

# Análisis del contenido de ácido lecanórico y pigmentos fotosintéticos en líquenes transplantados a San Fernando del Valle de Catamarca

Susan K. Córdoba, Alejandra I. Ocampo, Rodolfo G. Moyano & Martha S. Cañas

*Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca.  
marthacanas@tecno.unca.edu.ar*

**RESUMEN:** El empleo de líquenes para el estudio de calidad de aire requiere de la cuantificación de un set de parámetros químico-fisiológicos, que reflejen la respuesta integrada del biomonitor. Muchas sustancias se emplean como biomarcadoras del efecto producido por polutantes atmosféricos (entre ellas los pigmentos fotosintéticos), aunque es escasa la información relativa al rol de los fenoles liquénicos en la respuesta a este tipo de estrés. En este trabajo se analiza el contenido de ácido lecanórico en *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale transplantada a la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, evaluando su comportamiento conjuntamente con compuestos ya validados como biomarcadores en esta especie. Talos liquénicos se colectaron en un área poco antropizada y se transplantaron en bolsa al sitio de colección (Colpes) y a sitios de monitoreo con distintas características ambientales distribuidos en toda la ciudad. Luego de tres meses, se cuantificaron espectrofotométricamente ácido lecanórico y pigmentos fotosintéticos. Las muestras transplantadas al área urbana mostraron contenidos de ácido lecanórico inferiores, aunque no significativamente, a aquéllas transplantadas al sitio de colección. Así mismo, en las muestras urbanas se observaron menores concentraciones de pigmentos respecto de las muestras de Colpes, lo cual estaría indicando cierto grado de afectación de la calidad del aire de la ciudad. Dentro de la misma, el contenido de ácido lecanórico fue menor en líquenes transplantados a sitios cercanos al río, probablemente debido al efecto combinado de polutantes urbanos y condiciones de humedad atmosférica. Se infiere que en ciertos sitios urbanos los niveles de polución son sólo suficientes para producir un efecto fertilizante en los talos, aunque provocarían una disminución del contenido de ácido lecanórico en los mismos. Este compuesto sería, entonces, un potencial marcador de estrés en líquenes aun en áreas urbanas con bajos niveles de polución como lo es la ciudad de S.F.V. de Catamarca.

## 1 INTRODUCCIÓN

La ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca 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., 2004), se considera entre otros aspectos de importancia, la polución del aire en la ciudad. 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. Surgen así el diagnóstico y el monitoreo como etapas clave en la gestión de la calidad del aire en la ciudad, siendo los biomonitores una alternativa válida y viable para tal fin.

La evaluación de la calidad atmosférica mediante el empleo de organismos se denomina bioindicación o biomonitoreo. Un bioindicador, es un organismo que reacciona a una dinámica ambiental específica mediante cambios observables y cuantificables. Midiendo estos cambios, como respuesta a una forma especial de polución pueden extraerse conclusiones sobre la fuente de emisión, y posiblemente su intensidad (dada como la relación entre el grado de polución y los cambios mensurables en el bioindicador); así como de la calidad global de ese ambiente (Markert, 1993).

Actualmente, el uso de biomonitores de contaminación atmosférica representa una importante contribución a la gestión de la calidad del aire en nuestro país, ya que las mediciones de material particulado y otros polutantes requieren de equipamiento técnico costoso, no disponible aún en la mayoría de las ciudades. Más aún, aunque los

contaminantes más relevantes pudieran ser cuantificados mediante métodos convencionales, éstos representarían sólo una selección de los contaminantes presentes en el ambiente, y dudosamente puedan derivarse los efectos globales de la contaminación atmosférica a partir de la concentración de componentes individuales (Nimis, 1990). A diferencia de ello, las reacciones de organismos vivos reflejan los efectos causados por todos los contaminantes atmosféricos y constituyen una expresión de las condiciones ambientales (Manning y Feder, 1980).

Los líquenes son los bioindicadores más ampliamente utilizados para la evaluación de la calidad de aire, debido a su sensibilidad a condiciones ambientales, las cuales originan cambios mensurables en sus componentes específicos (Carreras et al., 1998, 2005). Para nuestro país se ha establecido la capacidad bioindicadora de varias especies liquénicas (Pignata, 1998; Calvelo et al., 1998). Entre éstas, Cañas et al. (1997) y Cañas y Pignata (1998) estudiaron la respuesta química de tres especies de *Parmotrema* a contaminantes atmosféricos urbanos. Una de ellas, *Parmotrema austrosinense*, ha sido utilizada como biomonitora de calidad de aire en Belén (Catamarca, Argentina; Palomeque et al., 2006, 2007), en la zona minera del oeste de Catamarca (Mohaded Aybar et al., 2008, 2010) y en el área central de la capital de esta provincia (Ocampo et al., 2011a, b).

