



## CONTAMINAÇÃO POR Hg, Pb E CN GERADA PELA GARIMPAGEM DE OURO SOBRE OS RIOS SUCIO, MICO E SINECAPA, NICARÁGUA, AMÉRICA CENTRAL

G.A.S. Velásquez<sup>1</sup>, N. Fenzl<sup>2</sup>, S.M. Guillen<sup>3</sup>, F. Nascimento<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pós-Graduação, Centro de Geociências - UFPA, Caixa Postal 1.611, CEP 66.000, Belém, PA

<sup>2</sup>Prof. Pesq., Centro de Geociências - UFPA, Caixa Postal 1.611, CEP 66.000, Belém, PA

<sup>3</sup>Dir. - CIRA/UNAN, Reparto Panamerica, Manágua, Nicarágua

Recebido em 06/96; aprovado para publicação em 11/96

### ABSTRACT

*For over a century, gold extraction has been practiced in the La Libertad-Santo Domingo and Santa Rosa del Peñón regions. During this period, about 40 tons of mercury, 10 tons of lead and cyanide compounds have been discharged into the environment. As a consequence of these mining activities, Sucio, Mico and Sinecapa rivers are presently polluted by mercury, lead and cyanide compounds. The aim of this study is to determine the variations of the Hg, Pb and cyanide concentrations in water and bottom sediments, between the dry season (May-June/93) and the rainy season (Dec/93-Jan/94), and in soils and in hair samples of people related to the mining activity. The results are showing that high concentrations of Hg, Pb and cyanide in water and sediment samples are detected only in areas which are directly affected by the mining work. On the other side, the highest Hg and Pb concentrations in soils are accumulated in the top layers, generally composed of clay material. Nearly 28% of the analyzed hair samples are showing high Hg concentrations (0,28-164,71 µg/g), exceeding in some cases three times the intolerable limit (50 µg/g).*

### RESUMO

*A extração de ouro das regiões de La Libertad-Santo Domingo e de Santa Rosa del Peñón, Nicarágua, é realizada há mais de um século. Durante este tempo, cerca de 40 t de mercúrio, 10 t de chumbo e quantidades razoáveis de cianeto foram descarregadas nesta região. As áreas mais atingidas são, sobretudo, a bacia dos rios Sucio, Mico e Sinecapa, onde se concentra o presente estudo, que tem como objetivo avaliar a contaminação por tais poluentes através da análise das águas e dos sedimentos, dos solos e de cabelo de moradores locais. A maioria das amostras de águas e de sedimentos com concentrações de Hg e Pb de até cinco vezes superior ao "background" regional são de trechos dos rios diretamente atingidos pela garimpagem. Nas áreas onde há contaminação de solos, as concentrações mais elevadas foram encontradas nas camadas argilosas. De acordo com a análise dos cabelos, 28% das pessoas amostradas estão intoxicadas por mercúrio, registrando-se uma concentração máxima de 164,71 µgHg/g, que está aproximadamente três vezes acima do nível intolerável.*

## INTRODUÇÃO

A Nicarágua é um país rico em recursos minerais, onde a intensa exploração trouxe a degradação de uma grande parte do meio ambiente, como é o caso das áreas La Libertad-Santo Domingo (Departamento de Chontales) e de Santa Rosa del Peñon-La India (Departamento de León) (Levy, 1973).

Os distritos de La Libertad-Santo Domingo e Santa Rosa são, desde 1856, os maiores produtores de ouro da

região central da Nicarágua, cuja principal consequência negativa é a poluição da bacia dos rios Súcio, Mico e Sinecapa, pelo despejo de substâncias químicas tóxicas contendo mercúrio, chumbo e cianeto (Fig.1).

O método de amalgamação é empregado há quase um século para a extração do ouro da região de La Libertad-Santo Domingo, com a utilização de um mercúrio com cerca de 20% de chumbo como impureza. A partir de 1982, a extração passou a ser realizada através do

método da flotação-cianetação, que utiliza aproximadamente 0,25 t de acetato de chumbo/dia. Apesar da construção de uma barragem para a contenção dos resíduos produzidos, estima-se que cerca de 25 t de mercúrio e 5 t de chumbo tenham sido despejados nessa região, desde esta época (Sánchez & Cáceres, 1983)

Na região de Santa Rosa, desenvolveu-se um método de extração industrial de ouro durante os anos 1936-1956. Entretanto, antes disso, a amalgamação já era empregada artesa-

