

Relación entre el nivel de tránsito vehicular y el contenido de elementos traza en líquenes transplantados al área central de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca

Alejandra I. Ocampo¹, Raquel C. Jasan², Carolina B. Mohaded Aybar¹, Rodolfo G. Moyano¹, Susan K. Córdoba¹, Rita R. Plá² & Martha S. Cañas¹

(1) *Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, 4700 S.F.V. de Catamarca, Argentina.*
marthacanas@tecno.unca.edu.ar

(2) *Técnicas Analíticas Nucleares, Comisión Nacional de Energía Atómica, 1429 Buenos Aires, Argentina*
rpla@cae.cnea.gov.ar

RESUMEN: En el presente trabajo se analiza el contenido de elementos traza en el biomonitor *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale, a los fines de determinar niveles de calidad de aire relacionados al tránsito vehicular en el área central de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. Talos líquénicos fueron colectados en un área poco antropizada y expuestos durante tres meses a doce sitios de monitoreo mediante trasplante en bolsa. En los mismos se analizaron, posteriormente, los contenidos 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 mediante INAA. El contenido de elementos traza del líquen reflejó el nivel de tránsito vehicular en los sitios de trasplante, los cuales pudieron clasificarse de acuerdo a su grado de afectación por fenómenos de polución. Se identificaron, además, otros factores ambientales que influyen en la calidad del aire urbano. De acuerdo al contenido de elementos traza en *P. austrosinense*, se infiere que la calidad del aire en el área de estudio está afectada no sólo por el tránsito vehicular, sino también por el aporte de material particulado en suspensión de origen natural.

1. INTRODUCCIÓN

En áreas urbanas, el tránsito vehicular es una fuente importante del material particulado y elementos traza presentes en el aire. No obstante, en la mayoría de las ciudades, estos polutantes no son rutinariamente monitoreados mediante muestreadores automáticos o semi-automáticos, debido a su elevado costo y/o a dificultades técnicas. Frente a ello, los líquenes han sido propuestos como biomonitores de polución atmosférica por metales y elementos traza, y son actualmente utilizados con esta finalidad en muchas ciudades del mundo, incluso de Argentina (Garty y col., 1996; Monaci y col., 2000; Carreras y Pignata, 2002; Fuga y col., 2008; Koz y col., 2010).

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 y 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 (Steinnes, 1989). Más aún, el contenido de metales en ciertas especies líquénicas permite inferir la proporción de estos elementos en el ambiente (Pignata y col., 2007).

En *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale se observó acumulación de níquel en talos transplantados a un área urbano-industrial de la ciudad de Córdoba (Cañas y Pignata, 2003). Recientemente, esta especie ha mostrado ser adecuada para biomonitoreo de material particulado, al ser transplantada a un área del departamento Belén (Catamarca; Palomeque, 2008).

En el presente trabajo se analiza el contenido de elementos traza en el biomonitor *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale, a los fines de determinar niveles de calidad de aire relacionados al tránsito vehicular en el área central de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. La investigación se realiza en el marco de un proyecto de investigación y transferencia, cuya finalidad es aportar datos de calidad de aire inferidos a partir de biomonitores, en vistas al

logro de un transporte urbano sustentable en la ciudad Capital de la provincia de Catamarca.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, capital de la provincia de Catamarca (Argentina), se encuentra emplazada a los 28° 28' 02" LS y 65° 46' 51" LW, 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 Arido (Morello y col., 1977), Provincia Chaqueña (Cabrera, 1976). 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 periodo muy seco de mayo a septiembre que corresponde así mismo al periodo con probabilidad de ocurrencia de heladas. La temperatura media anual para la ciudad capital es de 20,2 °C, promediando 27,7 °C la temperatura del mes más cálido (enero) y 10,8 °C la del mes más frío (julio; Morlans, 1995). 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 S.F.V. de Catamarca coincide con el límite del departamento Capital (684 Km²), por lo que adquiere el carácter de un municipio territorial. Cuenta con una población de 141.260 habitantes (INDEC, censo 2001), a la cual deben agregarse los pobladores de los departamentos aledaños (Valle Viejo y Fray Mamerto Esquiú, 23.707 y 10.658 habitantes, respectivamente), con los cuales conforma el “Gran Catamarca”. Con una densidad poblacional de 354 hab./Km², se caracteriza por concentrar toda la actividad comercial y administrativa en un área de aproximadamente 1,5 Km². Dentro de la misma, el microcentro, que es el área cívico-comercial dentro del trazado fundacional de cuadrícula hispánica, resulta ser la zona de mayor afluencia de vehículos tanto particulares como del transporte público de pasajeros. Las vías que

encierran el amanzanamiento fundacional hacen de anillo colector donde desembocan las vías principales de acceso a la Capital; y en horas pico, el tránsito en el microcentro se convierte, así, en un problema crucial para la funcionalidad de la ciudad (Plan de Desarrollo Urbano Ambiental para el Departamento Capital - P.U.A., 2004).