A los fines del biomonitorio, es importante conocer la amplitud de la respuesta químico-fisiológica de la especie escogida, entendiéndose por ésta la cantidad de parámetros que varían por efecto de contaminantes atmosféricos, lo cual da cuenta del grado de disrupción sufrido a nivel del metabolismo liquénico. En tal sentido, una variedad de parámetros han sido usados para medir los efectos subletales de polutantes sobre líquenes. Entre éstos, el contenido de clorofilas (González et al., 1996; Cañas et al., 1997; Carreras et al., 1998), carotenoides (Cañas y Pignata, 1998, 2003) y el índice de feofitización (Garty et al., 1988; González et al., 1996) han mostrado ser buenos indicadores de estrés liquénico causado por polutantes atmosféricos.

Dado que el conocimiento actual sobre la fisiología de la simbiosis liquénica no es suficiente, existe poca información acerca de la función de algunos metabolitos secundarios en relación a su posible participación en la respuesta química de diferentes especies a polutantes del aire. Sin embargo, es probable que ellos puedan ser usados como compuestos marcadores de este fenómeno (Pierivittori et al., 1994; Bialonska y Dayan, 2005).

Los líquenes son ricos en derivados fenólicos exclusivos de la simbiosis. Estos compuestos representan generalmente 0,1-5% de peso seco, pudiendo comprender hasta un 20% del peso seco de los talos (Fahselt, 1994). La importante inversión en energía y en carbono dedicada a la producción de estos metabolitos secundarios sugiere para los mismos un rol fisiológico, así como funciones ecológicas (Lawrey, 1986; Fahselt, 1994).

Se considera que algunos metabolitos liquénicos son sintetizados en respuesta a estímulos bióticos y abióticos, pudiendo proteger los talos de las acciones tóxicas de los radicales libres producidos por exposición al estrés oxidativo (Huneck y Yoshimura, 1996; Caviglia et al., 2001). No obstante, son pocos los estudios que han examinado los cambios al nivel de compuestos liquénicos causados por estrés ambiental (Calatayud et al., 2000; Caviglia et al., 2001; Conti y Cecchetti, 2001). Debido a que los mismos juegan un papel en la adaptación de líquenes a su entorno, así como en interacciones ecológicas, son candidatos adecuados para la detección de cambios perjudiciales en los ecosistemas causados por la contaminación (Jeziński et al. 1999; Caviglia et al., 2001).

Un estresor dado puede causar un aumento en la producción de un compuesto liquénico, o el nivel normal de los compuestos del líquen puede reducirse a medida que reaccionan o se descomponen en respuesta al estrés (MacGillivray y Helleur, 2001; Pawlik-Skowrońska y Bačkor, 2011). Debido a que las funciones de los metabolitos secundarios no han sido bien establecidas, el trasplante de líquenes parece ser un sistema modelo pertinente para tales investigaciones (Bialonska y Dayan, 2005).

En este trabajo se analiza el contenido de ácido lecanórico en *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale transplantada a la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, evaluando su comportamiento conjuntamente con compuestos ya validados como biomarcadores en esta especie. Se espera así contribuir al estudio de la respuesta química de *P. austrosinense* expuesta a la atmósfera local, a los fines de su empleo como biomonitora de calidad de aire.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio y sitios de monitoreo

La ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, se encuentra a los 28° 28' 02" S y 65° 46' 51" O, a una altura de 545 m s.n.m. Está ubicada en el denominado Valle Central de

Catamarca, 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 (Morello et al., 1977), Provincia Chaqueña (Cabrera, 1976). El clima es semi-árido, con un promedio de precipitación anual que oscila entre los 300 y 360 mm y concentración estival. La temperatura media anual para la ciudad capital es de 20,2 °C (Morlans, 1995). Los vientos predominantes son del NEE y del S y SO.

El Municipio de Catamarca comprende el área urbana (10 % de la superficie departamental) y un área rural, pudiendo distinguirse en el mismo tres grandes unidades territoriales: el sistema serrano, el sistema pedemontano y el sistema fluvial del Río del Valle. Cuenta con una población de 160.058 habitantes (INDEC, 2010), 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”.

Estructuralmente, en la ciudad pueden distinguirse las siguientes áreas: a) nodo multifuncional a escala urbano-regional, asentado sobre trazado fundacional; b) área pericentral compacta y consolidada, con geometría paralela al trazado original; c) área intermedia de extensión más reciente, con quiebres en su trazado derivados de accidentes topográficos, hidrográficos y otros (traza antiguo aeropuerto); d) áreas de extensión mediante planes de viviendas (norte y sur), que rompen la compacidad histórica de la planta urbana produciendo grandes vacíos intermedios. Así mismo, en el sector sur de la ciudad se reconoce una zona de asentamiento industrial, que por su localización constituye un sector terminal de la ciudad. En esta zona se localiza, además, la Planta Municipal de Volcado y Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos (Basurero Municipal).