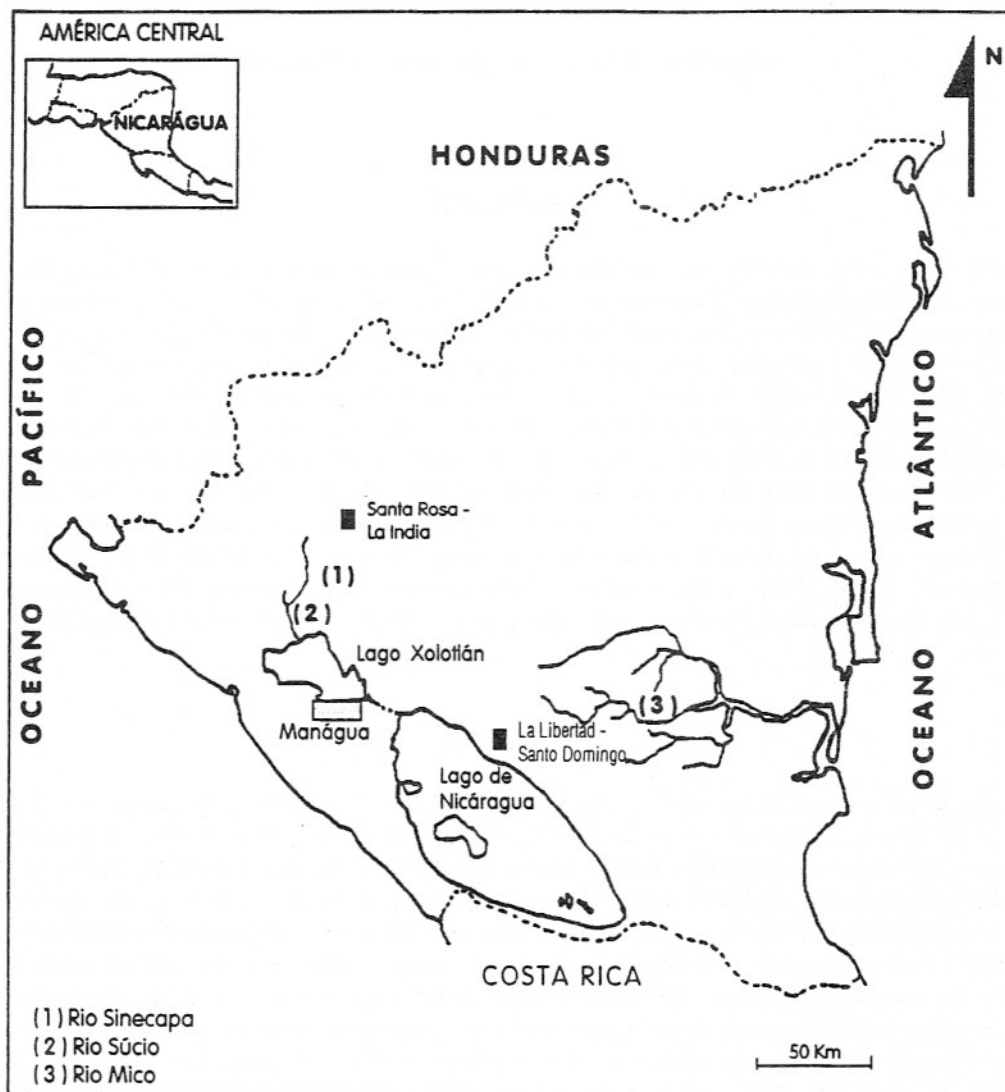


Figura 1 - Localização da área de estudo.

nalmente e persiste, até hoje, como atividade garimpeira paralela (Adué *et al.*, 1991).

O mercúrio e o chumbo permanecem por períodos longos no ambiente, enquanto o cianeto é rapidamente convertido a tiocianato, que é relativamente pouco tóxico (Sánchez & Cáceres, 1983; Rodríguez & Spassov, 1994).

O objetivo do presente trabalho é identificar a contaminação por mercúrio, chumbo e cianeto das águas e dos sedimentos de fundo dos rios Sucio e Mico, no Distrito de La Libertad-Santo Domingo, e do rio Sinecapa, no Distrito de Santa Rosa del Peñon, com a finalidade de estudar a dinâmica da distribuição destes poluentes e avaliar o impacto causado nas áreas diretamente afetadas pela garimpagem de ouro. Além disso, foram analisadas amostras de solos e de cabelos de habitantes da região, envolvidos ou não em atividades garimpeiras.

## METODOLOGIA

### Coleta

As amostragens foram realizadas nos dois períodos climáticos característicos da região. A primeira, durante o período seco (maio-junho/93), com 63 amostras (25 de águas, 24 de sedimentos e 14 de solos) coletadas na área de La Libertad e 26 (13 de águas e 13 de sedimentos) na área de Santa Rosa. A segunda, no final do período de chuvas (dez/93-jan/94), com 49 amostras (25 de águas e 24 de sedimentos) coletadas em La Libertad e 20 (9 de águas e 11 de sedimentos) em Santa Rosa (Figura 1).

Nas amostras de água total de rios, foram determinados

Hg total, Pb, CN<sup>-</sup>, íons principais e parâmetros físico-químicos (pH, turbidez, condutividade, DQO e DBO). Nas amostras de cabelo, analisou-se, basicamente, o Hg, enquanto nas amostras de solos e de sedimentos foram determinados, principalmente, o Hg e o Pb.

Como referência de valores de *background*, coletaram-se seis amostras num ponto localizado a 1,5 km ao sudoeste da área das atividades de mineração.

### Águas

As amostras de águas foram coletadas numa seção transversal ao leito dos rios Sucio, Mico e Sinecapa, com 41 amostras na primeira campanha e 35, na segunda, sendo que 12 amostras, em cada campanha, foram selecionadas para as análises de cianeto.

Para avaliar a contaminação no rio Mico pela empresa mineira La Libertad, coletou-se uma amostra a 1,5 km a jusante do ponto de descarga do efluente da empresa, que extrai ouro pelo método da floculação e cianetização.

### Cabelo

Coletaram-se 25 amostras de 5,0 a 10,0 g de mecha inteira de cabelo, da área occipital, de pessoas de ambos os sexos, com diferentes idades e tempo de exposição ao mercúrio, assim como de pessoas que nunca estiveram envolvidas em qualquer tipo de atividade ligada à mineração.

### Solo

Um total de 16 amostras de solos foi coletado da seguinte maneira:

- nos antigos depósitos de re-

síduos da garimpagem da região de San Juan (La Libertad), a cada 25 cm em um poço de 3,10 m de profundidade, construído até o piso do depósito e;

- na área residencial onde os garimpeiros fazem a amalgamação, retirando-se uma amostra a 3 cm de profundidade a partir da superfície e outra a 5 cm.

### Sedimento

Foram coletadas 41 amostras de sedimentos na primeira amostragem e 35, na segunda, com cerca de 1 kg cada.

### Análise

Os procedimentos utilizados para as análises do mercúrio, do chumbo e do cianeto são adaptações baseadas nas orientações dos APHA, AWWA & WEF (1992). Em todos os casos, foram preparados padrões de referência e utilizadas amostras comerciais com concentração comprovada para controlar a exatidão das análises.

### Cianeto em águas

Para a análise do cianeto das águas, 500 ml das amostras foram submetidas ao aquecimento à temperatura de 40°C na presença de cloreto de cobre ou magnésio e de ácido sulfúrico (1M), que forma e libera ácido cianídrico. O ácido cianídrico liberado é arrastado num fluxo gasoso e fixado numa solução de hidróxido de sódio (1N), que permite, por titrimetria, a determinação dos íons CN<sup>-</sup>.

