Impacto de la contaminación del aire por PM₁₀ sobre la mortalidad diaria en Temuco

Pedro Sanhueza H^a, Claudio Vargas R, Paula Mellado G^b.

Impact of air pollution by fine particulate matter (PM₁₀) on daily mortality in Temuco, Chile

Background: Temuco (304,000 inhabitants) has high levels of air pollution, mainly due to fine particulate matter of less than 10 μm (PM₁₀). The effects of this pollution on population health have not been studied. **Aim:** To study the short-term effects of PM₁₀ on daily mortality in Temuco, in Southern Chile, due to respiratory and cardiovascular causes. **Material and methods:** We followed the APHEA methodology (Air Pollution and Health European Approach) by estimating poisson multivariate regression models and controlling by trends, seasonality and meteorology. The PM₁₀ variable was introduced after controlling by the confounders and checking by statistical adjustment and autocorrelation of errors. Mortality data was obtained from the Ministry of Health, registering age, gender, place of residence and cause of death. Cancer, respiratory and cardiovascular deaths, occurring between 1997 and 2002, were recorded for this study. **Results:** There was a significant and positive association between PM₁₀ concentration and daily mortality caused by respiratory disease ($p\text{-value}=0.046$, relative risk (RR) 1.236, 95% confidence interval (CI) 1.004-1.522) and cardiovascular diseases in people aged 65 years and more ($p\text{-value}=0.042$; RR 1.176 95% CI 1.006-1.374). **Conclusions:** There is a significant association between daily air pollution by PM₁₀ particulate matter and mortality in Temuco, Chile (Rev Méd Chile 2006; 134: 754-61). **(Key words:** Air pollution; Cause of death; Mortality)

Recibido el 21 de abril, 2005. Aceptado el 26 de diciembre, 2005.

Trabajo financiado por Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas USACH N° Proyecto #010312SH.

Comisión Nacional del Medioambiente Región de la Araucanía, proporcionó los datos de concentración de partículas (PM₁₀) y variables meteorológicas.

Departamento de Ingeniería Geográfica, Universidad de Santiago de Chile.

^aPhD, Ingeniería Ambiental

^bIngeniero Ambiental

Correspondencia a: Pedro Sanhueza H. Av. L. B. O'Higgins 3363, Estación Central. Departamento de Ingeniería Geográfica, Universidad de Santiago de Chile. Fax: 6811213-147. E mail: psanhuez@lauca.usach.cl

A fines del año 1997 se iniciaron campañas de medición de contaminantes atmosféricos (SO₂, O₃, NO₂, CO, y PM₁₀) en la ciudad de Temuco (304.000 habitantes, ubicada a 670 km al sur de Santiago de Chile). Estas campañas de medición demostraron que sólo el PM₁₀ (partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros) presentaba valores que sobrepasaban los niveles normados en Chile (150 µg/m³N según Decreto Supremo N° 59/1998). Por tal motivo, a mediados del año 2000, CONAMA Región de la Araucanía comenzó un monitoreo continuo de material particulado respirable (PM₁₀) y de variables meteorológicas en la ciudad. Con estas mediciones se comprobó la ocurrencia de valores altos de PM₁₀ durante los meses más fríos (abril a septiembre) y que las concentraciones de este contaminante han superado, en varios días, los valores de la norma (13 veces el año 2001 y 5 veces el 2002), lo que ha permitido declararla como zona saturada e iniciar la implementación de un Plan de Descontaminación para Temuco¹. Otro estudio efectuado por CONAMA, indicó que el uso masivo de leña con altos contenidos de humedad para calefacción residencial y producción de calor o vapor en el ámbito industrial, el crecimiento del parque automotriz, junto con condiciones meteorológicas particulares (vientos débiles, bajas temperaturas, inversiones térmicas), se conjugan en la ciudad de Temuco, para dar lugar a altas concentraciones de PM₁₀ durante el periodo otoño invierno².

La situación de la ciudad de Temuco es preocupante, tanto por los niveles de PM₁₀ alcanzados, como por la probable toxicidad del material particulado asociado principalmente a quema de leña (hidrocarburos aromáticos policíclicos: HAP). Estos factores podrían significar un mayor riesgo en relación a otras ciudades cuyos sistemas de calefacción y cocina cuentan con combustibles más limpios, como gas natural o electricidad.