## 2.2 Sitios de monitoreo

Para establecer los sitios de monitoreo (Fig. 1), se trabajó con una imagen satelital georeferenciada y se dividió el área de estudio en cuadrículas de 1 km x 1 km. Se seleccionaron 20 sitios (1 por cuadrícula) distribuidos en todo el ejido municipal, algunos de ellos coincidentes con áreas consideradas a priori críticas, ya sea por sus

niveles de tránsito vehicular o por la presencia de otras posibles fuentes de polución atmosférica.

## 2.3 Líquenes y transplante

Se colectaron talos líquenicos de *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale en un lugar considerado de "aire limpio" (cercanías de Colpes, provincia de Catamarca). 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, los talos fueron colocados en bolsas de malla de nylon (bolsas líquénicas; aproximadamente 20 talos por bolsa) y trasplantados sobre postes, a una altura de tres metros sobre el nivel del suelo, en cada sitio de monitoreo. Siguiendo la metodología propuesta por Cañas (2001), a modo de control se trasplantaron bolsas líquénicas (n = 6) al sitio de colección. Luego de tres meses de exposición, las muestras correspondientes a 10 de los 20 sitios fueron recuperadas. En el laboratorio, los líquenes fueron triturados a fin de lograr homogeneidad, y se colocaron en freezer a -4 °C hasta su análisis.

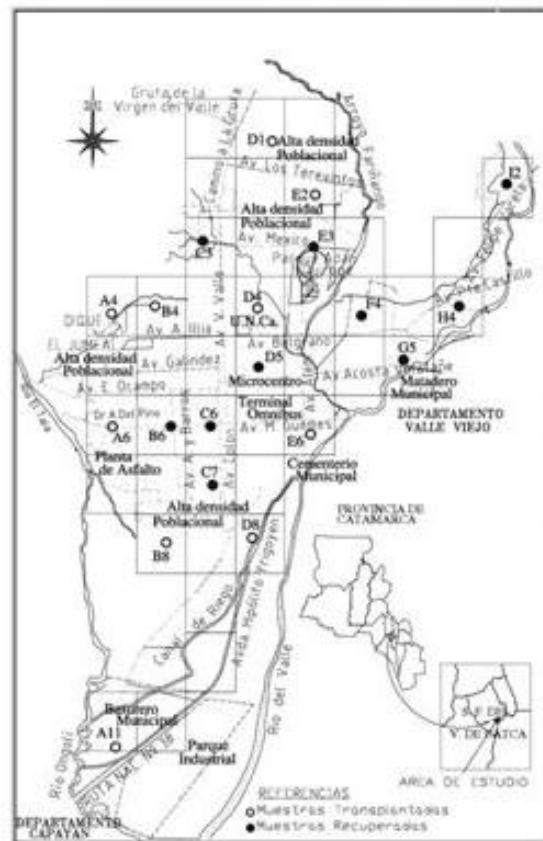


Figura 1. Ubicación de los sitios de monitoreo en la ciudad de S.F.V. de Catamarca.

## 2.4 Análisis químicos

La concentración de ácido lecanórico se analizó de acuerdo a la técnica propuesta por Cañas (2001). A partir de 50 mg de talos secos, se realizó una extracción con 10 mL de etanol al 96 % durante 3 horas mediante agitación continua. Los extractos fueron filtrados y diluidos convenientemente a fin de registrar su absorbancia a 270 nm con un espectrofotómetro Labomed UV-2502. La concentración se expresó en mg/g P.S.

Para la cuantificación de pigmentos fotosintéticos, 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 clorofila a (Clor. a), clorofila b (Clor. b), clorofila total (Clor. Total como Clor. a + Clor. b) y carotenoides, de acuerdo a Lichtenthaler y Wellburn (1983). Las concentraciones de feofitinas (Feof. a, Feof. b y Feof. Total como Feof. a + Feof. b) se calcularon según Wintermans y De Mots (1965). Se obtuvieron, además, el cociente Clor. b/Clor. a y el índice de feofitinización Feof. a/Clor. a.

## 2.5 Análisis estadísticos

Los datos obtenidos se analizaron mediante ANOVA, siendo los supuestos del modelo previamente chequeados mediante métodos analíticos y gráficos. Cuando las diferencias fueron significativas a un  $p \leq 0,05$ , se aplicó LSD (Mínima Diferencia Significativa) como test a posteriori.