### Mercúrio em águas, cabelos, sedimentos e em solos

Para as análises do mercúrio, utilizaram-se os seguintes

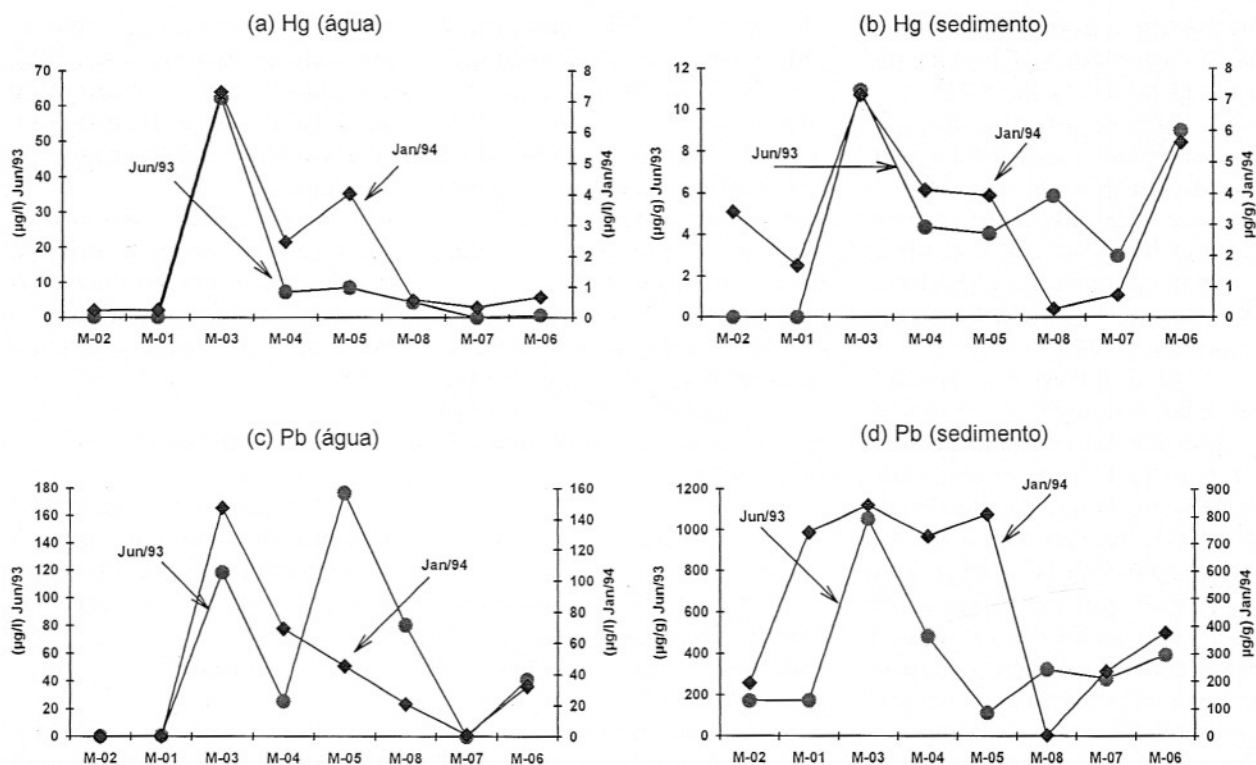


Figura 2 - Distribuição de mercúrio e de chumbo no rio Sucio.

procedimentos:

- águas: digestão com ácido nítrico concentrado ( $5 \cdot 10^{-5} \%$  Hg) e aquecimento na chapa a uma temperatura de  $60^\circ\text{C}$ ;
- cabelo: digestão com ácido sulfúrico (95%) e peróxido de hidrogênio (37%) a uma temperatura de  $70^\circ\text{C}$ ,
- sedimentos e solos: digestão com a mistura de 100 ml de ácido nítrico concentrado ( $5 \cdot 10^{-5} \%$  Hg) + 0,2 g de dicromato de potássio + 100 ml de água deionizada a uma temperatura de  $60^\circ\text{C}$ , seguido da adição de duas gotas do antiespumante sigma (A-5758), na solução fria.

O mercúrio foi determinado pelo método de espectrometria de absorção atômica, no aparelho Varian Spectra A-20.

#### Chumbo em águas, sedimentos e solos

As amostras de águas

(50 ml) foram tratadas com uma mistura de 1 ml de ácido ascórbico (10%) + 1 ml de ácido nítrico concentrado, enquanto as amostras de sedimentos (1,5 g) e de solos (1,5 g) foram lixiviadas com os ácidos nítrico (1 ml) e clorídrico (4,5 ml) concentrados, a uma temperatura de  $80^\circ\text{C}$ , durante 1 h.

O chumbo foi analisado pelo método de absorção atômica, empregando-se as seguintes técnicas:

- águas: forno de grafite, e;
- sedimentos e solos: chama ar/acetileno.

#### Parâmetros físico e físico-químico das águas

As variáveis físico-químicas das águas foram determinadas através dos métodos indicados pelos APHA, AWWA & WEF (1992).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição do Hg e Pb nas amostras de águas e de sedimentos e a distribuição do  $\text{CN}^-$  nas amostras de águas são analisadas utilizando-se a média das concentrações dos dados analíticos.

### Área de Santo Domingo

#### Mercúrio

Nas águas do rio Sucio, as concentrações de mercúrio variam entre valores inferiores ao limite de detecção ( $0,03 \mu\text{g/l}$ ) e  $62,21 \mu\text{g/l}$ , com uma média de  $2,1 \mu\text{g/l}$ , excluindo-se o valor máximo. Na segunda amostragem, provavelmente em decorrência do aumento das precipitações, o valor médio das concentrações é de  $0,02 \mu\text{g/l}$  (Tabela 1).

