

EVALUACIÓN INTEGRADORA DE DATOS DERIVADOS DE ESTUDIOS DE BIOMONITOREO Y MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Matías Reinaudi^{1,2}, Gabriela Abril^{1,2}, Iván Tavera Busso^{1,2}, Ana C. Mateos^{1,2}, Hebe A. Carreras^{1,2}
matiasreinaudi90@gmail.com

¹Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV, CONICET).

²Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (FCEyN,UNC).

Palabras clave: *Tillandsia capillaris*, Biomarcadores, AERMOD.

1) INTRODUCCIÓN

Los estudios de biomonitoreo permiten obtener información de la condición atmosférica de un lugar, en términos de efectos sobre seres vivos, mientras que los modelos de dispersión posibilitan conocer la magnitud y comportamiento que tienen las fuentes analizadas sobre la calidad del aire de una zona bajo estudio. Ambos métodos pueden ser utilizados conjuntamente como herramientas complementarias viables y efectivas, logrando así realizar estudios ambientales a un costo menor que con equipos analizadores, y obtener registros en el tiempo en áreas donde resulta prioritario el monitoreo ambiental. Los objetivos de este estudio fueron: (1) comparar los resultados validados de la aplicación de un modelo de dispersión atmosférica, con las respuestas de acumulación y efecto de biomonitores expuestos; (2) evaluar la complementariedad de ambas herramientas.

2) METODOLOGÍA

a. Área de estudio

La localidad de Malagueño está ubicada dentro del Departamento de Santa María, a 17 km en dirección Oeste de la Ciudad de Córdoba. Varios trabajos de investigación llevados a cabo en esta localidad, identifican a un complejo industrial dedicado a la manufactura de cemento como la principal fuente de contaminación de la zona (Bermúdez et al., 2010; Rodríguez et al., 2011; Abril et al., 2014a,b,c, 2016).

b. Red de biomonitoreo

Se implementó una red de monitoreo utilizando individuos de la especie biomonitora *Tillandsia capillaris* que fueron expuestos durante períodos de 3 y 6 meses con el fin de identificar y caracterizar las diferentes fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos y su grado de importancia en la calidad del aire del área de estudio, con especial atención al impacto proveniente de la Planta de Cemento Yocsina (YCP). En estudios previos, a partir del análisis de parámetros químico-fisiológicos de los biomonitores y de la acumulación de metales pesados, elementos traza e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), se identificaron diferentes biomarcadores de fuentes de emisión en la zona (Abril et al., 2014 a,b,c). Los biomarcadores asociados a las emisiones de YCP fueron: cadmio (Cd), plomo (Pb), cobalto (Co), níquel (Ni) y calcio (Ca); acenafteno (ACN), benzo[a]antraceno (BaA), fluoranteno (FLT) y benzo[a]pireno (BaP), Índice de Daño Foliar (IDF), Malondialdehído (MDA) y pH.

c. Modelo de dispersión

Se analizaron las tasas de emisión de material particulado total en suspensión (TSP) estimadas para YCP, asumiendo que en este material los contaminantes atmosféricos viajan adsorbidos. Se aplicó el modelo de dispersión AERMOD, para evaluar el transporte de contaminantes atmosféricos, identificando así las zonas de máxima concentración. En este trabajo se analizaron los valores de concentración de TSP emitidos por: Chimenea de molino de crudo (CMCr); Chimenea del horno principal (CHP); Chimenea del molino de cemento (CMC); Chimenea del enfriador de clinker (CEC); Todas las chimeneas (Tchim); Todas las fuentes modeladas (TF: chimeneas, canteras, pilas de almacenamiento de material, caminos pavimentados y no pavimentados). Estos resultados han sido publicados en Abril et al., 2014c y 2016.

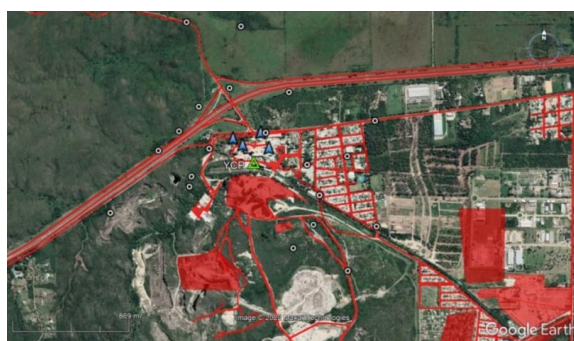


Figura 1. Área de estudio elegida (localidad de Malagueño, Argentina) ubicando los sitios de biomonitoreo (iconos blanco y negro), y las chimeneas de YCP (iconos azules) y las fuentes de área modeladas (polígonos en rojo).

d. Análisis estadísticos

Dado que el objetivo de este estudio fue corroborar si los biomarcadores correspondían a las emisiones de YCP, se realizaron análisis de correlación de Spearman entre estos biomarcadores previamente identificados (parámetros químico-fisiológicos, metales pesados y HAPs) y los valores promedio de concentración de TSP modelados (CMCr, CHP, CMC, CEC, Tchim y TF). Se realizó una comparación cualitativa mediante la elaboración de mapas de isoconcentración empleando el software QGis.