## 3 RESULTADOS

Las muestras transplantadas a la ciudad de S.F.V. de Catamarca (Capital) mostraron contenidos de ácido lecanórico inferiores, aunque no significativamente, a aquellas transplantadas al sitio de colección (Fig. 2a). Así mismo, en las muestras urbanas se observaron menores concentraciones de clorofila a, clorofila b y feofitina a respecto de las muestras de Colpes (Fig. 2a y 2b). Dado que en *P. austrosinense* se ha observado una disminución del contenido de

estos pigmentos por efecto de polutantes atmosféricos en áreas urbanas (Cañas et al., 1997; Cañas y Pignata, 2003), estos resultados estarían indicando cierto grado de afectación de la calidad del aire de la ciudad capital. Esto se evidenció, además, a través de un aumento de los índices de estrés Clor. b/Clor. a y Feof. a/Clor. a en líquenes transplantados a sitios urbanos (Fig. 3).

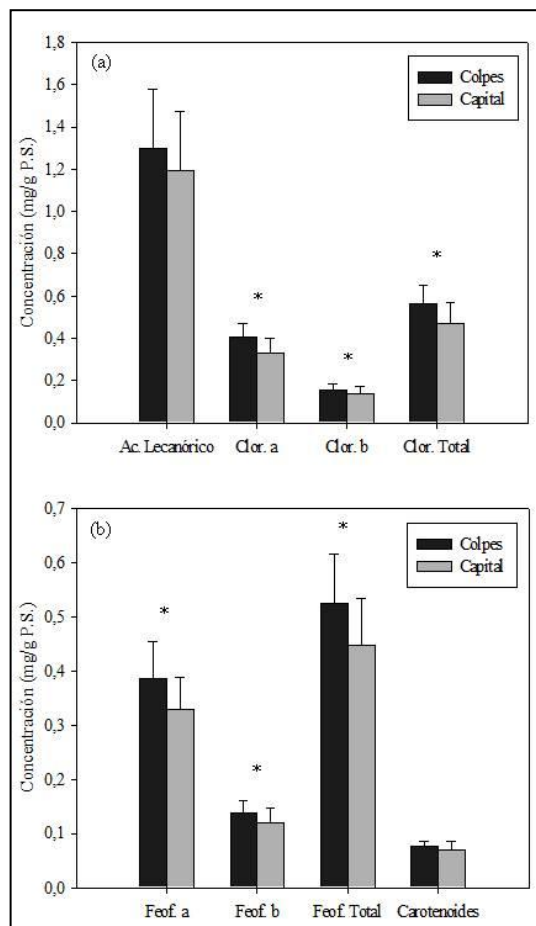


Figura 2. Concentración de ácido lecanórico y pigmentos fotosintético en *P. austrosinense* transplantada al área de colección (Colpes) y a S.F.V. de Catamarca (Capital). \*  $p < 0,05$ .

Dentro de la ciudad, el contenido de ácido lecanórico fue menor en líquenes transplantados a sitios cercanos al río del Valle (sitios G5, I2 y H4; Tabla 1). Según González et al. (1998; 2003) condiciones de elevada humedad atmosférica en áreas cercanas al río Suquia, potenciaron el efecto producido por polutantes atmosféricos en líquenes transplantados a la ciudad de Córdoba. En S.F.V. de Catamarca, el sitio G5 está ubicado en proximidades de la avenida Acosta Villafañe (ruta provincial n° 33) y del matadero municipal. Es ésta una zona de asentamientos humanos a la vera del Río del Valle, donde es continua la

quemado de basura y el uso de leña como combustible de uso doméstico. Por tanto, es probable que aquí se produzca sobre el biomonitor un efecto combinado de polutantes urbanos y condiciones de humedad atmosférica.

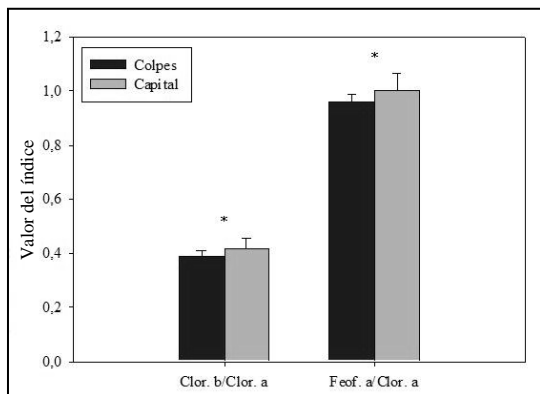


Figura 3. Índices (cocientes entre pigmentos) calculados en *P. austrosinense* transplantada al área de colección (Colpes) y a S.F.V. de Catamarca (Capital). \*  $p < 0,05$ .

