

Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**CONTAMINAÇÃO NO LAGO XOLOTLAN CAUSADA PELOS
DESPEJOS VERTIDOS PELA ÁREA METROPOLITANA DA CIDADE
DE MANÁGUA, NICARÁGUA.**

TESE APRESENTADA POR

NOEMI MARLENE ALBUQUERQUE ESPINOZA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA

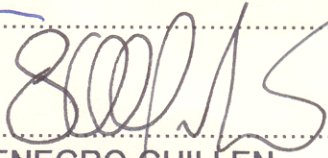
Data de Aprovação 25 / 05 / 1995

Comitê de Tese:


.....
NORBERT FENZL (Orientador)


.....
WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA


.....
MARTIN KRALIK


.....
SALVADOR MONTENEGRO GUILLEN

BELÉM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO

**CONTAMINAÇÃO NO LAGO XOLOTLÁN CAUSADA
PELOS DESPEJOS VERTIDOS PELA ÁREA
METROPOLITANA DA CIDADE DE MANÁGUA
NICARÁGUA.**

TESE APRESENTADA POR
NOEMI MARLENE ALBUQUERQUE ESPINOZA

COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS NA ÁREA DE GEOQUÍMICA

BELÉM
1994

A meu filho, Gerardo Vladimir;
A meus pais, Amadeo e María del Carmen;
A meu esposo e companheiro, Gerardo.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas e instituições colaboraram direta ou indiretamente no desenvolvimento do presente trabalho. Eu agradeço a todas, mas algumas eu agradecerei individualmente.

Ao Governo da Austria através do Instituto de Cooperação Internacional da Áustria (IIZ) pela bolsa de estudos e pelo suporte financeiro na realização do projeto de pesquisa que originou a presente tese de mestrado.

Ao Curso de Pós-Graduação do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará (CPGG-UFPa) pela oportunidade concedida na realização do Curso de Mestrado e pelo apoio material na realização deste trabalho.

Aos Professores do Curso de Pós-Graduação pelo ensinamento das disciplinas cursadas.

Ao Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos da Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN), pela contribuição no desenvolvimento dos trabalhos de campo, por permitir o uso dos laboratórios e pelo espaço de trabalho concedido.

Aos colegas dos laboratórios de Hidroquímica e Micropoluentes do CIRA/UNAN, pelo apoio nas análises de laboratório e pela amizade brindada, em especial a Eng. Katia Montenegro, M.Sc. Junnette Molina, Lic. Julio Lacayo, Lic. Sandra Calero, Lic. Roberto Rugama, Sr. Andrés López, Sr. Edwin Mejía e Sr. David Canales.

Aos Senhores Miguel García e Víctor Campos pelo apoio na etapa de amostragem.

As bibliotecárias do CIRA/UNAN Lic. Reyna Palma e Sra. Lisbânia Silva pela ajuda na localização de bibliografia.

Ao geólogo Noel Rodríguez por conceder informação sobre a geologia da área de Manágua.

Ao Dr. Ulises Aguilar por facilitar informação sobre as indústrias de Manágua.

Ao Sr. Hélio Braga pela paciência demonstrada na normalização da tese.

A Gerardo pelo incentivo no trabalho e pela contribuição na parte dos desenhos.

Ao Professor M.Sc. Antonio Vaquera pelas sugestões no ordenamento da parte de metodologia de laboratório.

Ao Professor Dr. Waterloo Napoleão de Lima e ao Dr. Martin Kralik pela participação na Banca Examinadora e pelas críticas e sugestões apresentadas.

Ao MSc. Salvador Montenegro G., Diretor do CIRA/UNAN e co-orientador da tese, pela sua colaboração e por facilitar softwares e bibliografia.

Ao Professor Dr. Norbert Fenzl, orientador da tese e amigo, sem cuja contribuição, a realização do presente trabalho não teria sido possível.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	1
ABSTRACT	4
1.- INTRODUÇÃO	7
1.1 ANTECEDENTES	7
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivos gerais	10
1.2.2 Objetivos específicos	10
2. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERÍSTICAS GERAIS DO LAGO XOLOTLÁN	11
2.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS	11
2.2 CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS	14
2.3 GEOLOGIA DA ÁREA	16
3. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA	19
3.1 TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS	19
3.2 TRABALHOS REALIZADOS NO LAGO XOLOTLÁN	22
4. INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO DO LAGO XOLOTLÁN ..	27
4.1 GENERALIDADES	27
4.2 FONTES NATURAIS	27
4.3 FONTES PONTUAIS	28
4.3.1 Esgotos Sanitário	28
4.3.2 Águas residuárias industriais	33
4.3.3 Lixões	37
4.3.4 Vias de drenagem pluvial	38
4.4 FONTES NÃO PONTUAIS	40
5. CONTAMINANTES: SUAS PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E SEU COMPORTAMENTO NAS ÁGUAS NATURAIS E NOS SEDIMENTOS	44
5.1 ELEMENTOS TRAÇOS	44
5.1.1. Generalidades	44
5.1.2 Chumbo	44
5.1.3 Mercúrio	46
5.1.4 Cádmio	48
5.1.5 Arsênio	50
5.1.6 Cobre	51
5.1.7 Cromo	52
5.2 PESTICIDAS ORGANOCLORADOS	54
5.2.1 Generalidades	54
5.2.2 DDT	55
5.2.3 Toxafeno	57

6. METODOLOGIA	60
6.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	60
6.2 AMOSTRAGEM	60
6.3 COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS	63
6.4 MÉTODOS ANALÍTICOS	64
6.4.1 Variáveis analisadas	64
6.4.2 Métodos analíticos	64
6.4.2.1 Métodos de análise dos elementos traços	64
6.4.2.2 Método de análise dos pesticidas organoclorados	65
6.4.2.3 Métodos de análise ddas variáveis físicas e físico - químicas	66
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
7.1. ELEMENTOS TRAÇOS	70
7.1.1 Elementos traços em águas	70
7.1.2 Elementos traços em sedimentos	80
7.2 RESÍDUOS ORGANOCORADOS	86
7.3 VARIÁVEIS FÍSICAS E FÍSICAS-QUÍMICAS	88
8. CONCLUSÕES	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

revisão
quilo

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	1
ABSTRACT	4
1.- INTRODUÇÃO	7
1.1 ANTECEDENTES	7
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivos gerais	10
1.2.2. Objetivos específicos	10
2. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERÍSTICAS GERAIS DO LAGO XOLOTLÁN	11
2.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS	11
2.2 CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS	14
2.3 GEOLOGIA DA ÁREA	16
3. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA.	19
3.1 TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS	19
3.2 TRABALHOS REALIZADOS NO LAGO XOLOTLÁN	22
4. INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO DO LAGO XOLOTLÁN.	27
4.1 GENERALIDADES	27
4.2 FONTES NATURAIS	27
4.3 FONTES PONTUAIS	28
4.3.1 Esgotos sanitário	28
4.3.2 Águas residuárias industriais	33
4.3.3 Lixões	37
4.3.4 Vias de drenagem pluvial	38
4.4 FONTES NÃO PONTUAIS	40
5. CONTAMINANTES: SUAS PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E SEU COMPORTAMENTO NAS ÁGUAS NATURAIS E NOS SEDIMENTOS	44
5.1 ELEMENTOS TRAÇOS	44
5.1.1. Generalidades	44
5.1.2 Chumbo	44
5.1.3 Mercúrio	46
5.1.4 Cádmio	48
5.1.5 Arsênio	50
5.1.6 Cobre	51
5.1.7 Cromo	52
5.2 PESTICIDAS ORGANOCLORADOS	54
5.2.1. Generalidades	54
5.2.2 DDT	55
5.2.3 Toxafeno	57

6. METODOLOGIA	60
6.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	60
6.2 AMOSTRAGEM	60
6.3 COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS	63
6.4 MÉTODOS ANALÍTICOS	64
6.4.1 Variáveis analisadas	64
6.4.2 Métodos analíticos	64
6.4.2.1 Métodos de análise dos elementos traços	64
6.4.2.2 Método de análise dos pesticidas organoclorados	65
6.4.2.3 Métodos de análise das variáveis físicas e físico-químicas	66
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
7.1 ELEMENTOS TRAÇOS	70
7.1.1 Elementos traços em águas	70
7.1.2 Elementos traços em sedimentos	80
7.2 RESÍDUOS ORGANOCORADOS	86
7.3 VARIÁVEIS FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS	88
8. CONCLUSÕES	109
REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

RESUMO

O lago Xolotlán, o menor dos dois grandes lagos que ocupam a Depressão Nicaragüense, está sendo poluído pela área metropolitana da cidade de Manágua desde 1928 quando começou a ser utilizado como corpo receptor dos esgotos sanitários dessa cidade.

Atualmente recebe, além disso, as águas residuárias das principais indústrias da Nicarágua (localizadas em Manágua); sedimentos, lixo, alto teor de nutrientes e poluentes orgânicos da bacia de drenagem e as águas que percolam do principal lixão da cidade de Manágua (Lixão Acahualinca).

Para determinar os níveis de contaminação por cromo, cobre, arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo no litoral Sul do lago Xolotlán foram realizadas duas campanhas de amostragem em seis perfís com direção norte que partiram desde os pontos de descarga de tres coletores de esgotos sanitários, um efluente de águas residuárias industriais, um canal de drenagem pluvial e na frente de um aterro "sanitário".

Na primeira campanha, a amostragem foi realizada até uma distância de 1000 metros da ^{margem} costa do lago e na segunda, até 500 metros.

Foram coletadas amostras de água e sedimentos para análise de elementos traços e amostras de água para a determinação de variáveis físicas e físico-química .

Uma terceira campanha de amostragem foi realizada em dois perfís para determinar as concentrações de Σ DDT y do toxafeno em sedimentos do lago Xolotlán.

Para a determinação dos elementos traços foi utilizado o método de espectrometria de absorção atômica. A Σ DDT e o toxafeno foram determinados pelo método de cromatografia gasosa. Na análise das variáveis físicas e físico-químicas foram utilizados os métodos descritos por APHA (1992).

As concentrações de cromo, cobre, arsênio e cádmio em água foram inferiores aos limites estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) do Brasil em 1987 para águas salobras destinadas à recreação de contato primário, à proteção de comunidades aquáticas e à criação de espécies destinadas à alimentação humana. O chumbo esteve justamente no limite estabelecido pelo CONAMA para esse poluente (10 ppb) no ponto de descarga do efluente amostrado de águas residuárias industriais na primeira amostragem.

As concentrações de mercúrio em água foram elevadas em todo o perfil do efluente de águas residuárias, variando desde 0,6 até 0,1 ppb, nas duas amostragens.

Em sedimentos do litoral do lago Xolotlán o cromo foi encontrado numa concentração média de 15,1 $\mu\text{g/g}$ e sua distribuição na maioria dos perfís indica contaminação por fontes pontuais, à semelhança do que ocorre com o cobre (57 - 278 $\mu\text{g/g}$) e o arsênio (1,3 - 11,2 $\mu\text{g/g}$). A contaminação por cádmio (0,7 - 4,7 $\mu\text{g/g}$) é produto da atividade vulcânica.

Os sedimentos amostrados no ponto de descarga do efluente de águas residuárias amostrado apresentam uma forte contaminação por mercúrio (57,6 $\mu\text{g/g}$), que diminui com a distância. Por sua vez, a contaminação por chumbo (concentração média de 36,8 $\mu\text{g/g}$) está

difundida em toda a área de estudo e, com exceção de um perfil, sua distribuição espacial indica contaminação por fontes não pontuais.

O toxafeno só foi detectado no ponto de descarga das águas residuárias industriais, mas a concentração foi elevada (10 ppm). A distribuição da Σ DDT sugere contaminação por uma fonte pontual não identificada.

Os resultados das análises das variáveis físico-químicas demonstram que a atividade vulcânica está contribuindo com altos valores de pH, sólidos, boro, fluoretos e concentrações de íons maiores. A diminuição significativa na concentração de nutrientes e das demandas química e bioquímicas de oxigênio, com a distância das fontes de contaminação pontuais revelam que o lago Xolotlán possui uma elevada capacidade de estabilização.

ABSTRACT

Lake Xolotlán, the smallest of the two great lakes located in the Nicaraguan Depression is being polluted since 1928 when it started receiving sewage waters from the city of Managua.

Today it receives also industrial waste waters from Nicaragua's principal industries (located in Managua), sediments, solid wastes, high contents of nutrients and organic pollutants from the drainage basin and waters that percolate from Managua's most important waste dump (Acahualinca)

Two surveys along six transects in the southern part of Lake Xolotlán were performed in order to assess chromium, copper, arsenic, mercury, cadmium and lead pollution levels. The starting point on transects were three discharging effluents of municipal sewage, one industrial effluent, one drainage channel and in front of a "sanitary" landfill.

Sampling in the first survey was carried out to a distance of 1000 meters from the coast and to a distance of 500 meters in the second survey.

Water samples and sediments were collected for trace element analysis and water samples for physical chemical analysis.

A third survey was carried out along two transects in order to ascertain DDT and toxaphene levels in sediments of Lake Xolotlán.

Trace elements were analyzed by Atomic Absorption Spectrometry. DDT and Toxaphene were analyzed by Gas Chromatography and physical chemical variables were analyzed following the methods described by APHA (1992).

Chromium, copper, arsenic and cadmium concentrations in water were below the limits established by CONAMA (1987), Brasil for brackish waters used for purposes of recreation, protection of aquatic species and of raising edible species.

In the first survey lead concentrations in water at the discharging point of the industrial effluent were a little above the acceptable limit established by CONAMA (10 ppb).

Mercury concentrations were high along the whole transect situated in front of the industrial effluent, ranging from 0,6 to 0,1 ppb on the two surveys.

Chromium in Lake Xolotlán sediments was found at a mean concentration of 15,1 $\mu\text{g/g}$ and its spatial distribution in most transects indicate point source pollution. Copper with concentrations ranging between 57 and 278 $\mu\text{g/g}$ and arsenic (1,3 - 11,2 $\mu\text{g/g}$) spatial distribution also reveal this type of pollution. Cadmium (0,7 - 4,7 $\mu\text{g/g}$) is a product of volcanic activity pollution.

Lake sediments on the industrial effluent's discharge point present heavy mercury pollution (57,6 $\mu\text{g/g}$) that decreases with distance. On the contrary, lead pollution (mean concentration 26,8 $\mu\text{g/g}$) is widespread throughout the whole study area. Excluding a transect lead spatial distribution suggests pollution by non-point sources.

Toxaphene was detected at a high concentration (10 ppm) in a single sampling point. DDT distribution can be interpreted as a contribution from an unidentified pollution point source.

Physical chemical results demonstrate that volcanic activity is contributing with high pH values, solids, boron, fluoride and major ionic concentrations. The significant decrease with distance from point source of nutrients, and chemical and biochemical oxygen demands evidence Lake Xolotlan's great stabilization capacity.

1.- INTRODUÇÃO

1.1 ANTECEDENTES

A cidade de Manágua, fundada como uma vila em 1819 e capital da República de Nicarágua desde 1852, foi implantada na costa Sul Oeste do lago Xolotlán (chamado também lago de Manágua), o menor dos dois grandes lagos que se localizam na Depressão Nicaragüense (Figura 1).

Na época pré-colombiana o lago representava o elemento básico de subsistência dos povos aborígenes, que habitavam nas suas margens. Significava uma fonte de água doce, uma fonte de alimentação (pesca), um meio de comunicação e uma fonte de irrigação das suas culturas (IRENA, 1982b).

Segundo KRASNY & LÓPEZ (1988), a primeira empresa de abastecimento de água potável de Manágua utilizou o lago Xolotlán como fonte, já quando Manágua era a capital da Nicarágua nos finais do Século XIX. Não obstante, a partir do ano 1928 começaram a descarregar no lago Xolotlán as águas residuárias domésticas e o lago deixou de ser aproveitado como fonte de abastecimento direta (KRASNY & LÓPEZ, 1988).

Na atualidade, a cidade de Manágua conta com uma população de aproximadamente um milhão de habitantes¹, servida em um 55,5% pelo sistema de esgotos sanitários (ALVARADO, 1993).

O principal lixão da cidade encontra-se praticamente nas costas do lago.

¹Dado estimado pelo Instituto Nacional de Estadísticas e Censos (INEC). O último censo foi realizado no ano 1971.

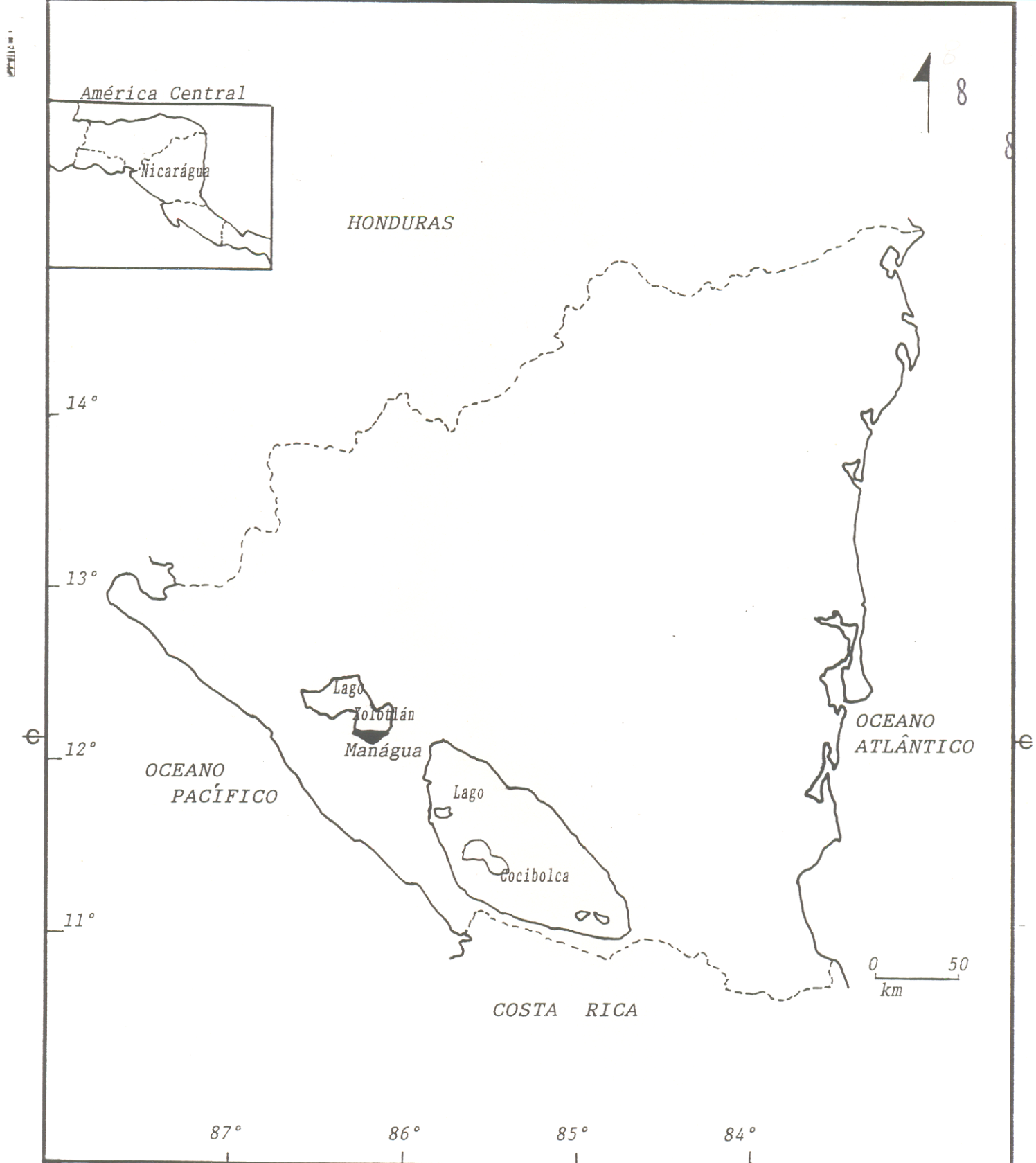


Figura 1. Localização geográfica do Lago Xolotlán

As principais indústrias da Nicarágua localizam-se nesta cidade, e vertem os seus despejos seja através do sistema de esgotos da municipalidade ou através de sistemas próprios. Em todos os casos, sempre atingem o lago Xolotán.

Através da área metropolitana da cidade de Manágua, oito canais de drenagem pluvial fluem até o lago Xolotlán arrastando os produtos da erosão intensa causada pelo desflorestamento sem restrições e pelas atividades agrícolas praticadas na sua bacia Sul; o lixo depositado neles e até águas residuárias domésticas e industriais.

O lago, além disso, tem seus problemas naturais por ser sua bacia fechada, que o tornam um concentrador dos contaminantes da região incluindo os resíduos das atividades vulcânicas nas proximidades do lago.

Toda essa situação tem como conseqüência a deterioração progressiva e cada vez mais intensa do lago Xolotlán.

Os estudos até hoje efetuados no lago Xolotlán (Capítulo 3), ainda são isolados, de forma que não se tem uma ideia clara acerca do comportamento geral dos contaminantes nas águas e nos sedimentos.

Daí a importância do presente trabalho, que visa avaliar os níveis de contaminação por metais pesados e pesticidas organoclorados e a sua distribuição na água e nos sedimentos de fundo, desde a sua entrada no lago até 500 m de distância das margens.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

- 1) Contribuir para os estudos que diversos especialistas vem realizando em torno da necessidade de proteger e recuperar o lago Xolotlán.
- 2) Mostrar à sociedade os perigos da contaminação dos sistemas aquáticos e a dificuldade de reverter o processo uma vez acontecido.

1.2.2. Objetivos específicos

- 1) Identificar as substâncias contaminantes vertidas no lago Xolotlán pelas diferentes fontes de contaminação (águas residuárias domésticas, águas residuárias industriais, vias de drenagem pluvial, lixão).
- 2) Avaliar os níveis de contaminação por cromo, cobre, arsênio, mercúrio, cádmio, chumbo, DDT e toxafeno na água e nos sedimentos de fundo do lago Xolotlán.
- 3) Compreender a dinâmica de distribuição dos contaminantes nos sedimentos de fundo do lago Xolotlán.
- 4) Estimar os efeitos causados no lago Xolotlán pelas fontes de contaminação pontuais.

2. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERÍSTICAS GERAIS DO LAGO XOLOTLÁN

2.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

O lago Xolotlán ou lago de Manágua localiza-se entre os 12° - 12°30' Latitude Norte e os 86° - 86°45' Longitude Oeste (Figura 1). Ocupa uma extensão de 1016 km², com uma profundidade máxima de 23,84 metros e a sua superfície média encontra-se a 39 metros acima do nível do mar (IRENA, 1982a).

A bacia do lago Xolotlán com uma área de 6669 km², junto com a bacia do lago Cocibolca e a bacia do rio San Juan, forma parte da Gran Cuenca del Rio San Juan (Figura 2), a bacia mais importante da Nicarágua. A maior parte da bacia se localiza na província geológica da Depressão Nicaragüense, e tem uma área de 41 638 km² (IRENA, 1992), da qual 29 824 km² estão em território nicaragüense e o restante em território costarricense (FENZL, 1988b).

A área maior da bacia do lago Xolotlán localiza-se ao Norte do lago (Figura 3). Nessa região, os rios que desembocam no lago são: R. Sinecapa, R. Viejo, R. Pacora e R. San Antonio. Os dois últimos são temporários. ANIA apud LANNERGREN (1982) estima que a descarga de água superficial anual para o lago chega à 1237 x 10⁶ m³. Pela parte Sul do lago não desemboca nenhum rio, provavelmente pelas elevadas taxas de infiltração.

O clima na bacia Sul do lago Xolotlán, segundo a classificação de Köppen é tropical de savana com um período de chuva de quatro a seis meses de duração. A precipitação média anual é de 1350 mm e de 1100 mm na área costeira. A temperatura média anual é de 28° C (IRENA, 1992).

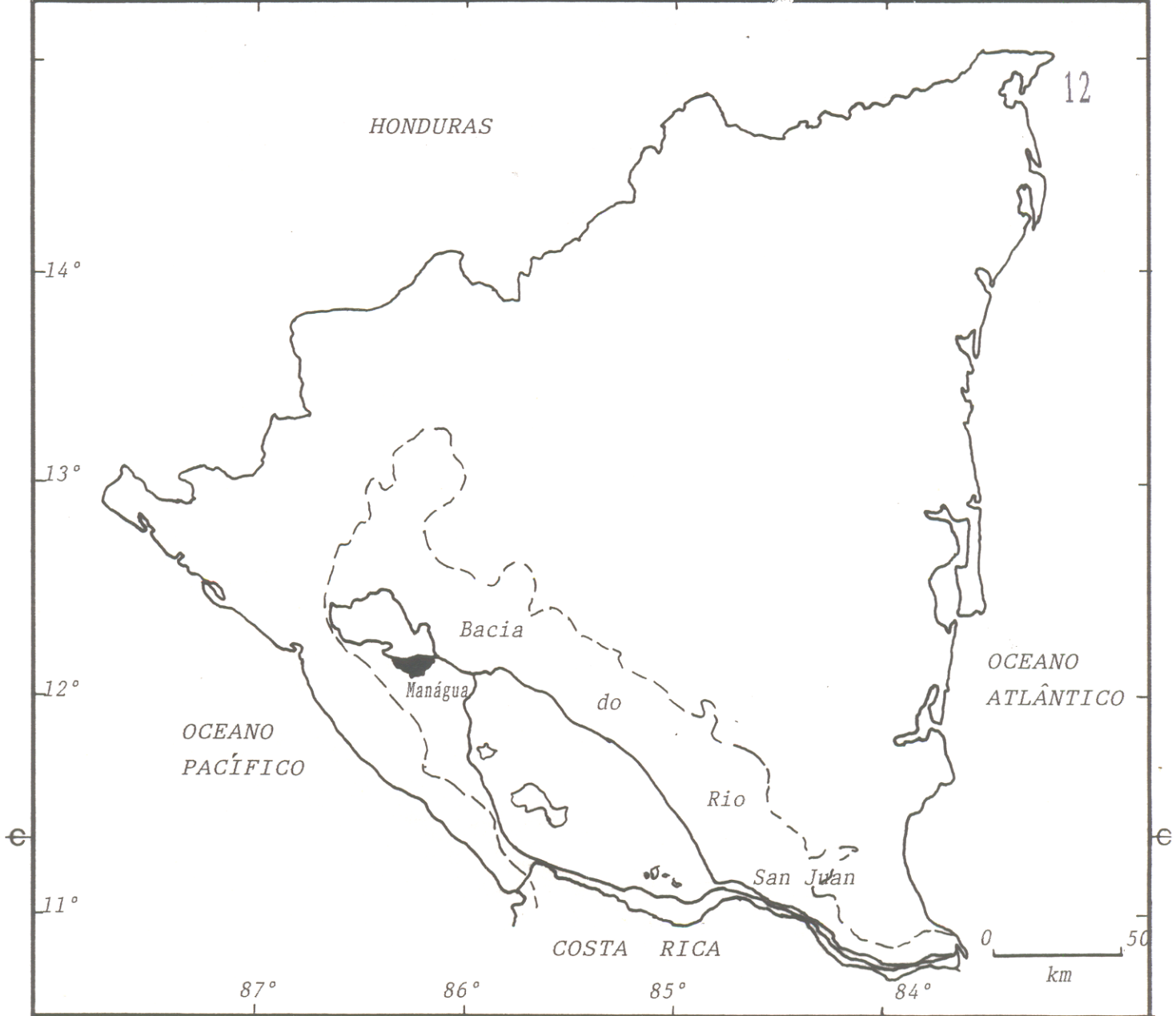
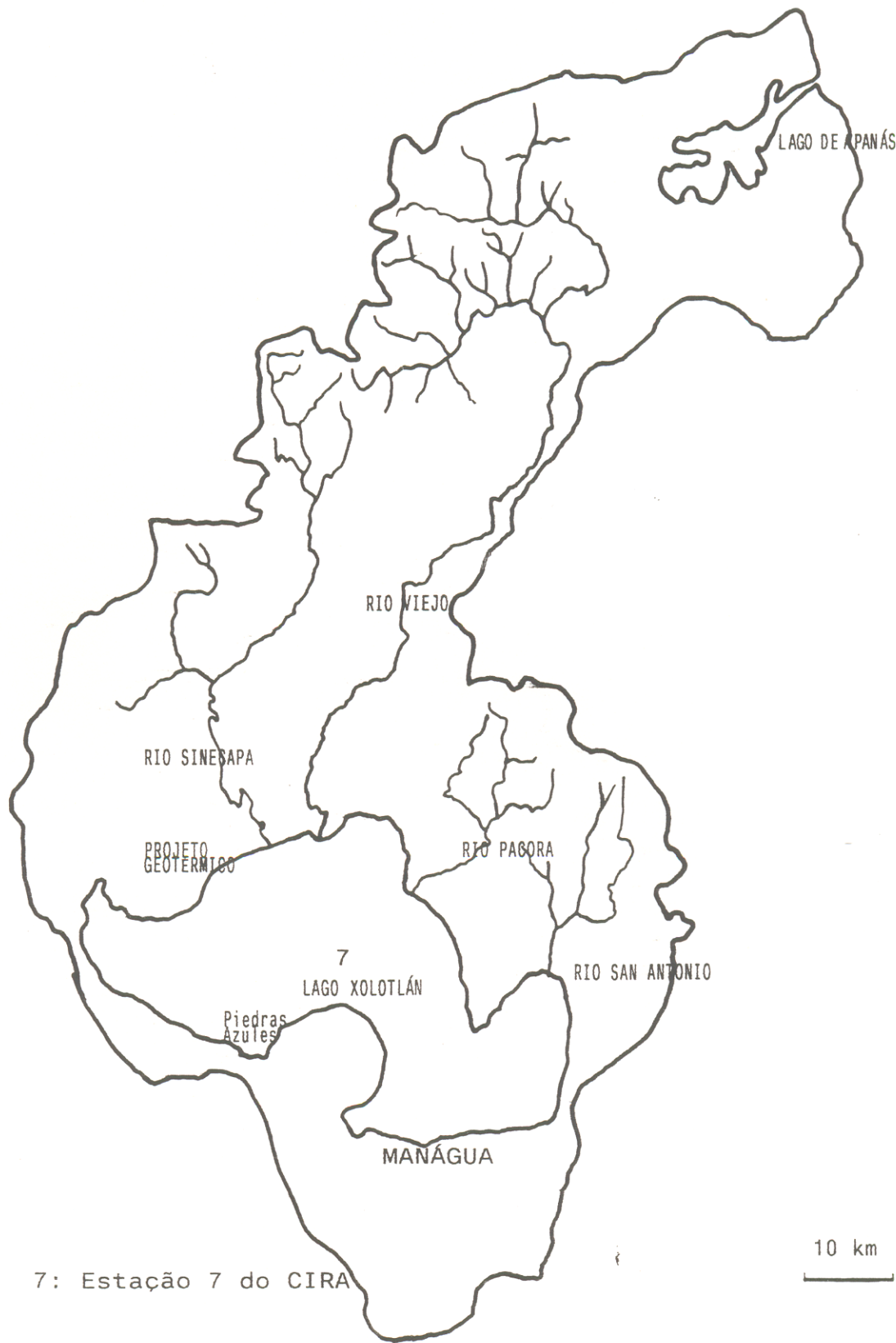


Figura 2. Bacia do Rio San Juan
Fonte: FENZL (1988b)



7: Estação 7 do CIRA

10 km

Figura 3. Bacia Hidrográfica do Lago Xolotlán
Fonte: MONTENEGRO (1991)

2.2 CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS

Pelo seu conteúdo de fósforo total e de clorofila-a, o Xolotlán pode ser considerado um lago hipertrófico (MONTENEGRO, 1991). O pH das águas é alcalino e o predomínio do sódio e o bicarbonato sobre outros íons, determina seu carácter hidroquímico (LACAYO, 1991).

É um lago pouco profundo (profundidade média de 7,8 m). Pela sua frequência de mistura e o clima da área onde ele se encontra, pode ser classificado como um lago polimíctico cálido. A sua bacia de modo geral é endorreica. O lago não apresenta uma descarga superficial (pelo que sofre de salinização natural), exceto quando seu nível atinge os 40,75 metros acima do nível do mar que drena no lago Cocibolca pelo rio Tipitapa. Isto apenas aconteceu quatro vezes nos últimos sessenta e um anos: 1933, 1938, 1955 e 1982 (IRENA apud LACAYO, 1993).

A zona eufótica é limitada (transparência Secchi de 15 a 60 cm) causada pela elevada turbidez que lhe conferem as partículas em suspensão (GONZÁLEZ & MONTENEGRO, 1990).

O conteúdo de oxigênio dissolvido é alto em todo o lago (8,15 mg/l a 29,8 °C que equivale a uma saturação do 115%), embora sua carga orgânica seja elevada; a distribuição do oxigênio na coluna de água é homogênea. Isto é propiciado pela ação do vento, que além disso, gera circulação tipo Langmuir e causa a formação de celas de Langmuir paralelas à direção predominante do vento (MONTENEGRO, 1992).

A presença de celas de Langmuir é característica de todos os lagos de tamanho significativo quando a velocidade do vento é maior

que 2 ou 3 m/s (WETZEL, 1983). No lago Xolotlán, este fenômeno acontece durante o período de estiagem (novembro a abril) e causa circulação vertical na coluna da água além da turbidez das águas pela agitação dos sedimentos de fundo (MONTENEGRO, 1992).

A Tabela 1 fornece alguns valores de variáveis físico-químicas encontradas no lago Xolotlán. As altas concentrações de boro encontradas são causadas principalmente pela atividade vulcânica presente nas redondezas do lago mas também contribuem os despejos da planta geotérmica Momotombo (LACAYO, 1991) localizada na parte NW do lago (Figura 3).

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos do lago Xolotlán (Julho 92-Junho 93)

PARÂMETRO (mg/l)	BAÍA DE MIRAFLORES	ESTAÇÃO 7(Figura 3)
Turbidez (UNT)	425	235
pH	9,31	9,22
Condutividade (mS/cm)	2,32	2,38
Sólidos Totais Dissolvidos	1817	1834
Cálcio	6,10	5,2
Magnésio	22,02	22,96
Sódio	565	579
Potássio	73,9	75,7
Nitrato	0,11	0,08
Sulfato	45,04	43,11
Carbonato	187,05	169,86
Cloreto	298,72	303,49
Bicarbonato	585,94	637,86
Amônio	0,15	0,22
Nitrito	0,01	0,01
Fluoreto	2,05	2,17
Sílica	16,56	16,26
Fósforo total	0,28	0,12
Fósforo total dissolvido	0,06	0,06
DBO ₅	8,1	4,6
Demanda Química de Oxigênio	152,8	145,3
Boro	2,65	2,77
Ferro Total	2,46	0,46

Valores médios calculados pela autora do presente trabalho a partir de dados de monitoramentos mensais do Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA) Managua.

2.3 GEOLOGIA DA ÁREA

O lago Xolotlán está dentro da província geológica da Depressão Nicaragüense (Figura 4), uma das cinco províncias geológicas em que se divide Nicarágua.

A Depressão Nicaragüense se estende ao longo de 300 km com uma largura de 70 a 80 km, e apresenta características geológicas entre crosta oceânica e manto (MARTÍNEZ, 1992). Originou-se no Mioceno Superior pela mudança progressiva do ângulo de subdução da Placa dos Cocos sob a Placa Caribe (Figura 5), o que provavelmente provocou a fratura da crosta continental ao longo das zonas de fragilidade (MARTÍNEZ, 1992).

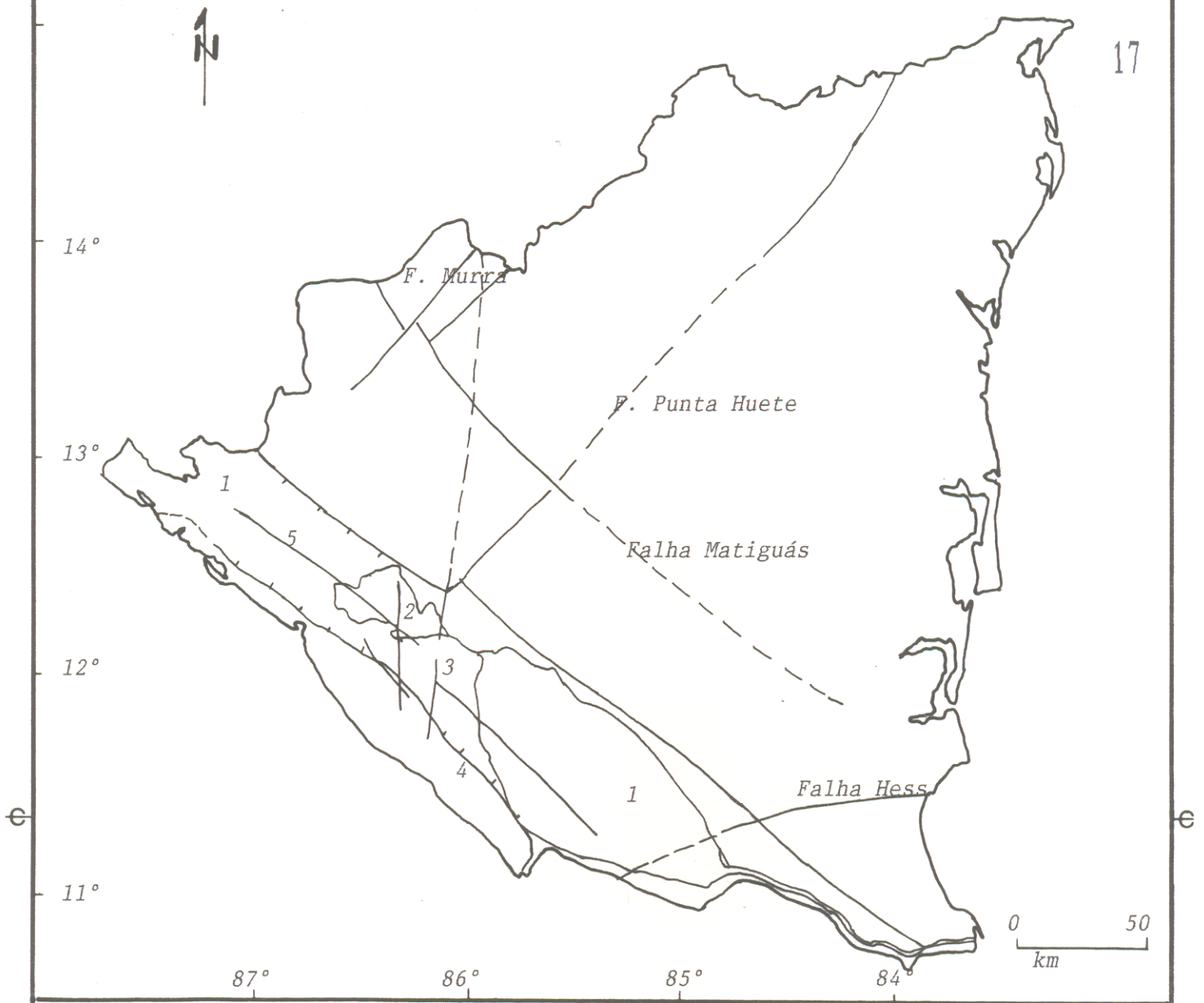
A Depressão é caracterizada pelas estruturas geológicas novas mais proeminentes na geologia como são as grandes falhas que a delimitam, a frente vulcânica nicaragüense que se estende de NW a SW, na mesma direção da Depressão e pelo predomínio das rochas vulcânicas e depósitos sedimentares do Pleistoceno e Recente (HODGSON, 1983).

As principais formações presentes na área (LANNERGREN, 1982) são:

- Depósitos vulcânicos de idade terciária ao NE do lago, compostos por ignimbritos, andesitos, basaltos e dacitos.

- Depósitos vulcânicos quaternários não consolidados ao SW do lago formados por tufos, púmice e cinzas.

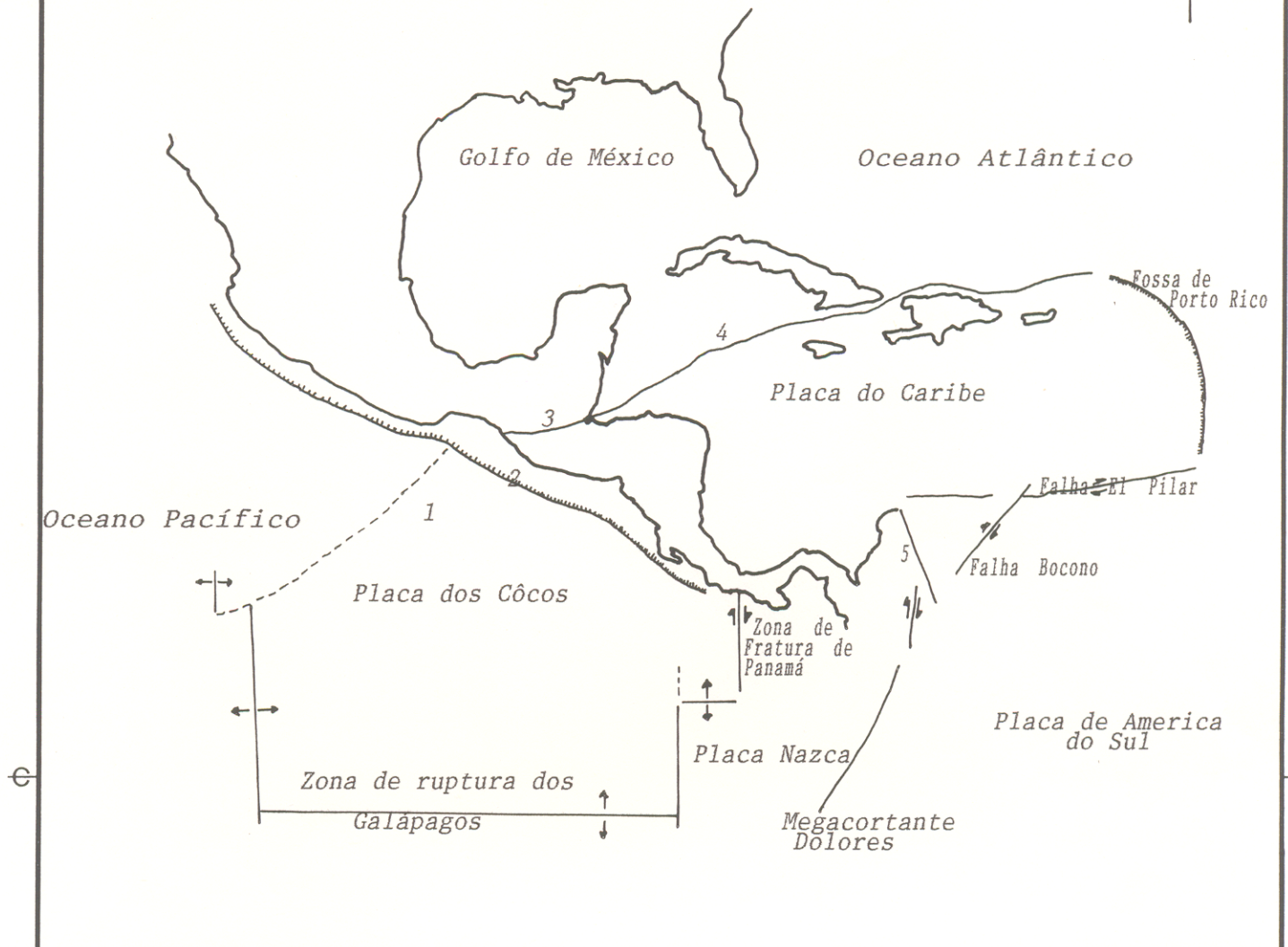
- Depósitos aluvionais e piroclásticos na zona NW-SE do lago.



