

CONCLUSIONES

1. El secado controlado permite secar, hasta las condiciones de molibilidad, lotes de 5 unidades en un tiempo de una hora utilizando temperaturas de 150-160 °C sin afectar la representatividad de las muestras.
2. El empleo de bandejas planas mejora el gradiente de temperatura dentro del material, al reducir el riesgo de calcinación.
3. El secado controlado de muestras con diferentes valores de humedad puede lograrse con la automatización del tiempo de trabajo de la estufa a partir de la temperatura programada para lotes de humedad similar.
4. El diseño adecuado de los entrepaños dentro de la estufa permite utilizar la máxima capacidad sin sacrificar la superficie de secado de las bandejas.

BIBLIOGRAFÍA

- DIXON, W.J. y P.J. MASSEY: *Introducción al análisis estadístico*, edición en español, 1965.
- FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, L. y otros: *Informe preliminar acerca de los trabajos de ajuste y puesta en explotación del analizador portátil de FRX de la firma Nuclear Enterprise*, Archivos del CIL, 1991.
- FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, L.: *Informe sobre los trabajos de optimización de la distribución de temperatura y estabilización en las estufas rusas, Modelo 9 kWh y capacidad 150 kg*, Archivos de la Subdirección Mina ECECHG, marzo, 1993.
- : *Informe sobre los resultados de la preparación rápida de muestras de mineral laterítico húmedo*, Archivos de la Subdirección Mina ECECHG, 1995.
- MATOS ELÍAS, L.: *Informe sobre normas de elaboración de muestras de mineral laterítico*, Archivos de la Subdirección Mina ECECHG, enero, 1996.
- MILOVSKI, A.V. y O.V. EKONONOV: *Mineralogía*, Ed. Mir, Moscú, 1988.
- PROSKE, O. y F. ENSLIN: *Análisis de metales: Toma de muestras*, Madrid, 1966 (traducción del alemán).



Uso del *Pinus Cubensis* como bioindicador de la contaminación atmosférica

Lic. Pilar Dania Amat Infante
 Lic. Iván Casals Blet
 Dr. Allan Pierra Conde
 Lic. Daily Vázquez Abella
 Lic. Rogelio Martínez*

Instituto Superior Minero Metalúrgico, Departamento de Física
 * Centro de Investigaciones de la Laterita

RESUMEN: Se colectaron agujas de *Pinus Cubensis* en individuos jóvenes, durante el período marzo-abril, en una franja de 2 km de ancho, en la dirección SE y SSE del entorno de la fábrica de Níquel «Ernesto Che Guevara», zona de pre-montaña donde empieza a aparecer este tipo de formación vegetal. Las muestras fueron secadas, molidas y aglutinadas para su posterior análisis por Fluorescencia de Rayos X (FRX). Se determinaron sus contenidos de Ni, Cr, Cu, Ca, K, Al, Mg y S en un espectrómetro de vacío PHILLIPS PW 1 440 con ánodo de Tungsteno y cristal analizador EDDT. Para conformar los blancos se tomaron muestras de *Pinus Cubensis* en la zona de Santa María, Baracoa, donde existe un afloramiento laterítico para garantizar la similitud del sustrato. Se comprobó que el *Pinus Cubensis* puede servir como bioindicador del transporte atmosférico para estos elementos, ya que el límite de detección del método de FRX garantiza la medición de los contenidos de los mismos, además, se obtuvieron correlaciones significativas para el contenido de Ni y Ca, y la distancia a las fuentes emisoras.

ABSTRACT: Spruce needles of *Pinus Cubensis* of young plants were collected in the period from march to april on a fringe of 2 km of wide, in the SE and SSE direction, from a pre-mountain zone where this type of vegetal formation is started. The samples were dried, grinded and stuck together for their later analysis by X Rays Fluorescence (FRX) determining contents of heavy metals and sulfur in the vacuum spectrometer PHILLIPS PW 1 440 with tungsten anode and analyzer crystal EDDT. It's proved that the *Pinus Cubensis* can be used as bioindicator of the atmospheric contamination and that the limit of detection of this method guarantees the measurement of the content in the elements analysed obtaining important correlations between these ones and the distance to emitting stations.