En términos generales, el contenido de clorofilas y feofitinas fue significativamente superior en líquenes transplantados al sitio G5 (Tablas 1 y 2). Si bien muchos autores han reportado una disminución del contenido de pigmentos

fotosintéticos en líquenes por efecto de polutantes atmosféricos (González et al., 1996; Garty et al., 2001; Cañas y Pignata, 2003), otras investigaciones han mostrado un aumento en la concentración de estos compuestos en los talos cuando los niveles de polución urbana son bajos (Von Arb y Brunold, 1990; Von Arb et al., 1990), denotando una mejora del estatus fisiológico y nutricional del líquen (Ra et al., 2005). Más aun, se ha observado un aumento del contenido de pigmentos paralelo al incremento de los niveles de polución urbana (Carreras et al., 1998; Carreras y Pignata, 2001), lo cual se atribuye al efecto fertilizante de algunos polutantes atmosféricos (Nash, 1976; Kauppi, 1980; Von Arb y Brunold, 1990).

A semejanza de los otros pigmentos, el contenido de carotenoides fue elevado en los talos transplantados en los sitios I2 y G5, como así también en el sitio D5 ubicado en el microcentro de la ciudad. Ra et al. (2005) observaron cantidades elevadas de carotenoides en líquenes que crecen en sitios polutos dentro de áreas urbano-industriales. Estos compuestos forman parte del sistema antioxidante de defensa (Adams et al., 1993), y su incremento en los talos podría interpretarse como un mecanismo protectoro frente a polutantes atmosféricos (Cañas, 2001).

Tabla 1. Concentración de ácido lecanórico, carotenoides y clorofilas (Media  $\pm$  D.S. en mg/g P.S.) en *P. austrosinense* transplantada a 10 sitios en S.F.V. de Catamarca. Los valores seguidos de una misma letra no difieren a un  $p < 0,05$  (Test LSD).

Sitios	Ác. Lecanórico	Carotenoides $\times 10^{-1}$	Clor. a	Clor. b	Clor. Total
C3	1,43 $\pm$ 0,07 ab	0,64 $\pm$ 0,02 cd	0,33 $\pm$ 0,01 bc	0,14 $\pm$ 0,01 bc	0,47 $\pm$ 0,02 bc
E3	1,36 $\pm$ 0,11 abc	0,72 $\pm$ 0,05 bc	0,31 $\pm$ 0,04 bc	0,12 $\pm$ 0,02 c	0,43 $\pm$ 0,06 bc
F4	1,54 $\pm$ 0,15 a	0,75 $\pm$ 0,07 bc	0,36 $\pm$ 0,09 abc	0,14 $\pm$ 0,03 bc	0,49 $\pm$ 0,13 bc
H4	0,9 $\pm$ 0,11 d	0,54 $\pm$ 0,12 de	0,34 $\pm$ 0,10 bc	0,14 $\pm$ 0,03 bc	0,48 $\pm$ 0,12 bc
I2	0,84 $\pm$ 0,19 de	0,99 $\pm$ 0,11 a	0,39 $\pm$ 0,02 ab	0,16 $\pm$ 0,01 b	0,56 $\pm$ 0,03 ab
D5	1,26 $\pm$ 0,05 bc	0,79 $\pm$ 0,05 b	0,30 $\pm$ 0,03 bc	0,11 $\pm$ 0,01 c	0,41 $\pm$ 0,04 c
B6	1,33 $\pm$ 0,05 bc	0,48 $\pm$ 0,04 e	0,27 $\pm$ 0,03 c	0,11 $\pm$ 0,02 c	0,39 $\pm$ 0,05 c
C6	1,23 $\pm$ 0,12 c	0,56 $\pm$ 0,02 de	0,30 $\pm$ 0,03 bc	0,12 $\pm$ 0,01c	0,42 $\pm$ 0,04 c
C7	1,32 $\pm$ 0,08 bc	0,71 $\pm$ 0,08 bc	0,27 $\pm$ 0,04 c	0,13 $\pm$ 0,03 bc	0,40 $\pm$ 0,06 c
G5	0,68 $\pm$ 0,03 e	0,78 $\pm$ 0,05 b	0,45 $\pm$ 0,09 a	0,21 $\pm$ 0,03 a	0,65 $\pm$ 0,12 a
ANOVA	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,05$	$p < 0,01$	$p < 0,01$

Tabla 2. Concentración de feofitinas (Media  $\pm$  D.S. en mg/g P.S.) y cocientes entre pigmentos en *P. austrosinense* transplantada a 10 sitios en S.F.V. de Catamarca. Los valores seguidos de una misma letra no difieren a un  $p < 0,05$  (Test LSD).

