

Debe señalarse que la máxima diferencia entre los valores de profundidades en los puntos de cruce de los perfiles, se manifiestan para la frontera C2 ( $\Delta H = 500$  m). Atendiendo a que la profundidad media aproximada de esta frontera es del orden de 5 km, la metodología empleada fue considerada válida a los efectos de cartografiar las

fronteras referidas en la escala regional asumida para la representación de los resultados.

Los nuevos cortes de profundidad obtenidos proporcionaron determinada información de interés sobre la constitución profunda de la región investigada y sobre el espesor del prisma sedimentario en la misma.

### CONCLUSIONES

El presente trabajo introduce el estudio de la correlación estadística entre diferentes campos físicos en una región determinada, a fin de establecer ecuaciones de regresión que permitan calcular los datos correspondientes a un campo en función de los de otro.

El empleo de las técnicas de correlación estadística en la región de la cuenca del Cauto, ha permitido comprobar que entre las fronteras refractoras y el campo  $\Delta g$  existen elevados coeficientes de correlación.

Fueron obtenidas ecuaciones de regresión que han posibilitado en base a los valores de  $\Delta g$ , reconstruir las fronteras sísmicas a lo largo de los perfiles VIII y IXa, así como obtener nuevos datos sobre las mismas en otros perfiles cercanos, a lo largo de los cuales no se contaba con datos de refracción.

El empleo de las técnicas de correlación estadística entre datos de  $\Delta g$  y profundidades de fronteras sísmicas, posibilita una disminución de los trabajos sísmicos regionales a realizar en áreas con características similares a la investigada, lo que puede expresarse en un considerable ahorro de recursos.

Los resultados obtenidos son importantes desde el punto de vista metodológico, ya que indican que en otras regiones que tengan una constitución geológica similar a la que presenta la cuenca del Cauto, es posible extrapolar el estudio de las fronteras sísmicas refractoras hacia otros perfiles, a lo largo de los cuales no se cuente con datos de profundidades, y en su lugar se posean las mediciones del campo  $\Delta g$ , lo que posibilitará la obtención de mapas de isohipsas de los horizontes estudiados en la etapa inicial de las investigaciones regionales.

### REFERENCIAS

1. ALFONSO, J.R.: Estadísticas en las ciencias geológicas, Ed. ISPJAE, 2 tomos, La Habana, 1989.
2. BRODOVOI, V.V.: *Aplicación compleja de los métodos de prospección geofísica* (en ruso), Ed. Nedra, 2da. edición, Moscú, 1987.
3. DIMITRIEV, V.I.: *Las matemáticas y técnicas de cálculo en la prospección geofísica* (en ruso). Ed. Nedra, Moscú, 1990.
4. ESTEVEZ, A. y D. HERNANDEZ: *Elaboración compleja de los datos geofísicos en el área de la cuenca del Cauto*, Trabajo de diploma, Departamento de Geofísica, ISPJAE, Ciudad de La Habana, 1988.
5. KOKOSHKO, A. y otros: *Informe sobre trabajos de KMPV, Oriente*, Centro de Investigación y Desarrollo del Petróleo, Ciudad de La Habana, 1974.
6. MINGASOV, A. y otros: *Resultados de los trabajos de MOGT en el período 76-81 en la cuenca del Cauto*, Empresa Nacional de Geofísica, Ciudad de La Habana, 1982.
7. RODRIGUEZ, M.: *Mapa  $\Delta g_B$  a escala 1:100 000*, Archivo ENG, 1983.

## ACERO PARA EL DESARROLLO ENTRE EN CONTACTO CON NOSOTROS

## CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN LA BAHIA DE LEVISA, CUBA

Humberto González  
Ivis Torres  
Martha Ramírez

Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas

**RESUMEN:** En la bahía de Levisa, costa nororiental de Cuba, se encuentra enclavada una fábrica procesadora de Ni. El arrastre de ríos que drenan al área, el vertimiento de residuales industriales líquidos y sólidos sin tratar y las emisiones a la atmósfera, son factores que han contribuido a la degradación del ecosistema marino.