**Tabela 1** - Concentração de Hg e de Pb das amostras da área de estudo. Nicarágua, América Central.

Área de estudo	Amostra	Hg				Pb			
		Água (µg/l)		Sedimento (µg/g)		Água (µg/l)		Sedimento (µg/g)	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Rio Súcio	M-01	<LD	0,25	<LD	1,67	0,51	0,09	173,15	742,16
	M-02	<LD	0,23	<LD	3,4	<LD	<LD	171,41	193,35
	M-03	62,21	7,31	10,95	7,14	118,56	147,54	1054,88	842,33
	M-04	7,32	2,46	4,38	4,11	25,59	69,36	483,89	728,32
	M-05	8,53	4,04	4,06	3,94	176,67	45,33	113,65	808,68
	M-06	0,64	0,67	9,01	5,63	41,22	32,37	395	377,77
	M-07	<LD	0,33	2,99	0,74	<LD	1,29	278,85	236,73
	M-08	4,38	0,58	5,87	0,28	80,64	21,12	324,37	4,34
	Média	2,98	1,22	4,66	2,83	24,66	24,22	304,45	455,67
Rio Mico	M-09	0,23	0,15	0,26	0,75	<LD	<LD	0,99	32,24
La Libertad	M-10	0,11	0,26	0,63	1,59	<LD	<LD	38,35	119,5
	M-11	0,27	0,31	0,52	4,66	<LD	<LD	30,18	93,65
	M-12	0,14	0,43	1,47	4,33	<LD	0,69	4,62	139,77
	M-13	0,52	0,21	0,97	2,62	<LD	1,26	34,96	83,39
	M-14	<LD	<LD	<LD	1,05	<LD	1,86	36,48	137,15
	M-15	<LD	0,02	<LD	<LD	1,23	<LD	39,54	14,27
	M-16	0,81	0,02	0,39	0,54	88,56	<LD	29,97	173,78
	M-17	<LD	0,25	0,57	0,76	1,83	33,63	58,79	61,33
	M-18	<LD	0,36	0,74	0,86	0,87	<LD	42,59	142,73
	M-20	0,01	0,06	0,45	2,36	1,71	5,16	29,94	119,5
	M-21	<LD	0,05	0,5	0,1	1,14	0,57	26,65	44,6
	M-22	<LD	0,06	0,72	<LD	0,72	<LD	63,62	36,58
	M-23	<LD	0,2	1,07	<LD	1,86	<LD	32,32	75,84
	M-24	<LD	0,3	0,69	0,4	0,87	7,14	29,57	66,64
	M-25	0,01	0,18	3,02	0,34	<LD	0,51	14,66	56,77
	Média	0,13	0,18	0,75	1,27	0,68	1,15	32,08	87,36
Rio Sinecapa	M-26	n.a.	n.a.	0	<LD	n.a.	n.a.	24,16	17,79
Santa Rosa del Peñón	M-27	0,08	0,01	1,05	<LD	0,87	5,19	8,29	19,32
	M-28	<LD	<LD	1,06	<LD	1,02	2,37	4	19,22
	M-29	0,01	0,04	1,64	<LD	2,04	1,89	7,6	21,09
	M-30	<LD	<LD	43,77	<LD	3,36	4,14	<LD	25,14
	M-31	n.a.	n.a.	0,19	<LD	n.a.	n.a.	<LD	21,47
	M-32	0,1	1,6	2,14	57,219	0,87	82,74	4896,2	6280,27
	M-33	0,53	0,03	2,08	<LD	0,27	<LD	6,29	27,71
	M-34	0,1	0,07	0,46	64,9	<LD	2,1	2,31	26,65
	M-35	0,53	<LD	0,49	0,38	<LD	<LD	3,32	29,91
	M-36	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	2,37	5,32	21,97
	M-37	<LD	n.a.	<LD	n.a.	<LD	n.a.	<LD	n.a.
	M-38	<LD	n.a.	<LD	n.a.	<LD	n.a.	<LD	n.a.
	Média	0,12	0,02	0,76	0,04	0,77	2,26	5,11	23,03

1- Maio-Junho/93; 2- Dez/93-Jan/94; LD- Limite de Detecção

A concentração de 62,2µgHg/l (amostra M-03) deve-se, basicamente, à proximidade (cerca de 50 m) da bateria dos "moinhos de martelo", técnica muito usada na área, com uma capacidade de moagem de 10 t/dia de minério.

A diminuição das con-

centrações com a distância do foco poluente é evidenciada nas amostras M-03 a M-6 e M-08, nas quais a concentração média de 4,0µgHg/l é quarenta vezes superior à concentração média das amostras M-01, M-2 e M-07 (Fig. 2a).

Para identificar as espé-

cies químicas de mercúrio de ocorrência mais provável no rio Sucio, utilizou-se o diagrama desenvolvido por Sawyer & McCarty e Lockwood & Chen (in Moore & Ramamoorthy, 1984), que relaciona os valores do pH e da concentração do íon Cl<sup>-</sup> (pCl), que são os principais

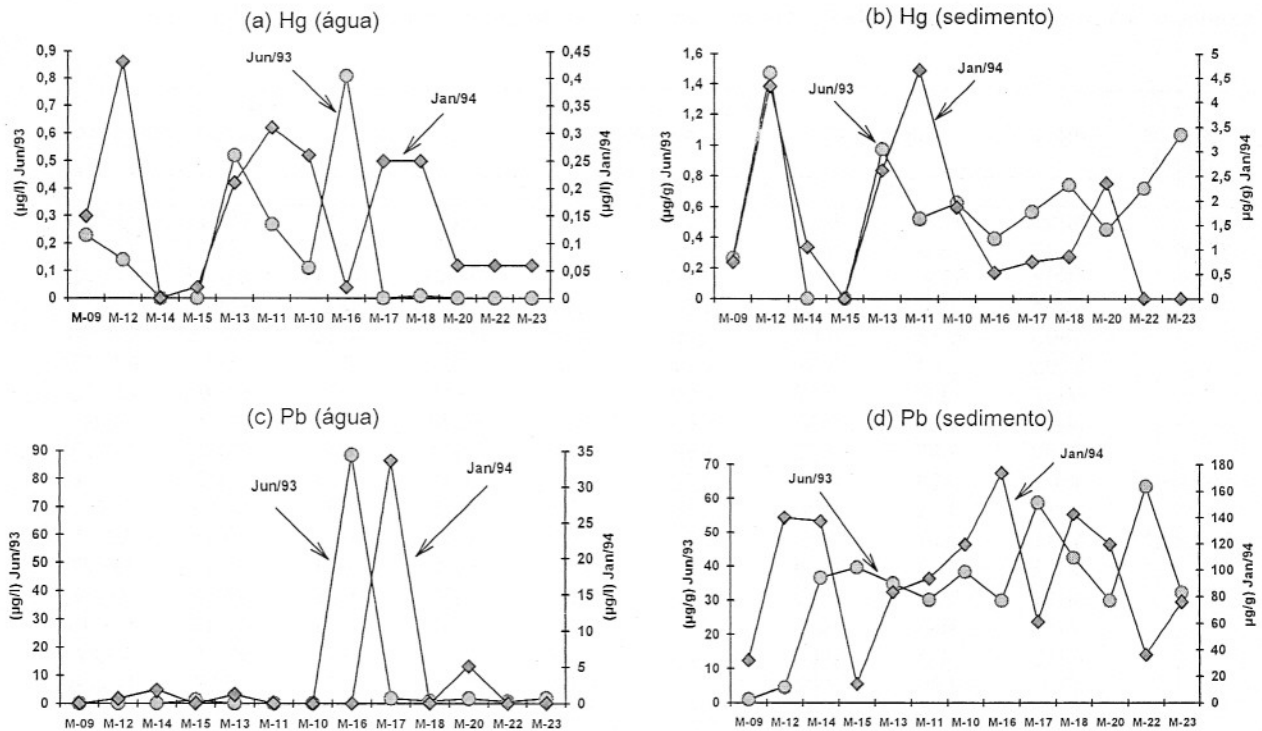


Figura 3 - Distribuição de mercúrio e de chumbo no rio Mico.

fatores determinantes da espécie química de mercúrio dissolvida nas águas naturais superficiais. Tanto na primeira, como na segunda amostragem, predomina o hidróxido de mercúrio ( $\text{Hg}(\text{OH})_2$ ), que, juntamente com o cloreto de mercúrio ( $\text{HgCl}_2$ ), é a espécie dominante em águas fluviais (Andren & Harris *in* Brabo, 1992).