La existencia de una relación entre concentración de materia particulada, especialmente el PM₁₀, y los efectos nocivos de corto plazo sobre la salud de las personas, ha sido ampliamente estudiada en países desarrollados³⁻⁸. Dichos estudios se han centrado, principalmente, en la relación de corto plazo (diaria) entre las concentraciones de PM₁₀ y otros contaminantes, con mortalidad y morbilidad por causas respirato-

rias y cardiovasculares. Los hallazgos confirman una relación positiva y significativa entre estas variables, indicando además, que el aumento de riesgo de mortalidad ante incrementos de PM₁₀ de 100 µg/m³ sería del orden de 3 a 15%, dependiendo de la ciudad estudiada. En nuestro país, este efecto ha sido cuantificado sólo en la ciudad de Santiago⁹⁻¹¹, encontrándose excesos de riesgos de mortalidad entre 6 y 8%.

Este trabajo estudió los efectos a corto plazo, a través del desarrollo de modelos de concentración-respuesta de PM₁₀ con mortalidad diaria en la ciudad de Temuco, por causa respiratoria y cardiovascular, para el grupo etéreo de mayores y menores de 65 años, en el periodo comprendido entre noviembre de 1997 y diciembre de 2002. Los modelos generados servirán para estimar los beneficios y costos de estrategias de control de la contaminación en la ciudad.

MATERIAL Y MÉTODO

La información corresponde a las muertes diarias, concentraciones de PM₁₀ y variables meteorológicas, durante el periodo comprendido entre noviembre de 1997 y diciembre de 2002, para las ciudades de Temuco y Padre Las Casas. La base de datos de mortalidad se obtuvo del Ministerio de Salud e incluye la comuna de residencia del occiso, fecha de defunción, edad al fallecer, sexo y código de la causa originaria o primera de la cadena causal. Dentro de las causas de muertes de interés para efectos de este estudio se encuentran: sistema circulatorio, sistema respiratorio y cáncer. Los códigos de las causas de muertes utilizadas corresponden al *International Clasification of Disease*, décima revisión (ICD-10). Las muertes fueron clasificadas por grupo de edad (total, mayores y menores de 65 años). Finalmente, la base de mortalidad se estructuró contabilizando para cada día, el número de muertes por causa y grupo de edad.

Las muertes por causa cardiovascular incluyeron todas las codificadas con la letra I del ICD-10, las que comprendían 40% de muertes por causa cerebrovascular y 30% de muertes por cardiopatía coronaria. El 30% restante incluye hipertensión, cardiopatías valvulares e insuficiencia cardíaca de etiología no precisada, entre las principales. Las

muerres respiratorias incluyeron todas las codificadas en la letra J del ICD-10, considerando 50% de neumonías, 22% EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica), y el resto misceláneo.

La información de meteorología y concentraciones de PM_{10} fueron entregados por CONAMA Región de la Araucanía y corresponden a los datos registrados en la estación de monitoreo Las Encinas, ubicada en el sector occidente de la ciudad (Figura 1). Campañas de monitoreo anteriores a 1997, realizadas en cinco puntos dentro de la ciudad de Temuco, demostraron que no existía variabilidad significativa entre los monitores, razón por la cual se optó por continuar con una sola estación ubicada en Las Encinas.

Los datos de meteorología consistieron en registros horarios de velocidad y dirección del viento, humedad relativa y temperatura ambiental para todo el período de estudio. Esta información se procesó a fin de conformar una base de

promedios y valores extremos (máximos y mínimos) diarios.

Las mediciones de concentraciones de PM_{10} , desde noviembre de 1997 a junio de 2000, se realizaron utilizando un equipo integrador, el cual entregaba las concentraciones en 24 h, para cada día en este período, sin embargo, a partir de julio de 2000, se cambia este equipo por un muestreador continuo (TEOM) el cual registra las concentraciones hora a hora. Debido a esto, se estructuró una base de promedios en 24 h desde noviembre de 1997 a diciembre de 2002. Esta métrica del PM_{10} corresponde a la norma chilena (media en 24 h).

La Figura 2 muestra un perfil típico de concentraciones horarias en Temuco, indicando que a partir de las 17 h, aproximadamente, se incrementan las concentraciones de PM_{10} . Este incremento se debe, en parte, al mayor uso de sistemas de calefacción y a una disminución de la altura de la capa de mezcla.