El monitoreo de la dispersión y deposición de los contaminantes atmosféricos usando los métodos convencionales es difícil y generalmente caro, debido a estas razones las mediciones de la calidad del aire son hechas sólo en unos pocos puntos, por lo que es necesario hacer cálculos complementarios usando modelos matemáticos y simulación mediante computadoras. Estos modelos de la dispersión pueden incluir solamente un número limitado de factores de tal manera que los resultados pueden desviarse considerablemente de la situación real.

En la actualidad se han desarrollado métodos que usan plantas, musgos y líquenes como indicadores de la dispersión y deposición de los contaminantes atmosféricos (Prado, 1993; Kriuskov, 1991; Harol, 1993). La determinación de metales pesados y azufre en las agujas de los pinos es uno de estos métodos bioindicadores (Manninem, 1996; Hernández, 1996). En creciente medida se están introduciendo estos métodos en el marco de los procedimientos de concesión de licencias ambientales, en investigaciones de la calidad ambiental, así como en estudios relativos al ordenamiento territorial.

Fundamento del método

Se consideran bioindicadores a organismos que mediante variaciones en su metabolismo, en sentido amplio, reaccionan ante las sustancias contaminantes o bien las acumulan. Los organismos indicadores adecuados no solamente reaccionan ante la suma de los parámetros presentes, sino que integran los complicados efectos sinérgicos relacionándolos con las condiciones naturales locales.

Los bioindicadores representan el complejo efecto de las sustancias contaminantes mejor que los métodos de medición técnicos, ya que dentro de un límite racional se puede llegar a conclusiones por analogía sobre el peligro para otros organismos.

Según Prado (1993), los efectos biológicos de la contaminación atmosférica pueden ser estudiados de tres formas:

1. Por levantamiento de la distribución de plantas sensibles, que son de hecho evaluación de resultados de experiencias ya realizadas.
2. Al introducir organismos donde se sospecha que existe contaminación y observando los efectos.
3. Si exponemos organismos a niveles controlados de contaminación.

De ellas, la primera variante presenta un bajo costo para el monitoreo, pues las muestras se toman de especies adultas que han permanecido durante años en un lugar cercano al foco contaminante.

La conjugación de esta primera variante con el método de análisis biogeoquímico presenta la ventaja de poder evaluar la adaptación de los organismos al medio, además, se puede determinar el efecto de la acumulación de contaminantes en los mismos, lo que permite obtener información acerca de la distribución de los elementos trazas y su variación con la distancia al foco emisor, lográndose así una evaluación del nivel de acumulación de los elementos trazas individualmente.

En la implementación de este método se debe tener en cuenta que la disponibilidad de los iones en la solución del suelo contribuye al contenido de estos en el follaje, pero esta contribución es más pequeña que la causada por la deposición seca y húmeda, la determinación de metales pesados y azufre en el follaje es evaluable en áreas

contaminadas no siendo significativos los cambios del contenido de los mismos en el suelo (Georg; 1993).

Experimentos realizados (Bartholmeb, 1993) demuestran que la absorción por parte de los estomas disminuye con la duración de la exposición, debido a que el intercambio gaseoso se bloquea a causa de los daños en las células. La deposición seca y húmeda sobre la superficie de las agujas continúa, a pesar del bloqueo del intercambio, a través de los estomas. En el valor de las determinaciones totales de los elementos se debe incluir también la deposición sobre la superficie de las hojas.

Los pinos y abetos son indicadores apropiados de la carga contaminante debida a las inmisiones en bosques en las zonas de montañas medias y sus alrededores, para esto por regla general se utilizan los datos de los análisis de las agujas.