Figura 1. Ubicación de los sitios de monitoreo en la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca.

2.2 Selección de sitios de muestreo

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 (PUA) de la Municipalidad de S.F.V. de Catamarca. 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, 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. Los niveles de tránsito en cada sitio, expresados en términos de frecuencia para distintos medios de transporte, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Frecuencia vehicular (cantidad de vehículos/hora) en cada sitio seleccionado para el biomonitorio de calidad de aire en la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. Los valores corresponden a la media aritmética \pm el desvío estándar de tres conteos realizados en horas pico.

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

2.3 Material líquénico y transplante

Como biomonitor se empleó el líquen folioso *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale. Los talos fueron colectados en un área poco antropizada en las cercanías de la localidad de Colpes (Catamarca), y con los mismos se prepararon bolsas líquénicas de acuerdo a la metodología descrita por González y Pignata (1994). En julio de 2009, en cada sitio de monitoreo se transplantaron tres bolsas líquénicas sobre diferentes postes, donde permanecieron expuestas durante un período de tres meses.

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}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).

2.4 Análisis químicos

La composición elemental se analizó mediante Análisis por Activación Neutrónica Instrumental (INAA). Para ello, las muestras líquénicas 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 Lichen 336, durante 5 horas en el reactor RA-3 (flujo térmico $3.10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 8 MW), perteneciente al Centro Atómico

2.5 Análisis de datos

Se calcularon estadísticos de posición y de dispersión para describir el set de datos obtenidos. Tanto para los sitios de transplante como para los elementos analizados, se aplicó Análisis de Conglomerados Jerárquicos o Análisis de Cluster, usando Método de Ward como algoritmo de aglomeración y Distancia Euclídea al Cuadrado como medida de disimilaridad. Las variables se estandarizaron previamente mediante puntuaciones Z.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan las concentraciones de los elementos cuantificados en *P. austrosinense* transplantada al área de estudio. En general, los valores detectados fueron del mismo orden de magnitud que aquéllos registrados en esta especie transplantada a un área del departamento Belén (Catamarca) durante el invierno del año 2005

(Palomeque, 2008). Sólo el contenido de Sb se vio notablemente aumentado en la ciudad Capital respecto de los valores de Belén.

En la clasificación de los sitios mediante Análisis de Cluster se obtuvo un dendrograma con dos cluster principales, I y II (Fig. 2). El cluster I contiene 9 de los 12 sitios de muestreo, quedando incluidos en el cluster II los sitios 2,7 y 11. A su

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la concentración elemental (expresada en $\mu\text{g/g P.S.}$) y coeficiente de variación (C.V.) en *P. austrosinense* transplantada al área central de S.F.V. de Catamarca.

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	0,0712	0,0504	0,1137	0,236
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

vez, el cluster I se divide en dos subcluster: el cluster Ia, incluye sitios con bajo nivel de tránsito (9, 10 y 12; ver Tabla 1) y otros como los sitios 1, 3, y 8 que son de tránsito alto; el subcluster Ib está conformado por tres sitios correspondientes al denominado corredor Chacabuco. Este análisis multivariado separa así los sitios de transplante en tres grupos, según niveles crecientes de tránsito vehicular desde el subcluster Ia hasta cluster II. Cabe destacar que los sitios 2 y 7 son, de todos los monitoreados, los de mayor tránsito.

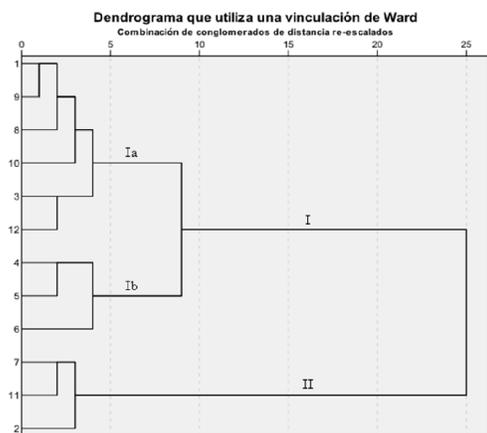


Figura 2. Clasificación de los sitios de exposición mediante Análisis de Cluster.