Sitios	Feof. a	Feof. b	Feof. Total	Clor. b/Clor. a	Feof. a/ Clor. a
C3	0,33 $\pm$ 0,02 bc	0,12 $\pm$ 0,01 a	0,44 $\pm$ 0,02 bc	0,44 $\pm$ 0,02 abc	1,00 $\pm$ 0,01
E3	0,31 $\pm$ 0,04 bc	0,11 $\pm$ 0,01 b	0,41 $\pm$ 0,05 bc	0,38 $\pm$ 0,01 d	0,99 $\pm$ 0,03
F4	0,35 $\pm$ 0,07 b	0,13 $\pm$ 0,04 b	0,47 $\pm$ 0,09 bc	0,39 $\pm$ 0,01 cd	0,99 $\pm$ 0,07
H4	0,32 $\pm$ 0,08 bc	0,11 $\pm$ 0,02 b	0,43 $\pm$ 0,11 bc	0,41 $\pm$ 0,06 abcd	0,95 $\pm$ 0,03
I2	0,37 $\pm$ 0,03 ab	0,12 $\pm$ 0,02 b	0,50 $\pm$ 0,05 b	0,42 $\pm$ 0,01 abcd	0,95 $\pm$ 0,05
D5	0,30 $\pm$ 0,02 bc	0,10 $\pm$ 0,00 b	0,39 $\pm$ 0,01bc	0,38 $\pm$ 0,02 d	1,00 $\pm$ 0,04
B6	0,27 $\pm$ 0,04 c	0,10 $\pm$ 0,02 b	0,37 $\pm$ 0,05 c	0,41 $\pm$ 0,01 bcd	0,98 $\pm$ 0,09
C6	0,32 $\pm$ 0,02 bc	0,11 $\pm$ 0,00 b	0,42 $\pm$ 0,03 bc	0,40 $\pm$ 0,03 cd	1,05 $\pm$ 0,04
C7	0,30 $\pm$ 0,01bc	0,12 $\pm$ 0,02 b	0,42 $\pm$ 0,02 bc	0,46 $\pm$ 0,07 a	1,11 $\pm$ 0,12
G5	0,44 $\pm$ 0,07 a	0,18 $\pm$ 0,03 a	0,62 $\pm$ 0,10 a	0,46 $\pm$ 0,01 ab	0,98 $\pm$ 0,04
ANOVA	$p < 0,05$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,05$	n. s.

Los índices Clor. b/Clor. a y Feof. a/Clor. a han sido utilizados para evaluar estrés por polutantes atmosféricos en *P. austrosinense* (Cañas, 2001; Palomeque et al., 2007; Mohaded Aybar et al., 2008) y en otras especies líquénicas (Carreras et al., 1998; González et al., 2003; Pignata et al., 2007). De estos índices, sólo Clor. b/Clor. a mostró diferencias significativas entre sitios de trasplante en S.F.V. de Catamarca, indicando mayores niveles de estrés (valores elevados del índice) en líquenes trasplantados a los sitios C7 y G5.

A los fines de indagar respecto al grado de asociación entre las variables cuantificadas, se realizó un análisis de correlación de Pearson. El contenido de ácido lecanórico correlacionó negativamente ( $p < 0,05$ ) con la concentración de clorofila a ( $r = - 0,7140$ ), clorofila b ( $r = - 0,7416$ ), clorofila total ( $r = 0,7318$ ), feofitina a ( $r = - 0,6882$ ) y feofitina total ( $r = - 0,6784$ ).

#### 4 CONCLUSIONES

A partir del análisis de pigmentos como biomarcadores pudo inferirse cierto grado de afectación por polución atmosférica en *P. austrosinense* transplantada a S.F.V. de Catamarca; particularmente en sitios cercanos al río donde se encuentran asentamientos humanos. En los mismos el contenido de ácido lecanórico de los talos se vio disminuido con relación a los demás sitios de trasplante, aunque el contenido

de pigmentos fue mayor. La correlación negativa observada entre el ácido lecanórico y el contenido de pigmentos estaría indicando que aun cuando los niveles de polución son sólo suficientes para producir un efecto fertilizante en los talos, provocarían una disminución del contenido de ácido lecanórico en sitios relativamente polutos. Este compuesto sería, entonces, un potencial marcador de estrés en líquenes trasplantados en áreas urbanas con bajos niveles de polución como lo es la ciudad de S.F.V. de Catamarca.

#### 5 REFERENCIAS

- Adams III W.W., B. Demmig-Adams & O.L. Lange, Carotenoid composition and metabolism in green and blue-green lichens in the field, *Oecologia* 94, 576– 84, 1993.
- Bialonska, D. & F.E. Dayan, Chemistry of the lichen *Hypogymnia physodes* transplanted to an industrial region, *Journal of Chemistry and Ecology* 31(12), 2975-2991, 2005.
- Cabrera, A.L., Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Ganadería, ACME, Buenos Aires, 1976.
- Calatayud, A., P.J. Temple & E. Barreno, Chlorophyll a fluorescence emission, xanthophyll cycle activity, and net photosynthetic rate responses to ozone in some foliose and fruticose lichen species, *Photosynthetica* 38, 281–286, 2000.