Figura 1. Área de estudio y localización estación monitorea Las Encinas.

Figura 2. Distribución horaria de las concentraciones de PM₁₀ en Temuco.

La metodología de análisis utilizada corresponde a la empleada en el estudio multicéntrico europeo, denominado APHEA (*Air pollution Health European Approach*)¹²⁻¹⁵, la cual define un protocolo que incluye la estimación de modelos de regresión Poisson para cada variable respuesta (mortalidad diaria) y para la variable de control (muertes por cáncer). El primer paso fue determinar un modelo que controle la tendencia, estacionalidad e influencia del día de la semana, posteriormente se incorporan las variables meteorológicas, y por último, se introduce la variable de calidad del aire como PM₁₀.

Como el diseño del estudio es un análisis de series temporales, las variables confundentes son aquellas que varían en el tiempo, y se asume que la estructura etárea, nivel socioeconómico, tabaquismo y otras variables confundentes no presentan fluctuaciones de corto plazo (diarias) que interfieran en las estimaciones¹⁵.

El modelo de regresión Poisson pertenece a los Modelos Lineales Generalizados (GLM) que son una familia de distribuciones exponenciales. En estos modelos, la variable respuesta (mortalidad diaria) se considera dependiente de una suma de funciones de cada covariable (tendencia (T), estacionalidad (S), meteorología (M), contaminan-

tes diferentes al PM₁₀ (P) y contaminante de interés (en este caso PM₁₀) de la forma:

$$\text{Log}(\text{Mort}) = \alpha_0 + \alpha_1 f(T) + \alpha_2 f(S) + \alpha_3 f(M) + \alpha_4 f(P) + \beta f(\text{PM}_{10}) + e$$

Donde α_i y β son parámetros a estimar en el modelo.

La modelación de acuerdo al protocolo APHEA, es un proceso iterativo en que se van introduciendo, en forma secuencial, las variables de interés, controlando en cada paso la significancia de los parámetros e identificando el desfase en días, entre la concentración de PM₁₀ y su efecto en la mortalidad (rezago adecuado) a través del análisis de residuos y correlación cruzada, respectivamente.

Finalmente, con los modelos seleccionados se calculó como medida de efecto el riesgo relativo (RR) ante un incremento (Δ) de 100 µg/m³ en la concentración media de PM₁₀, a través de:

$$\text{RR} = \text{Exp}(\beta \Delta) \quad (2)$$

El RR estimado está ajustado por estacionalidad y variables confundentes. Para el desarrollo de los modelos se utilizaron los software SPSS y S-Plus.

RESULTADOS

Las estadísticas descriptivas de las variables utilizadas (mortalidad, meteorología y contaminación del aire) en este estudio se muestran en la Tabla 1.

Al aplicar la metodología APHEA a la base de datos de Temuco y Padre Las Casas, se obtuvieron los modelos por causa de muerte (cardiovascular, respiratoria) y por grupo etáreo. Los nombres de los modelos asociados a las variables respuesta de interés se muestran en la Tabla 2.

Los coeficientes, su significancia y los RR, en conjunto con el intervalo de confianza de 95% obtenidos para cada modelo significativo según causas de muerte, se muestran en la Tabla 3. De los modelos desarrollados se observa que los RR son mayores para las causas respiratorias que cardiovasculares.

No se encontró asociación significativa entre las concentraciones de PM₁₀ y las variables respuesta en los modelos: MCORT, MCME65, MRME65 y MCANCER.

Todos los modelos para los mayores de 65 años resultaron significativos no así los menores de 65, verificándose que el grupo sensible al PM₁₀ es el de más edad. La no significancia de los modelos de muertes por cáncer es esperable porque nuestro análisis considera la exposición a corto plazo.