En investigaciones precedentes (Fiedler, 1983) se han encontrado diferentes comportamientos de los contenidos metálicos. El contenido de manganeso en las agujas es en gran medida dependiente de la acidez del suelo y varía dentro de un rango bastante amplio, el plomo se encuentra en las agujas más viejas (de más de 4 años, por ejemplo). Por el contrario el berilio presenta un comportamiento diferente.

En las partes leñosas de las raíces se acumulan el manganeso, el plomo y el cinc, las raíces de pinos y abetos presentan, en comparación con la de los abedules sobre suelos pardos ácidos, un contenido mucho mayor de plomo y cadmio. En general las raíces finas y las agujas presentan un contenido de metales pesados más alto que las partes leñosas.

Al tener en cuenta lo antes referido se escogió para el monitoreo el *Pinus Cubensis*, especie endémica del territorio que presenta la característica de tener dos acículas por facícula y se puede encontrar en esta región de manera aislada o formando bosques sobre el suelo laterítico, incluso sobre las escombreras.

Características de la región de estudio

La atmósfera en el territorio de Moa, una de las zonas más industrializadas del país, está sometida a una fuerte carga antrópica debido a la existencia de las fábricas de níquel de Moa y Punta Gorda, fuentes emisoras puntuales que expelen grandes volúmenes de dióxido de azufre y material particulado, unido a los efectos de la remoción de grandes masas de polvo laterítico proveniente de los terrenos descubiertos, áreas minadas y presas de cola.

El clima de la región es tropical, caracterizado por la presencia de dos períodos de lluvia: mayo-junio y octubre-enero y dos períodos de seca: julio-septiembre y febrero-abril. Se encuentra influenciado por la orografía, la barrera montañosa del grupo Sagua-Baracoa sirve de pantalla a los vientos alisios del NE provocando la descarga de copiosas lluvias en la parte norte. La cantidad de lluvia promedio anual en las partes más bajas del relieve

oscila entre 1 700 y 1 800 mm, mientras que en las zonas montañosas alcanza hasta 2 300 mm. La temperatura del aire en verano oscila entre 30 y 32 °C, y en invierno entre 22 y 26 °C (ACC, 1993).

La vegetación es variada, encontrándose formaciones vegetales como: pinares, bosques en galerías, arbustivos xeromorfo subespinosos y vegetación secundaria. En estos suelos se desarrolla el *Pinus Cubensis* y plantas latifolias, muchas de las cuales son endémicas de esta región, formando bosques típicos sobre las lateritas (Rodríguez, 1987).

Los suelos de Moa se caracterizan por su color rojo púrpura, constituyendo la región más extensa de suelos ferríticos sobre macizos de rocas ultrabásicas serpentizadas de la Isla. Estos son suelos con una alteración casi completa de los minerales primarios y un elevado contenido de sequeóxidos de hierro. Este tipo de suelo se puede calificar como poco profundo, de baja fertilidad, alta friabilidad, de buen drenaje interno y gran percolación del agua. En estos la capacidad de intercambio catiónico es muy baja debido a que el contenido de minerales silicatados secundarios es muy limitado, su pH va desde ligeramente ácido hasta medianamente ácido, siendo la acidez mayor en la superficie que en la profundidad (Benett y Allinson, 1966).

Toma y preparación de muestras

Las muestras fueron colectadas en el período marzo-abril en individuos jóvenes, en una franja de 2 km de ancho en dirección SE y SSE en el entorno de la fábrica de Níquel «Ernesto Che Guevara». Además, se tomaron muestras de *Pinus Cubensis* en Santa María, Baracoa, región situada aproximadamente a 35 km al este de la fuente emisora donde existe un afloramiento de suelo laterítico, para confeccionar muestras patrones y poder realizar la comparación con los niveles de acumulación de elementos trazas que presentan las muestras de Moa.

Las agujas de *Pinus Cubensis* fueron colectadas entre los 2,5 y 3 m de altura sobre el suelo y envasadas en bolsas de polietileno, posteriormente fueron secadas en una mufla durante 72 horas, a temperatura de 80 °C. Al cabo de este tiempo se sacaron de la mufla y se molieron en un molino de cuchillas de acero inoxidable, las muestras de esta manera fueron fundidas en forma de perlas para su posterior análisis por FRX.