No obstante, resulta evidente que otros factores, además del tránsito, determinan el contenido elemental de *P. austrosinense* transplanteda a la ciudad Capital. En tal sentido, González y col. (1998) determinaron que las características micro-ambientales relacionadas a la dispersión de polutantes son uno de los principales factores que actúan sobre la respuesta de un biomonitor en áreas urbanas. Así, el sitio 1, si bien es de alto tránsito, está ubicado en la esquina de una avenida, y por tanto en un lugar más abierto que aquéllos ubicados en el microcentro, donde el trazado colonial determina la estrechez de las calles. Respecto al sitio 3, si bien el mismo se definió inicialmente en la esquina de Esquiú y Rivadavia (también en el microcentro), los líquenes fueron transplantedos a una distancia de 15 metros respecto de la esquina sobre calle Rivadavia, porque aquí se encontró el soporte físico necesario para tal fin. Estos talos no sólo estuvieron expuestos al tránsito de una sola arteria, sino que además, el sitio real de transplante se ubicó frente a un amplio espacio verde correspondiente al jardín de un convento religioso. El sitio 8, por su parte, 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 microcentro de la ciudad (sitios 4, 5 y 6; Tabla 1). A los fines de comparar la composición elemental entre los grupos generados a partir del Análisis de Cluster, se realizó un Análisis de la Varianza (ANOVA), empleando como criterio de clasificación el subcluster. Como puede observarse en la Tabla 3, se encontraron diferencias significativas entre grupos para la mayoría de los elementos cuantificados en *P. austrosinense*, siendo las concentraciones más elevadas en talos transplantedos a los sitios incluidos en el grupo II. Éste comprende los sitios de mayor tránsito de todos los monitoreados en este estudio (2 y 7), así como el sitio 11 que es de bajo tránsito. El elevado aporte de elementos traza a la atmósfera urbana a partir del tránsito vehicular está ampliamente documentado (Alfani y col., 2000; Giordano y col., 2005; Aprile y col., 2010). Con relación al sitio 11, cabe aclarar que en este lugar los líquenes se transplantedaron en las proximidades de un taller de chapa y pintura. De acuerdo a Tahír y col. (2010), este tipo de actividad genera polutantes tanto particulados como en fase de vapor, que impactan sobre todas las componentes del ambiente que rodea al taller. Según un informe de la U.S. E.P.A. (United States-Environmental Protection Agency) del año 2005, los trabajos de lijado y soldadura serían los principales generadores de material particulado en los talleres de reparación de carrocerías. Por tanto, esto explicaría los elevados valores de concentración multielemental detectados en los talos transplantedos al sitio 11.

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 (Adamo y col., 2003; Wannaz y col., 2006). En *P. austrosinense* se obtuvieron tres grupos principales de elementos al nivel de subcluster (Fig. 3). El subcluster Ia 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 Ia indicaría el aporte de material particulado de origen edáfico a la composición elemental del biomonitor, tal como ha sido observado en otras áreas urbanas (Adamo y col., 2003; Giordano y col., 2005). El subcluster Ib y el cluster II incluyen elementos usualmente presentes en el material particulado asociado a tránsito vehicular (Dietl y col., 1996; Wen y Carignan, 2007; Fujiwara y col., 2011). Mediante