DISCUSIÓN

Los modelos desarrollados, dan cuenta de una asociación significativa entre incrementos de PM₁₀ y aumentos de mortalidad diaria en Temuco por

Tabla 1. Estadísticas descriptivas

Variable	Unidad	Min	25%	50%	75%	Máx
Cardiovasculares + respiratorias	Muertes/día	0	1	1	2	7
Cardiovasculares	Muertes/día	0	0	1	2	5
Cardiovasculares >65 años	Muertes/día	0	0	1	2	3
Respiratorias	Muertes/día	0	0	0	0,4	3
Respiratorias >65 años	Muertes/día	0	0	0	0,3	3
Cáncer	Muertes/día	0	0	1	2	3
Temperatura	°C	1,0	10,0	13,1	16,3	29,7
Humedad relativa	%	68	73	77	81	100
Velocidad del viento	m/s	1,4	1,9	2,2	2,5	4,2
PM ₁₀	µg/m ³ N	1	33	50	72	274

Cardiovasculares: muertes clasificadas según código I del ICD-10. Respiratorias: muertes clasificadas según código J del ICD-10.

Tabla 2. Abreviación de los modelos según causa y grupo etáreo

Nombres de las causas de muertes	Nombre modelo
Muertes cardiorrespiratorias	MCR
Muertes cardiovasculares totales	MCORT
Muertes cardiovasculares en el grupo de mayores de 65 años	MC MAY65
Muertes cardiovasculares en el grupo de menores de 65 años	MCME65
Muertes respiratorias totales	MRESPT
Muertes respiratorias en el grupo de mayores de 65 años	MR MAY65
Muertes respiratorias en el grupo de menores de 65 años	MRME65
Muertes por cáncer	MCANCER

Tabla 3. Riesgo relativo (RR) ante incremento de 100 µg/m³ en el PM₁₀

Causa de muerte	Coficiente	Error estándar	p	RR	ICL	ICU
MC MAY65	0,00161	0,0008	0,042	1,176	1,006	1,374
MRESPT	0,00212	0,0011	0,046	1,236	1,004	1,522
MR MAY65	0,00245	0,0012	0,040	1,278	1,010	1,616
MCR	0,00129	0,0006	0,032	1,138	1,019	1,272

ICL: Intervalo de confianza inferior 2,5%. ICU: Intervalo de confianza superior 97,5%.

causas cardiovasculares y respiratorias, una vez controlado por estacionalidad, tendencia y confundentes (meteorología, día de la semana).

La Tabla 4 muestra que las estimaciones puntuales de los riesgos relativos de Temuco son superiores a los estimados en Santiago¹¹, indicando que los habitantes de Temuco estarían expuestos a riesgos de mortalidad mayores que los santiaguinos, ante incrementos iguales de la concentración de material particulado. Dentro de las posibles explicaciones para los RR mayores en Temuco se encuentran: una mayor susceptibilidad de la población de Temuco a las partículas o una diferencia en la exposición a partículas (distinta composición química de las partículas, distinta distribución del tamaño de las partículas y distintos niveles de concentraciones de PM₁₀). La mayor susceptibilidad podría deberse a diferencias en la estructura etárea, diferencias en los riesgos específicos por edad y a diferencias en genética. Al analizar la estructura etárea de ambas poblaciones, se encuentra que éstas no difieren significativamente en el grupo de los mayores de 65 años. Por otro lado, los riesgos específicos por grupo quinquenal de mayores de 65 años, obtenidos como el cociente entre el número de muertes por grupo de edad, dividido por la población de

ese grupo (tasas específicas), calculados para cada ciudad, muestran que no hay diferencias significativas. Para el grupo de los mayores de 65 años, la razón de tasas de incidencia estandarizada por edad (tasa Temuco sobre tasa Santiago) resulta ser de 1,05, IC 95% (0,98-1,12), indicando que la diferencia no es significativa.

Por lo anterior, se infiere que no hay diferencias significativas en la susceptibilidad en el grupo de los mayores de 65 años en ambas poblaciones, quedando el punto de la diferencia de genética como otra posible explicación a nivel de hipótesis.

En relación a la posible diferencia en la exposición a partículas, un factor que distingue a estas dos ciudades es el origen de la contaminación por partículas, siendo para Santiago mayoritariamente de fuentes móviles¹⁶ y en Temuco la combustión de leña para calefacción y cocina en los hogares^{2,16}. La combustión de leña genera partículas cuya composición química contiene altos niveles de HAP.