Para evaluar la contaminación por metales pesados se realizó un muestreo de 21 sedimentos superficiales y un testigo, distribuidos por toda la bahía. A la fracción menor de 63 $\mu$  de las muestras, se les realizó digestión con HNO<sub>3</sub>/HCl y mediante espectrofotometría de absorción atómica, se determinaron los contenidos de Co, Fe, Ni, Mn, Cu, Pb y Zn.

Los clásicos indicadores de contaminación, Cu, Pb, y Zn, presentaron bajos contenidos y variabilidad en su distribución espacial, mientras que Ni, Co, Fe y Mn, componentes mayoritarios de las lateritas, exhibieron diferencias de hasta dos órdenes de magnitud entre los valores extremos, con los máximos en las desembocaduras del río Levisa y el arroyo Manatí, provocados por el arrastre fluvial, pero especialmente en la ensenada de Arroyo Blanco, donde son depositadas las colas residuales. La muestra testigo sólo mostró un incremento de níquel en las capas superiores y permitió corroborar la elevada contaminación que la actividad minera industrial ha causado al ecosistema, con niveles comparables sólo a los de la bahía de Moa.

**ABSTRACT:** A sampling in superficial sediments of Levisa bay was done in order to evaluate the contamination by heavy metals and the contents of Co, Fe, Ni, Mn, Cu, Pb and Zn were determined. The main contamination indicators, Cu, Pb and Zn revealed lower contents, however, Ni, Co Fe, and Mn presented higher contents, mainly in Levisa river and Manatí creek. Corroborated was the high contamination that mining activity has over the environment.

La bahía de Levisa en la costa nororiental de Cuba, es una típica bahía de bolsa. Con 40 km de extensión, en su zona sur sobresale la península de Lengua de Pájaro, donde hace medio siglo comenzó a operar una industria procesadora de níquel, abastecida de mineral laterítico proveniente de diferentes minas enclavadas en la zona montañosa cercana.

Las características a cielo abierto de esta minería provocan un arrastre considerable de mineral por las diversas corrientes fluviales que drenan el área, lo que unido al vertimiento de residuales industriales líquidos y sólidos sin tratar y a las emisiones a la atmósfera, han provocado que esta bahía, cuerpo receptor de la mayoría de estas cargas,

haya sufrido durante décadas un deterioro en su calidad ambiental.

Un trabajo previo (Croissiert, 1984), evidenció afectaciones no distribuidas uniformemente en el ecosistema, pero la principal causa de esta contaminación, los metales pesados, no fueron estudiados. Actualmente como parte del Proyecto "Estudio de Impacto ambiental derivado del desarrollo minero-metalúrgico en el litoral noreste de Cuba", en el marco del Programa CEPOL/PACPNUMA, se ha comenzado esta investigación, de la que se presentan los resultados obtenidos en la primera campaña de muestreo y que forman parte de estudios más complejos actualmente en curso, encaminados a realizar un balance de masa para los metales pesados en esta bahía.

### MATERIALES Y METODOS

La metodología empleada en todo el proceso, desde la concepción del muestreo hasta la interpretación de los resultados, ha sido previamente descrita (González, 1989).

En mayo de 1992 fueron colectadas 21 muestras de sedimentos superficiales y un testigo (estación 23), mediante una red de muestreo distribuida por toda la bahía (Figura 1). La muestra testigo de 84 cm de longitud, fue seleccionada cada 3 cm desde la superficie hasta los 15 cm y después cada 5 cm, lo que proporcionó un total de

18 capas. Se seleccionó la fracción < 63  $\mu$ m previa liofiltración de las muestras y se determinaron los contenidos de Cu, Pb y Zn (clásicos indicadores de contaminación) y Fe, Ni, Mn y Co, metales pesados mayoritarios en las lateritas. La precisión (n=5), expresada como coeficiente de variación, fue menor de 5% excepto Pb (7%) y Cu (12%). Como variable normalizadora se prefirió la materia orgánica (m.o) sobre el Al, dada la abundancia de éste en los minerales lateríticos.