Método de análisis

El método de FRX tiene la ventaja de que la preparación de las muestras es simple y poco costosa en comparación con otros métodos, no requiriendo el uso de reactivos químicos para su disolución.

Este método es en particular conveniente para los análisis de rutina de muestras, cuya composición varía dentro de límites estrechos. Su aplicación está limitada a elementos con número atómico mayor que 7. El método

es selectivo y bastante sensible, pudiéndose determinar elementos cuya proporción en peso varía desde valores superiores al 1 % hasta unas pocas ppm. Los errores son pequeños (1 al 2 %) o aún menores, y la calidad se puede mejorar con el uso de un patrón interno.

La FRX es probablemente el método analítico más usado para la identificación cualitativa de los elementos de número atómico mayor que 7, y se emplea a menudo para el análisis semicuantitativo de dichos elementos (Delahay, 1970).

La concentración total de los metales pesados y azufre fue determinada por FRX al usar un espectrómetro de vacío PHILLIPS PW 1 440 con un ánodo de Tungsteno y un cristal analizador EDDT. Para un voltaje del tubo de 40 kV y una corriente de 35 mA se obtuvo una buena resolución.

Tratamiento de los datos experimentales

Es conocido que a consecuencia de la dispersión a través de la atmósfera, la disminución de la deposición de metales pesados con respecto a la distancia a los emisores sigue una función exponencial (Georg, 1993).

$$Y = a X \quad (1)$$

Donde Y es la concentración del elemento (en mg.m⁻².d⁻¹), X es la distancia (m), a y b son coeficientes en los cuales están reflejadas de manera no diferenciada la potencia de la fuente emisora, la altura de la misma, la dirección del viento, etcétera.

Para comprobar si la disminución de los contenidos de metales pesados investigados a diferentes distancias de los supuestos emisores responde a la fórmula dada se obtuvo, mediante la transformación logarítmica $\ln Y = \ln a - b \ln X$, una relación lineal la cual se comprueba mediante el cálculo del coeficiente de correlación y el análisis de regresión con el correspondiente grado de confiabilidad.

Discusión de los resultados

En la Figura 1 se observa el espectro obtenido para la muestra patrón procedente de la zona de Santa María, en Baracoa. Es evidente que la misma no tiene contenidos apreciables de Ni, Fe y Cu, ya que la señal analítica se encuentra aproximadamente al mismo nivel del fondo.

En la Figura 2 se muestran los resultados de uno de los puntos de muestreo situado en el entorno de la fábrica de Níquel «Ernesto Che Guevara» donde se observan los picos correspondientes a las líneas K α del Ni y Cu, y la línea K β del Fe bien definidos por encima del fondo lo que hace evidente la validez del método analítico para realizar los análisis.

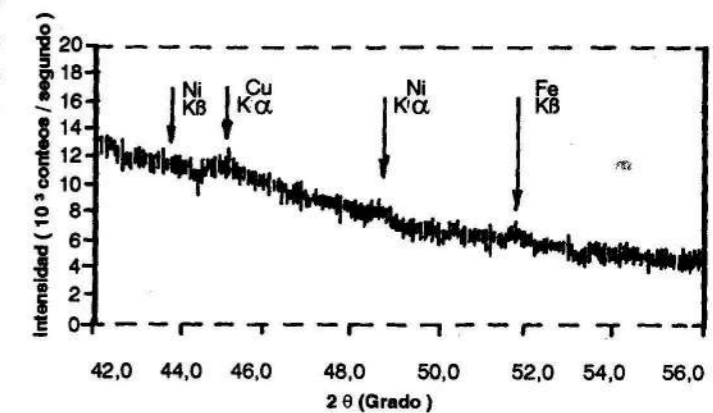


FIGURA 1. Espectro obtenido para la muestra patrón procedente de la zona de Santa María en Baracoa.