- 1 *Província Geológica da Depressão Nicaragüense*
- 2 *Falha Nejapa*
- 3 *Falha Tipitapa*
- 4 *Falha Mateare*
- 5 *Linhamento Los Maríbios*

Figura 4. Limites da Província Geológica da Depressão Nicaragüense
 Fonte: FENZL (1988b)

PLACA DE AMÉRICA DO NORTE



- 1 Zona de Fratura de Tehuantepec
 - 2 Fossa de Mesoamérica
 - 3 Falha Motagua
 - 4 Fossa de Caimán
 - 5 Falha Sta. Maria
- Falha
- Centro de extensão do fundo oceânico
- Direção do movimento das placas

Figura 5. Esquema da tectônica regional
 Fonte: FENZL (1988b)

3. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

Basicamente há dois tipos de estudos realizados que tem uma certa relevância para o presente trabalho: a caracterização das fontes de contaminação do lago Xolotlán e estudos no lago Xolotlán propriamente dito.

3.1 TRABALHOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Os estudos das características físico-químicas das águas residuárias domésticas começaram em Manágua no ano 1972 e foram executados pela sociedade HAZEN & SAWYER - Agustín Chan, Consultores.

Para o planejamento dos esgotos sanitários e estações de bombeamento, eles estimaram a carga de contaminantes que seria tratada baseados na caracterização de dez coletores de esgotos com amostragem segundo o método de proporcionalidade à vazão. Eles fizeram uma projeção da carga de contaminantes até o ano 2000 e estimaram uma carga de DBO e de sólidos em suspensão de 104 227,3 e 93 863,6 kg/dia, respectivamente, para o ano 1995 (HAZEN & SAWYER -AGUSTÍN CHAN, 1973).

O relatório inclui também uma pesquisa realizada sobre algumas características físico-químicas dos principais rejeitos industriais, mas não analisaram metais pesados nem pesticidas ou contaminantes tóxicos presentes nas águas residuárias das indústrias investigadas. Somente a concentração de fenóis (43,00

mg/l) foi determinada para os despejos líquidos da Refinaria ESSO Standard Oil S.A.².

BECK & PAREDES (1985) concluíram que as águas residuárias da Refinaria ESSO não representavam um perigo para o lago Xolotlán, embora não foram efetuados análises de metais pesados que geralmente se encontram nos despejos das refinarias de petróleo como são chumbo, cádmio, cromo, cobre, níquel e zinco (BRAILE & CAVALCANTI, 1979).

Nas águas residuárias da fábrica HÉRCULES de Centroamérica S.A. (HERCASA), indústria produtora de toxafeno que a partir de 1991 deixou de produzir, foram encontradas concentrações de toxafeno de 100 e 500 ppm (BECK & CUADRA, 1985). Também foram encontradas altas concentrações desse pesticida (30 ppm) nas águas do lago Xolotlán, na área da Baía de Miraflores onde HERCASA estava localizada.

A carga de mercúrio vertida no lago Xolotlán pela empresa Electroquímica PENWALT, fábrica de soda cáustica desativada em 1992, foi calculada em 180 kg/mes por PAREDES (1985). As águas residuárias da empresa eram vertidas no lago Xolotlán através de tubos revestidos que não se encontravam em bom estado de conservação. Os tubos convergiam no canal principal que continha as águas residuárias da indústria HERCASA.

AGUILAR & LANUZA (1991) realizaram um inventário das indústrias localizadas em Managua que vertem os seus despejos no lago Xolotlán. Eles calcularam os volumes e as cargas de

² A localização das indústrias e outras fontes de contaminação mencionadas nesta seção é mostrada na Figura 8 da seção 4.

contaminantes de cada indústria baseados na produção de cada uma delas. Eles apresentaram seus resultados por tipo de indústria e a carga total de contaminantes que eles calcularam que é despejada no lago Xolotlán é de 17 084,6 t/a.

Na sua monografia de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentada na Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN) sobre a caracterização físico-química de cinco canais de drenagem pluvial e tres rios que desembocam no lago, ALTAMIRANO & CÁCERES (1991) aduzem que o rio Pacora com 889,8 mg/l é o maior contribuyente de sólidos totais ao lago Xolotlán. Por outro lado, a maior carga orgânica é levada ao lago pelo Canal Occidental³ (DBO₅ = 80,10 mg/l).

X CALERO, et al. (1992) no seu TCC (apresentado na UNAN) sobre a caracterização físico-química do matadouro "CARNIC" estimam um volume de despejos de 11,34 m³ por tonelada de peso vivo sacrificado.

O volume total de despejos provenientes da indústria de laticínios "La Selecta" foi calculado em 389,8 m³/d por TEOS, et al. (1992) no seu TCC também apresentado na UNAN.

Ainda em 1992, a Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) em colaboração com o Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA), financiados pelo Instituto de Cooperación Internacional da Áustria (IIZ) começaram a executar o projeto "Salvamento del Lago de Managua", que visa a caracterização físico-química de algumas indústrias de Managua, de todos os coletores de

³Figura 9 da seção 4.3.4

esgotos sanitários que vertem as suas águas diretamente no lago Xolotlán y do principal lixão de Managua, o lixão Acahualinca.

Cada tipo de fonte de contaminação constituiu um tema de pesquisa para a realização dos TCC nas áreas de Engenharia Civil e Química. No caso das indústrias, cada indústria caracterizada representa um tema independente.

Para a indústria de laticínios "La Perfecta" foi calculado um volume médio de águas residuárias de 944,67 m³ /d (MIRANDA, 1992).

Para a "Industrial Cerveceros TOÑA", RE & QUINTANILLA (1992) calcularam um volume de despejos de 3742,1 m³/d.

HERNÁNDEZ (1993) calculou um fluxo volumétrico de despejos de 1071,4 m³/d para a indústria "ENSA" (Pepsi).

CARDOZA (1993) estimou em 1633,93 m³/d o volume de despejos para a indústria "Embotelladora Milca" (Coca Cola).

Na atualidade, no Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA) trabalha-se na redação do relatório sobre a caracterização físico-química de tres coletores de esgotos sanitários monitorados pelo Laboratório de Águas Residuárias do CIRA em conjunto com a empresa de água e esgotos de Nicarágua (INAA), com financiamento do IIZ, como segunda fase do projeto "Salvamento do lago de Managua".

3.2 TRABALHOS REALIZADOS NO LAGO XOLOTLÁN

Um dos primeiros estudos sobre as águas do lago Xolotlán foi executado por HYDROSCIENCE, INC. em 1972, como parte de um relatório de HAZEN & SAWYER - J.A. CHAN (consultores) para o antigo Departamento Nacional de Acueductos y Alcantarillados (HAZEN & SAWYER - AGUSTIN CHAN, 1973).

O objetivo desse trabalho foi determinar a combinação dos métodos de tratamento necessários para garantir uma qualidade satisfatória da água do lago Xolotlán. Os resultados foram utilizados para a aplicação de um modelo matemático de oxigênio dissolvido que permitiria prever futuros efeitos dos esgotos sanitários na qualidade da água do lago.

Infelizmente, nunca foi levado a prática pelas autoridades da época.

Em 1976, a antiga Empresa Nacional de Luz y Fuerza (ENALUF) e o Servicio Meteorológico Nacional com o assessoramento do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e a Organização Meteorológica Mundial, realizaram uma pesquisa sobre as concentrações dos parâmetros físico-químicos das águas do lago Xolotlán concluindo que segundo a classificação da Organização Mundial da Saúde (OMS) as águas podem ser consideradas como sanitariamente toleráveis. No entanto, recomendaram estudios bacteriológicos e biológicos complementares (NU, 1976).

GARCÍA et al. (1985) levaram a efeito um estudo no lago Xolotlán para obterem dados preliminares sobre a contaminação com mercúrio e outros contaminantes como pesticidas e PCB, em águas e em peixes. As amostras de água foram coletadas perto do tubo de descarga no lago das indústrias ELPESA, HERCASA e Refinaria ESSO Standard Oil S.A.

As concentrações de mercúrio, DDT e seus isômeros e toxafeno encontradas nas amostras foram 0,55, 0,004 e 0,078 ppm respectivamente, bem maiores do que os níveis máximos admissíveis pela OMS.

O Instituto de Recursos Naturales y del Ambiente (IRENA, 1985) determinou algumas variáveis físico-químicas, biológicas e bacteriológicas da qualidade da água do lago Xolotlán. Contudo, somente apresentaram as concentrações encontradas sem fazerem interpretações dos resultados obtidos.

As concentrações de mercúrio variaram entre inferiores ao limite de detecção e 0,004 mg/l na Baía de Miraflores, a área onde se localiza o efluente das empresas ELPESA-HERCASA hoje desativadas e da Refinaria ESSO (IRENA, 1985).

KLEIN (1987) encontrou níveis de toxafeno nas águas do lago Xolotlán entre inferiores 0,001 e 0,008 ppm e de 0,09 e 1,4 ppm, nos sedimentos.

Uma equipe de pesquisadores de IRENA classificaram os sedimentos do lago em areia, areia-silte, argila-silte e silte-argila e encontraram concentrações de mercúrio até 7,9 mg/Kg na Baía de Miraflores; de arsênio até 15,1 mg/Kg (na parte norte do lago); entre 3 e 110 ppb de p,p'-DDE e entre 88 e 1400 ppb de toxafeno (IRENA, 1987).

ALMENDÁREZ & OBANDO (1991) na sua dissertação de mestrado caracterizaram as águas do lago Xolotlán pela sua qualidade físico-química e microbiológica no setor de Piedras Azules (Figura 3), escolhido por encontrar-se afastado dos pontos das descargas de esgotos sanitários e águas residuárias industriais. Ainda assim, foram encontradas concentrações de boro de até 3,17 mg/l e de coliformes totais de até 2200 NMP/100ml⁽⁴⁾.

⁴Numero máximo por 100 ml

Desde 1985 o Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA) começou a realizar uma série de pesquisas dentro do Projeto de Limnologia Aplicada ao Lago de Manágua (PLALM), projeto conjunto da Universidade de Amsterdam (Departamento de Ecologia Aquática) e o CIRA, financiado pelos governos da Holanda e Nicarágua. Os trabalhos são o resultado do monitoramento de onze estações de amostragem (MONTENEGRO, 1991).

Pesquisas sobre pesticidas organoclorados na água, em peixes e nos sedimentos do lago Xolotlán, também realizadas pelo CIRA foram financiadas por DANIDA (Danish International Development Assistance).

As características gerais do lago, assim como alguns dados acerca da sua limnologia física, química e da biologia são apresentados por MONTENEGRO (1991).

LACAYO (1991) classifica a água do lago como do tipo bicarbonatada-sódica pela sua concentração iônica e como eutrófico com forte tendência à hipertrofia, pelas concentrações médias de fósforo total obtidas (90-201 $\mu\text{g}/\text{l}$).

LACAYO et al. (1991) encontraram concentrações altas de mercúrio total na água (de até 787 $\mu\text{g}/\text{l}$) e em sedimentos (9,8 $\mu\text{g}/\text{g}$ a 25 cm de profundidade) nas proximidades do ponto de descarga das antigas indústrias ELPESA-HERCASA e da Refinaria ESSO.

Análises de arsênio total na água forneceram valores de 14,00 e 14,47 $\mu\text{g}/\text{l}$ e nos sedimentos de 6,75 e 8,64 $\mu\text{g}/\text{g}$ na área da Baía Miraflores e Rubén Darío, respectivamente (LACAYO et al., 1992).

As concentrações de quinze pesticidas organoclorados (ΣDDT , toxafeno, lindano, aldrin, dieldrin, endrin, heptacloro, heptacloro

epóxido, α , β e δ -BHC e α e β endossulfan) não foram detectados nas águas do lago Xolotlán (CALERO et al., 1992). Em sedimentos, a concentração mais alta foi detectada a 200 metros da descarga de HERCASA e o único ponto em que se reportou toxafeno foi no canal de HERCASA, com uma concentração de 359 ppm (CALERO et al., 1992). Esse ponto está a aproximadamente 300 metros das margens do lago.

Num outro estudo realizado pelo CIRA (CALERO et al., 1993) nos sedimentos de onze estações de amostragem no lago Xolotlán obtiveram-se valores de Σ DDT na descarga de HERCASA e na área do Rubén Darío, de 102 e 23 ng/g de peso úmido, nessa mesma ordem.

4. INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO DO LAGO XOLOTLÁN.

4.1 GENERALIDADES

O lago Xolotlán manifesta problemas de contaminação naturais e antropogênicas.

A restrição hidrológica e o vulcanismo presente nas suas redondezas constituem os principais fatores que propiciam a sua contaminação natural.

As fontes de contaminação antropogênicas podem ser classificadas como pontuais e não pontuais.

Fontes pontuais são os coletores de esgotos sanitários, cada efluente de águas residuárias industriais, cada canal de drenagem pluvial e o lixão que se encontra nas margens do lago.

As fontes não pontuais tem sua origem no escoamento das águas provenientes de toda a bacia de drenagem.

4.2 FONTES NATURAIS

Os balanços hídricos efetuados no lago Xolotlán revelam que as saídas (evaporação, evapotranspiração e descarga subterrânea) são aproximadamente iguais às entradas (LANNERGREN, 1982; GUTIÉRREZ, 1991).

A evaporação constitui a principal saída e representa o 96% de todas as entradas. Isto, somado ao fato de não existirem uma descarga superficial permanente, tem convertido o lago Xolotlán num concentrador de sais. Em vinte anos, as concentrações de sais dissolvidas aumentaram de 800 a 1000 mg/l em 1972 ao redor de 1400 mg/l em 1990 (GUTIÉRREZ, 1991).

Um fator não antropogênico importante que contribui a contaminação é a atividade vulcânica no lago Xolotlán. Foram

detectadas sinais de atividades termais no fundo do lago (Olade⁵ apud LACAYO, 1991). Os pontos de maior atividade termal são Tipitapa, San Francisco Libre e Punta La Salinita (Figura 6).

A atividade vulcânica é uma fonte importante de alguns elementos traços como mercúrio, arsênio e cádmio.

4.3 FONTES PONTUAIS

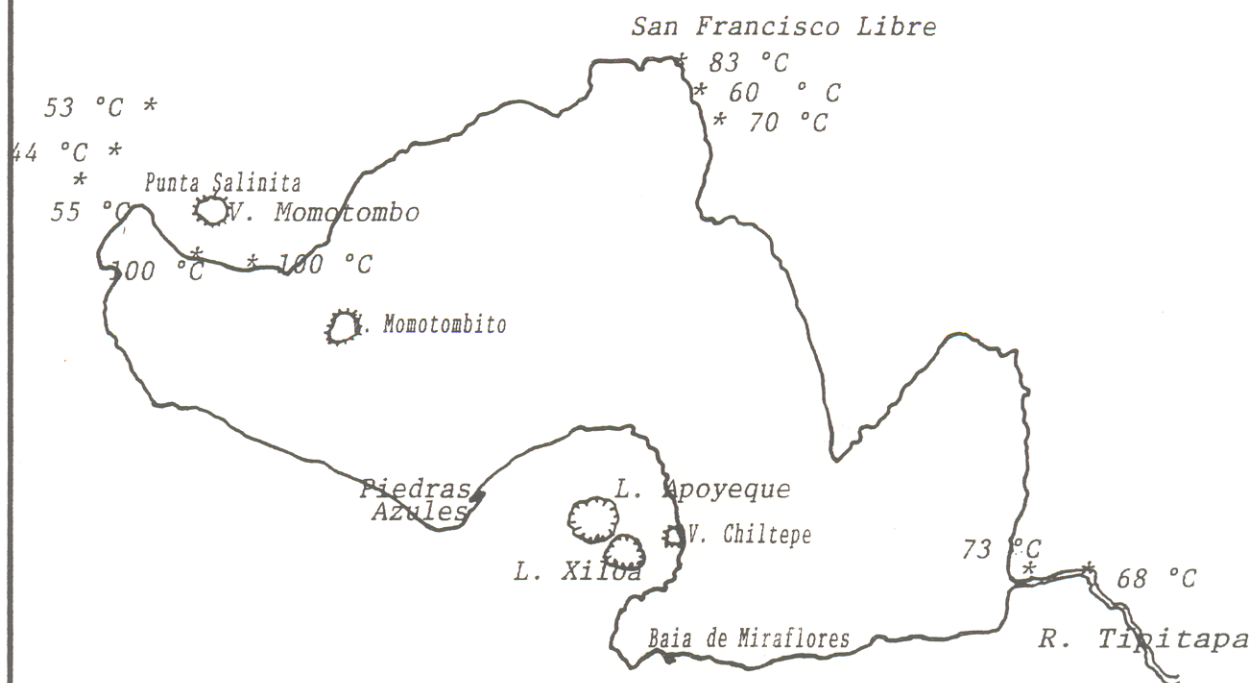
4.3.1 Esgotos sanitários

O sistema de esgotos sanitários da cidade de Manágua é constituído por trinta e quatro coletores que descarregam por gravidade, sem tratamento prévio, em vinte e dois pontos ao longo de vinte quilômetros sobre a costa Sul do lago Xolotlán (ALVARADO, 1993).

Entretanto, somente quatro dos coletores realmente chegam até o lago. Devido a uma falta de manutenção de dezoito coletores com tubulações defeituosas, as águas servidas percorrem os últimos 500 a 2000 metros das margens do lago ao ar livre. Há casos extremos onde as águas servidas são interceptadas e canalizadas para serem utilizadas na irrigação de plantações ou para consumo do gado (ALVARADO, 1993).

O sistema de esgotos sanitários compõe-se aproximadamente de 700 Km de tubulações de concreto, com diâmetros de entre 8 e 30 polegadas (ALVARADO, 1993).

⁵Olade, 1981. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Nicaragua. In: Contaminación del lago Xolotlán por efectos de aguas termales. Dirección General de Recursos Geotérmicos - INE. (Febrero, 1987), Managua. p.1-53



* Pontos de águas termais com temperatura acima de 40 °C.

⊙ Vulcões

⊙ Lagoas de origem vulcânica

Figura 6. Pontos de atividade vulcânica e termal no Lago Xolotlán.
Fonte: LACAYO (1991)

A vazão média dos esgotos sanitários é de 214 000 m³/d (2,47 m³/s)⁶ dos quais o 42% correspondem ao fluxo doméstico, 6,6% ao fluxo institucional, 14%, ao industrial, 2,5% ao comercial e o 35% à infiltração (ALVARADO, 1993).

O volume médio diário de água potável fornecida pela empresa de água e esgotos (INAA) na cidade de Manágua é de 330 000 m³/d (3,82 m³/s) (M. Jiménez, 1993. Informação verbal). Isto significa que aproximadamente 65% da água fornecida diariamente acaba vertida no esgoto sanitário.

Uma estimativa da carga de alguns contaminantes que todo o sistema de esgotos aporta ao lago Xolotlán é fornecido na Tabela 2.

Tabela 2. Carga total de contaminantes [kg/d] aportados pelo sistema de esgotos sanitários ao lago Xolotlán

Coletor (Figura 8)	Vazão [m ³ /s]	DBO ₅	PTotal	NTotal	Cloretos	Óleos e Graxas	ST	STD
JDEstrada	0,077	2,68	0,037	0,22	0,53	0,30	4,13	3,54
Rubén Darío	0,129	4,48	0,040	0,26	0,97	1,34	7,39	4,98
Média	0,103	3,58	0,039	0,24	0,75	0,82	5,76	4,26
Total	2,26	78,76	0,858	5,28	16,50	18,04	126,72	93,72

FONTE: CIRA/UNAN

O cálculo, executado pela autora do presente trabalho, está baseado nas vazões em l/s determinadas nos monitoramentos de 24 horas em dois coletores (Rubén Darío e José Dolores Estrada). As análises foram realizadas pelo Laboratório de Águas Residuárias do CIRA em conjunto com INAA. As cargas foram determinadas multiplicando as vazões médias em m³/s de cada coletor x concentração do contaminante x 86,64 (fator de conversão a kg/d).

⁶ALVARADO (1993) forneceu os dados em MGD (Milhões de Galões Diários). A autora deste trabalho converteu-os a unidades do Sistema Internacional.

A estimativa da carga total por contaminante foi obtida com a média dos dois coletores, multiplicada pelo número total de coletores de esgotos (22).

As análises microbiológicas realizadas pelo laboratório do CIRA em dois coletores de esgotos forneceram valores de coliformes fecais dentre $1,6 \times 10^5$ e $1,6 \times 10^8$ ufc⁽⁷⁾/100ml, o que mostra a deterioração da qualidade sanitária do lago Xolotlán.

A determinação de bactérias coliformes, que na verdade são organismos benignos, é uma forma indireta de determinar a presença de bactérias patogênicas, já que seu comportamento nos ambientes aquáticos são similares (MOORE & MOORE, 1976).

VARGAS et al. (1991) encontraram valores entre 10 e 170000 NMP/100 ml no lago Xolotlán no monitoramento de difentes pontos ao longo da costa, em alguns casos a distâncias de 100 a 150 m da costa.

Num perfil desde o ponto de descarga do coletor do Rubén Darío até o centro do lago, ZELAYA (1991) encontrou na época de chuva que as concentrações de coliformes totais, conformados em sua maioria por coliformes fecais, caíram de $1,6 \times 10^6$ para 13 NMP/100ml a 25 km de distância da costa.

A Figura 7 mostra as densidades de coliformes fecais e estreptococos fecais encontrados no perfil Rubén Darío em Junho de 1993 em função da distância da costa.

O gráfico foi construído a partir dos dados do monitoramento microbiológico efetuado pelo CIRA paralelamente às amostragens do presente trabalho.