Nos sedimentos, as concentrações de mercúrio variam de valores inferiores ao limite de detecção ( $2,0\text{ng/g}$ ) até  $11,0\mu\text{g/g}$ , com uma média de  $3,7\mu\text{g/g}$ . A distribuição do mercúrio nos sedimentos é praticamente a mesma apresentada nas águas, com as maiores concentrações nas amostras próximas ao garimpo (M-03 a M-06 e M-08) e as menores, nas amostras mais distantes (M-01, M-02 e M-07). De um modo geral, os maiores teores deste metal são encontrados nas amostras da primeira coleta (Tabela 1, Fig. 2b).

### Chumbo

Nas águas do rio Sucio, a distribuição de chumbo é similar à distribuição do mercúrio, com as maiores concentrações nas amostras da área diretamente atingida pela atividade garimpeira (M-03 e M-05). As concentrações variam de valores inferiores ao limite de detecção ( $0,9\mu\text{g/l}$ ) até  $176,0\mu\text{g/l}$ , com uma média de  $24,4\mu\text{g/l}$ , excluindo-se as concentrações elevadas (Fig. 2c).

O complexo hidróxido de chumbo ( $\text{Pb}(\text{OH})^+$ ) é a forma iônica do chumbo mais provável nas águas com pH em torno de 8,5 e com concentrações do íon  $\text{Cl}^-$  entre 350 e  $56,2\text{ mg/l}$ , entretanto, 80% deste metal encontra-se na forma de carbonato ( $\text{PbCO}_3$ ) que é, possivelmente, a principal espécie química das águas em estudo (Hahne & Kroontje *in* Moore &

Ramamoorthy, 1984; Moore & Ramamoorthy, 1984).

Nos sedimentos, as concentrações de chumbo são maiores na segunda amostragem, provavelmente, devido ao aumento da capacidade de adsorção das argilas em consequência do pH (6,77 e 7,54) (Moore & Ramamoorthy, 1984). As concentrações variam entre  $4,0\mu\text{g/g}$  e  $1136\mu\text{g/g}$ , com uma média de  $380\mu\text{g/g}$ , excluindo-se os valores determinados nas amostras M-03 e M-05 (Tabela 1, Fig. 2d).

### Área de La Libertad

#### Mercúrio

Nas águas da bacia do rio Mico, na primeira amostragem, as concentrações de mercúrio variam desde valores inferiores ao limite de detecção ( $0,03\mu\text{g/l}$ ) até  $0,81\mu\text{g/l}$ , com uma média de  $0,18\mu\text{g/l}$  que é superior à

média de 0,16µg/l da segunda amostragem, como consequência, sobretudo, do aumento da atividade garimpeira na época chuvosa (Fig. 3a).

Na bacia do rio Mico, da mesma forma que na do rio Sucio, o complexo de mercúrio, provavelmente, é o hidróxido (Hg(OH)<sub>2</sub>).

Nos sedimentos da bacia do rio Mico, as concentrações de Hg variam de valores inferiores ao limite de detecção 0,03 µg/g a 4,7µg/g, com uma média de 1,0µg/g. Da mesma forma que nas águas, devido ao aumento da atividade garimpeira na época chuvosa, a média das concentrações das amostras da segunda amostragem é relativamente maior (Tabela 1, Fig. 3b).

As amostras de solos tomadas no perfil do poço em San Juan mostram a existência de duas zonas de maiores concentrações de mercúrio: uma entre 0,25 e 0,75 cm e a outra, a partir de 2,0 m de profundidade, com uma concentração média de 0,15µg/g (Tabela 2, Fig. 4).

### Chumbo

Nas águas da bacia do rio Mico, a média das concentrações de chumbo é de 1,0µg/l,

cujas variações situam-se entre 0,9µg/l (limite de detecção) e 88,56µg/l, predominando as maiores concentrações na segunda amostragem (Tabela 1, Fig. 3c).

Nas águas superficiais naturais, os teores de chumbo variam entre 1,0 e 10,0µg/l (Ewers & Schlipkötter, 1991). Nas amostras da bacia do rio Mico, a maioria dos teores de chumbo encontra-se neste mesmo intervalo, com a exceção da amostra M-16, cuja alta concentração deve-se, sobretudo, à localização do ponto de amostragem, que recebe diretamente os resíduos do acetato de chumbo utilizado no processo de separação do ouro na planta metalúrgica da empresa mineira La Libertad.

No rio Mico, como no rio Sucio, o chumbo encontra-se mais provavelmente na forma do complexo carbonato (PbCO<sub>3</sub>).

Nos sedimentos, a média das concentrações de chumbo é de 60µg/g, sessenta vezes mais que a média das águas, cujos valores situam-se entre 1,0µg/g e 174,0µg/g. Na segunda amostragem, a média das concentrações é maior, devido à maior intensidade da atividade garimpeira na época das chu-

vas (Tabela 1, Fig. 3d).

As maiores concentrações de chumbo encontram-se nos pontos de coleta próximo das plantas de amalgamação e da empresa mineira La Libertad (amostras M-12 a M-14, M-16 e M-18).

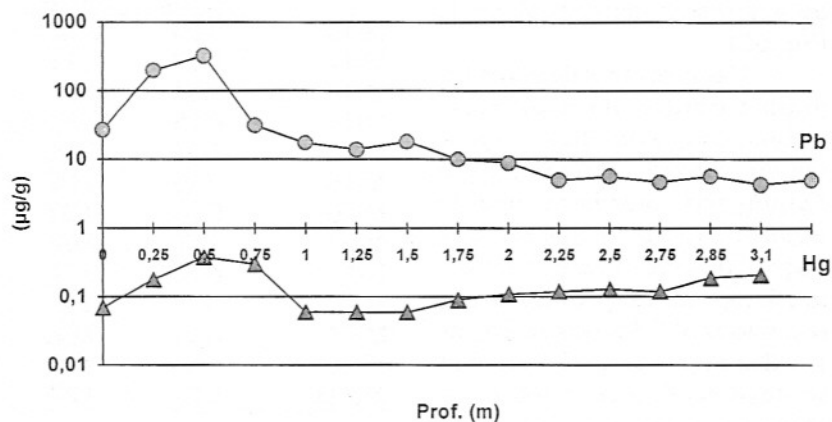
Nas amostras do perfil do poço em San Juan, as maiores concentrações de chumbo foram encontradas nos primeiros 50 cm de profundidade, com um valor máximo de 326,0µg/g, cerca de treze vezes superior ao teor de chumbo de solos não contaminados (Corey & Galvão, 1989). À medida que aumenta a profundidade, as concentrações diminuem consideravelmente, chegando a um valor mínimo de 4,29µg/g (Tabela 2, Fig. 4).