3) RESULTADOS

a. Análisis de correlación

I: Septiembre-Marzo, 2009-2010						II: Marzo-Septiembre, 2010					Cd y Ca mostraron un comportamiento similar y tuvieron los ajustes más altos principalmente para todas
	Ni	Pb	Co	Cd	Ca		Ni	Pb	Co	Cd	
TChim	0,43*		0,66***	0,70***	0,67***	TChim	0,49**	0,53**	0,53**	0,65***	0,77***
CHP	0,52**		0,69***	0,68***	0,65***	CHP	0,40*	0,47*	0,50**	0,65***	0,71***
CEC			0,53**	0,56***	0,51**	CEC	0,54***	0,47*		0,50**	0,60***
CMC	0,53**		0,83***	0,76***	0,80***	CMC	0,39*	0,57***	0,45*	0,66***	0,74***
CMCr	0,49**		0,68***	0,65***	0,62***	CMCr		0,46*	0,54**	0,74***	0,68***
TF						TF	0,59***			0,48**	0,74***

III: Septiembre-Marzo, 2010-2011					
	Ni	Pb	Co	Cd	Ca
TChim				0,72***	0,84***
CHP				0,74***	0,74***
CEC				0,50**	0,69***
CMC	0,46*			0,64***	0,76***
CMCr	0,43*			0,66***	0,78***
TF			0,46*	0,54**	0,66***

las chimeneas en los 3 períodos de muestreo, lo que implica que ambos metales detectados están presentes a lo largo de todo el proceso de producción de cemento y son emitidos desde las chimeneas. Estos metales además correlacionaron con TF, lo que indica que éstos se encuentran en el cemento y son emitidos también a partir de las fuentes difusas de YCP.

Tabla 1. Análisis de correlación entre los valores de concentración modelados de TSP y los valores de concentración de metales pesados acumulados en T. capillaris (3 períodos de 6 meses de exposición) identificados como marcadores de YCP

*Significativo con un nivel de probabilidad de 0,05;
 **Significativo con un nivel de probabilidad de 0,01;
 ***Significativo con un nivel de probabilidad de 0,001.

Tanto MDA como IDF presentaron ajustes de moderados a bajos ($R^2 < 0.6$), por lo que no son variables suficientemente representativas del efecto de la planta de cemento. El pH presentó correlaciones más altas, encontrando los mejores ajustes con CMC, por lo que esta chimenea es una fuente importante que afecta los valores de pH en las inmediaciones de YCP. En el caso de los HAPs, sólo en el período de muestreo II (Verano) ACN se correlacionó con los valores de TSP, probablemente debido a que este compuesto no está completamente asociado con la fase particulada, y esto puede deberse a su alta volatilidad y su asociación con la fase gaseosa. FLT y BaP mostraron ajustes aceptables con TF, y considerando que TF incluye también las estimaciones de TSP provenientes de la circulación de vehículos de las calles aledañas, esto podría estar indicando que estos compuestos están mayormente asociados a tránsito vehicular. FLT, BaA y BaP mostraron buenos ajustes con CMC.

I: Septiembre-Diciembre, 2009								II: Diciembre-Marzo, 2009-2010							
	MDA	FDI	pH	ACN	FLT	BaA	BaP		MDA	FDI	pH	ACN	FLT	BaA	BaP
TChim			0,59**		0,58**	0,44*		TChim			0,49**	0,43**			
CHP		0,37*	0,58**					CHP			0,51**	0,59**			
CEC			0,46**		0,61**	0,45*		CEC			0,34*				
CMC	0,47**	0,57**	0,67***		0,65**	0,47**		CMC	0,35*		0,60***	0,58**	0,39*	0,38*	0,39*
CMCr	0,37*	0,44*	0,59***		0,58**			CMCr			0,55**	0,61**			
TF		0,38*	0,45**		0,45*			TF		0,35*	0,41*		0,56*		

III: Marzo-Junio, 2010

	MDA	FDI	pH	ACN	FLT	BaA	BaP
TChim			0.71***		0.43*	0.39*	0.60**
CHP			0.66***				0.43*
CEC			0.55**		0.51**	0.47*	0.70***
CMC		0.34*	0.71***		0.39*		0.77***
CMCr			0.63***				0.65**
TF	0.34*	0.40*	0.67***		0.65**		0.81***

Tabla 2. Análisis de correlación entre los valores de concentración modelados de TSP y los valores de parámetros fisiológicos y HAPs acumulados en *T. capillaris* (4 períodos de 3 meses de exposición) identificados como marcadores de YCP.