- Calvelo, A.L., N. Baccalá, M.A. Arribére, S. Ribeiro Guevara & D. Bubach, Concentrations of biological relevant elements of foliose and fruticose lichens from Nahuel Huapi National Park (Patagonia), analyzed by INAA, *Sauteria* 9, 87-95, 1998.
- Cañas, M.S., Respuesta química de tres especies líquénicas a contaminación atmosférica. Selección de parámetros para bioindicación, Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Córdoba, 2001.
- Cañas, M.S., L. Orellana & M.L. Pignata, Chemical response of the lichens *Parmotrema austrosinense* and *P. conferendum* transplanted to urban and non-polluted environments, *Annales Botanici Fennici* 34, 27-34, 1997.
- Cañas, M.S. & M.L. Pignata, Temporal variation of pigments and peroxidation products in the lichen *Parmotrema uruguayense* (Krempelh.) Hale transplanted to urban and non-polluted environments, *Symbiosis* 24, 147-162, 1998.
- Cañas, M.S. & M.L. Pignata, Efecto de contaminantes atmosféricos urbano-industriales sobre el líquen *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale, *Ciencia* 1(1), 87-100, 2003.
- Carreras, H.A. & M.L. Pignata, Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen *Usnea amblyoclada*, *Environmental Pollution* 111, 45-52, 2001.
- Carreras, H.A., G.L. Gudiño & M.L. Pignata, Comparative biomonitoring of atmospheric quality in five zones of Córdoba city (Argentina) employing the transplanted lichen *Usnea* sp., *Environmental Pollution* 103, 317-325, 1998.
- Carreras, H.A., E.D. Wannaz, C.A. Pérez & M.L. Pignata, The role of urban air pollutants on the performance of heavy metal accumulation in *Usnea amblyoclada*, *Environmental Research* 97, 50-57, 2005.
- Caviglia, A.M., P. Nicora, P. Modenesi, P. Giordani, G. Brunialti & P. Modenesi, Oxidative stress and usnic acid content in *Parmelia reticulatum* and *Parmelia sulcata* (Lichens), *Il Farmaco* 56, 379-382, 2001.
- Conti, M.E. & G. Cecchetti, Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment—a review, *Environmental Pollution* 114, 471-492, 2001.
- Fahselt, D., Secondary biochemistry of lichens, *Symbiosis* 16, 117-165, 1994.
- Garty, J., N. Kardish, J. Hagemeyer & R. Ronen, Correlations between the concentration of adenosine triphosphate, chlorophyll degradation and the amounts of airborne heavy metals and sulphur in a transplanted lichen, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 17, 601-611, 1988.
- Garty J, L. Weissman, Y. Cohen, A. Karnieli & L. Orlovsky, Transplanted lichens in and around the Mount Carmel National Park and the Haifa Bay industrial region in Israel: physiological and chemical responses, *Environmental Research Section A* 85, 159-76, 2001.
- González, C.M., S.S. Casanovas & M.L. Pignata, Biomonitoring of air pollution in Córdoba, Argentina employing *Ramalina ecklonii* (Spreng.) Mey. and Flott., *Environmental Pollution* 91, 269-277, 1996.
- González, C.M., L.C. Orellana, S.S. Casanovas & M.L. Pignata, Environmental conditions and chemical response of a transplanted lichen to an urban area, *Journal of Environmental Management* 53, 73-81, 1998.
- González, C.M., M.L. Pignata & L. Orellana, Applications of redundancy analysis for the detection of chemical response patterns to air pollution in lichen, *The Science of the Total Environment* 312, 245-253, 2003.
- Huneck, S. & I. Yoshimura, *Identification of Lichen Substances*, Springer Verlag, New York, 1996.
- INDEC, Censo Nacional de Población, hogares y viviendas 2010, Serie A, Número 1, 2010.
- Jeziński, A., E. Bylińska, & M.R.D. Seaward, Electron paramagnetic resonance (EPR) investigations of lichens—1: effects of air pollution, *Atmospheric Environment* 33, 4629-4635, 1999.
- Kauppi, M., Fluorescence microscopy and microfluorometry for the examination of pollution damage in lichens, *Annales Botanici Fennici* 17, 163-173, 1980.
- Lawrey, J.D., Biological role of lichen substances, *Bryologist* 89 (2), 111-122, 1986.
- Lichtenthaler, H.K. & A.R. Wellburn, Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents, *Biochemical Society Transactions* 11, 591-592, 1983.
- Macgillivray, T. & R. Helleur, Analysis of lichens under environmental stress using TMAH thermochemolysis-gas chromatography, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 58, 465-480, 2001.
- Maning, W.J. & W.A. Feder, *Biomonitoring Air Pollutants with Plants*, Applied Science Publishers, London, 1980.
- Markert, B., *Instrumental Analysis of Plants*. En: *Plants as Biomonitors – Indicators for Heavy Metals in the terrestrial Environment*, B. Markert, ed., VHC-Publisher, Weinheim - New Cork, 1993.