⁷Unidades formadoras de colônia por 100 ml

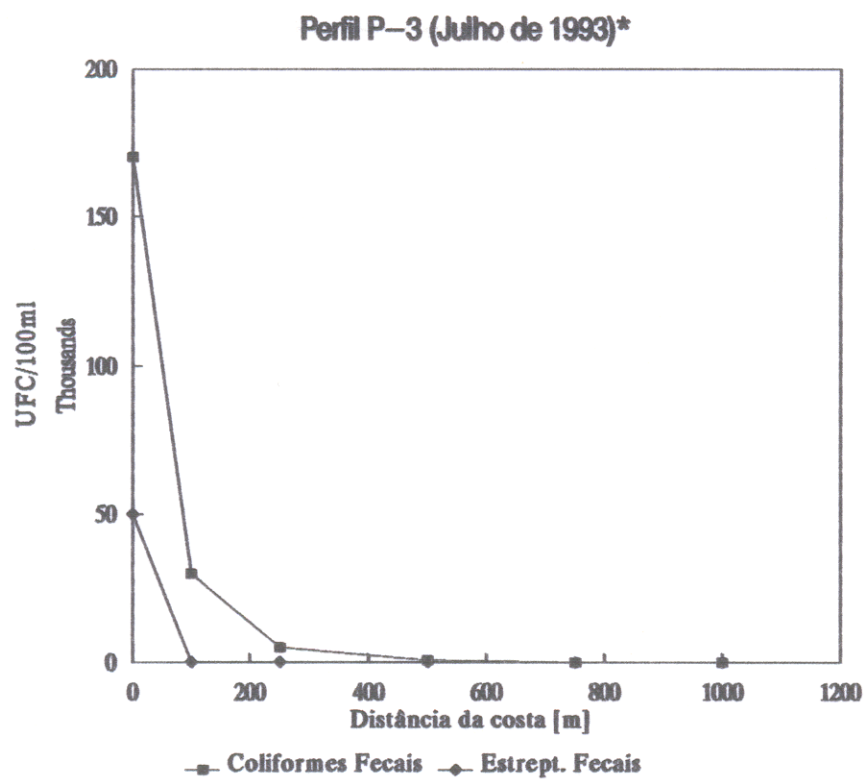


Figura 7. Distribuição da densidade de coliformes e estreptococ fecais no lago Xolotlán

*Dados fornecidos pelo laboratório de Microbiologia do CIRA

Os elementos traços analisados no presente trabalho e que podem ser encontrados nos esgotos são:

a) o mercúrio, fonte: sabonetes, preparações antisépticas, cosméticos e laboratórios; b) o cádmio, fonte: litografias, laboratórios; c) o chumbo, fonte: tubulações antigas, laboratórios; d) o arsênio, fonte: sabões e detergentes, medicamentos, laboratórios; e) o cromo, fonte: curtumes, laboratórios; f) o cobre, fonte: tubulações.

4.3.2 Águas residuárias industriais

A maioria das indústrias de maior tamanho da Nicarágua estabeleceram-se em Manágua, nas proximidades do lago Xolotlán, por causa da disponibilidade de água para os seus processos e de um corpo receptor para a eliminação barata dos seus despejos. No processo de industrialização não foram considerados os impactos ambientais e as indústrias estabeleceram-se sem qualquer tipo de controle com relação à geração dos despejos (AGUILAR & LANUZA, 1991).

Algumas indústrias estão ligadas ao sistema de esgotos sanitário e há outras que vertem os despejos por meio de sistemas próprios, porém o corpo receptor é o lago Xolotlán.

Na atualidade, 37 dessas indústrias representam um poderoso obstáculo à recuperação e ao aproveitamento do lago Xolotlán.

Entre as indústrias que mais dano causaram ao lago Xolotlán pela qualidade dos seus despejos encontra-se o complexo Electroquímica PENWALT (ELPESA) - Hércules de Centroamérica, S.A. (HERCASA) - Refinaria ESSO Standard Oil S.A., localizado ao

Noroeste de Managua (Figura 8). Na atualidade, só a Refinaria ESSO está operando.

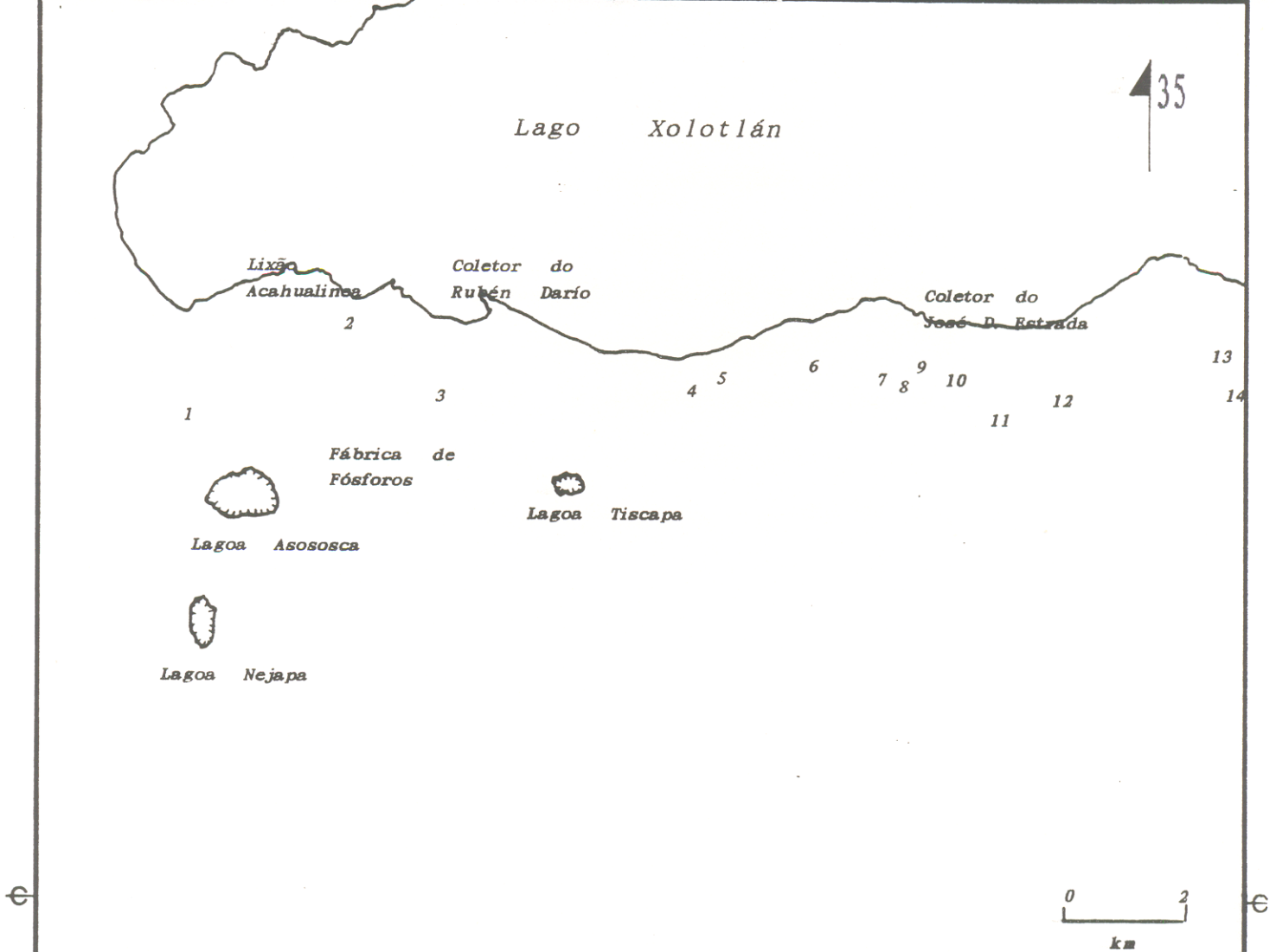
Os canais de descarga dessas indústrias convergiam antes de descarregar no lago Xolotlán.

ELPESA produziu (desde 1968 até 1992) soda cáustica, cloro, ácido clorídrico e hipoclorito de sódio. No processo utilizavam-se celas de mercúrio, e uma porção deste contaminante era eliminado nas águas residuárias da indústria. Estima-se que em todo o período de produção, ELPESA vertiu uma carga de mercúrio inorgânico de 60 toneladas no lago Xolotlán (Lacayo apud LACAYO, 1993)⁸.

HERCASA, uma transnacional da Hercules Inc. USA, fabricou toxafeno a partir de canfeno de 1945 até 1991. Embora até agora não foi estimada a carga de toxafeno vertida no lago Xolotlán, BECK & CUADRA (1985) encontraram valores de até 500 mg/l nas águas residuárias de HERCASA. Após dois anos de desativada a indústria, a autora do presente trabalho encontrou nos sedimentos do ponto onde descargava o efluente, concentrações de toxafeno que podem ser consideradas elevadas (Seção 7.2).

A Refinaria ESSO Standard Oil SA opera desde 1963. Produz aproximadamente meio milhão de galões de combustível por dia e outros derivados de petróleo (BECK & PAREDES, 1985). Os principais contaminantes encontrados nos despejos das refinarias são fenóis, chumbo, cádmio, cromo, cobre, níquel e zinco (BRAILE & CAVALCANTI, 1979). AGUILAR & LANUZA (1991) estimaram a carga de fenóis despejada pela Refinaria ESSO em 4,14 toneladas por ano.

⁸J. Lacayo (informação verbal)



- 1 Complexo Industrial (ELPESA-HERCASA-Refinaria ESSO) -
- 2 Curtume "La Francesa"
- 3 Fábrica de biscoitos "Nabisco Cristal"
- 4 Indústria de cervejas "Victoria"
- 5 Indústria de laticínios "La Selecta"
- 6 Indústria de tecidos "Texnica"
- 7 "Milca" (Coca Cola)
- 8 Indústria de laticínios "La Perfecta"
- 9 Indústria de óleo comestível "Corona"
- 10 Indústria de cervejas "Toña"
- 11 "ENSA" (Coca Cola)
- 12 Fábrica de tintas "KATIVO"
- 13 Matadouro "CARNIC"
- 14 Indústria de calçados "PRONTO"

Figura 8. Localização das principais fontes de contaminação do Lago Xolotlán.

Fonte: AGUILAR & LANUZA (1991)

Outras indústrias que representam uma ameaça ao corpo receptor são as curtumes (cromo hexavalente e cobre nos seus despejos), fábricas de papel (mercúrio), fábricas de tintas (cromo hexavalente), fábrica de fósforos (chumbo), fábricas de tecidos (cobre, cromo hexavalente), fábricas de baterias (chumbo).

As indústrias restantes (de óleos vegetais, de laticínios, de produtos alimentícios, de cervejas, de refrigerantes e matadouros) contaminam o lago Xolotlán principalmente com matéria orgânica.

A Tabela 3 mostra a carga total anual de alguns contaminantes para cada uma das indústrias monitoradas pelo projeto "Salvamento del Lago Xolotlán" do CIRA-UNI-IIZ (Capítulo 3).

Tabela 3. Carga total de despejos anuais aportadas ao lago Xolotlán por cada uma das indústrias investigadas.

Carga (t/a)	1	2	3	4	5	6	Total
Sólidos Totais	772	136,1	386,8	830,3	625,6	1295	4045,8
Sól. Tot. Dissolvidos	320,1	99,8	305,9	638,9	594,4	1154	3113,1
DBO ₅	366,3	90,0	266,4	420,8	179,2	375,9	1698,6
DQO	823,3	164,9	534,9	653,3	308,8	705,5	3190,9
óleos e graxas	151,8	15,1	83,0	56,7	11,7	40,8	359,1
Cloretos	25,6	5,9	20,3	40,2	39,1	56,1	187,2
Fósforo Total	1,98	0,43	1,44	2,03	0,40	1,55	7,83
Nitrogênio Total	16,17	6,36	7,63	12,35	1,75	5,12	49,41

1- Matadouro "CARNIC" (CALERO, et al. 1992)

2. Indústria de laticínios "La Selecta" (TEOS, et al. 1992)

3. Indústria de laticínios "La Perfecta" (MIRANDA, 1992)

4. "Industrial Cervecera S.A. TONA (RE & QUINTANILLA, 1992)

5. Indústria "ENSA" (Pepsi) (HERNÁNDEZ, 1993)

6. "Embotelladora MILCA" (Coca Cola) (CARDOZA, 1993)

Todas as indústrias mencionadas na Tabela 3 pertencem às categorias 1 e 2 da Tabela 4 e o seu aporte de águas residuárias é de 0,09 m³/s, valor maior que o calculado por AGUILAR & LANUZA (1991) para essas categorias (0,08 m³/s), embora na categoria 1 constam duas indústrias adicionais (Indústria de óleo e indústria de biscoitos).

No entanto, o cálculo efetuado por AGUILAR & LANUZA (1991) fornece uma estimativa da vazão total de todas as principais indústrias de Managua (0,16 m³/s).

Tabela 4. Carga de contaminantes aportados ao lago Xolotlán por tipo de indústria

Indicador da contaminação	1	2	3	4	5	6	7	Total
Volume de Despejos [x10 ³ m ³ /a]	725	1774	2060	319	2,8	5,6	255	5141,4
DBO ₅ t/a	2589	901	1007	546	17	23,43	215	5298,4
DQO t/a	90			1582	23	47,4	260	2002,4
S.S. t/a	375	1276	455	846	6,8	36,9	63	3058,7
óleos t/a	84			123		5,62	82	294,6
Nitrogênio				92			22	114
Cr t/a				22				22

1- Produção de alimento

2- Indústria de bebida

3- Manufatura de tecidos

4- Manufatura de couro

5- Manufatura de produtos químicos industriais

6- Manufatura de outros produtos químicos

7- Refinação de petróleo

FORNTE: AGUILAR & LANUZA (1991)

4.3.3 Lixões

O principal lixão da cidade de Managua é o Lixão Acahualinca (Figura 8), além de aproximadamente 150 lixões autorizados e não autorizados.

O lixão Acahualinca é um aterro controlado onde o lixo é depositado, espalhado e compactado com maquinária pesada durante o dia. A noite e/ou nos finais de semana o lixo é recoberto com terra e areia.

A Tabela 5 mostra que o volume médio de lixo que é depositado em Acahualinca é de 522 110 m³ ao ano e 1776 m³ diários que equivale a aproximadamente 0,8 Kg/hab/dia.

Os catadores que atuam no lixão Acahualinca coletam a parte aproveitável de materiais tais como alumínio, madeira, radiadores, garrafas de vidro, papelaria, etc.

Tabela 5. Volume e disposição do lixo no lixão Acahualinca

FONTE	TOTAL ANUAL (m ³ /ano)	TOTAL DIARIO (m ³ /dia)
Recoleita	324 189	1103
Lixões "espontâneos"	113 888	387
Privados	84 033	286
Total Depositado	522 110	1776

Fonte: Alcaldía de Managua (ALMA, 1993)

O mercúrio nos lixões provém principalmente dos termômetros e das lâmpadas fluorescentes.

O cádmio tem como fonte, as lâmpadas fluorescentes, tubos de televisores, baterias recarregáveis, tintas, estabilizadores, fones de áudio, aparelhos eletrodomésticos, telas de raios-X, fios de telefone, radiadores de carro e celas solares.

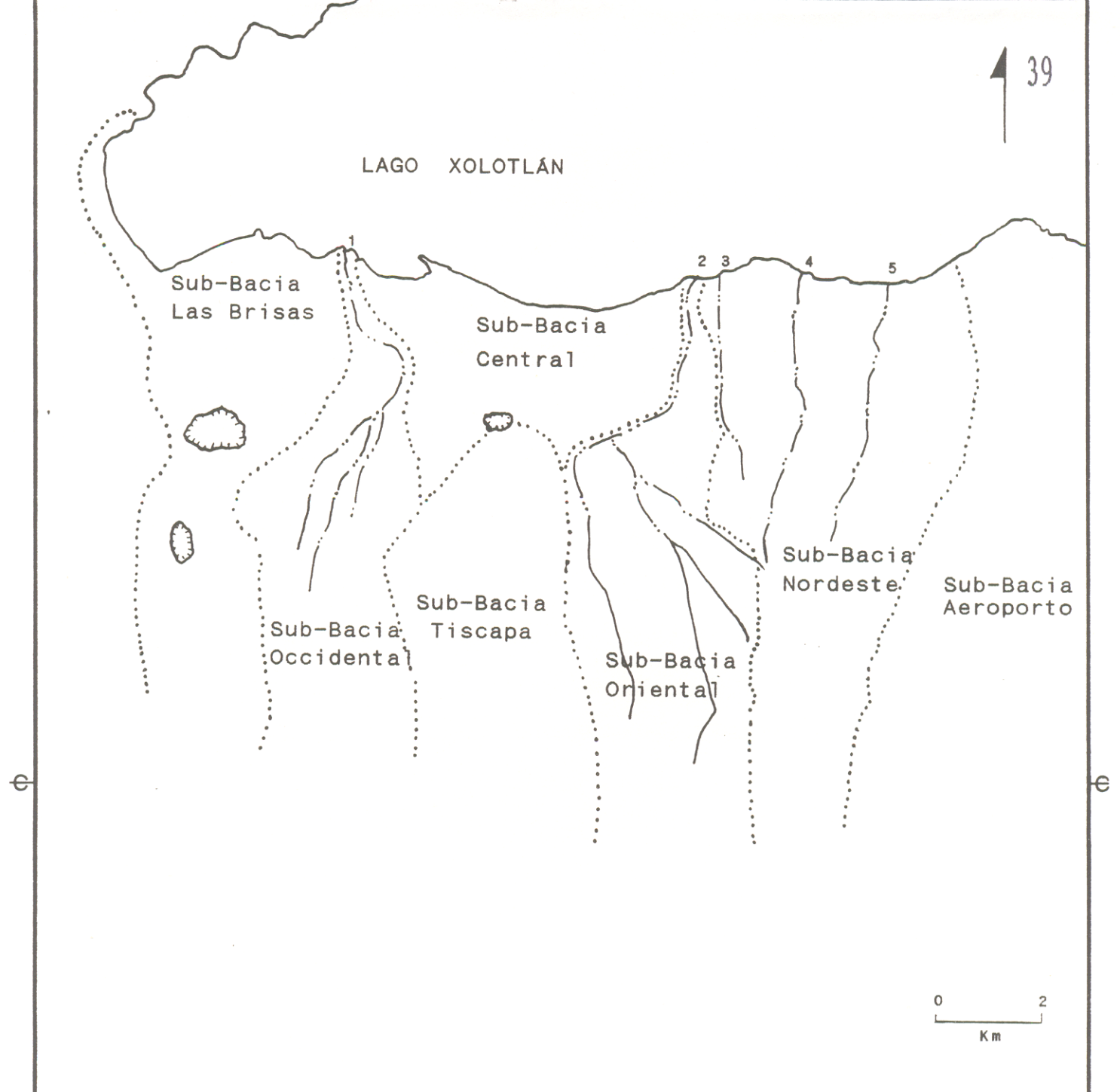
O chumbo e o arsênio provém dos acumuladores (baterias de carro), e o cobre, das bobinas de motores, fios elétricos, acumuladores, transformadores e geradores.

4.3.4 Vias de drenagem pluvial

A área de estudo divide-se em seis sub-bacias que formam parte da bacia Sul do lago Xolotlán (Figura 9): Las Brisas, Occidental, Central, Oriental, Nordeste e Sub-bacia Aeroporto (ALMA, 1985).

Em toda a área há oito canais, dos quais os principais são: Occidental, Oriental, Bello Horizonte, Portezuelo e Canal Waspán. Todos eles recebem não só as águas do escoamento superficial, mas também esgotos sanitários, lixo e em alguns casos também despejos industriais (ALTAMIRANO & CÁCERES, 1991).

Na zona rural, à montante da cidade de Managua, o escoamento superficial é conduzido por córregos-secos e ribanceiras naturais ou caminho-canais.



- | | | | |
|---|-----------------------|---|------------------|
| 1 | Canal Occidental | 2 | Canal Oriental |
| 3 | Canal Bello Horizonte | 4 | Canal Portezuelo |
| 5 | Canal Waspán | | |

Figura 9. Sub-Bacias e Vias de drenagem da Bacia Sul do Lago Xolotlán.
Fonte: ALMA (1985)

Na zona urbana, o sistema primário de drenagem pluvial consiste em canais revestidos por blocos de concretos de tamanhos variados.

O sistema de drenagem secundário dentro da cidade de Manágua é constituído principalmente por esgotos subterrâneos e um pequeno número de sarjetas revestidas ao longo das ruas, que transportam o escoamento local até os canais do sistema primário de drenagem pluvial.

A Tabela 6 mostra algumas variáveis físico-químicas das águas nos principais canais de drenagem pluvial da cidade de Manágua, determinados por ALTAMIRANO & CÁCERES (1991). Não foi possível estimar as cargas aportadas ao lago Xolotlán por falta de dados de medição das vazões dos canais e de dados das chuvas nos períodos de amostragem.

Tabela 6. Valores médios dos parâmetros caracterizados para os canais principais que drenam no lago Xolotlán

Canal	STD[mg/l]	P.Total[mg/l]	DBO ₅ [mg/l]
Occidental	206,6	1,46	80,1
Oriental	159,2	0,97	23,67
Bello Horizonte	156,0	1,07	20,75
Portezuelo	226,6	0,81	24,67
Waspán	190,7	93,03	27,50

Fonte: ALTAMIRANO & CÁCERES (1991)

Os contaminantes que atingem o corpo receptor pelas vias de drenagem pluvial são pesticidas aplicados na bacia e o chumbo do tráfego urbano que precipita e é arrastado.

4.4 FONTES NÃO PONTUAIS

Chama-se fonte não pontual àquela que não pode ser atribuída a um único foco e é, portanto, mais difícil de ser controlada.

A sua origem deve-se basicamente ao escoamento das águas através de toda a bacia, constituída principalmente de terras destinadas à agricultura, criação de gado, florestas, pastos e áreas urbanizadas.

A drenagem da bacia, que sofre de desflorestamento e erosão intensas, traz como consequência o arraste de

1. Sedimentos. LACAYO (1993) estima que em toda a bacia há um arrasto de sólidos de 1,6 milhões de toneladas métricas ao ano (1,1 milhões de m³/ano), baseado num estudo realizado por IRENA em 1984 na Sub-bacia II.

2. Agroquímicos das zonas de cultivos. Embora não se tenham dados exatos sobre a quantidade de agroquímicos vertidos na bacia do lago Xolotlán, sabe-se que há abusos na sua aplicação.

3. Nutrientes. Ainda não foram realizadas estimativas da carga de nutrientes provenientes da bacia do lago Xolotlán, no entanto, sabe-se que é elevada pelas elevadas concentrações encontradas no lago.

É importante considerar como fontes não pontuais os diferentes tipos de lixo (domésticos, industriais, de construção, etc) depositados nas ruas os quais na época de chuva são arrastados pelas águas pluviais.