### Cianeto

Os teores médios de cianeto das amostras de águas do rio Mico e do córrego Santa Fé estão dentro dos limites máximos estabelecidos pela OMS

**Tabela 2** - Concentração de Hg e de Pb das amostras de solos. Poço em San Juan, La Libertad. Nicarágua, América Central.

Profundidade (m)	Hg (µg/g)	Pb (µg/g)
<LD	0,07	197,34
0,25	0,18	325,84
0,5	0,38	31,52
0,75	0,3	17,48
1,0	0,06	13,89
1,25	0,06	18,29
1,5	0,06	10,0
1,75	0,09	8,91
2,0	0,11	4,99
2,25	0,12	5,63
2,5	0,13	4,66
2,75	0,12	5,66
2,85	0,19	4,29
3,1	0,21	4,99



**Figura 4** - Distribuição de Hg e Pb no poço em San Juan, La Libertad.

LD- Limite de Detecção

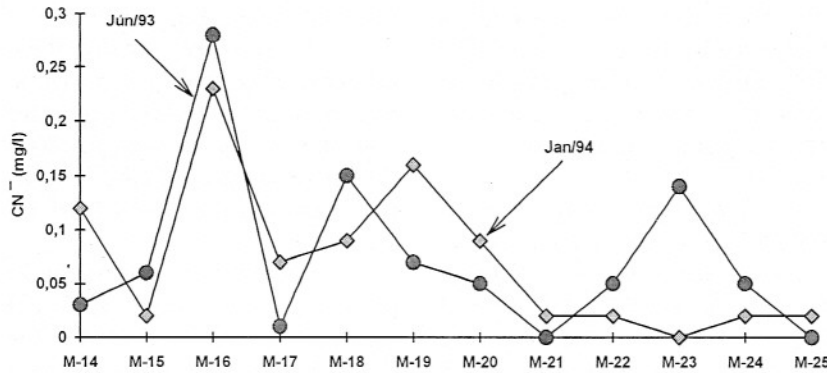


Figura 5 - Distribuição de cianeto nas águas do rio Mico.

(0,1 mg/l) e pela CONAMA (0,2 mg/l) para água potável, entretanto, detectaram-se concentrações relativamente altas de cianeto nas amostras M-19 e M-23, provavelmente como resultado do uso predatório de cianeto pelos pescadores (Tabela 3, Fig. 5).

As concentrações de cianeto das águas do rio Mico diminuem à medida que aumenta a distância do foco poluente, com uma média de 0,07 mg/l. Esta distribuição deve-se a dois fatores: (a) à baixa estabilidade do ácido cianídrico (HCN), principal composto de cianeto comumente presente nas águas superficiais, e (b) às diluições causadas pelas águas provenientes dos tributários ao rio Mico.

No córrego Santa Fé, a média das concentrações de cianeto é de 0,26 mg/l (amostra M-16), enquanto a média das concentrações dos efluentes da empresa mineira La Libertad é de 1,12 mgCN/l.

#### Área de Santa Rosa del Peñón

##### Mercúrio

As concentrações de mercúrio das águas da bacia do rio Sinecapa variam de valores

inferiores ao limite de detecção (0,03 µg/l) até 1,6 µg/l, com uma média de 0,07 µg/l. De um modo geral, as concentrações são baixas, sobretudo nas amostras coletadas na primeira amostragem, e demonstram que a contaminação de mercúrio é pontual e sazonal, provocada, principalmente, pela atividade garimpeira (Tabela 1, Fig. 6a).

O mercúrio, nas águas do rio Mico, encontra-se mais provavelmente na forma do complexo hidratado Hg(OH).

As concentrações de mercúrio dos sedimentos variam desde valores inferiores ao limite de detecção até 65 µg/g, com uma média de 0,4 µg/g, excluindo-se os maiores valores. A maioria dos resultados elevados são das amostras localizadas diretamente na área da ação garimpeira (Tabela 1, Fig. 6b).

Nas amostras de solos tomadas dentro da área residencial da comunidade, os teores de mercúrio de 35,0 µg/g e 53 µg/g são consideravelmente superiores à média das concentrações dos sedimentos da mesma área e muito próximos dos resultados obtidos nos sedimentos das áreas de garimpo. Isto se deve ao fato de muitos garimpeiros realizarem a extração do ouro nos quintais das

próprias casas.

##### Chumbo

A concentração média de chumbo das águas da bacia do rio Sinecapa é de 1,5 µg/l (excluindo-se os maiores valores) e situa-se dentro da faixa dos teores de chumbo naturalmente encontrados nas águas superficiais (1,0 a 10,0 µg/l) (Ewers & Schlipkötter, 1991). As concentrações das amostras da segunda coleta são relativamente superiores, possivelmente conseqüência da remobilização dos sedimentos pelas chuvas (Tabela 1, Figura 6c).

De acordo com o critério estabelecido por Hahne & Kroontje (*in* Moore & Ramamoorthy, 1984) e por Moore & Ramamoorthy (1984) para identificar a espécie de chumbo mais provável nas águas no rio Sinecapa, verifica-se que, também nas águas do rio Sinecapa, predominaria o PbCO<sub>3</sub>.

Nos sedimentos, as con-

Tabela 3 - Concentração de cianeto (CN<sup>-</sup>) das águas do rio Mico, La Libertad. Nicarágua, América Central.