- Mohaded Aybar C.B., A.I. Ocampo, R.L. Villegas & M.S. Cañas, Comparación de la respuesta química de dos especies liquénicas transplantadas a la región minera del oeste de Catamarca. En: *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, Editorial Científica Universitaria UNCa, Tomo I, III-71-75, 2008.
- Mohaded Aybar, C.B., A.I. Ocampo, L.I. Palomeque & M.S. Cañas, Determinación del contenido de azufre y un índice de polución en dos especies liquénicas transplantadas a la región minera del oeste de Catamarca. En: *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, Editorial EUNSa – EdiUNJu, 201-205, 2010.
- Morello, J., L. Sancholuz & 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* 2(2), 1-42, 1995.
- Nash III, T.H., Sensitivity of lichens to NO<sub>2</sub> fumigations, *The Bryologist* 79, 103-106, 1976.
- Nimis, P.L., Air quality indicators and indices: the use of plants as bioindicators for monitoring air pollution. En: *Proceedings of the Workshop "Indicators and Indices for Environmental Impact Assessment and Risk Analysis"*, A.G. Colombo & G. Premazzi, eds., Ispra, 1990.
- Ocampo, A.I., R.C. Jasan, C.B. Mohaded Aybar, R.G. Moyano, S.K. Córdoba, R.R. Plá & M.S. Cañas, 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. En: *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, Editorial Científica Universitaria UNCa, Tomo 1, 557-564, 2011a.
- Ocampo A.I., C.B. Mohaded Aybar, R.G. Moyano, V.A. Álvarez, W.D. Acosta & M.S. Cañas, Análisis de la respuesta fisiológica de *Parmotrema austrosinense* transplantada al área central de San Fernando del Valle de Catamarca, *Actas del 7º Encuentro del "International Center of Earth Sciences" (E-ICES 7)*, Malargüe, Argentina, 2011b.
- Palomeque L.I., R.C. Jasan, A.I. Ocampo, C.B. Mohaded Aybar, G.C. Fuentes, R.G. Moyano, R.R. Plá & M.S. Cañas, Análisis preliminar de las respuestas química y fisiológica de *P. austrosinense* transplantada a un área del oeste catamarqueño. En: *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, Editorial ECO UNT, VI-41-46, 2007.
- Palomeque, L.I., C.B. Mohaded Aybar, A.I. Ocampo, P. Severini & M.S. Cañas, Evaluación de la calidad de aire en un sector del departamento Belén (Catamarca) mediante el empleo de *Parmotrema austrosinense* como biomonitora. En: *Investigaciones Docentes en Ingeniería*, Editorial Sarquís, 189-192, 2006.
- Pawlik-Skowrońska, B. & M. Bačkor, Zn/Pb-tolerant lichens with higher content of secondary metabolites produce less phytochelatins than specimens living in unpolluted habitats, *Environmental and Experimental Botany* 72 (1), 64-70, 2011.
- Piervittori, R., A. Laccisaglia & F. Montacchini, Effetti dell'antropizzazione sulla produzione di parietina in talli di *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., *Biologia Oggi* VIII (1-2): 21-26, 1994.
- Pignata, M.L., Studies on lichens and atmospheric pollution in Argentina. En: *Lichenology in Latin America: history, current knowledge and applications*, M.P. Marcelli & M.R.D. Seaward, eds., CETESB, São Paulo, 155-164, 1998.
- Pignata, M.L., R.R. Plá, R.C. Jasan, M.S. Martínez, J.H. Rodríguez, E.D. Wannaz, G.L. Gudiño, H.A. Carreras & C.M. González, Distribution of atmospheric trace elements and assessment of air quality in Argentina employing the lichen, *Ramalina celastri*, as a passive biomonitor: detection of air pollution emission sources, *International Journal of Environment and Health* 1(1), 29-46, 2007.
- 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.
- Ra, H.S.Y., L.H. Geiser & R.F.E. Crang, Effects of season and low-level air pollution on physiology and element content of lichens from the U.S. Pacific Northwest, *Science of the Total Environment* 343, 155– 167, 2005.
- Von Arb, C. & C. Brunold, Lichen physiology and air pollution: I. Physiological responses of in situ *Parmelia sulcata* among air pollution zones within Biel, Switzerland, *Canadian Journal of Botany* 68, 35– 42, 1990.
- Von Arb, C., C. Mueller, K. Ammann & C. Brunold, Lichen physiology and air pollution: II. Statistical analysis of the correlation between SO<sub>2</sub>, NO and O<sub>3</sub>, and chlorophyll content, net photosynthesis, sulphate uptake and protein synthesis of *Parmelia sulcata* Taylor, *New Phytologist* 115, 431–7, 1990.
- Wintermans, J.F.G.M. & A. De Mots, Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their phaeophytins in ethanol, *Biochimica et Biophysica Acta* 169, 448-453, 1965.