O terremoto de 1972 arrasou com o centro da cidade de Manágua, obrigando à população a emigrar às áreas da periferia da antiga cidade. O crescimento desorganizado que experimentou Manágua ao espalhar-se não foi acompanhado de um desenvolvimento da rede de esgotos pluviais.

A falta de um sistema de esgotos pluviais adequado e o desflorestamento praticado na bacia provocou mudanças no regime das precipitações que se tornaram irregulares e intensas. Assim a época de chuva traz inundações freqüentes e as ruas se transformam em canais de descarga das águas pluviais.

Outras fontes não pontuais são as águas residuárias domésticas do 44,5% da população carente deste serviço.

Os principais contaminantes que atingem os sistemas aquáticos pelo escoamento superficial são o chumbo das tintas e do tráfego e os pesticidas aplicados na sua bacia

A Figura 10 mostra o uso da terra na bacia Sul do lago Xolotlán.

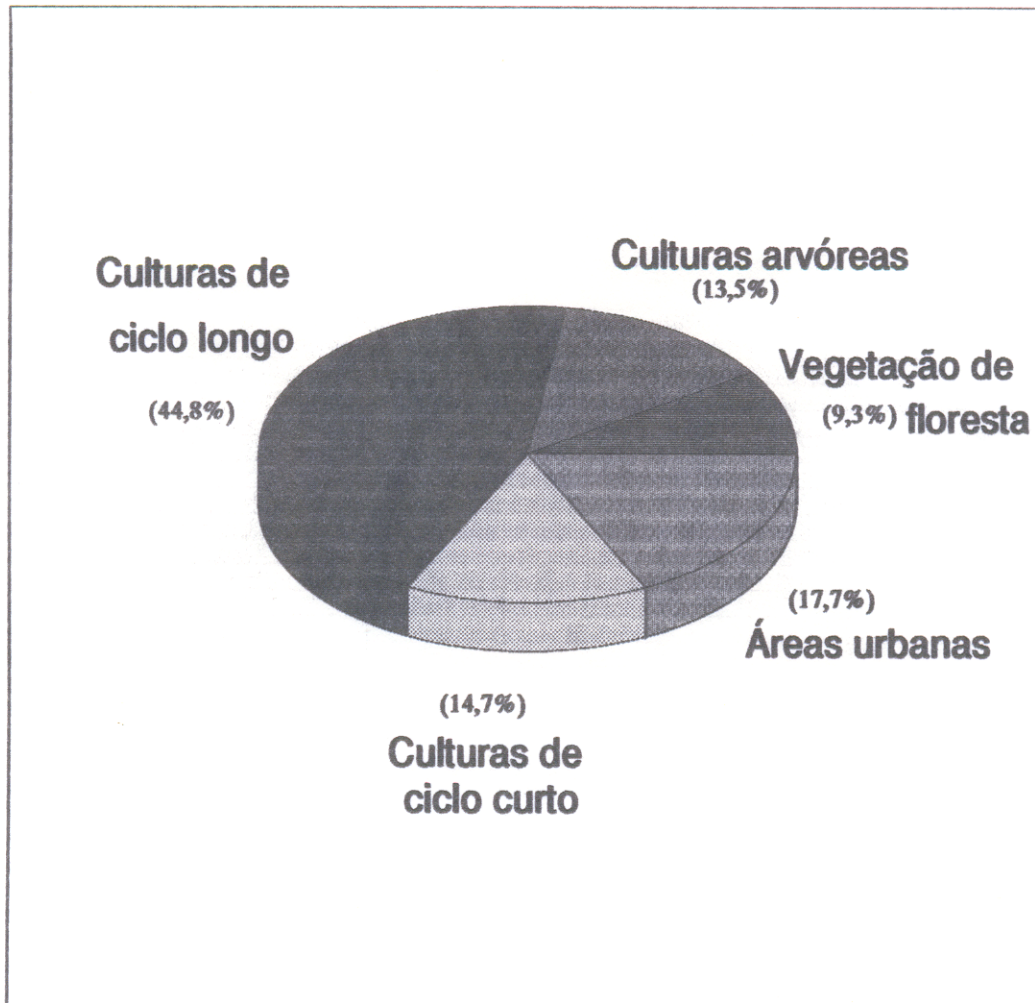


Figura 10 Uso da terra na bacia sul do lago Xolotlán
Fonte: IRENA (1992)

5. CONTAMINANTES: SUAS PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E SEU COMPORTAMENTO NAS ÁGUAS NATURAIS E NOS SEDIMENTOS

5.1 ELEMENTOS TRAÇOS

5.1.1. Generalidades

De modo geral, a contaminação por elementos traços deriva-se do intemperismo, emanações vulcânicas, queima de combustíveis fósseis, processamentos industriais de minérios e metais, lixiviação dos rejeitos urbanos, da excreção de animais e seres humanos e da decomposição da vegetação e dos organismos mortos (FÖRSTNER & WITTMAN, 1983; LASHEEN, 1987).

Embora alguns elementos traços (Cr, Mn, Co, Cu, Zn) sejam essenciais para o metabolismo de plantas aquáticas e animais, eles se tornam tóxicos a concentrações elevadas (FÖRSTNER & WITTMAN, 1983).

Uma característica importante dos elementos traços é que não são biodegradáveis. Pelo contrário, podem entrar na cadeia alimentar, e como no caso do mercúrio, podem ser biomagnificados. Isto é, a concentração vai aumentando a medida que passa de um nível trófico inferior a um outro superior.

5.1.2 Chumbo

O chumbo é um constituinte natural da crosta terrestre. No entanto, de todos os elementos traços, o ciclo biogeoquímico do chumbo é o que tem sido mais afetado pelo homem (JAWORSKI et al., 1987).

Nos esgotos, o aporte principal de chumbo provém da precipitação da poeira que atinge o sistema de drenagem com as chuvas (EWERS & SCHILPKÖTER, 1991).

O chumbo é um metal mole de cor azul, com densidade de 11,34 g/cm³ e ponto de fusão de 327,5 °C. Seu número atômico é 82 e sua massa atômica é 207,19. Os principais isótopos do chumbo em ordem de abundância são ²⁰⁸Pb(52%), ²⁰⁶Pb(24%), ²⁰⁷Pb(23) e ²⁰⁴Pb(1%). Os tres primeiros são radiogênicos. Existe um isótopo radioativo, o ²¹⁰Pb.

O estado de oxidação (+2) nos compostos inorgânicos do chumbo predomina sobre a valência (+4), seguindo o comportamento dos elementos do grupo IV B. A medida que aumenta ~~a~~ número atômico, diminui a força de ligação simples (Cotton & Wilkinson⁹ apud NEWLAND & DAUM, 1982).

No entanto, a química organometálica do chumbo está dominada pelo estado de oxidação (+4), embora os compostos orgânicos do chumbo não sejam tão estáveis quanto os sais inorgânicos de Pb(II) as quais podem chegar a degradar-se (NEWLAND & DAUM, 1982).

Os compostos orgânicos mais importantes do chumbo pelo seu uso como aditivos antidetonantes na gasolina são o tetraetil e tetrametil de chumbo (EWERS & SCHILPKÖPTER, 1991).

A espécie química predominante nas águas naturais num pH ~ 8 é o Pb(OH)⁺. A um pH próximo de 10 se forma o Pb(OH)₂ insolúvel.

Existe uma correlação entre a sorção do chumbo pelos sedimentos fluviais, o conteúdo de materia orgânica e com o tamanho das partículas.

O chumbo é absorvido e adsorvido quase totalmente como espécies precipitada a um pH > 6, em ausência de espécies complexantes solúveis (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

⁹Cotton, F.A.; Wilkinson, G. 1972. *Adv. Inorganic Chem.* New York, John Wiley and Sons Inc.

Para as plantas aquáticas e os invertebrados, o chumbo não é tão tóxico quanto os compostos de mercúrio e de cobre, embora sua toxidez depende de vários parâmetros naturais como temperatura, luz e química das águas (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

A contaminação por chumbo pode atingir os seres humanos através da ingestão de plantas que acumularam o metal de solos contaminados ou pela ingestão de carne contaminada da mesma maneira.

A intoxicação por chumbo nos seres humanos causa danos aos sistemas sanguíneo (destruição dos glóbulos vermelhos); nervoso (cérebro, cerebelo, espinha dorsal, nervos sensores e motores); renal; cardiovascular; reprodutor, aos órgãos endócrinos e ao trato intestinal (NEWLAND & DAUM, 1982).

5.1.3 Mercúrio

Estima-se que a quantidade de mercúrio liberado ao ambiente pelas atividades humanas é dez vezes maior que o mercúrio liberado por intemperismo natural (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

A maior fonte de despejo de mercúrio provém do uso de celas de mercúrio na indústria cloro-álcali (VON BURG & GREENWOOD, 1991).

O mercúrio é um metal prateado brilhante, com ponto de fusão de 38,9 °C, massa atômica 200,59, peso específico de 13,55 g/cm³ e número atômico 80. Existem sete isótopos estáveis do mercúrio e onze isótopos radioativos conhecidos. Os isótopos mais abundantes são ²⁰²Hg(30%), ²⁰⁰Hg(23%), ¹⁹⁹Hg(17%), ²⁰¹Hg(13%), ¹⁹⁸Hg(10%), ²⁰⁴Hg(7%).

Nas águas naturais, o mercúrio existe em tres estados de oxidação: mercúrio elementar (0), o estado mercurioso (+1) e o estado mercúrico (+2). Nas águas oxigenadas predominam as espécies

mercúricas, enquanto que baixo condições redutoras predomina o mercúrio elementar (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

O mercúrio associa-se fortemente aos sólidos em suspensão. O grau de associação depende do pH, da salinidade, do Eh e da presença de ligandos orgânicos na água.

Nos sedimentos, a velocidade de sorção depende das características físico-químicas dos sedimentos. A dessorção é geralmente um processo lento (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

O mercúrio forma compostos organomercuriais de dois tipos: se une a radicais orgânicos através de um ou de dois ligações covalentes. O número de ligações determina as características dos compostos. Assim, os primeiros são solúveis em água e nos lípidos e são muito persistentes no ambiente. Os segundos são não polares, quase insolúveis na água e muito voláteis (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

Geralmente, o mercúrio é descarregado na água na forma de mercúrio elementar, mercúrio iônico no estado (+2) e como acetato fenilmercúrico. A metilação do mercúrio ocorre tanto por meios químicos ou pela ação de organismos vivos (VON BURG & GREENWOOD, 1991).

O mecanismo de desmetilação pela ação de microorganismos consiste em destruir a ligação Hg-Carbono para liberar Hg^{+2} , que depois é reduzido a mercúrio elementar e por sua vez pode volatilizar-se da mesma maneira que a parte orgânica.

Todos os compostos do mercúrio são altamente tóxicos para as plantas aquáticas. No caso dos invertebrados, a toxidez depende da espécie, do nível de desenvolvimento e de algumas condições

ambientais. Os compostos orgânicos do mercúrio são muito mais tóxicos do que as formas inorgânicas (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

Uma das principais fontes de contaminação por mercúrio para o homem é a ingestão de organismos aquáticos, especialmente os peixes. O mercúrio é biomagnificado através da cadeia alimentar e além disso, no ambiente aquático ele é transformado à espécie mais tóxica: o metilmercúrio (LINDBERG et al., 1987).

O metilmercúrio causa nos seres humanos a chamada doença de Minamata. O nome da doença provém do primeiro caso de envenenamento massivo por mercúrio. A fonte de contaminação foi a ingestão de peixes e bivalves, na Baía de Minamata em Japão, contaminados por mercúrio despejado pela indústria Chisso Co., produtora de PVC.

Os sintomas da doença são redução do campo visual, ataxia (incapacidade de coordenação), redução das funções cerebrais, posteriormente parálise seguida de estado de coma e até a morte.

O metilmercúrio é além disso, teratogênico e mutagênico.

5.1.4 Cádmio

A contaminação das águas superficiais por cádmio pode acontecer pela lixiviação do lixo industrial e doméstico nos aterros, mas a principal fonte de cádmio na atmosfera é a ação vulcânica (STOEPPLER, 1991).

O cádmio é um metal branco com tonalidade azul. Seu peso específico é $8,65 \text{ g/cm}^3$ e seu ponto de fusão é $320,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Localiza-se no segundo grupo, quinto período da tabela periódica dos elementos. Seu número atômico é 48 e sua massa atômica é 112,40. Os isótopos do cádmio são: ^{114}Cd (29%), ^{112}Cd (24%), ^{111}Cd (13%), ^{110}Cd (12,4%), ^{113}Cd (12,3%), ^{116}Cd (8%), ^{106}Cd (1%) e ^{108}Cd (<1%).

O estado estável do cádmio nos ambientes naturais é (+2). Até um pH ~ 6, o Cd(+2) é a espécie divalente predominante, em ausência de fosfatos e sulfuros. A um pH próximo de 9 formam-se espécies Cd(OH)⁺.

O cádmio (+2) é transportado adsorvido e absorvido pelos sólidos em suspensão e complexado pela matéria orgânica, em ausência de ânions precipitadores.

O cádmio forma complexos moderadamente estáveis com numerosos compostos orgânicos.

Nos sedimentos, a adsorção aumenta até um pH ~ 7, em que praticamente todo o íon metálico é absorvido e adsorvido. A absorção é nula com a formação de complexos aniônicos para valores variados de pH (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

Há uma correlação marcante entre a sorção do cádmio e o conteúdo orgânico em solos e sedimentos. A dessorção depende das características dos sedimentos e dos parâmetros físico-químicos da água.

Em geral, o cádmio é menos tóxico para as plantas aquáticas que o metilmercúrio e o cobre e é similar em toxidez que o chumbo e o cromo (+3). A toxidez do cádmio pode diminuir com a adição de zinco ao meio. Nas células proteínicas o perigo está na substituição do zinco pelo cádmio (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

Nos invertebrados de água doce, a toxidez depende do pH, da dureza da água e da atividade metabólica do organismo. Nos peixes, os indivíduos jovens são os mais sensíveis. A presença de agentes quelantes e de zinco na água reduz a toxidez do cádmio para os peixes.

Nos seres humanos, o envenenamento é originado pela ingestão de peixes ou água contaminada. O primeiro caso de intoxicação massiva aconteceu no Japão em 1947. A fonte da contaminação foi a mina de zinco de propriedade da empresa Makioko Co., situada à montante do povoado vítima da doença, chamada de itai-itai pelas expressões de dor das vítimas ao sofrer deformação dos ossos.

Alguns dos sintomas da intoxicação por cádmio são decoloração dos dentes (nas primeiras fases), perda do fôlego e secura na boca. Posteriormente há redução dos glóbulos vermelhos que causa danos à medula óssea. Os rasgos mais característicos da doença são dores lombares e mialgia nas pernas que aumenta até provocar totalmente a incapacidade motora do indivíduo. Outros efeitos são danos aos rins (FÖRTSNER, 1980).

5.1.5 Arsênio

As principais fontes de contaminação por arsênio são a atividade vulcânica e a volatilização a temperaturas baixas pela metilação biológica.

O arsênio elementar apresenta-se nas formas sólidas amarela e cinza ou metálica. Localiza-se no quinto grupo, quarto período do sistema periódico dos elementos. Seu número atômico é 33 e sua massa atômica é 74,92. Se conhece só um isótopo do arsênio ^{75}As . Atua nos estados de oxidação (+5), (+3), (0), (-3), todos estáveis em condições de Eh que existem nos sistemas aquáticos.

O arsênio metálico é raro e o $\text{As}(-3)$, só se encontra em ambientes de valores baixos de Eh. As espécies de arsenatos são estáveis a valores elevados de Eh encontrados em águas oxigenadas. Em condições levemente redutoras, predomina o arsenito. A oxidação

do arsenito é lenta a pH neutros, porém, em soluções marcadamente ácidas o alcalinas, a oxidação acontece mais rapidamente (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

O As(+3) e o As(+5) formam compostos com ligações carbono-As.

A matéria orgânica não é determinante na sorção do arsênio, como o são alguns componentes das frações da argila, silte e areia. O processo de sorção-dessorção do arsênio destes componentes determina o nível de arsênio nas águas doces e seu movimento através da cadeia alimentar (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

O arsênio pode ser metilado por alguns organismos aquáticos, mas também pelos sedimentos naturais. Ainda são desconhecidos os fatores que controlam a metilação.

O As(+3) provoca inibição enzimática nos organismos aquáticos. Nas plantas aquáticas, a toxidez diminui com o aumento do pH no meio. Nos peixes, o arsênio total provoca toxidez aguda a concentrações entre 1 e 50 mg/l, embora algumas espécies possam tolerar até 1000 mg/l (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

Em seres humanos, o envenenamento agudo ocorre pela ingestão de comidas ou bebidas contaminadas. Os sintomas principais são desordens gastrointestinais e anomalias cardíacas.

5.1.6 Cobre

O cobre é mole e dúctil e apresenta uma alta condutividade térmica e elétrica. Está situado no primeiro grupo, quarto período da tabela periódica dos elementos. Seu número atômico é 29 e sua massa atômica é 63,54. Os isótopos do cobre são ^{63}Cu (70%) e ^{65}Cu (30%).

O Cu(+2) é o mais comum embora se conhecem complexos com estados de oxidação (+1), (+2) e (+3).

Nos meios aquáticos podem existir tres formas: particulado, coloidal e solúvel. A fase dissolvida pode conter o íon livre ou formar complexos com ligandos orgânicos e inorgânicos.

O cobre forma complexos com carbonatos, nitratos, sulfatos, cloretos, amônio e hidróxido. Nas águas naturais os materiais húmicos ligam mais do 90% do cobre total (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

O cobre é absorvido e adsorvido rapidamente nos sedimentos. A velocidade de sorção depende do tipo de sedimento, pH, presença de outros cátions, de ligandos e óxidos de ferro e manganês. A dessorção depende da salinidade, do pH e da presença de agentes quelantes naturais ou sintéticos (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

O cobre é altamente tóxico para a maioria das plantas aquáticas, para os invertebrados e para os peixes. O mercúrio é o único metal que o supera em toxidez para estos organismos.

O cobre inibe o crescimento das plantas aquáticas. A concentrações inferiores a 0.1 mg/l ele provoca a perda do potássio devido a um aumento da permeabilidade celular; ele inibe a evolução do oxigênio e a assimilação do carbono e provoca a diminuição da velocidade da fotossíntese. Sua toxidez é amortecida com a presença de substâncias complexantes (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

5.1.7 Cromo

O cromo ocorre nas águas residuárias das curtumes e das indústrias de tecidos.

O cromo é um metal branco, duro e brilhante com um ponto de fusão de 1860 °C. Localiza-se no sexto grupo e quarto período do sistema periódico dos elementos. Seu número atômico é 24 e sua massa atômica é 51,996. Os isótopos do cromo são ^{52}Cr (83,8%), ^{50}Cr (4,5%), ^{53}Cr (2,4%) e ^{54}Cr (2,33%). O ^{51}Cr , é o mais estável entre os isótopos radioativos. Tem uma meia vida de 27,8 dias.

O cromo ocorre em todos os estados de oxidação desde (-2) até (+6), porém os estados estáveis na natureza são o (+3) e o (+6).

Nas águas naturais oxigenadas, o Cr(+6) é termodinamicamente estável. Pode ser oxidado por Fe(+2), sulfetos dissolvidos e por alguns compostos orgânicos com grupos sulfidrilos (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

O Cr(+3) é oxidado rapidamente pelo MnO_2 , quando ocorre em excesso e é oxidado lentamente em condições ambientais.

O cromo não detrítico é transportado aos sedimentos de fundo pela matéria orgânica especialmente de origem terrestre e pelo cobrimento dos grãos por óxidos de ferro-manganês (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

Estima-se que o Cr(+6) é de 100 a 1000 vezes mais tóxico do que o cromo trivalente (GAULGLHOFER & BIANCHI, 1991).

Para os organismos aquáticos, a toxidez é variada. Nas plantas e nos peixes depende do pH.

O cromo não provoca toxidez aguda nos seres humanos. No ambiente natural, o Cr(+6) tende a ser reduzido a Cr(+3), amortecendo desta maneira o impacto dos despejos de cromo (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

5.2 PESTICIDAS ORGANOCLORADOS

5.2.1. Generalidades

A principal diferença entre os pesticidas e os elementos traços é que eles não ocorrem de forma natural no ambiente, mas são sintetizados artificialmente. Por este motivo eles são resistentes à degradação ambiental e são relativamente inertes com ácidos e bases, à oxidação, à redução e ao calor.

Os pesticidas são utilizados para combater vectores. Existem, então, inseticidas, herbicidas, racemicidas, fungicidas, etc.

Distinguimos quatro categorias de pesticidas:

1- Os compostos organoclorados. Tem estrutura C-H-Cl e em alguns casos contêm oxigênio. A este grupo pertencem o DDT, lindano, dieldrin, endrin, toxafeno, clordano, heptacloro.

2- Compostos organofosforados. Estão constituídos por ésteres fosforados. Contêm principalmente fósforo, oxigênio, hidrogênio, carbono e em alguns casos, enxôfre. Alguns exemplos deste tipo de compostos são paration, malation, fosdrina e o tetraetil pirofosfato (TEPP).

3. Compostos orgânicos ou organometálicos.

X 4. Substâncias minerais. Enxôfre, ^e CuSO₄, arsenato de chumbo e de cálcio.

Os pesticidas entram no organismo humano principalmente através da ingestão de peixes e outros organismos aquáticos (LACAYO & FOMSGAARD, 1992).

5.2.2 DDT

O DDT, (chamado comercialmente diclorodifeniltriclorometano) é sintetizado mediante a reação do cloral (tricloroacetaldeído) com clorobenzeno.

O DDT foi utilizado pela primeira vez durante a Segunda Guerra Mundial para combater a malária, o tífus e outras doenças transmitidas por vectores. A partir de 1946 começou a ser utilizado em grande escala na agricultura. Na actualidade, seu uso é restringido e até proibido em alguns países pela sua persistência no ambiente, susceptibilidade a percorrer grandes distâncias e seu carácter lipofílico. Em alguns países tropicais ainda é usado em forma extensiva na agricultura e no controle de vectores.

O DDT é um sólido branco cristalino, sem sabor e quase inodoro. A estrutura do DDT permite a formação de uma grande variedade de formas isométricas.