Tabla 3. Concentraciones elementales (Medias \pm D.S., expresadas en $\mu\text{g/g}$ P.S.) en *P. austrosinense* para los diferentes agrupamientos de sitios generados en el Análisis de Cluster. ^(a) Resultados del ANOVA: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. = diferencias no significativas. Los valores seguidos de una misma letra no difieren significativamente a $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Elemento	Grupos			p-Valor ^(a)
	Ia	Ib	II	
As	1,97 \pm 0,12 a	1,74 \pm 0,11 a	2,35 \pm 0,24 b	**
Ba	30,6 \pm 2,70 b	24,7 \pm 0,68 a	38,6 \pm 2,99 c	***
Br	4,68 \pm 0,21	4,32 \pm 0,41	4,71 \pm 0,12	n.s.
Ce	5,34 \pm 0,34 a	4,69 \pm 0,44 a	6,36 \pm 0,30 b	***
Co	0,72 \pm 0,03 a	0,62 \pm 0,07 a	0,89 \pm 0,05 b	***
Cr	3,89 \pm 0,15 b	3,18 \pm 0,46 a	4,70 \pm 0,08 c	***
Cs	0,70 \pm 0,03 b	0,59 \pm 0,07 a	0,84 \pm 0,02 c	***
Eu	0,093 \pm 0,001	0,086 \pm 0,011	0,107 \pm 0,006	n.s.
Fe	1820 \pm 58,68 b	1517 \pm 189,6 a	2244 \pm 131,1 c	***
Hf	0,29 \pm 0,03 b	0,21 \pm 0,05 a	0,34 \pm 0,03 b	**
La	2,76 \pm 0,18 a	2,4 \pm 0,26 a	3,34 \pm 0,34 b	**
Lu	0,035 \pm 0,002 b	0,028 \pm 0,003 a	0,043 \pm 0,002 c	***
Na	720 \pm 35,2 b	561 \pm 35,2 a	866 \pm 35,2 b	**
Nd	3,01 \pm 0,71	2,67 \pm 0,49	3,27 \pm 0,66	n.s.
Rb	7,91 \pm 0,54 a	6,78 \pm 1,06 a	9,65 \pm 0,48 b	**
Sb	0,23 \pm 0,03 a	0,25 \pm 0,04 ab	0,31 \pm 0,06 b	**
Sc	0,23 \pm 0,03 b	0,67 \pm 0,03 a	0,56 \pm 0,07 c	***
Se	0,34 \pm 0,03	0,34 \pm 0,04	0,39 \pm 0,01	n.s.
Sm	0,58 \pm 0,03 a	0,52 \pm 0,08 a	0,70 \pm 0,03 b	**
Ta	0,077 \pm 0,006 b	0,060 \pm 0,008 a	0,096 \pm 0,009 c	***
Tb	0,0730 \pm 0,0070 ab	0,0560 \pm 0,0050 a	0,0880 \pm 0,0220 b	**
Th	0,81 \pm 0,12 a	0,63 \pm 0,08 a	1,02 \pm 0,07 b	**
U	0,30 \pm 0,03 ab	0,17 \pm 0,12 a	0,37 \pm 0,03 b	**
Yb	0,20 \pm 0,01 b	0,17 \pm 0,03 a	0,24 \pm 0,01 c	**
Zn	26,8 \pm 5,72	27,5 \pm 4,10	27,9 \pm 1,38	n.s.

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 ($r = 0,586$).

La separación entre Sb-Se y Zn, probablemente esté indicando diferencias al nivel del tamaño de las partículas en que se encuentran, lo cual condicionaría su grado de dispersión en la atmósfera urbana (Dietl y col., 1997; Wen y Carignan, 2007; Fujiwara y col., 2011). Más aún, selenio puede eventualmente encontrarse en algunas formas químicas volátiles (Wen y Carignan, 2007), cuya difusión podría explicar la homogénea distribución detectada en el área de estudio (Tabla 3).

4. CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo muestran que el contenido de elementos traza del líquen *P. austrosinense* refleja el nivel de tránsito vehicular en los sitios de transplante. Éstos pudieron separarse en tres grupos bien establecidos, de los cuales los sitios 2 y 7 pertenecientes al corredor Chacabuco serían los más afectados por fenómenos de contaminación de origen vehicular. Esto se condice con el mayor nivel de tránsito registrado en los mismos. Así mismo, se identificaron otros factores que influyen en la calidad del aire urbano, relativos a la dispersión de contaminantes y la presencia de otras fuentes de emisión en la ciudad Capital. De acuerdo al

contenido de elementos traza determinado en *P. austrosinense*, la calidad del aire en el centro de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca está afectada no sólo por el tránsito vehicular, sino también por el aporte de material particulado en suspensión de origen natural.

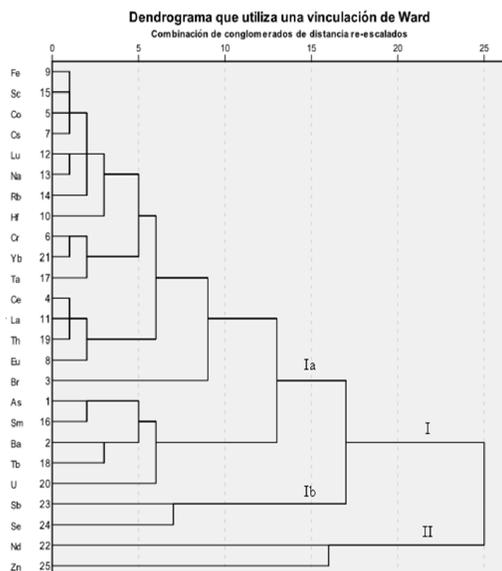


Figura 3. Dendrograma de todos los elementos analizados en *P. austrosinense* transplantada a 12 sitios en S.F.V. de Catamarca.