IV: Junio-Septiembre, 2010

	MDA	FDI	pH	ACN	FLT	BaA	BaP
TChim	0.37*	0.53**	0.72***		0.69**	0.38*	0.64**
CHP		0.39*	0.67***				0.56**
CEC	0.40*	0.46**	0.56**		0.71**		0.48*
CMC	0.40*	0.53**	0.78***		0.61**	0.36*	0.45*
CMCr		0.41*	0.63***		0.34*		
TF	0.50**	0.44**	0.62***		0.76***		0.51**

*Significativo con un nivel de probabilidad de 0,05; **Significativo con un nivel de probabilidad de 0,01; ***Significativo con un nivel de probabilidad de 0,001.

b. Mapas de isoconcentración

A modo representativo, se presentan dos mapas de isoconcentración comparando la respuesta del biomonitorio ante la exposición a Co y la distribución espacial de la concentración de TSP modelada para las emisiones de la CMC. Se puede observar las zonas de mayor concentración coinciden en ambos mapas.

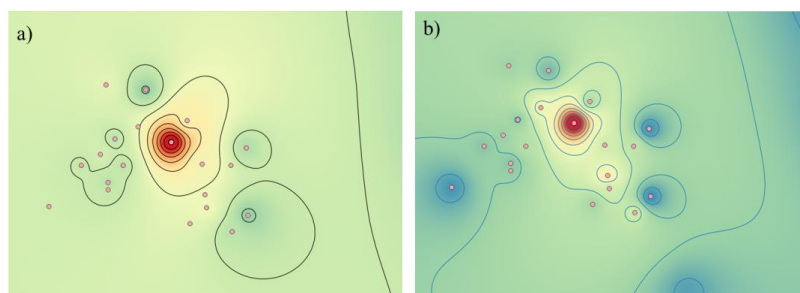


Figura 2. Mapa de isoconcentración de los valores de TSP modelados para CMC ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a) y Co ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) b) acumulado en los biomonitores expuestos en el período de muestreo I. Co - CMC ($R^2 = 0.83^{***}$).

4) CONCLUSIONES

Los estudios de biomonitorio brindan información sobre la distribución espacial y temporal de contaminantes emitidos por diversas fuentes; son útiles para evaluar el efecto de las variaciones estacionales y la topografía en la concentración de contaminantes; representan otra forma de analizar el comportamiento de las fuentes, proporcionando datos observables de acumulación y daño en múltiples sitios; permiten conocer concentraciones de fondo e identificar otras fuentes no consideradas. Los modelos de dispersión permiten comprender el comportamiento de las fuentes, algo complejo de analizar únicamente a través de estudios de biomonitorio; analizan la variabilidad de contaminantes a partir del uso de datos meteorológicos horarios; permiten identificar sitios críticos de contaminación por caídas de pluma. Los contaminantes acumulados por los biomonitores fueron comparados con los datos obtenidos de la modelización, corroborando su origen. Con ambas herramientas fue posible identificar el comportamiento espacial y temporal de los contaminantes y comprender cuáles fueron las fuentes de emisión que más impactaron en la calidad del aire de la zona.

REFERENCIAS

- Abril GA, Wannaz ED, Mateos AC, Invernizzi R, Plá RR, Pignata ML. 2014a. Characterization of atmospheric emission sources of heavy metals and trace elements through a local-scale monitoring network using *T. capillaris*. *Ecological Indicators* 40: 153-161.
- Abril GA, Wannaz ED, Pignata ML. 2014b. Source characterization and seasonal variations of atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons at an industrial and semi-urban area through a local-scale biomonitoring network using *T. capillaris*". *Microchemical Journal* 116: 77-86.
- Abril GA, Wannaz ED, Mateos AC, Pignata ML. 2014c. Biomonitoring of airborne particulate matter emitted from a cement plant and comparison with dispersion modelling results. *Atmospheric Environment* 82: 154-163.
- Bermúdez GMA, Moreno M, Invernizzi R, Plá RR, Pignata ML. 2010. Heavy metal pollution in topsoils near a cement plant: The role of organic matter and distance to the source to predict total and HCl-extracted heavy metal concentrations. *Chemosphere* 78: 375-381
- Rodríguez JH, Weller SB, Wannaz ED, Klumpp A, Pignata ML. 2011. Air quality biomonitoring in agricultural areas nearby to urban and industrial emission sources in Córdoba province, Argentina, employing the bioindicator *Tillandsia capillaris*. *Ecological Indicators* 11: 1673-1680.