O termo também é usado para designar produtos comerciais que consistem principalmente de p,p'-DDT (OPS, 1987).

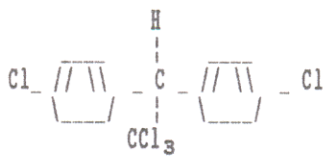
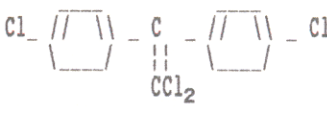
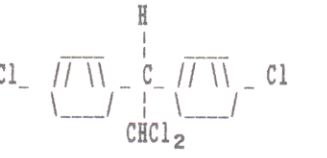
Todos os isômeros do DDT tem a fórmula empírica $C_{14}H_9Cl_5$. A temperatura de fusão se situa entre 108,5 a 109 °C.

O DDT é solúvel em solventes orgânicos tais como o benzeno, ciclohexano, cloroformo, solventes de petróleo e etanol. É quase insolúvel em água (solubilidade aproximadamente 1 µg/l), porém, é liposolúvel.

O p,p'-DDT se transforma em p,p'-DDE por dehidrocloração (CHAU & AFGHAN, 1982), quando é aquecido na água. Os organismos nas águas doces e nos sedimentos transformam o DDT em DDD e DDE. Porém, a hidrólise do DDE é muito lenta pela existência de grupos aril e

vinil extremamente estáveis. É por isto que o principal produto de degradação encontrado no ambiente é o DDE (BAILEY et al., 1978).

Tabela 7. Estrutura, peso molecular e fórmula empírica do DDT e seus principais metabolitos.

Composto	Fórmula empírica	PM	Estrutura
p,p'-DDT	$C_{14}H_9Cl_5$	380,9	 <p>1,1,1-Tricloro-2,2-bis(p-clorofenil) etano</p>
p,p'-DDE	$C_{14}H_8Cl_4$	318,1	 <p>1,1-Dicloro-2,2-bis[p-clorofenil]-etileno</p>
p,p'-DDD (TDE)	$C_{14}H_{10}Cl_4$	320,1	 <p>1,1- Dicloro-2,2-bis (p.clorofenil) etano</p>

PM: Peso Molecular

Fonte: CHAU & AFGHAN (1982)

O principal depósito dos pesticidas organoclorados são os sedimentos. A sorção (absorção e adsorção) dos pesticidas clorados pelas plantas aquáticas é rápida e eficiente. Nos invertebrados, o total dos resíduos depende da quantidade de gordura nos tecidos.

O DDT e os seus metabolitos são os que apresentam maiores fatores de concentração em peixes, se comparados com os outros pesticidas organoclorados.

Em plantas aquáticas, o DDT tem pouco efeito inibidor a concentrações menores que 1,0 µg/l. Algumas espécies podem até tornar-se tolerantes ao DDT. Porém, para os invertebrados ele é altamente tóxico (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984b).

A concentração letal (LC₅₀) geralmente é menor que 0,005 mg/l, embora a susceptibilidade à intoxicação varia em cada espécie. Assim os peixes são altamente sensíveis ao DDT, principalmente na fase de crescimento.

Segundo a OPS (1987) no caso dos seres humanos a relação entre a ocorrência de câncer e a exposição ao DDT, ainda não foi comprovada. Entretanto parece haver uma relação entre as concentrações de DDE em tecidos adiposos com a incidência de tumores malignos (Unger & Olson¹⁰ apud LACAYO & FOMSGAARD, 1992). Não há evidências se o DDT é teratogênico ou mutagênico.

5.2.3 Toxafeno

O toxafeno é um inseticida utilizado para combater lagartas, minhocas, gafanhotos, gorgulhos y ectoparasitos no gado bovino e caprino. No passado ainda recente foi amplamente aplicado nos cultivos de algodão, milho, trigo e outras culturas, até o ano 1982 em que a USEPA cancelou os principais usos do toxafeno (USEPA, 1988).

É um sólido de consistência cerosa e cor âmbar com um suave odor a terpeno. O toxafeno é uma mistura complexa de canfenos policlorados e bornanos e tem uma fórmula empírica de C₁₀H₁₀Cl₈.

¹⁰Unger M. & Olson, J. 1980. Environmental Research
23:257

O toxafeno mostra a tendência de aderir-se ao solo e resistir à migração e é portanto eliminado rapidamente da coluna da água.

Nos solos tem uma vida meia de 20 anos e degrada-se sob certas condições anaeróbicas. Nas espécies aquáticas é bioacumulado com facilidade.

Alguns estudos demonstram que o toxafeno ocupa o segundo lugar dos pesticidas organoclorados em toxidez aguda para os peixes (POLLOCK & KILGORE, 1978). Para os outros organismos aquáticos o toxafeno não é tão tóxico quanto para os peixes.

A tendência do toxafeno em acumular-se em organismos vivos através da cadeia alimentar foi investigado por Lowe et al. Eles encontraram resíduos de toxafeno de 30 ppm em ostras após 24 semanas de exposição a concentrações de 1 ppb. Após 16 semanas na água de mar não contaminada, ainda apresentavam concentrações de 3 ppm de toxafeno (Lowe et al.¹¹ apud LACAYO & FOMSGAARD, 1992). Hughes & Lee também demonstraram a biomagnificação do toxafeno em plancton lacustre (Hughes & Lee¹² apud LACAYO & FOMSGAARD, 1992).

Alguns dos efeitos da intoxicação crônica em organismos aquáticos é a redução da fertilidade, a diminuição do conteúdo de colágeno na espinha dorsal, mudanças na composição dos aminoácidos e aumento na concentração do cálcio. Nos mamíferos, aumento do tamanho do fígado (em ratos), inibição do desenvolvimento normal do útero, ossificação anormal dos fetos (em ratas prenhas).

¹¹Lowe, J.I; Wilson, P.D.; Rick, A.J.; Alfred, J. 1971. Chem. Abstr. 75:128793

¹²Hughes, R.A.; Lee, G.F. 1973. Environ. Sci. Technol. 7:934

Nos seres humanos o toxafeno ataca o sistema nervoso central, causando salivação, nervosidade, hiperexcitabilidade, tremor dos músculos ou espasmos, convulsões generalizadas, perda da consciência, náuseas e vômito após a ingestão. (LACAYO & FOMSGAARD, 1992).

6. METODOLOGIA

6.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

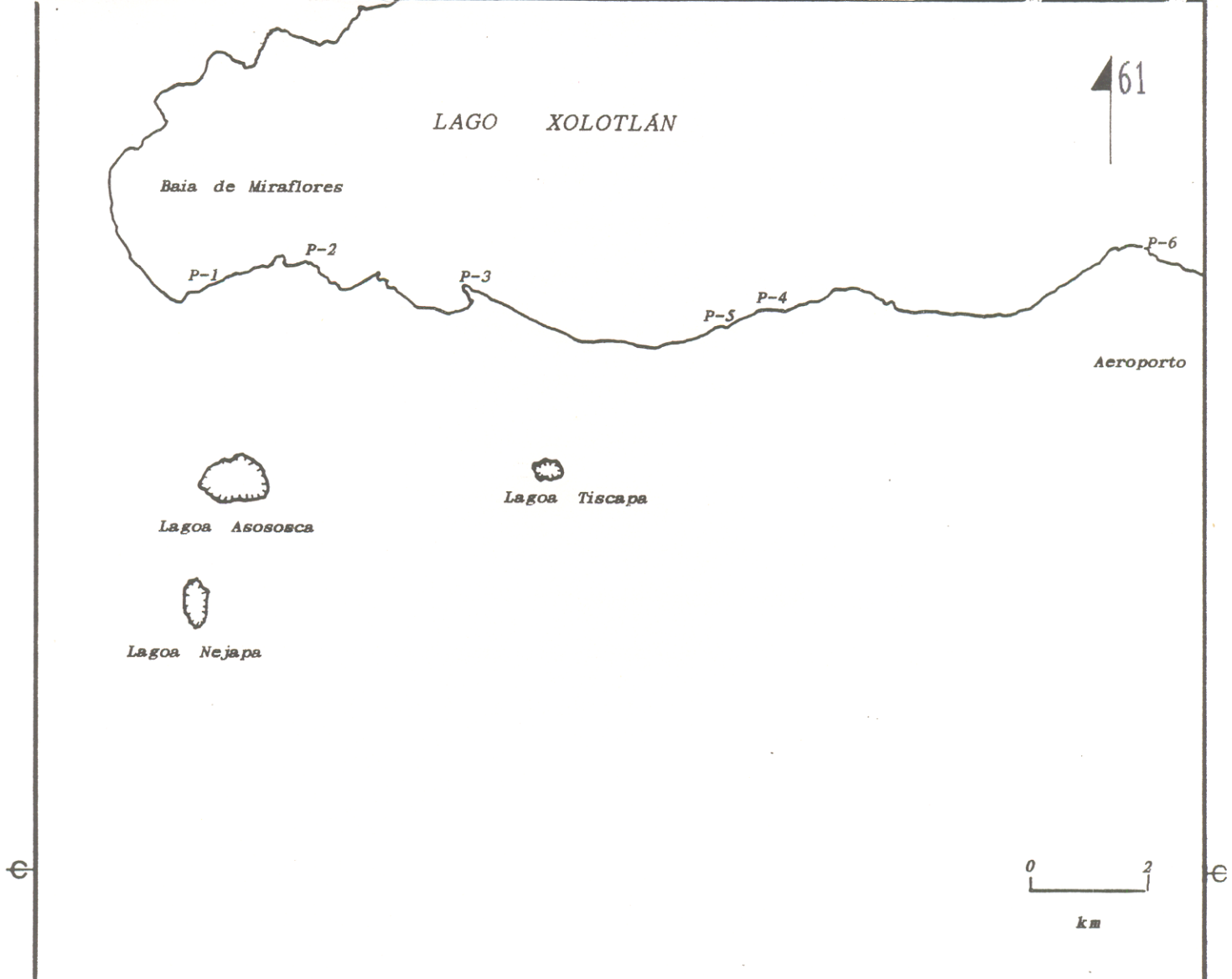
A área do estudo localiza-se na zona próxima à margem Sul do lago Xolotlán, ao Norte da cidade de Manágua. Estende-se lateralmente desde a Baía de Miraflores até o Aeroporto Internacional "Las Mercedes" e desde a costa até uma distância de 1000 metros em direção Norte (Figura 11).

6.2 AMOSTRAGEM

Foram traçados perfís de amostragem com direção Norte, desde a descarga de fontes pontuais no lago até uma distância da costa de 1000 metros na primeira amostragem, de 500 metros, na segunda e de 300 metros, na terceira.

A amostragem foi executada em lancha de motor. As distâncias foram medidas com cordas de 100 e 150 m de comprimento atadas, de um extremo ao barco e do outro a uma âncora e a uma bóia, de modo que a bóia marcasse a posição da âncora. A direção do perfil se manteve com a ajuda de uma bússula.

Coletaram-se amostras de água (para análises físico-químicas e de elementos traços), e de sedimentos de fundo (para análises de elementos traços e resíduos organoclorados), todos dois de forma superficial.



P-1 Perfil P-1


X  Lagoas de origem vulcânica

Figura 11. Localização da área de estudo

A amostragem foi realizada em tres campanhas. Na primeira, no início do período de chuva (meses Junho e Julho 1993), foram amostrados quatro perfís que partiram dos pontos de descarga de águas residuárias industriais (efluente do complexo industrial ELPESA-HERCASA-Refinaria ESSO); um coletor de esgotos (Rubén Darío¹³) e um canal de drenagem pluvial e frente ao lixão Acahualinca.

Os pontos amostrados em cada perfil corresponderam às distâncias 0, 50, 100, 250, 500, 750 e 1000 metros da costa. Na Tabela 8 são mostradas as datas de amostragem.

Tabela 8. Data de amostragem dos perfís no lago Xolotlán

Perfil e Localização	1a. amostragem	2da. amostragem	3a. amostragem
P-1 Frente ao efluente do complexo ind. ELPESA-HERCASA-REFINARIA	18/06/93	21/10/93	02/07/94
P-2 Frente ao Lixão Acahualinca	24/06/93	21/10/93	
P-3 Frente ao coletor do Rubén Darío	01/07/93	25/10/93	02/07/94
P-4 Frente ao canal Oriental	09/07/93	25/10/93	
P-5 Frente ao coletor do Armando Guido	11/10/93	09/11/93	
P-6 Frente a coletor da FAS	11/10/93	09/11/93	

Em dois perfís não foi possível coletar as amostras correspondentes a 50 metros (P-1) e 0, 500 e 100 metros (P-2) pela pouca profundidade da água nesses pontos, por causa de um longo período de estiagem que foi secando o lago.

Na segunda campanha, no final das chuvas (meses Outubro e Novembro), além dos perfís da primeira amostragem, foram adicionados mais dois perfís que partiram desde pontos de descarga de coletores de esgotos (Armando Guido e Fuerza Aérea Sandinista).

¹³Os coletores de esgotos foram designados segundo a sua localização

Esta segunda campanha formou parte da segunda fase do projeto "Salvamente do lago de Managua" (Seção 3.1).

Os pontos amostrados correspondem às mesmas distâncias da primeira amostragem porém, até os 500 metros. Foi possível amostrar todos os pontos.

Uma terceira campanha de amostragem no mes de Julho de 1994, foi efetuada para quantificar, nos sedimentos do lago Xolotlán, os níveis de contaminação por pesticidas organoclorados. Foram amostrados os perfís P-1 e P-3 por serem os que apresentavam uma maior contaminação nas análises qualitativas realizadas na primeira amostragem. As amostras foram coletadas a cada 100 metros até 200m num perfil e até 300m no outro perfil.

6.3 COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS

As amostras de água foram coletadas em recipientes adequados, por debaixo da superfície de água e foram conservadas cada uma de acordo com o método de análise (Tabela 9). As amostras de sedimentos foram coletadas com uma draga tipo van Veen e colocadas em sacos de polietileno para análises de elementos traços e em folha de alumínio, para análises de pesticidas organoclorados.

Tabela 9. Recipientes de coleta de amostras de água e sua preservação

Parâmetro analisado	Recipiente	Preservação
Temperatura	in situ	
pH, condutividade Turbidez, Sólidos, Ions, Fósforo, Nitratos, Nitritos	Frasco de polietileno de 3,78 litros	
Amônio	Garrafa de vidro cor âmbar 1 litro	2 ml H ₂ SO ₄ Conc.
DBO ₅	Frasco de polietileno 1 litro	Refrigeração em termo com gelo
DQO	Frasco de boca esmerilada 150 ml	1 ml H ₂ SO ₄ Conc.
Elementos Traços	Frasco de polietileno 1 litro	2 ml de HNO ₃

6.4 MÉTODOS ANALÍTICOS

6.4.1 Variáveis analisadas

As variáveis determinadas foram elementos traços, resíduos organoclorados e variáveis físicas e físico-químicas.

Os elementos traços determinados foram cromo, cobre, arsênio, mercúrio, cádmio e chumbo em água e em sedimentos.

Amostras de sedimentos foram analisadas para determinar as concentrações dos pesticidas organoclorados Σ DDT e toxafeno.

As variáveis físicas e físico-químicas determinadas foram temperatura, pH, condutividade, turbidez, sólidos totais, (dissolvidos e fixos), fósforo (total, total dissolvido e ortofosfato dissolvido), nitrogênio (amônio, nitrato e nitrito) e concentrações iônicas para alcalinidade, sódio, potássio, cálcio, boro, ferro, dureza, cloreto, sulfato, sílica e fluoreto.

6.4.2 Métodos analíticos

6.4.2.1 Métodos de análise dos elementos traços

Os elementos traços cromo, cobre, arsênio, mercúrio, cádmio e chumbo em águas e em sedimentos foram analisados pelo método de absorção atômica em espectrômetro VARIAN SPECTRAA-20.

Para as análises de mercúrio (água e sedimentos) utilizou-se a técnica de vapor frio, com gerador de vapor VGA-76.

O arsênio em água foi dosado pela técnica de geração de hidretos, com o dispositivo VGA-76.

A técnica do forno de grafite foi usada para as análises de cromo, cobre, cádmio e chumbo na água.

Nos sedimentos, o cromo, cobre, arsênio, cádmio e chumbo foram analisados pela técnica de atomização na chama ar/acetileno.

Os procedimentos usados para as análises dos elementos traços são aqueles usados no laboratório de absorção atômica do CIRA que constituem adaptações dos métodos indicados pelo STANDARD METHODS (APHA, 1992) e pelos manuais dos aparelhos VARIAN.

As amostras de água foram evaporadas até um volume de 10 a 20 ml numa chapa a uma temperatura menor do que o ponto de ebulição do elemento analisado. Após o esfriamento, as amostras foram aferidas a 100 ml e dosadas no espectrômetro de absorção atômica.

Foram utilizados 1,5 g de amostra de sedimento para determinar Pb e 0,2 g para determinar Cr, Cu, Cd, As e Hg. As amostras passaram por um processo de digestão com ácido nítrico e ácido clorídrico em banho maria a uma temperatura dentre 60°C (Hg) e 80°C. Após o esfriamento foram aferidas a 100 ml e logo em seguida dosadas no espectrômetro.

Os comprimentos de onda usados na leitura de cada elemento foram Cr, 357,9 nm; Cu, 324,7 nm; As, 193,7 nm; Hg, 253,7 nm; Cd, 228,8 nm; Pb em água, 283,3 nm e Pb em sedimentos, 217,0 nm.

6.4.2.2 Método de análise dos pesticidas organoclorados

Para a análise de resíduos organoclorados em sedimentos foi utilizado o método de cromatografia gasosa.

Não houve análises de pesticidas organoclorados nas águas porque um trabalho anterior demonstrou que suas concentrações no lago Xolotlán são inferiores aos limites de detecção do método de análise (CALERO et al., 1992).

Utilizou-se 10 g de sedimento homogenizado, centrifugado e extraído sucessivamente com 20 ml de acetona e 50 ml de n-hexano. A fase orgânica, depois de ser concentrada a 5 ml e aferida a 10

ml, foi passada por uma coluna cromatográfica com 2,5 g de silicagel e 50 ml de n-hexano para eliminar a cor.

O enxôfre da porção que atravessou a coluna de silicagel, depois de concentrada a um volume de 2 ml e aferida a 5 ml, foi destruído para eliminar interferências (Jensen, Renberg, Reutergardh¹⁴ apud CALERO, 1992).

Depois foram efetuadas destruições ácidas para a determinação da ΣDDT e destruições alcalinas para a determinação de toxafeno (Atuma, Jensen, Mowrer, Orn¹⁵ apud CALERO, 1992). Como padrão interno foi utilizado HCB (20 µg/l), um composto nunca foi usado até então em Nicarágua (CALERO, 1992). Um branco foi preparado com igual tratamento que as amostras.

A dosagem foi realizada no cromatógrafo de gas VARIAN 3400 com detector de captura eletrônica ⁶³Ni e detector termoiônico específico.

Como gás "make-up" foi utilizado o nitrogênio e como gas carregador, hidrogênio com uma velocidade linear de 55 cm/s. Foi injetado um volume de 1 µg/l no mode "splitless".

A determinação da concentração foi calculada com relação à área do padrão interno e do composto no cromatograma, levando em conta a percentagem de recuperação do padrão interno.

6.4.2.3 Métodos de análise das variáveis físicas e físico-químicas

Foram utilizados os seguintes métodos, descritos por APHA (1992):

¹⁴Jensen, S.; Renberg, L.; Reutegardh, L. 1977. Analytical Chemistry 49 316

¹⁵Atuma, S.S.; Jensen, S.; Mowrer, J.; Orn, U. 1986. Intern. J. Environ. Anal. Chem. 24 213.

Temperatura. Foi medida com termômetro de mercúrio no ponto de amostragem.

pH. Método eletrométrico, com pH-metro digital Knick 646.

Condutividade. Método potenciométrico, com condutímetro Crison 522.

Turbidez. Método nefelométrico, com turbidímetro Sargent-Welch S-83700.

Demanda Química de Oxigênio aos 5 dias ($DBO_{5\text{ dias}}$). Método de diferença de oxigênio dissolvido antes e após incubação por 5 dias a 20 °C, da amostra diluída. O oxigênio dissolvido foi calculado pelo método da modificação da azida, em que o oxigênio foi medido pelo consumo de tiosulfato de sódio 0,025N($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) sendo o indicador, amido.

Demanda Química de Oxigênio. Método do refluxo aberto. A amostra em solução fortemente ácida com um excesso de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) foi digestada. O $K_2Cr_2O_7$ não reduzido foi medido pelo consumo de Ferro Sulfato de Amônio (FAS) 0,25N usando como ferroin (mistura de monohidrato de fenantrolina e sulfato de ferro) como indicador.

Sólidos Totais. Método dos sólidos totais secados a 103° - 105°C. O resíduo foi pesado na balança analítica Mettler AE 160.

Sólidos Totais Dissolvidos. Método dos sólidos totais dissolvidos secados a 103° - 105 °C. A amostra filtrada em membrana de fibra de vidro de 0,45 µm de diâmetro foi secada em forno e o resíduo foi pesado na balança analítica Mettler AE 160.

Sólidos Totais em Suspensão. Calculado pela diferença entre sólidos totais e sólidos totais dissolvidos.

Sólidos Totais Fixos. Método da calcinação a 500 °C na mufla e o resíduo foi pesado na balança Mettler AE 160. O resíduo constitui a fração de sólidos totais fixos.

Sólidos Totais Voláteis. Foi determinada pelo mesmo método de determinação dos sólidos totais fixos com a diferença que a fração perdida por ignição corresponde aos sólidos totais voláteis.

Sódio e potássio. Método da fotometria de emissão na chama (3500-Na D e 3500-K D), no fotômetro de chama Corning 410, com um comprimento de onda de 589 e 766,5 nm, nessa ordem.

Alcalinidade. Método titrimétrico. A alcalinidade foi medida pelo consumo de ácido sulfúrico 0,2 N, utilizando fenolftaleína como indicador.

Dureza. Método titrimétrico com EDTA. O pH da amostra foi ajustado a 10 e a dureza foi medida pelo consumo de EDTA (ácido etilenodiaminatetraacético) 0,02N, e como indicador, o NET (Negro de eriocromo T).