5. REFERENCIAS

- Adamo, P., Giordano, S., Vingiani, S., Castaldo Cobiانchi, R. & P. Violante, Trace element accumulation by moss and lichen exposed in bags in the city of Naples (Italy), *Environmental Pollution* 122, 91-103, 2003.
- Alfani A., Baldantoni, D., Maisto, G., Bartoli, G. & A. Virzo De Santo, Temporal and spacial variation in C, N, S and trace element contents in leaves of *Quercus ilex* within the urban area of Naples, *Environmental Pollution* 109, 119-129, 2000.
- Aprile, G. G., Di Salvatore, M., Carratú, G., Mingo, A. & A.M. Carafa, Comparison of the suitability of two lichen species and one higher plant for monitoring airborne heavy metals, *Environmental Monitoring and Assessment* 162, 291-299, 2010.
- Cabrera, A. L., *Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Ganadería*, ACME, Buenos Aires, 1976.
- Carreras, H. A. & M. L. Pignata, Biomonitoring of heavy metals and air quality in Córdoba City, Argentina, using transplanted lichens, *Environmental Pollution* 117, 77-87, 2002.
- Dietl, C., Wäber, M., Peichl, L. & O. Vierle, Monitoring of airborne metals in grass and depositions, *Chemosphere* 33 (11), 2101-2111, 1996.
- Dietl, C., Reifenhäuser, W. & L. Peichl, Association of antimony with traffic — occurrence in airborne dust, deposition and accumulation in standardized grass cultures, *Science of The Total Environment* 205 (2-3), 235-244, 1997.
- Fuga, A., Saiki, M., Marcelli, M.P. & P.H.N. Saldiva, Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens, *Environmental Pollution* 151, 334-340, 2008.
- Fujiwara F.G., Gómez, D.R., Dawidowski, L., Perelman, P. & A. Faggi, Metals associated with airborne particulate matter in road dust and tree bark collected in a megacity (Buenos Aires, Argentina), *Ecological Indicators* 11, 240-247, 2011.
- Garty, J., Kauppi, M. & A. Kauppi, Accumulation of airborne elements from vehicles in transplanted lichens in urban sites, *Journal of Environmental Quality* 25(2), 265-272, 1996.
- Giordano, S., Adamo, P., Sorbo, S. & S. Vingiani, Atmospheric trace metal pollution in the Naples urban area based on results from moss and lichen bags, *Environmental Pollution* 136, 431-442, 2005.
- González, C. M. & M. L. Pignata, 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, 1994.
- González, C. M., Orellana, L. C., Casanovas, S.S. & M. L. Pignata, Environmental conditions and chemical response of a transplanted lichen to an urban area, *Journal of Environmental Management* 53, 73-81, 1998.
- Koz, B., Celik, N. & U. Cevik, Biomonitoring of heavy metals by epiphytic lichen species in Black Sea region of Turkey, *Ecological Indicators* 10, 762-765, 2010.
- Monaci, F., Moni, F., Lanciotti, E., Grechi, D. & R. Bargagli, Biomonitoring of airborne metals in urban environments: new tracers of vehicle emission, in place of lead, *Environmental Pollution* 107, 321-327, 2000.
- Morello, J., Sancholuz, L. & C. Blanco, Estudio macroecológico de los Llanos de la Rioja. *IDIA* 34, 242-248, 1977.
- Morlans, M.C., Regiones naturales de Catamarca: Provincias Geológicas y Provincias Fitogeográficas. *Revista de Ciencia y Técnica UNCa* 2(2), 1-42, 1995.
- Palomeque, L.I., 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, 2008.
- Plan de Desarrollo Urbano Ambiental (P.U.A.), Documento elaborado por la Municipalidad de San Fernando del Valle de Catamarca, Provincia de Catamarca, República Argentina, 2004.
- Pignata, M.L., Plá, R.R., Jasan, R.C., Martínez, M.S., Rodríguez, J.H., Wannaz, E.D., Gudiño, G.L., Carreras, H.A. & C.M. González, 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 emision sources, *Internacional Journal of Environment and Health* 1(1), 29-46, 2007.
- Steinnes, E., Biomonitors of air pollution by heavy metals. En: *Control and Fate of Atmospheric Trace Metals*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 321-338, 1989.
- Tahir H, JahanZeb, Q. & M. Sultan, Assessment of heavy metal exposure around auto body refinishing shops, *African Journal of Biotechnology* 9(46), 7862-7869, 2010.
- U.S. EPA, Community Information Sheet: *Reducing air pollution from auto body shops*. Healthy air. A community and business leader guide, 2005.
- Wannaz, E.D., Carreras, H.A., Pérez, C.A. & M.L. Pignata, 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, 2006.
- Wen, H. & J. Carignan, Reviews on atmospheric selenium: Emissions, speciation and fate, *Atmospheric Environment* 41, 7151-7165, 2007.