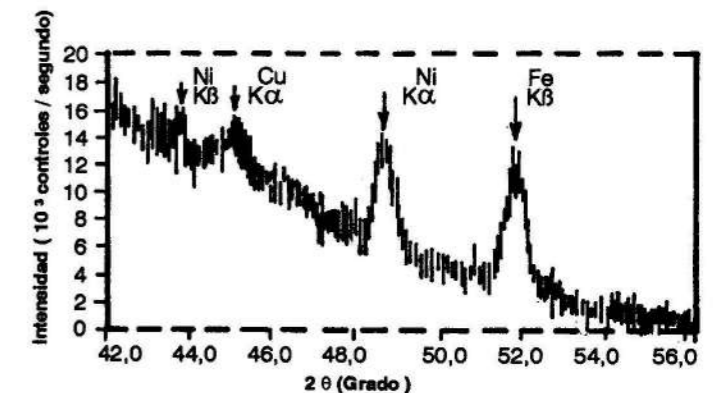


FIGURA 2. Espectro obtenido para una muestra procedente de una zona aledaña a la fábrica de Níquel «Ernesto Che Guevara».

En las Figuras 3, 4 y 5 se presentan los resultados obtenidos en dirección SE y SSE, estas muestran la intensidad en kilocuentos por segundo vs. logaritmo de la distancia al emisor en (m) en la dirección antes mencionada para los elementos níquel, calcio y aluminio.

Se observa una correlación lineal alta para el níquel y para el calcio, en correspondencia con la tendencia, obteniéndose los contenidos más altos de estos elementos en los puntos más cercanos a las fuentes emisoras.

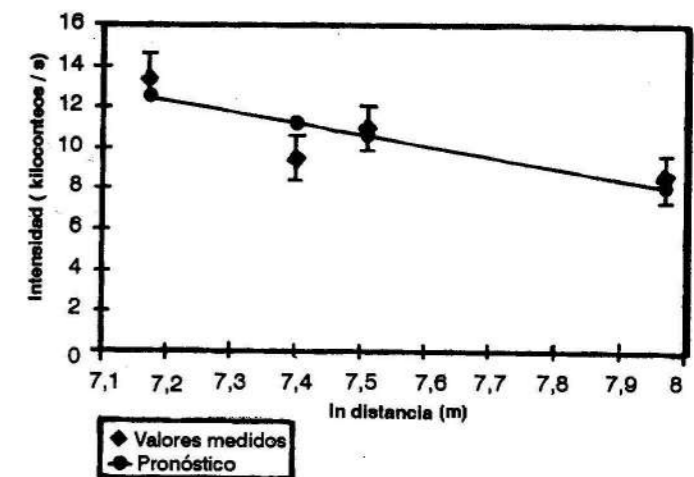


FIGURA 3. Curva de regresión ajustada para Ni.

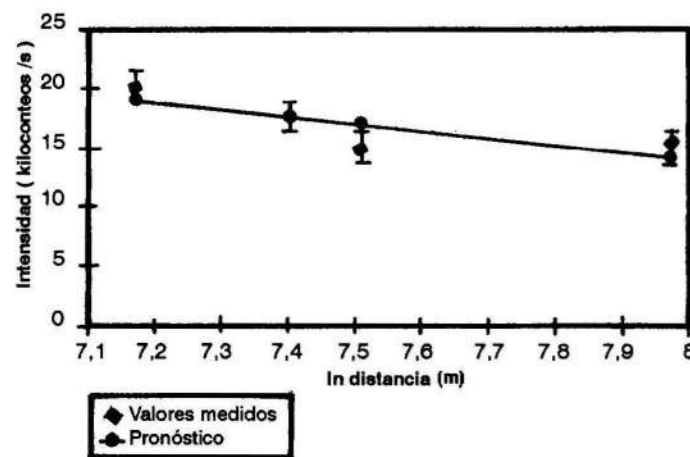


FIGURA 4. Curva de regresión ajustada para Ca.