Cálcio. Método titrimétrico com EDTA. O pH da amostra foi ajustado a 12 e o cálcio foi medido pelo consumo de EDTA 0,02N e murexida como indicador.

Magnésio. Calculado pela diferença entre o valor da dureza e o valor obtido na análise do cálcio.

Cloreto. Método argentométrico. A concentração do cloreto foi medida pelo consumo de AgNO_3 0,014N, com indicador de K_2CrO_4 (1 ml de K_2CrO_4 por cada 100 ml de amostra).

Ferro total, sílica, boro, fluoreto e nitrito foram determinados pelo método colorimétrico e dosagem em espectrofotômetro Varian UV-Visible DMS 80 com cubeta de 1 cm.

Ferro total. Método da fenantrolina a um comprimento de onda de 510 nm.

Sílica. Método do molibdosilicato a um comprimento de onda de 660 nm.

Boro. Método da curcumina a um comprimento de onda de 540 nm.

Fluoreto. Método do SPADNS a um comprimento de onda de 570 nm.

Nitrito. Método da sulfanilamida (RODIER, 1981) a um comprimento de onda de 543 nm.

Amônio, fósforo total, fósforo total dissolvido e ortofosfatos dissolvidos também foram determinados pelo método colorimétrico, mas dosagem no espectrofotômetro SHIMADZU UV-1201.

Amônio. Método do fenato com comprimento de onda de 630 nm.

Fósforo total, total dissolvido e ortofosfato dissolvido. Método do ácido ascórbico, com digestão prévia com ácidos nítrico e sulfúrico para o fósforo total e o fósforo total dissolvido para transformá-los a ortofosfatos e dosagem a um comprimento de onda 880 nm.

Nitrato e sulfato foram determinados por cromatografia de íons no cromatógrafo DIONEX DX-100. A amostra filtrada previamente através de membrana de fibra de vidro de 0,45 µm de diâmetro é injetada no cromatógrafo. Os ânions de interesse são determinados pela medição da altura do pico do cromatograma comparado aos padrões.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 ELEMENTOS TRAÇOS

7.1.1 Elementos traços em águas

Os limites máximos estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, Brasil) em águas salobras destinadas á recreação de contato primário (e evidentemente o lago Xolotlán não pode ser usado para tal fim), à proteção de comunidades aquáticas e à criação de espécies destinadas à alimentação humana são: As, 0,05 ppm; Cd, 0,005 ppm; Pb, 0,01 ppm; Cu, 0,05 ppm; Cr hexavalente, 0,05 ppm e Hg, 0,0001 ppm (GARCIA, 1988).

Os teores de todos os elementos traços determinados no lago Xolotlán foram inferiores a esses limites, com exceção do chumbo no ponto de descarga do efluente do complexo industrial ELPESA-HERCASA-Refinaria ESSO (primeira amostragem) e do mercúrio, só no perfil P-1 na primeira amostragem e nos perfís P-1, P-2 e P-3, na segunda.

Entretanto, as concentrações desses elemento em águas não contaminadas são inferiores que os valores limites estabelecidos pelas diferentes organizações e legislações.

As águas naturais contêm entre 1 e 10 μg de cromo/l (GAUGLHOFER & BIANCHI, 1991). A maioria das concentrações de cromo das amostras coletadas na área de estudo estiveram nessa faixa ou foram inferiores ao valor mínimo. Os únicos pontos onde as concentrações ultrapassam os limites foram nos primeiros 50 metros do perfil P-3, na segunda amostragem com 37,6 e 23,6 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Tabela 10).

Tabela 10. Concentrações de cromo em água [$\mu\text{g/l}$] de todos os perfis amostrados no lago Xolotlán

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	<LD	0,27	n/a	<LD	<LD	37,60	3,62	0,72	<LD	7,84	<LD	2,51
50	n/a	0,63	n/a	0,26	<LD	23,63	0,22	<LD	<LD	1,82	<LD	1,28
100	<LD	0,64	n/a	0,33	<LD	7,26	<LD	<LD	<LD	0,97	<LD	<LD
250	<LD	0,41	<LD	0,10	<LD	5,19	<LD	0,42	<LD	<LD	<LD	<LD
500	<LD	0,39	<LD	0,43	<LD	<LD	0,32	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
750	<LD	n/a	<LD	n/a	<LD	n/a	<LD	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	<LD	n/a	<LD	n/a	<LD	n/a	<LD	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

L.D. = 0.1 $\mu\text{g/l}$ Tabela 11. Concentrações de cromo em sedimentos [$\mu\text{g/g}$] de todos os perfis amostrados no lago Xolotlán

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	27,50	29,40	n/a	24,80	23,10	20,80	8,30	9,20	24,15	28,12	20,18	21,35
50	n/a	25,80	n/a	22,80	17,10	18,40	19,30	5,20	17,49	24,31	17,49	19,12
100	21,70	22,70	n/a	15,40	7,10	13,20	5,90	3,80	14,72	18,45	13,20	12,58
250	24,30	23,50	23,80	12,60	5,30	10,70	9,80	5,80	19,48	18,57	12,41	10,94
500	14,20	15,10	11,70	9,40	0,40	5,30	12,20	3,90	10,25	12,57	17,22	18,42
750	8,50	n/a	17,30	n/a	13,60	n/a	5,20	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	12,00	n/a	16,70	n/a	7,40	n/a	5,80	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Tabela 12. Concentrações de cobre em água [$\mu\text{g/l}$] de todos os perfis amostrados no lago Xolotlán

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	1,44	12,15	n/a	1,21	3,27	4,87	6,60	3,06	1,89	2,46	4,83	3,72
50	n/a	9,42	n/a	7,71	5,22	7,23	9,63	2,55	8,57	2,58	6,75	2,19
100	6,69	13,65	n/a	4,11	3,69	<LD	5,70	2,41	9,95	5,07	5,62	2,49
250	8,13	6,06	6,24	3,00	0,59	4,31	5,37	2,58	10,82	2,49	8,49	2,22
500	9,00	12,27	6,36	2,78	1,80	0,70	5,04	3,00	8,91	2,50	9,78	2,73
750	5,16	n/a	5,70	n/a	2,10	n/a	4,89	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	4,17	n/a	5,55	n/a	3,09	n/a	2,58	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

L.D. = 0.26 $\mu\text{g/l}$ Tabela 13. Concentrações de cobre em sedimentos [$\mu\text{g/g}$] de todos os perfis amostrados no lago Xolotlán

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	262,00	164,40	n/a	69,30	160,00	193,50	57,00	68,00	75,80	68,40	191,30	187,94
50	n/a	187,60	n/a	129,70	141,00	161,90	145,00	145,90	97,50	70,80	152,80	160,11
100	187,00	180,30	n/a	228,20	136,00	155,70	133,00	163,00	156,20	99,47	120,60	130,54
250	151,00	159,90	98,00	177,60	278,00	216,90	111,00	135,00	150,20	121,34	99,40	89,39
500	175,00	145,30	113,00	161,60	133,00	137,20	113,00	111,20	143,20	142,24	71,20	69,78
750	188,00	n/a	158,00	n/a	131,00	n/a	101,00	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	99,00	n/a	163,00	n/a	70,00	n/a	78,00	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

<LD: menor que o limite de detecção

1: Primeira amostragem (Junho-Julho 1993)

n/a: não foi amostrado

2: Segunda amostragem (Outubro-Novembro 1993)

O **cobre** solúvel ocorre numa faixa de 0,5 a 1,0 $\mu\text{g/l}$ nas águas naturais não contaminadas (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a). Todas as amostras, com exceção de tres casos isolados, registraram concentrações maiores que variaram entre 1,2 e 13,6 $\mu\text{g/l}$ (Tabela 12).

As concentrações de **arsênio** na maioria das água naturais não contaminadas são menores que 1 $\mu\text{g/l}$ (van der Veer & Huizenga; Waslenchuk, citados por MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a); no lago Xolotlán, as concentrações detectadas variaram entre inferiores ao limite de detecção para o arsênio (1,7 $\mu\text{g/l}$) e 18,98 $\mu\text{g As/l}$ (Tabela 14). O valor médio de 18 estações documentadas no lago foi de 19,11 $\mu\text{g/l}$ (LACAYO et al., 1992). Os valores maiores foram detectados na parte norte do lago, possivelmente associados aos efluentes da planta geotérmica alí localizada (Figura 3). Porém, as concentrações encontradas em outros lagos nicaragüenses de origem vulcânico foram de 25,15 e 78,15 $\mu\text{g As/l}$ (Cruz¹⁶ apud LACAYO et al, 1992).

Na maior parte dos pontos de amostragem (56%) do presente trabalho não foram detectadas concentrações de **mercúrio** em água. Um 28% das amostras apresentaram concentrações entre 0,04 e 0,09 $\mu\text{g/l}$ e as restantes (16%) correspondem a amostras contaminadas. Do total de amostras contaminadas, 81% foram coletadas no perfil P-1 (Tabela 16).

¹⁶A. Cruz. Informação verbal

Tabela 14. Concentrações de arsênio em água [$\mu\text{g/l}$]

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	3,25	2,98	n/a	3,21	1,74	4,28	<LD	3,21	7,17	6,83	2,85	<LD
50	n/a	7,26	n/a	8,54	2,64	9,48	2,18	3,54	16,45	5,74	6,36	2,32
100	2,89	3,17	n/a	3,58	<LD	7,16	2,14	5,17	16,92	4,48	13,75	4,91
250	2,45	2,17	2,29	2,54	1,92	3,27	2,21	2,56	16,85	3,29	13,86	2,75
500	3,00	2,93	1,68	2,36	2,02	5,94	2,38	4,83	18,98	<LD	14,07	3,81
750	2,87	n/a	2,67	n/a	1,99	n/a	2,18	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	<LD	n/a	2,20	n/a	2,08	n/a	1,89	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

L.D. = 1.7 $\mu\text{g/l}$ Tabela 15. Concentrações de arsênio em sedimentos [$\mu\text{g/g}$]

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	9,12	9,89	n/a	11,25	9,26	8,49	6,73	7,78	2,15	3,12	9,35	9,28
50	n/a	8,53	n/a	10,47	8,41	7,55	5,79	8,19	3,45	3,51	5,48	4,99
100	7,25	7,92	n/a	8,79	7,59	7,84	4,28	5,44	4,15	4,25	6,14	6,58
250	6,45	7,42	6,28	6,27	5,34	6,59	5,19	3,41	4,10	3,89	7,82	5,49
500	3,45	6,29	7,42	4,35	8,19	3,51	3,98	5,54	6,28	5,78	5,26	5,22
750	8,76	n/a	9,47	n/a	3,72	n/a	6,24	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	7,49	n/a	5,29	n/a	2,89	n/a	1,26	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Tabela 16. Concentrações de mercúrio em água [$\mu\text{g/l}$]

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	0,54	0,59	n/a	<LD	<LD	0,06	<LD	0,11	0,04	0,04	<LD	0,13
50	n/a	0,28	n/a	0,05	0,07	0,09	0,06	0,05	<LD	0,08	0,11	0,05
100	0,11	0,31	n/a	<LD	0,05	<LD	0,04	<LD	<LD	<LD	0,05	<LD
250	0,12	0,09	<LD	<LD	0,08	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
500	0,09	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07	<LD	<LD	<LD
750	0,15	n/a	<LD	n/a	<LD	n/a	<LD	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	0,08	n/a	<LD	n/a	<LD	n/a	<LD	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

L.D. = 0.03 $\mu\text{g/l}$ Tabela 17. Concentrações de mercúrio em sedimentos [$\mu\text{g/g}$]

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	61,39	53,78	n/a	2,12	0,49	0,29	0,02	0,15	1,28	2,15	1,05	1,31
50	n/a	19,47	n/a	1,57	0,36	0,34	0,59	0,11	0,16	1,49	1,00	0,85
100	3,80	2,89	n/a	1,72	0,28	0,16	0,35	0,07	0,11	0,72	0,05	0,52
250	4,42	3,72	1,16	1,02	0,75	0,09	0,38	0,09	0,09	0,28	0,03	0,09
500	2,20	1,99	1,27	1,25	0,08	0,14	0,71	0,10	0,10	0,15	0,08	0,07
750	2,14	n/a	1,36	n/a	0,16	n/a	0,36	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	6,67	n/a	1,29	n/a	0,31	n/a	0,14	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Num perfil paralelo à costa Sul do lago Xolotlán, LACAYO, et al. (1991) encontraram uma concentração média de 0,16 µg Hg/l. Essa média não inclui as concentrações excessivamente altas encontradas no ponto mais próximo à descarga do complexo industrial ELPESA-HERCASA-Refinaria ESSO, de 787 µg/l em janeiro 1989 e de 545 µg/l em abril do mesmo ano. Eles explicam as diferenças de concentrações obtidas nas duas amostragens pelas possíveis diferenças nas vazões da indústria cloro-álcali, que na época ainda estava funcionando.

As concentrações de **cádmio** dissolvido e particulado em águas não contaminadas são inferiores a 0,1 µg/l (STOEPPLER, 1991). Na primeira amostragem, as concentrações de cádmio do lago Xolotlán encontraram-se entre 0,31 e 3,12 µg/l (Tabela 18). Na segunda amostragem, a maioria das concentrações foram inferiores ao limite de detecção para o cádmio (0,02 ppb) e as outras variaram entre 0,31 e 1,43 µg/l.

O **chumbo** solúvel ocorre em águas naturais não contaminadas em concentrações ≤ 3 µg/l (Förstner & Wittman apud MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a) mas pode ser maior perto das cidades pela combustão de gasolina (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a). No litoral do lago Xolotlán, excetuando a concentração encontrada no perfil P-1 no ponto de descarga na primeira amostragem (10,6 µg/l), obteve-se uma média de 1,4 µgPb/l, variando entre concentrações inferiores ao limite de detecção (0,94 µg/l) e 9,3 µg/l (Tabela 20).

Tabela 18. Concentrações de cádmio em água [$\mu\text{g/l}$]

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	1,19	<LD	n/a	<LD	0,88	0,12	1,51	<LD	2,49	<LD	1,49	<LD
50	n/a	1,43	n/a	<LD	1,75	<LD	1,16	<LD	3,58	0,31	3,57	<LD
100	2,57	<LD	n/a	<LD	2,30	<LD	1,58	0,32	2,92	<LD	4,58	<LD
250	2,37	<LD	2,43	<LD	2,15	<LD	1,95	0,15	1,08	<LD	3,20	0,01
500	2,45	<LD	1,06	<LD	2,05	<LD	1,96	0,48	3,56	<LD	2,19	<LD
750	3,00	n/a	0,85	n/a	2,17	n/a	0,31	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	3,12	n/a	2,16	n/a	2,19	n/a	0,80	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

L.D. = 0.02 $\mu\text{g/l}$ Tabela 19. Concentrações de cádmio em sedimentos [$\mu\text{g/g}$]

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	2,01	2,78	n/a	2,14	2,65	2,66	3,98	3,05	1,79	2,04	1,73	1,85
50	n/a	2,99	n/a	3,32	2,64	3,00	3,97	2,93	1,45	1,25	1,04	1,00
100	4,01	2,95	n/a	3,05	3,99	2,99	3,31	2,79	1,12	1,30	0,87	0,87
250	2,65	2,96	2,66	2,65	3,31	2,86	2,66	2,65	1,35	1,05	0,93	0,78
500	2,70	2,53	2,65	2,59	4,00	3,06	3,93	2,13	0,99	1,12	0,85	0,91
750	4,69	n/a	4,67	n/a	5,31	n/a	2,65	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	0,67	n/a	4,00	n/a	3,99	n/a	1,98	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Tabela 20. Concentrações de chumbo em água [$\mu\text{g/l}$]

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	10,59	5,89	n/a	<LD	2,89	4,28	1,84	<LD	2,73	<LD	<LD	<LD
50	n/a	3,48	n/a	<LD	4,25	6,83	0,99	9,33	1,26	<LD	3,45	<LD
100	7,15	<LD	n/a	<LD	1,35	3,28	<LD	<LD	1,95	<LD	<LD	<LD
250	5,28	<LD	1,54	<LD	<LD	2,49	<LD	<LD	1,86	1,14	<LD	<LD
500	4,80	<LD	2,06	<LD	<LD	1,87	<LD	<LD	1,80	<LD	<LD	0,71
750	2,58	n/a	1,26	n/a	<LD	n/a	<LD	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	1,28	n/a	<LD	n/a	<LD	n/a	<LD	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

L.D. = 0.94 $\mu\text{g/l}$ Tabela 21. Concentrações de chumbo em sedimentos [$\mu\text{g/g}$]

Dist. da costa [m]	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		P-6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0	55,00	50,40	n/a	1,70	120,00	133,70	3,30	15,30	44,28	47,85	42,19	44,96
50	n/a	61,80	n/a	41,20	42,00	71,30	50,00	28,00	36,79	42,71	50,18	52,37
100	36,30	37,40	n/a	55,10	8,70	60,50	6,70	46,60	41,72	40,83	38,59	43,29
250	58,00	34,80	50,00	57,70	1,20	7,30	18,70	2,00	38,27	34,78	43,87	39,85
500	28,70	22,00	32,00	40,60	1,10	11,30	8,60	3,00	66,24	58,12	39,48	40,08
750	42,00	n/a	46,60	n/a	12,70	n/a	1,50	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1000	29,30	n/a	12,00	n/a	15,30	n/a	7,80	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

A distribuição sazonal dos elementos traços observada no lago Xolotlán foi bastante irregular (Figura 12), sendo marcante a concentração maior do cromo encontrada no perfil P-3 na segunda amostragem. Isto aponta para um aumento do input de cromo no lago a partir do coletor do Rubén Darío.

O cromo, de modo geral apresentou maiores concentrações na segunda amostragem possivelmente devido à diminuição no conteúdo do ferro total (Seção 7.3). O ferro é um dos principais meios de transporte do cromo aos sedimentos de fundo (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

As concentrações dos elementos traços em água não fornecem uma visão clara das fontes de contaminação nos sistemas aquáticos, já que sua ocorrência depende de condições físico-químicas como pH, presença de agentes complexantes, remobilização de sedimentos pela ação do vento ou de correntes, dentre outras.

O pH nas águas naturais determina a solubilidade e a espécie química das substâncias. Os hidróxidos de Cr^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , e Hg^{2+} são insolúveis a um pH próximo de 9. Todos precipitam a $\text{pH} \leq 7$ (Dean, et al¹⁷. apud MOORE & MOORE, 1976). Concentrações baixas de carbonato eliminam os cátions em solução (SAWYER & McCARTY, 1978).

Em baixas concentrações a espécie de mercúrio que predomina a um $\text{pH} > 7$ é o $\text{Hg}(\text{OH})_2$ (Figura 13) mas a concentrações mais elevadas, pode ocorrer precipitação de HgO (SAWYER & McCARTY, 1978).

¹⁷J.D. Dean, F.L. Bosqui, K.H. Lanouette. 1972. Environ. Sci. Technol. 6(6), 518-22

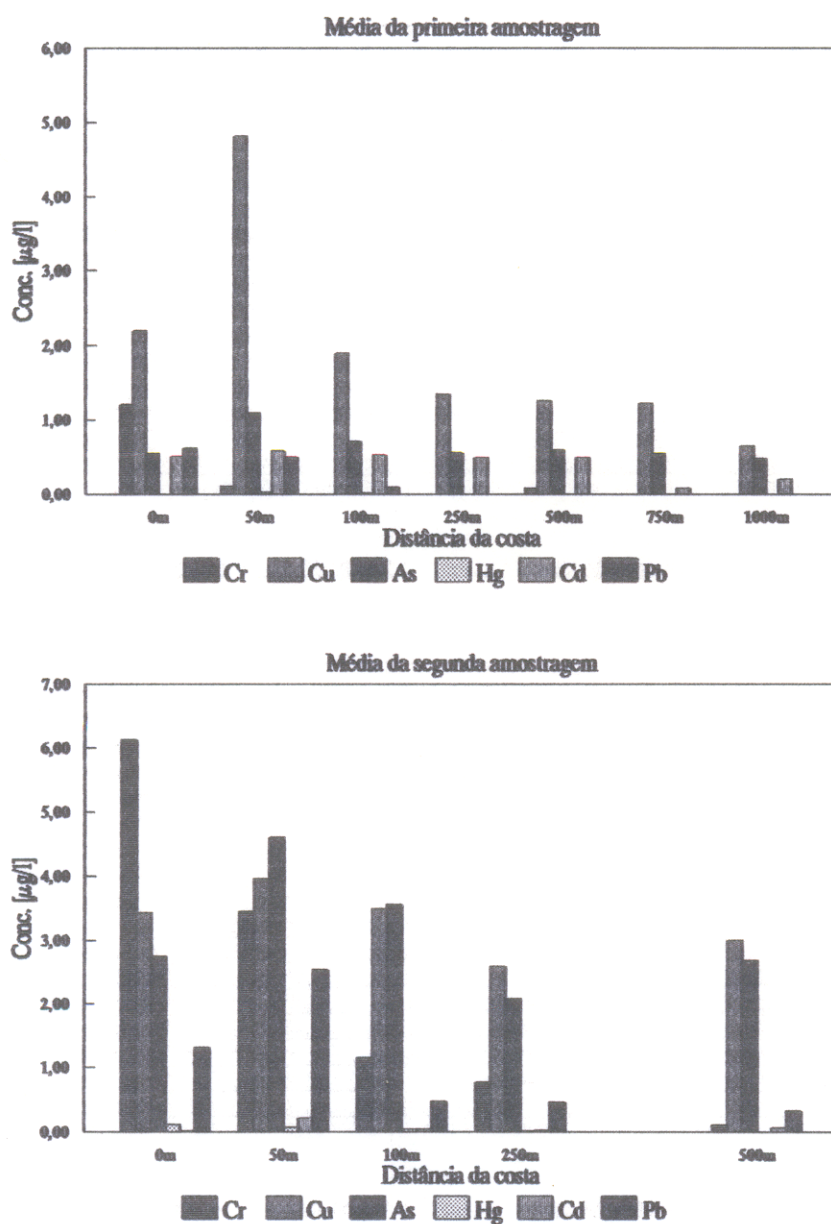


Figura 12. Variação sazonal das concentrações de elementos traços em água

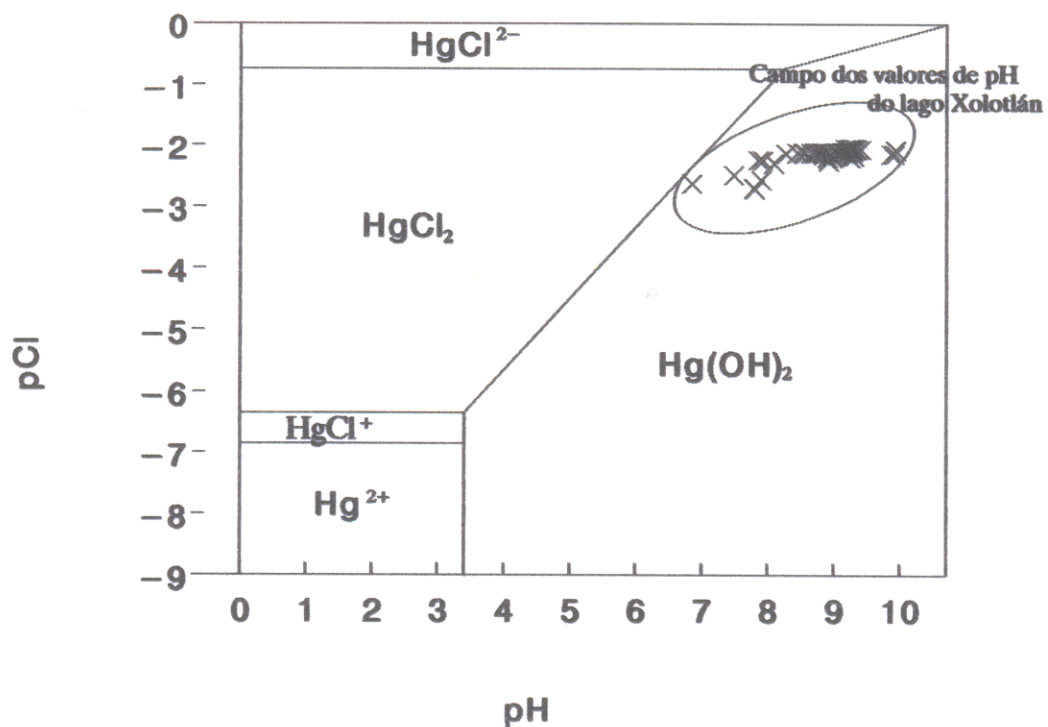


Figura 13 Especificação química do mercúrio no lago Xolotlán
Adaptação de SAWYER & McCARTY (1978)