Lo anterior se verifica del análisis de las muestras de PM₁₀ realizadas en Temuco y Santiago donde se obtuvo una mayor proporción de compuestos HAP en el particulado de Temuco con respecto al medido en Santiago (Benzo-a-pireno: 98,5 ng/m³ en Temuco versus 10,9 ng/m³

Tabla 4. Comparación del riesgo relativo entre Santiago y Temuco

Mortalidad	Ciudad	Riesgo relativo	ICL	ICU
Cardiovascular	Santiago	1,025	1,005	1,040
Respiratoria	Santiago	1,061	1,017	1,100
Cardiovascular*	Temuco	1,176	1,006	1,374
Respiratoria	Temuco	1,236	1,004	1,522

(*) Cardiovascular en el grupo etáreo de mayores de 65 años. ICL: Intervalo de confianza inferior 2,5%. ICU: Intervalo de confianza superior 97,5%.

en Santiago; Benzo-a-antraceno: 115,7 ng/m³ en Temuco versus 8,5 ng/m³ en Santiago, HAP totales 751 ng/m³ y 129 ng/m³ en Temuco y Santiago, respectivamente)¹⁶. Estos compuestos HAP presentan un potencial cancerígeno y tóxico^{17,18}.

Además de la diferencia en la composición química de las partículas, la nube contaminante en Temuco presenta una proporción mayor de particulado fino (PM_{2,5}) en relación a Santiago (80 a 90% del PM₁₀ en Temuco versus 30 a 60% en Santiago)^{2,19}. Dado que el particulado fino penetra más profundamente en el árbol respiratorio, esta mayor proporción de PM_{2,5} en el PM₁₀ en Temuco podría explicar la mayor toxicidad.

Finalmente no podemos descartar que esta diferencia de riesgos entre Temuco y Santiago se deba a un artefacto estadístico, que puede originarse por una diferencia en la representatividad de la exposición dada por las mediciones del PM₁₀ en monitores en ambas ciudades.

Al ser la combustión de leña en los hogares la fuente principal de partículas en Temuco², implica que la medición de la exposición a través de monitores externos presenta una mayor coincidencia con la verdadera exposición de los sujetos (intradomiciliaria), a diferencia de Santiago, donde las fuentes de partículas emiten mayoritariamente hacia ambientes exteriores y su correlación con la verdadera exposición de los sujetos que ocurre al interior de las habitaciones de hogares y lugares de trabajo, es menor.

Además, los modelos que estimaron los riesgos relativos para Santiago contaron con una base de datos mayor (mayor tamaño muestral en días de estudio y número de muertes diarias), lo que se traduce en mayor robustez de los parámetros estimados. Esto se manifiesta en los intervalos de confianza de los RR, donde son mucho más amplios para Temuco, indicando una mayor incertidumbre en su estimación. Al comparar los riesgos relativos obtenidos por este estudio, con los de otras ciudades a nivel mundial, que han utilizado la misma metodología, se observa que los riesgos encontrados en Temuco son similares a los encontrados en las ciudades de Filadelfia, Detroit y San Pablo, con riesgos relativos alrededor de 14% (Figura 3). Una de las ciudades que presenta riesgo relativo más alto según lo encontrado en los estudios norteamericanos, es la ciudad de Kingston (Tennessee) cuyo RR es de 20%.

Finalmente, en este trabajo se encontró asociación positiva entre el PM₁₀ y tres causas de mortalidad: respiratoria total, cardiovascular total y cardiorrespiratorias en la ciudad de Temuco, no así para el cáncer, el que fue utilizado como control negativo.

Los hallazgos en Temuco avalan el hecho de la importancia de estimar los riesgos en cada ciudad y no extrapolar los riesgos de una ciudad a otra, así como el seguir explorando e investigando las causas de las diferencias de riesgos en distintas ciudades.

Figura 3. Comparación de riesgos relativos de muertes cardiorrespiratorias ante un incremento de 100 µg/m³.

