm$ 0,016	0,03 $\pm$ 0,009	2,22 $\pm$ 0,39
7	1,45 $\pm$ 0,15	0,121 $\pm$ 0,011	0,049 $\pm$ 0,036	2,37 $\pm$ 0,23
8	1,57 $\pm$ 0,23	0,115 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,007	2,35 $\pm$ 0,35
9	1,48 $\pm$ 0,24	0,122 $\pm$ 0,016	0,023 $\pm$ 0,003	2,48 $\pm$ 0,21
10	1,63 $\pm$ 0,16	0,128 $\pm$ 0,019	0,026 $\pm$ 0,006	2,70 $\pm$ 0,43
11	1,8 $\pm$ 0,19	0,125 $\pm$ 0,015	0,049 $\pm$ 0,063	2,71 $\pm$ 0,31
12	1,32 $\pm$ 0,11	0,115 $\pm$ 0,017	0,038 $\pm$ 0,02	2,13 $\pm$ 0,28
N. Basal	1,41 $\pm$ 0,21	0,113 $\pm$ 0,012	0,045 $\pm$ 0,005	2,19 $\pm$ 0,14

Se terminó de imprimir en los Talleres Gráficos de la Editorial Científica Universitaria con un tiraje de 50 ejemplares  
Junio de 2016



ISBN: 978-987-661-149-7

Universidad Nacional de Catamarca  
Secretaría de Ciencia y Tecnología  
Av. Belgrano 300  
Pab. Variante I - Planta Alta  
Predio Universitario  
Tel: 00 54 0383 - 4437997  
[www.editorial.unca.edu.ar](http://www.editorial.unca.edu.ar)  
San Fernando del Valle de Catamarca  
Catamarca - República Argentina

ISBN 978-987-661-149-7



9 789876 161149 7