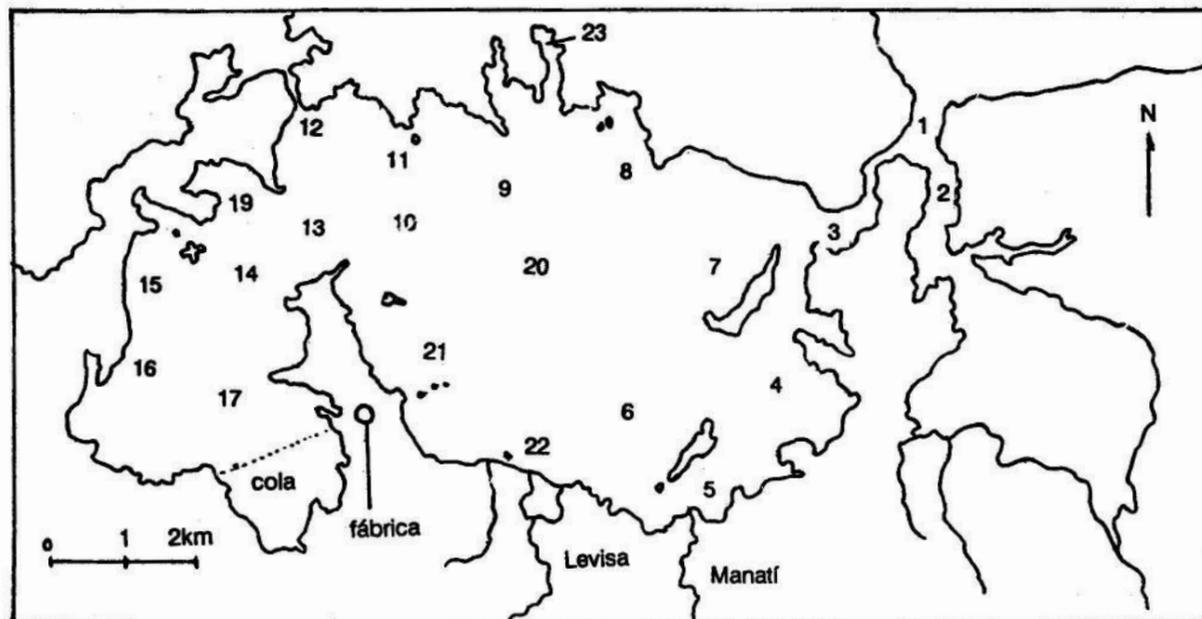


FIGURA 1. Bahía de Levisa: estaciones de muestreo de sedimentos

### RESULTADOS Y DISCUSION

La tabla 1 brinda un resumen de los resultados obtenidos en los elementos superficiales.

TABLA 1. Contenidos de metales pesados en sedimentos superficiales de la Bahía de Levisa

|      | $\bar{x}$ |     | Intervalo   |      | C.V. % |
|------|-----------|-----|-------------|------|--------|
| Cu   | 13        | (8) | 4,1-28      | (17) | 49     |
| Pb   | 7,4       | (5) | 4,6-9,6     | (20) | 16     |
| Zn   | 55        | (1) | 7,9-129     | (17) | 58     |
| Co   | 68        | (1) | 7,7-324     | (17) | 117    |
| Ni   | 1 694     | (1) | 69-4 764    | (17) | 80     |
| Fe   | 8,29      | (1) | 0,64-22,66  | (22) | 73     |
| Mn   | 984       | (1) | 125-2 957   | (17) | 71     |
| m.o. | 16,66     | (3) | 10,02-23,01 | (5)  | 19     |

contenidos en  $\mu\text{g/g}$ ; Fe y materia orgánica (m.o.) en %; entre paréntesis estaciones con valores extremos; C.V.: coeficiente de variación