REFERENCIAS

1. MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. Declara zona saturada por material particulado respirable MP₁₀, como concentración de 24 horas, a las comunas de Temuco y Padre Las Casas. DS N° 035 del 2 de marzo 2005.
2. CONAMA. Estudio de apoyo para la elaboración de un plan de descontaminación para las comunas de Temuco y Padre Las Casas generación de información sobre condiciones de calidad del aire. CENMA 2002 Santiago, Chile.
3. BORJA-ABURTO V, LOOMIS DP, SHY C, BANGDIWALA S, RASCÓN-PACHECO RA. Ozone suspended particulates, and daily mortality in Mexico City. *Am J Epidemiol* 1997; 145: 258-68.
4. CAMBRA K, ALONSO E. Efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad: Resultados del proyecto EMECAM en el Gran Bilbao. *Rev Esp Salud Pública* 1999; 73: 209-14.
5. DOCKERY DW, CUNNINGHAM J, DAMOKOSH AI, NEAS LM, SPENGLER JD, KOUTRAKIS P ET AL. Health Effects of Acid Aerosols on North American Children: Respiratory Symptoms. *Environ Health Perspect* 1996; 104: 500-5.
6. FAIRLEY D. The relationship of daily mortality to suspended particulates in Santa Clara County. *Environ Health Perspect* 1990; 189: 159-68.
7. KÜENZLY N. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 2000; 356: 795-801.
8. TÉLLEZ-ROJO MM, ROMIEU I, RUIZ-VELASCO S, LEZANA MA, HERNÁNDEZ-AVILA MM. Daily respiratory mortality and PM₁₀ pollution in Mexico City: Importance of considering place of death. *Eur Respir J* 2000; 16: 391-6.
9. OSTRO B, SÁNCHEZ JM, ARANDA C, ESKELAND G. Air pollution and mortality. Results from study from Santiago Chile. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1996; 6: 97-114.
10. CIFUENTES L, VEGA J, KÖPFER K, LAVE LB. Effect of the Fine Fraction of Particulate Matter versus the Coarse Mass and Other Pollutants on Daily Mortality in Santiago, Chile. *J Air & Waste Manage Assoc* 2000; 50: 1287-98.
11. SANHUEZA P, VARGAS C, JIMÉNEZ J. Mortalidad diaria en Santiago y su relación con la contaminación del aire. *Rev Méd Chile* 1999; 127: 235-42.
12. BALLESTER F, CORELLA D, PÉREZ-HOYOS S, HERVAS A. Air pollution and mortality in Valencia, Spain: A study using the APHEA methodology. *J Epidemiol Community Health* 1996; 50: 527-33.
13. DAB W, MEDINA S, QUENEL P, LE MOULLEC Y, LE TERTRE A, THELOT B ET AL. Short term respiratory health effects of ambient air pollution: results of the APHEA project in Paris. *J Epidemiol Community Health* 1996; 50 (Suppl 1): 42-6.
14. HATZAKIS A, KATSOUYANNI K, KALANDIDI A, DAY N, TRICHOPOULOS D. Short term effects of air pollution on mortality in Athens. *Int J Epidemiol* 1996; 15: 73-81.
15. KATSOUYANNI K, ZMIROU D, SPIX C, SUNYER J, SCHOUTEN JP, PONKA A ET AL. Short-term effects of air pollution on health: A European approach using epidemiological time series data: The APHEA project: background, objectives, design. *Eur Respir J* 1995; 8: 1030-8.
16. TSAPAKIS M, LAGOUDAKI E, STEPHANOUE EG, KAVOURAS IG, KOUTRAKIS P, OYOLA P ET AL. The composition and sources of PM_{2.5} organic aerosol in two urban areas of Chile. *Atmos Environ* 2002; 36: 3851-63.
17. SKUPINSKA K, MISIEWICZ I, KASPRZYCKA-GUTTMAN T. Polycyclic aromatic hydrocarbons: physicochemical properties, environmental appearance and impact on living organisms. *Acta Pol Pharm* 2004; 61: 233-40.
18. KIM O, NGHIEM H, PHYU YL. Emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons, toxicity, and mutagenicity from domestic cooking using sawdust briquettes, wood, and kerosene. *Environ Sci Technol* 2002; 36: 833-9.
19. SANHUEZA P, SANTIBÁNEZ C. Análisis estadístico de la materia particulada respirable en Santiago-Chile: 1988-1997. *Revista Contribuciones Científicas y Tecnológicas - Universidad de Santiago de Chile*. 1999; 224: 1-31.

Agradecimientos

Este estudio se ha realizado bajo el auspicio de la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICYT) de la Universidad de Santiago de Chile y de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, Región de la Araucanía a través de su profesional Ingeniero Carmen Gloria Contreras.