Amostra	CN <sup>-</sup> (mg/l)	
	Mai-Jun/93	Dez/93-Jan/94
M-15	0,06	0,02
M-14	0,03	0,12
M-17	0,01	0,07
M-16	0,28	0,23
M-19	0,07	0,16
M-18	0,15	0,09
M-20	0,05	0,09
M-21	0,0	0,02
M-22	0,05	0,02
M-23	0,14	0,0
M-24	0,05	0,02
M-25	<LD	0,02
Média	0,07	0,07

LD- Limite de Detecção



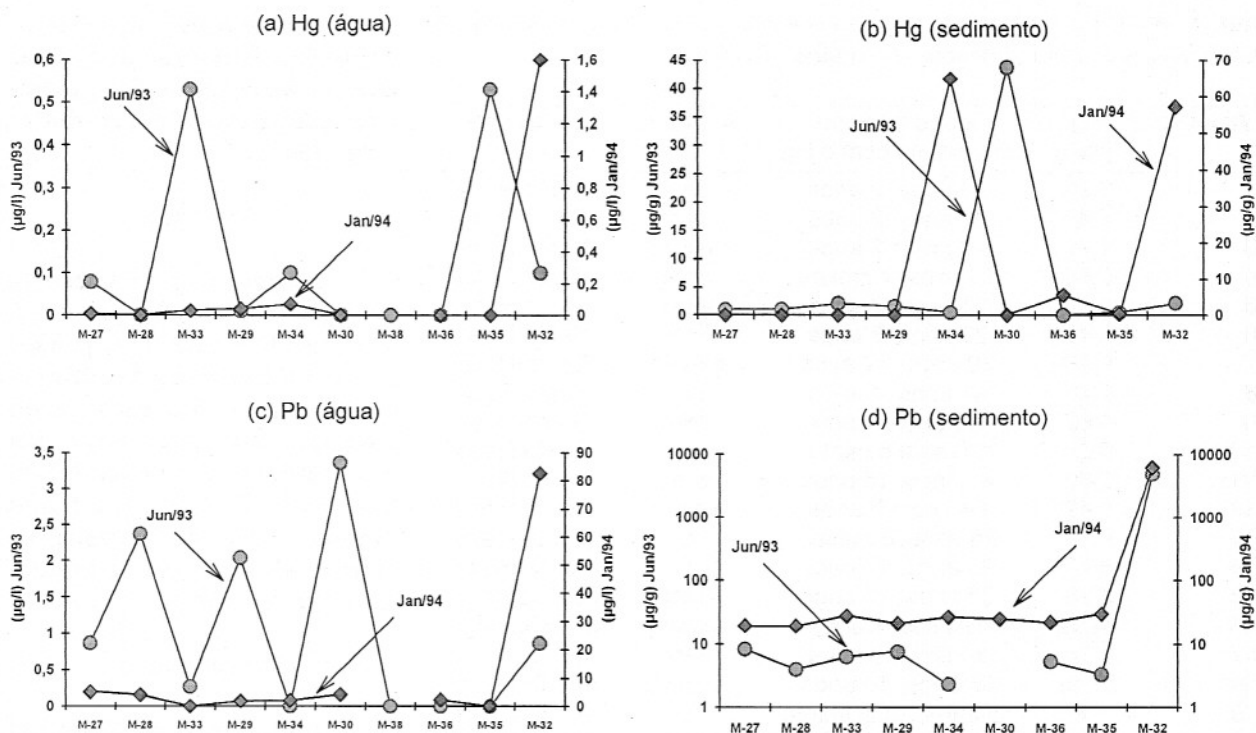


Figura 6 - Distribuição de mercúrio e de chumbo no rio Sincapa.

centrações de chumbo são relativamente altas e variam desde valores inferiores ao limite de detecção ( $0,9\mu\text{g/g}$ ) até  $6280\mu\text{g/g}$ . Excluindo-se o valor máximo, a concentração média é de  $14\mu\text{g/g}$ , cerca de dez vezes maior que a média das águas (Tabela 1, Fig. 6d).

A concentração média da segunda campanha ( $23,0\mu\text{g/g}$ ) é duas vezes superior à obtida na primeira, possivelmente devido a remobilização dos sedimentos contaminados do fundo para a superfície das águas, um fenômeno comum na época da chuva.

### Mercúrio em Cabelo Humano

O mercúrio penetra no organismo humano, geralmente, através da inalação dos vapores durante a queima do amálgama e pelo consumo de peixes contaminados. Geralmente, a con-

taminação por  $\text{Hg}^{\circ}$  é analisada através do sangue e da urina, enquanto concentrações de Hg em cabelos tendem a indicar intoxicações via alimentar. Fato curioso, entretanto, é o caso das pessoas que apresentaram altas concentrações de Hg em cabelos (queimadores), em direto e intenso contato com vapores de Hg.

É importante ressaltar que as pessoas amostradas foram, também, investigadas sobre os costumes de alimentação. O resultado surpreendente é que os garimpeiros não costumam alimentar-se de peixes ou crustáceos provenientes dos riachos locais, que apresentam cursos bastante acidatados e uma drástica diminuição do volume de água nos meses secos. Isto sugere que a maior parte do Hg nos cabelos destes indivíduos é resultante de contaminação externa dos mesmos

por Hg como consequência da queima.

Comumente as concentrações de Hg do cabelo são 250 vezes superiores às concentrações do sangue da mesma pessoa. A média das concentrações normais de Hg do cabelo de seres humanos é de  $2,0\mu\text{g/g}$ , enquanto o máximo tolerável é de  $6,0\mu\text{g/g}$ . Uma contaminação de  $50\mu\text{g/g}$  indica intoxicação em níveis intoleráveis (OMS, *in* Brabo, 1992).

Dessa maneira, podem-se considerar contaminados por mercúrio, 5 dos 7 mais jovens garimpeiros das regiões de La Libertad-Santo Domingo e de Santa Rosa, que apesar disso não apresentam quaisquer dos sintomas clínicos da contaminação característicos por este metal (Tabela 4).

A concentração máxima e a média mais alta são registradas nos garimpeiros de Santo Domingo, onde 60% das

**Tabela 4** - Concentração de Hg do cabelo humano. Departamentos de Chontales e de León, Nicarágua. América Central.

Amostra	Hg (µg/g)	Idade e tempo de contato com o Hg	Atividade	Localidade
1	2,92	20 anos; 2 anos	e+m	Santa Rosa
2	4,41	42 anos; 2 anos	e+m	Santa Rosa
3	1,98	26 anos; 2 anos	e+m	Santa Rosa
4	0,64	19 anos; 7 meses	e+m	Santa Rosa
5	1,48	35 anos; 7 anos	e+m	Santa Rosa
6	2,45	23 anos; 5 anos	e+m	Santa Rosa
7	9,29	29 anos; 12 anos	e+m+q	Santa Rosa
8	2,46	52 anos; 4 anos	e+m	Santa Rosa
9	1,62	14 anos; 1 ano	e+m	Santa Rosa
10	0,28	31; sem contato	c	Santa Rosa
11	0,69	47 anos; 15 anos	e+m	Santa Rosa
12	6,49	64 anos; 9 anos	e+m+q	Santa Rosa
13	4,46	24 anos; 6 meses	c	Santa Rosa
14	164,71	28 anos; 13 anos	q	Sto. Domingo
15	3,26	33 anos; 13 anos	e+m	Sto. Domingo
16	24,52	19 anos; 8 anos	e+m+q	Sto. Domingo
17	2,74	34 anos; 8 anos	e+m	Sto. Domingo
18	19,16	35 anos; 10 anos	e+m+q	Sto. Domingo
19	1,41	55 anos; inconstante	d	Sto. Domingo
20	15,65	73 anos; 40 anos	e+m+q	Sto. Domingo
21	5,03	39 anos; 1 ano	e+m	La Libertad
22	2,34	61 anos; 5 anos	e+m	La Libertad
23	1,04	49 anos; 6 anos	e+m	La Libertad
24	4,57	33 anos; 4 anos	e+m	La Libertad
25	13,78	31 anos; 5 anos	e+m+q	La Libertad

e- extração do minério; m- moagem do minério; q- queima do amálgama; c- comércio; d- atividade doméstica.