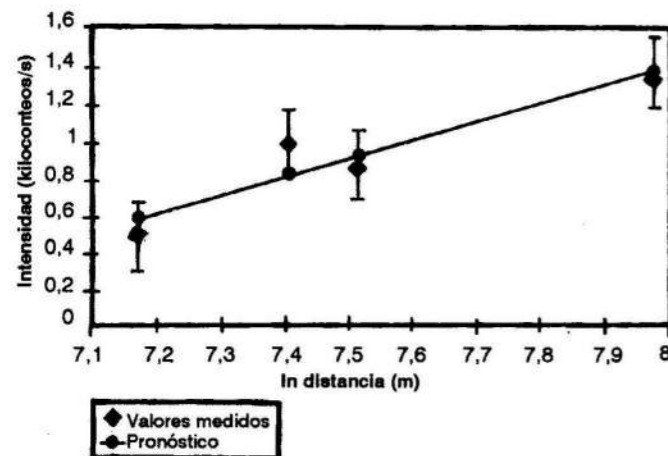


FIGURA 5. Curva de regresión ajustada para Al.

El aluminio presenta una correlación inversa alta, lo que puede explicarse mejor por el tipo de sustrato existente (cortezas lateríticas ricas en aluminio desarrolladas sobre gabros) que por transporte atmosférico.

Los restantes elementos no presentan un coeficiente de correlación alto (Tabla 1).

TABLA 1. Correlación entre la Intensidad (kiloconteos/s) y el logaritmo de la distancia (m) en las direcciones SE y SEE

d	ln (d)	Ni	Cr	Cu	Ca	K	Al	Mg
2 900	7,97	8,5	2,4	11,8	14,8	18,5	1,4	0,5
1 830	7,51	11	2,8	11,8	15	19	0,9	0,4
1 650	7,4	9,5	3	11	17,6	10,1	1	0,5
1 300	7,17	13,5	2,3	18,3	20	13	0,5	0,7
	R ²	0,70	0,01	0,39	0,72	0,42	0,90	0,29

CONCLUSIONES

Se comprobó que el *Pinus Cubensis* puede actuar como bioindicador del transporte atmosférico del Ni, Ca, Cr, Cu, K, S, Al y Mg, ya que la acumulación de estos elementos en las agujas es susceptible de ser analizada por el método de FRX.

El método de FRX mostró ser el adecuado para este tipo de tarea, ya que brinda la resolución instrumental adecuada y permite un ahorro de reactivos químicos y de pasos intermedios en el proceso de preparación de la muestra.

Se obtuvieron correlaciones significativas entre el contenido de Ni y Ca en las agujas de los pinos y las distancias a las fuentes emisoras, lo que avala el método para su uso en el biomonitorio pasivo de la contaminación atmosférica.