Resaltan tres grupos de metales con comportamiento disímil:

Grupo 1: formado por el Pb y la materia orgánica; ambos con una distribución espacial relativamente uniforme y con valores semejantes a los reportados para cinco bahías cubanas importantes (González, 1991) en el caso de la materia orgánica, pero en particular, bajos para el Pb y característicos de áreas con poca incidencia de desechos urbano-industriales. Es lógico este resultado, pues las fuentes contaminantes potenciales no son generadoras de este elemento, lo cual también explica su no correlación con los restantes metales, incluso Zn y Cu.

Grupo 2: incluye a los dos elementos antes mencionados, su variabilidad es mayor, con los máximos en las estaciones 16 y 17, situadas en las proximidades del dique de cola y en menor medida en la 14 y la 15, también situadas en la ensenada de Arroyo Blanco y en las estaciones 22 y 5, cercanas a las desembocaduras de los ríos Levisa y

Manatí, respectivamente. Esto permite plantear que dichos metales son introducidos al sistema como resultado de la actividad minera, aunque no hay grandes diferencias entre los valores extremos y la mayoría de los contenidos son comparables a los de las zonas no afectadas en otras bahías (González, 1991)

Grupo 3: Integrado por Co, Ni, Fe y Mn, todos componentes importantes de las lateritas. Las diferencias en sus distribuciones espaciales son más acentuadas y los contenidos máximos son entre 23 (Mn) y 68 (Ni) veces superiores a los mínimos. Son las mismas estaciones (16, 17, 14, 15, 5 y 22) las más afectadas, clara evidencia de los arrastres fluviales y el impacto negativo del vertimiento de los residuos líquidos y sólidos de la fábrica. Los altísimos contenidos en ellas existente sobrepasan ampliamente los de otras bahías (González, 1991) o zonas costeras (González y Torres, 1990; González y Brugmann, 1991) contaminadas, pero por vertimientos urbano-industriales mixtos. En nuestro país, sólo en el litoral de Moa, afectado también por la minería laterítica, han sido reportados contenidos iguales y aún superiores (Martínez, et al., 1990).

La normalización respecto a la materia orgánica mostró resultados coincidentes, indicativos de que ésta no es la causa primordial de contaminación, ya que las lateritas y las colas residuales de la fábrica, poseen una predominante composición inorgánica.

La muestra testigo (Tabla 2) exhibió contenidos relativamente uniformes a lo largo de la columna sedimentaria, con factores de enriquecimiento y porcentaje de contribución antropogénica bajos y sin que se observara una tendencia al incremento hacia las capas superficiales, excepto para el Ni, único elemento que correlacionó la longitud del testigo (pese a no conocerse la velocidad de sedimentación), así como los contenidos de metales comparables a los más bajos existentes en las estaciones 1, 2 y 3, las más alejadas

de las fuentes contaminantes, permiten en una primera aproximación considerar al conjunto de estos valores como los "niveles bases" existentes en esta bahía y corroboran la elevada contaminación causada por la actividad minero-industrial

TABLA 2. Contenidos de metales pesados en la muestra testigo

|    | $\bar{x}$ | Intervalo | C.V. % | FE    | % CA   |
|----|-----------|-----------|--------|-------|--------|
| Cu | 13        | 10-16     | 14     | 8-1,2 | -31/18 |
| Pb | 3,5       | 2,3-4,8   | 19     | 6-1,2 | -56/19 |
| Zn | 34        | 29-41     | 11     | 1-1,4 | -3/27  |
| Co | 12        | 9,9-13    | 9      | 1-1,3 | 0/23   |
| Ni | 304       | 244-374   | 11     | 1-1,5 | 0/35   |
| Fe | 3,41      | 1,76-4,12 | 18     | 5-1,2 | -99/15 |
| Mn | 178       | 153-204   | 8      | 9-1,2 | -13/15 |

contenidos en  $\mu\text{g/g}$ ; Fe en %; FE: factor de enriquecimiento. % CA: % de contribución antropogénica (Donard, 1983)