peças amostradas podem ser consideradas contaminadas. Nas áreas de La Libertad e Santa Rosa, a concentração média é ligeiramente superior ao limite máximo tolerável.

Em geral, não há uma relação clara entre a concentração de Hg em cabelo e o tempo de exposição do indivíduo ao mercúrio. Assim, observam-se casos de garimpeiros que trabalham décadas na mineração e apresentam o mesmo nível de contaminação que as pessoas recentemente ligadas à esta atividade. Os resultados mostram que a maior intoxicação ocorre com os garimpeiros que trabalham na queima do amálgama em local fechado, como é o caso

das amostras 19, 15 e 20.

#### Características Físico-Químicas das Águas dos Rios Sucio, Mico e Sinecapa

##### Rio Sucio

As águas do rio Sucio são captadas somente para o abastecimento do gado, enquanto a população utiliza a água subterrânea de poços rasos ribeirinhos.

As águas são do tipo  $[Na^+, Ca^{2+}]-[HCO_3^-]$ , apresentam elevadas turbidez (causada pela atividade garimpeira) e demanda bioquímica de oxigênio (devido à inexistência de

uma rede de esgotos). Os índices variam ligeiramente entre as duas estações climáticas extremas, com a exceção da turbidez e do DBO5.

##### Rio Mico

As águas do rio Mico são do tipo  $[Na^+, Ca^{2+}]-[HCO_3^-]$ , com turbidez elevada, principalmente nas áreas de influência direta da mineração e do garimpo. Por outro lado, nas proximidades dos povoados de San Pedro de Lóvago e Santo Tomás, a água do rio pode ser consumida após um tratamento convencional.

##### Rio Sinecapa

As águas do rio Sinecapa são de caráter  $[Ca^{2+}-HCO_3^-]$  e podem ser consideradas de boa qualidade em comparação às águas dos rios Sucio e Mico, apesar da elevada turbidez nos pontos diretamente atingidos pela garimpagem.

## CONCLUSÕES

Os dados do presente trabalho mostram basicamente que:

- 1) Na área de Santo Domingo, as concentrações de mercúrio e de chumbo dos sedimentos fluviais são 25 e 15 vezes maiores, respectivamente, que os teores médios do *background*,
- 2) Na área de La Libertad, as concentrações de mercúrio e de chumbo dos sedimentos fluviais são 7 e 2,4 vezes maiores que os teores médios do *background*,
- 3) Na área de Santa Rosa del Peñón, a concentração de mercúrio dos sedimentos fluviais é 3 vezes maior que a concentração média natural, enquanto a concentração de chumbo

é considerada natural;

4) A população das áreas estudadas está sendo exposta à intoxicação por mercúrio. Do total das pessoas amostradas, 28% apresentam concentração de mercúrio nos cabelos superior a 6,0µg/g. As pessoas com as mais elevadas concentrações de Hg em cabelo são aquelas expostas aos vapores de Hg<sup>0</sup> em local fechado. Não

foi possível detectar fontes de intoxicação via alimentação;

5) Na área de Santo Domingo, registrou-se um caso de contaminação por mercúrio (164µgHg/g) mais de três vezes acima do limite perigoso (50µg/g) considerado pela OMS;

6) As áreas estudadas, praticamente, não estão sendo contaminadas por cianeto. As con-

centrações superiores ao normal encontram-se bem próximas do efluente da Empresa Minera La Libertad; e

7) As baixas concentrações de cianeto nas proximidades dos povoados de San Pedro de Lóvago e Santo Tomás são consequência das diluições e da rápida degradação dos compostos de cianeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADUD, P.B.; NZARUEV, B.A.; SKORODELV, B.A.; TERCERO, A.J. (1991) Informe sobre los resultados de los trabajos de propección evaluativa realizados en el yacimiento aurífero La India. Mapa geológico regional. Managua, Instituto Nicaraguense de Minería (INMINE), (Relatório técnico), T.1, Anexo 1, p.5-45.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF) (1992) Standard methods for the examinations of water and wastewater. 18ed. Washington D.C.
- BRABO, E.S. (1992) Contaminação por mercúrio dos rios Crepori e Marupá - Bacia do Tapajós - PA. Dissertação de Mestrado. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 116p.
- COREY, G.O. & GALVÃO, L.A.C. (1989) Plomo. México, OPS, 130p.
- EWERS, U. & SCHLIPKÖTER, H. (1991) Lead. In: M. & T. Clarkson (Eds) Metals and their compounds in the environment. Occurrence, analysis and biological relevance. Weinheim, VCH, p.971-1013.
- FENZL, N. (1988) Nicaragua: geografia, clima, geologia e hidrogeologia. Belém, UFPA/INERTER/INAA, 62p.
- LEVY, P. (1973) Características geográficas y económicas sobre la república de Nicaragua. Managua, CIRA/UNAN. (Relatório técnico), 20p.
- MOORE, J.W. & RAMAMOORTHY, S. (1984) Heavy metals in natural waters. Applied monitoring and impact assessment. New York, Springer-Verlag, p.100-160.
- RODRÍGUEZ, H. & SPASSOV, V. (1994) Información técnica sobre contaminación en la cuenca del río Mico. La Libertad. Managua, Empresa Mineira La Libertad, (Relatório técnico), 10p.
- SÁNCHEZ, S.M. & CÁCERES, P. (1983) Informe diagnóstico sobre la mina de flotación y cianuración de la mina La Libertad. Managua, INMINE. (Relatório técnico), 11p.
- SAWYER, C.N. & McCARTY, P.L. (1978) Chemistry for environment engineering. 3. ed. New York, McGraw Hill, p.164-215.