BIBLIOGRAFÍA

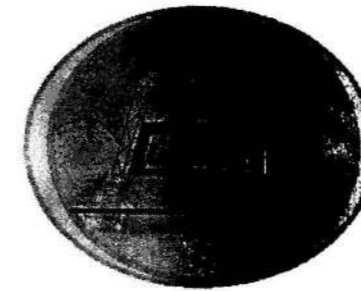
- ALVES, P.L. y otros: «Reacciones de la soya a la lluvia ácida y suelos contaminados», Revista CETESB de *Tecnología Ambiental*, vol.7, no.1, pp. 34-39, 1993.
- BENNETT, J.: «Floristic summary of plant species in the air pollution literature», *Environmental Pollution*, vol. 92, no.3, pp. 253-255, 1996.
- DELAHAY, P.: *Análisis instrumental. Paraninfo*, Madrid, 466 pp., 1970.
- DEROME, J.: «Atmospheric Deposition and the Mobility of Cations in Forest Soil», *Environmental Geochemistry in Northern Europe: Geological Survey of Finland*, vol. 9, pp. 29-39, 1991.
- DILLMAN, K.: «Use of the lichen *Rhizoplaca Melanophthaima* as a biomonitor in relation to phosphate refineries near Pocatello, Idaho», *Environmental Pollution*, vol. 92, no. 1, pp. 91-96, 1996.
- FIEDLER, H.J. and H.J. RÖSLER: *Spurenelemente in der Umwelt. G. Fischer Verlag*, Jena, 380 pp., 1985.
- GEORG, H. et al.: «Die Schwarzerle Als Bioindikator», *Staub Reinhaltung der Luft*, vol. 53, pp. 27-30, 1993.
- GONZÁLEZ, C. et al.: «Biomonitoring of air pollutants from traffic and industries employing *Romalina Ecklonii* meyer and *flot* in Cordoba, Argentina», *Environmental Pollution*, vol. 91, no.3, pp. 269-277, 1996.
- HAAPALA, H. et al.: «Ecological condition of forest around the eastern part of the gulf of Finland», *Environmental Pollution*, vol. 91, no.2, pp.253-265, 1996.
- HERNÁNDEZ, T.: «Effects of oxidant air pollution of *Pinus Maximartinezii* Rzedowski in the Mexico City region», *Environmental Pollution*, vol. 92, no.1, pp. 79-83, 1996.
- KRYUSKOV, V.: «Heavy Metal Accumulation in Spruce Needles and Changes of Northern Taiga Ecosystems», *Environmental Geochemistry in Northern Europe: Geological Survey of Finland*, vol. 9, pp.177- 184, 1991.
- KUBIN, E.: «A survey of element concentrations in the Epiphytic Lichen *Hypogymnia Physodes* in Northern Finland in 1986», *Environmental Geochemistry in Northern Europe: Geological Survey of Finland*, vol. 9, pp. 185-194, 1991.
- MANNINEN, S. et al.: «Assessing the critical levels of SO₂ for Scots Pine in situ», *Environmental Pollution*, vol. 93, no.1, pp. 27-38, 1996.
- : «Total sulfur concentration of conifer needles and total sulfur deposition in Northern Finland», *Environmental Geochemistry in Northern Europe: Geological Survey of Finland*, vol. 9, pp. 195-199, 1991.
- NIKONOV, V.: «Biogeochemical cycles in the northern forest area of the Kola Peninsula», *Environmental Geochemistry in Northern Europe: Geological Survey of Finland*, vol. 9, pp. 201-211, 1991.
- PRADO, J.: «Uso de bioindicadores para monitorio del aire», Revista CETESB de *Tecnología ambiental*, vol. 7, no.1, pp. 57-64, 1993.

RODRÍGUEZ, M. et al.: «Actividad biológica y degradación del suelo en algunas áreas de la zona minera de Moa», *Revista del Jardín Botánico Nacional de Cuba*, vol.8, no.3, pp. 77-108, 1987.

TURUNEN, M. et al.: «Scots pine needle surface on radial transects across the North Boreal Area of Finnish Lapland and the Kola

Peninsula of Russia», *Environmental Pollution*, vol. 93, no. 2, pp. 175-194, 1996.

WATMOUGH, S. et al.: «Analysis of tree rings using inductively coupled plasma mass spectrometry to record fluctuations in a metal pollution episode», *Environmental Pollution*, vol. 93, no.1, pp. 93-102, 1996.



LE OFRECE:

EL INSTITUTO SUPERIOR
MINERO METALÚRGICO
Y LA EMPRESA CROMO MOA

ARENAS DE OLIVINA

Es una arena con alta refractariedad a base de olivino, especial para la preparación de mezclas de moldeo que garantiza la obtención de piezas de calidad.

Posee una elevada temperatura de fusión (1800°C) y evita la penetración metálica.

ISMM Las Coloradas s/n CP: 383 329 Moa, Holguín, Cuba
Tel.: 6 4476 Fax: (53) (24) 6-2290
E-mail: ACARBALLO @ ISMM.ISPJAM.cu