La interpretación aportada por el conjunto de pruebas estadísticas (histogramas de frecuencias, correlaciones, análisis de clasificación jerárquica y en componentes principales) al igual que la de los diversos índices: de microcontaminación (Papakostidis et al., 1975) y de contaminación urbano-industrial (Cu) y minera (Cm), definidos por nosotros como:

$$Cui = Cu + Pb + Zn$$

$$Cm = Co + Fe + Mn + Ni$$

mostraron resultados coincidentes que permitieron cumplir con el objetivo de poder dividir la bahía en diferentes

zonas de acuerdo con su calidad, para precisar las causas y fuentes contaminantes, así como escoger estaciones "problemáticas", "intermedias" y "limpias o de referencia", necesarias para establecer una red de monitoreo periódico

Pueden distinguirse las siguientes zonas:

1. Altamente contaminada: por los residuales industriales (estaciones 16 y 17) y arrastres que desde inicio de la década del 70 ha traído el río Levisa desde la zona minera en explotación (estación 22).
2. Contaminada: formada por las estaciones 15, 14, 13, 6 y 21, todas influidas por las fuentes contaminantes ya descritas pero más alejada de éstas, lo que ha provocado una disminución de su efecto negativo, proporcional a la distancia al punto de vertimiento. Se incluye la estación 5, en la desembocadura del río Manatí, con arrastres importantes desde hace dos décadas también.
3. De transición: comprende las estaciones 19, 12, 11 y 10, todas situadas al norte de la península de Lengua de Pájaro, y a la 20, en el centro de la bahía.
4. Limpias: aquellas más alejadas de las fuentes contaminantes en este grupo, al igual que en los anteriores, todas no poseen iguales características, pero en conjunto sirven como criterio de comparación. Comprende las estaciones 9, 8, 23, 7, 4 y 3, en el interior de la bahía; la 2 a la entrada de la bahía de Cabonico y la 1, que en general mostró los menores contenidos, ya que por su ubicación es poco probable que sea afectada, incluso por la contaminación atmosférica.

### CONCLUSIONES

1. Los sedimentos de la bahía de Levisa se encuentran contaminados, especialmente por Ni, Fe, Co y Mn, debido a la actividad minero-industrial del níquel.
2. La bahía puede dividirse en zonas que denotan un gradiente negativo de contaminación al alejarse de las fuentes contaminantes.

### AGRADECIMIENTO

Agradecemos profundamente la colaboración de la tripulación de la embarcación Juan G. Soto, sin la que hubiera sido imposible la realización del muestreo.

### RESUMENES

- CROISSIERT, S.: *Trabajo de Diploma*, Instituto Superior Pedagógico de Holguín, 1984.  
 DONARD, O.: *These # 1887*, Université Bordeaux, 1983.  
 GONZALEZ, H.: *Tesis de Doctor en Ciencias Químicas*, CNIC, La Habana, 1989.  
 ———: *Biogeochemistry*, 14(2): 113-128, 1991.  
 GONZALEZ, H. y L.BRUGMANN: *Chem. y Ecol.* 5(3): 171-179, 1991.  
 GONZALEZ, H. y I. TORRES: *Mar. Pollut. Bull.* 21(5): 253-255, 1990.  
 MARTINEZ, M. et al.: *Resúmenes II Congreso Ciencias del Mar*, La Habana, 1990.  
 PAPAPOSTIDIS, L. et al.: *Mar. Pollut. Bull.* 6(9): 136-139, 1975.