Tabela 21. Parâmetros utilizados na construção da Figura 13

MUESTRA	pH(1a. amost)	pH(2a. amost)	pCl(1a. amost.)	pCl(2a. amost.)
P.1 0m	8,45	8,74	-2,12	-2,12
P.1 50m		8,82		-2,12
P.1 100m	10,01	8,88	-2,11	-2,12
P.1 250m	9,87	8,86	-2,14	-2,12
P.1 500m	9,92	8,81	-2,15	-2,12
P.1 750m	9,94		-2,09	
P.1 1000m	9,94		-2,08	
P.2 0m		8,53		-2,12
P.2 50m		8,57		-2,13
P.2 100m		8,66		-2,13
P.2 250m	9,20	8,70	-2,08	-2,12
P.2 500m	9,24	8,75	-2,06	-2,12
P.2 750m	9,25		-2,07	
P.2 1000m	9,30		-2,07	
P.3 0m	6,85	8,09	-2,63	-2,30
P.3 50m	8,27	9,05	-2,13	-2,16
P.3 100m	9,05	9,20	-2,11	-2,12
P.3 250m	9,25	9,26	-2,06	-2,10
P.3 500m	9,27	9,27	-2,05	-2,09
P.3 750m	9,31		-2,06	
P.3 1000m	9,40		-2,07	
P.4 0m	8,91	7,48	-2,26	-2,50
P.4 50m	9,12	9,03	-2,11	-2,14
P.4 100m	9,22	9,13	-2,10	-2,12
P.4 250m	9,23	9,28	-2,06	-2,10
P.4 500m	9,18	9,26	-2,06	-2,10
P.4 750m	9,21		-2,07	
P.4 1000m	9,34		-2,06	
P-5 0m	7,92	7,86	-2,25	-2,25
P-5 50m	9,06	8,84	-2,13	-2,15
P-5 100m	8,98	8,95	-2,14	-2,15
P-5 250m	9,15	9,17	-2,12	-2,11
P-5 500m	9,26	9,33	-2,09	-2,08
P-6 0m	7,80	7,79	-2,73	-2,71
P-6 50m	7,90	8,90	-2,58	-2,21
P-6 100m	9,17	8,96	-2,14	-2,19
P-6 250m	9,24	9,20	-2,20	-2,13
P-6 500m	9,30	9,24	-2,18	-2,08

1a. amost. Primeira amostragem (Junho-Julho 1993)

2a. amost. Segunda amostragem (Outubro-Novembro 1993)

Em torno de um pH de 9, a espécie predominante de cádmio é $\text{Cd}(\text{OH})^+$. Os precipitados de chumbo (fosfatos e sulfetos) ao sofrer hidrólise a um pH > 6, solubilizam o Pb como $\text{Pb}(\text{OH})^+$ e esta espécie predomina sobre $\text{Pb}(+2)$ a um pH em torno de 8.

7.1.2 Elementos traços em sedimentos

De uma forma geral em sedimentos as concentrações dos elementos traços apresentam a seguinte ordem: $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Hg}$.

Em princípio as concentrações dos elementos nos sedimentos dos pontos de descarga das fontes pontuais diminuem gradativamente de forma logarítmica na medida em que se afasta da fonte de poluição e tendem ao valor de background.

Entretanto, num sistema dinâmico, como no caso do lago Xolotlán, as concentrações encontrada às distâncias mais afastadas da fonte pontual pode ser influenciada pelo input desse elemento por outras fontes pontuais próximas e/ou por fontes não pontuais, obtendo-se assim distribuições mais complexas.

No caso em que a representação gráfica da função concentração vs. distância da fonte de contaminação aproxima-se a uma reta com inclinação zero, podemos concluir que a concentração encontrada não é aportada pela fonte pontual correspondente.

A distribuição espacial do cromo, cobre, arsênio, mercúrio, cádmio e chumbo no lago Xolotlán é mostrada na Figura 14.

A concentração média de **cromo** total encontrada nos sedimentos do lago Xolotlán foi de 15,1 $\mu\text{g/g}$; as concentrações máximas correspondem em todos os perfís aos pontos de descarga das fontes pontuais de contaminação (Tabela 11).

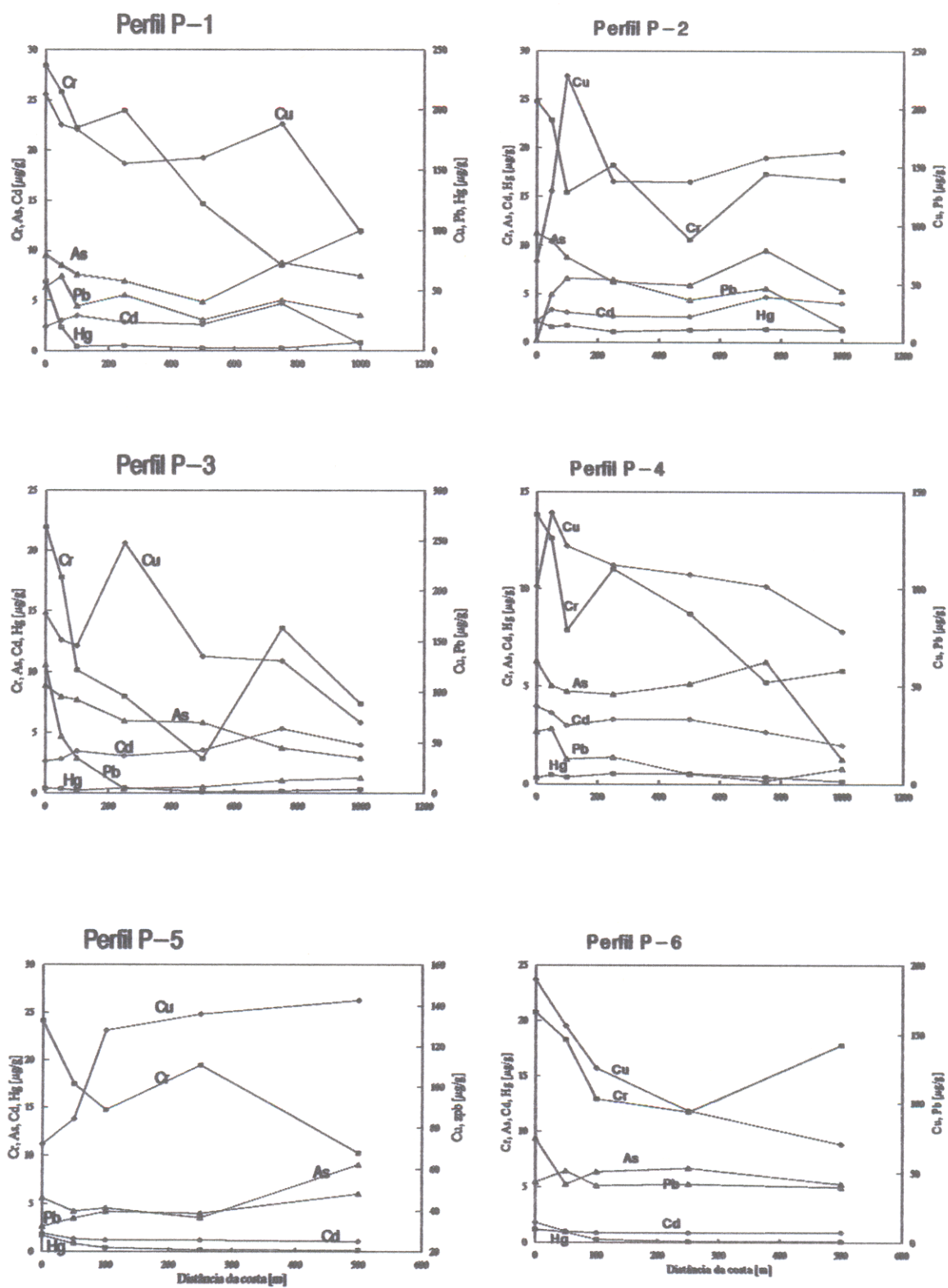


Figura 14. Distribuição espacial do Cr, Cu, As, Cd, Hg e Pb em sedimentos do lago Xolotlán

A distribuição do cromo nos sedimentos do lago Xolotlán mostra uma tendência de diminuição das concentrações com o aumento da distância da costa, atingindo-se um valor mínimo a distâncias que variaram de perfil a perfil e em seguida aumentaram levemente. Os valores mínimos também variaram de perfil a perfil.

Os pontos de concentração mínima para os perfís P-1 e P-4 foram encontrados a 750 metros da costa e a 500 metros da costa para os perfís P-2 e P-3. Os perfís P-5 e P-6 foram amostrados até uma distância de 500 metros da costa.

O padrão de distribuição do cromo demonstra que na área de estudo a contaminação por este elemento é generalizada. Este resultado é coerente com a localização de fontes de contaminação por cromo (fábrica de calçados de couro, de tecidos, de tintas, laboratórios, curtumes e refinaria de petróleo) ao longo de toda a zona norte da cidade de Manágua.

A concentração média de cobre nos sedimentos do lago Xolotlán foi de 138,6 $\mu\text{g/g}$, com variação dentre 57 e 278 $\mu\text{g/g}$ (Tabela 13). O cobre é um elemento rapidamente adsorvido e absorvido pelos sedimentos (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a). Em sedimentos do lago Thompson no Canadá, os níveis de cobre encontrados variaram entre 175 e 25 $\mu\text{g/g}$, com uma concentração média de 85 $\mu\text{g/g}$, a uma distância entre 0 e 1 km da fonte de contaminação (Moore¹⁸ apud MOORE & RAMAMOORTHY, 1984)

Nos perfís P-1, P-3, P-4 e P-6 as concentrações de cobre diminuíram com a distância, embora nos perfís P-3 e P-4 os maiores

¹⁸J.W. Moore. 1981. Epipellic algal communities in a eutrophic lake contaminated with mine wastes. Water Research 15: 97-105.

valores (247 $\mu\text{g/g}$ e 145 $\mu\text{g/g}$, respectivamente) não correspondem aos pontos de descarga. Isto pode ser explicado como contribuição de fontes pontuais ativas em zonas mais afastadas da costa.

A fonte pontual efluente do complexo industrial ELPESA-HERCASA-Refinaria ESSO, que apresenta a maior concentração de cobre em sedimentos pode estar influenciando possivelmente por remobilização dos sedimentos nas concentrações elevadas encontradas a diferentes distâncias nos perfís P-2 e P-3. Já os perfís P-4 e P-5 poderiam estar influenciados pela fonte pontual Coletor da FAS (P-6).

Nos perfís P-2 e P-5 a concentração aumenta com a distância das fontes pontuais de contaminação indicando que a contaminação não pode ser atribuída às fontes pontuais correspondentes (Lixão Acahualinca e Canal Oriental respectivamente).

A curva de distribuição do cobre no perfil P-6 é um exemplo de contaminação por uma fonte pontual sem qualquer outra influência.

A média das concentrações de arsênio nos sedimentos do lago Xolotlán foi de 6,27 $\mu\text{g/g}$, com valores mínimos e máximos de 1,26 e 11,25 $\mu\text{g/g}$ (Tabela 15). A concentração média é um pouco menor que a média encontrada por LACAYO et al. (1992) na amostragem em diversos pontos do lago (6,67 $\mu\text{g/g}$).

Nos pontos de descarga dos perfís P-1, P-2, P-3 e P-6, as concentrações de arsênio em sedimentos são as maiores encontradas na área de estudo e há variabilidade com o aumento da distância. Isto indica uma contaminação mínima pelas respectivas fontes pontuais e um aporte proveniente da atividade vulcânica.

Nos perfís P-4 e P-5 a contaminação pode ser atribuída totalmente às fontes não pontuais de contaminação por arsênio no

lago Xolotlán. No perfil P-4, as concentrações variaram de forma irregular e no perfil P-5 a concentração máxima foi encontrada no ponto de maior distância à fonte correspondente.

Os sedimentos contaminados por fontes naturais geralmente apresentam concentrações de mercúrio inferiores a 1 µg/g (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

Na área de estudo podemos distinguir tres zonas bem diferenciadas: uma que apresenta níveis de contaminação muito altos, outra que não apresenta contaminação e ainda outra que apresenta pouca contaminação.

A zona altamente contaminada está localizada no setor ocidental da área diretamente poluída pelos despejos da indústria cloro-álcali que operou até o ano 1992. A zona não contaminada está intercalada entre os perfís P-3 e P-4 e a zona pouco contaminada corresponde aos perfís P-5 e P-6.

A concentração média de mercúrio em sedimentos no ponto de descarga da indústria mencionada (perfil P-1) foi de 57,5 µg/g. Em sedimentos marinhos num ponto próximo a uma indústria do mesmo tipo localizada em British Columbia no Canadá, THOMPSON, et al. (1980) encontraram um valor máximo de 20 µg Hg/g.

LACAYO et al., (1991) encontraram concentrações entre 0,25 e 0,84 µg/g, na parte noroeste do lago e entre 1,6 e 0,16 em sedimentos superficiais da área mais próxima ao litoral Sul do lago Xolotlán. A amostragem foi realizada paralelamente à costa a distâncias não especificadas, e a distribuição espacial das concentrações foi aleatória. As concentrações maiores também foram encontradas na região ocidental do litoral Sul.

O perfil P-2 também apresenta contaminação por mercúrio causada possivelmente pela indústria cloro-álcali, mas a maior concentração no ponto mais próximo do lixão parece indicar uma pequena contribuição gerada por essa fonte pontual.

Nos perfís P-3 e P-4, todas as concentrações de mercúrio em sedimentos foram inferiores a 1 $\mu\text{g/g}$. Porém, nos pontos de descarga dos coletores do Armando Guido (perfil P-5) e da FAS (perfil P-6) foram obtidos concentrações superiores a 1 $\mu\text{g/g}$ (Tabela 17).

A concentração média de **cádmio** encontrada em sedimentos do lago Xolotlán foi de 2,49 $\mu\text{g/g}$, variando entre 0,78 e 4,69 $\mu\text{g/g}$ (Tabela 19). Em sedimentos de lagos não contaminados encontram-se conteúdos de cádmio entre 0,04 e 0,8 mg/kg (Förstner & Wittman apud STOEPLER, 1991).

De um modo geral as concentrações de cádmio encontradas no lago Xolotlán foram elevadas, mas a contaminação não é causada pelas fontes pontuais amostradas senão se deve muito provavelmente à atividade vulcânica local.

O **chumbo** em sedimentos não contaminados pode ser encontrado em concentrações que variam entre 2 e 50 mg/kg, de acordo com a natureza das rochas subjacentes (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984a).

No lago Xolotlán a concentração média foi de 36,8 $\mu\text{g/g}$, variando entre concentrações inferiores ao limite de detecção do elemento (1,8 $\mu\text{g/g}$) e 133,7 $\mu\text{g/g}$ (Tabela 21). Este valor excepcionalmente elevado foi encontrado no ponto de descarga do coletor do Rubén Darío (perfil P-3), na segunda amostragem.

Com a exceção do perfil P-3, a distribuição espacial do chumbo é aleatória em todos os perfís cujas concentrações não podem ser atribuídas às fontes pontuais amostradas.

Entretanto a distribuição do chumbo no perfil P-3, indica que há contaminação direta neste ponto. Entretanto, é provável que o chumbo não seja aportado exclusivamente pelo coletor de esgotos do Rubén Darío, por quanto caminhões tanques de combustível são lavados no ponto de descarga de dito coletor.

7.2 RESÍDUOS ORGANOCOLORADOS

Na primeira amostragem, a determinação das concentrações da Σ DDT e do toxafeno foi prejudicada devido a problemas metodológicos.

Ao passar a amostra concentrada pela coluna cromatográfica (Seção 6.4.2.2), só foram adicionados os 16 ml de hexano estabelecidos pela metodologia. Esse volume mostrou-se insuficiente para arrastar completamente os resíduos, evidenciado pela baixa recuperação do padrão interno (entre 0 e 50%).

No entanto, foi possível identificar toxafeno num perfil e DDE e DDD em dois perfís, e sua quantificação foi possível mediante a realização de uma amostragem complementar.

O toxafeno só foi detectado em sedimentos no ponto de descarga da indústria desse pesticida. Isto pode ser explicado pela mobilidade restrita do toxafeno. A concentração média encontrada nesse ponto foi de 10.7 ppm (Tabela 21).

Os metabolitos predominantes do DDT nos sedimentos amostrados foram o p,p'-DDE e o p,p'-DDD. O p,p'-DDT não foi encontrado em nenhuma amostra analisada.

Tabela 23. Pesticidas em sedimentos do lago Xolotlán. Perfil P-1. Junho 1994

Distância [m]	DDE $\mu\text{g/kg}$	DDD $\mu\text{g/kg}$	DDT $\mu\text{g/kg}$	Toxafeno $\mu\text{g/kg}$
0	<LD	<LD	<LD	10777,22
100	29,09	2,51	31,60	<LD
200	131,97	4,14	136,11	<LD
LD	1,00	2,00		200,00

Tabela 24. Pesticidas em sedimentos do lago Xolotlán. Perfil P-3. Junho 1994

Distância [m]	DDE $\mu\text{g/kg}$	DDD $\mu\text{g/kg}$	DDT $\mu\text{g/kg}$
0	10,35	3,13	13,48
50	102,10	38,79	140,89
100	142,89	84,20	227,09
200	23,39	38,00	61,39
300	3,95	<LD	3,95

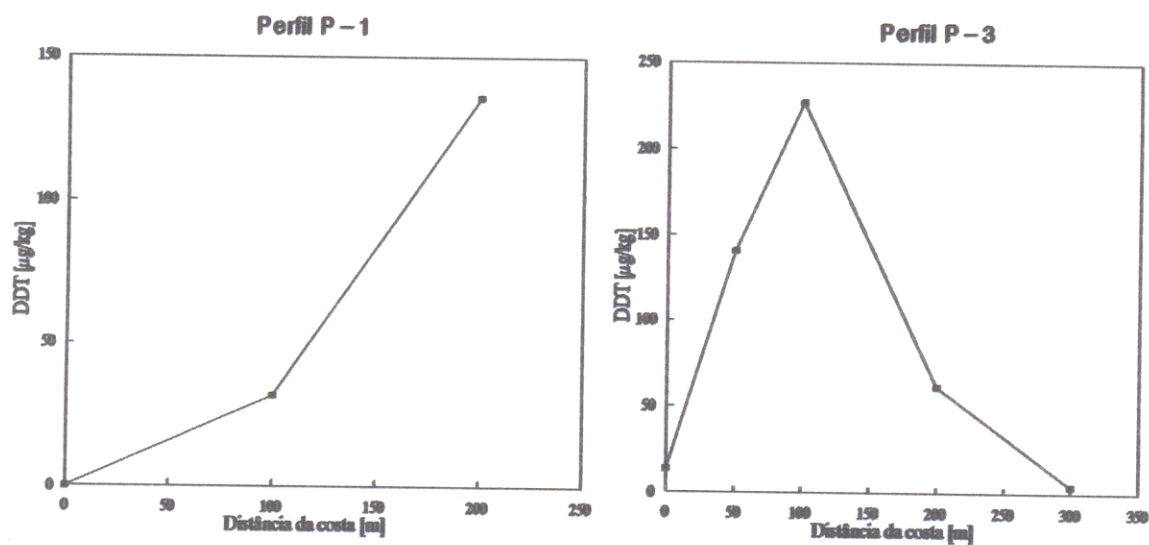


Figura 15. Distribuição da somatória do DDT em sedimentos do lago Xolotlán. Junho 1994

A ausência do composto p,p'-DDT se explica pelo fato do DDE ser um produto estável de decomposição do DDT. Portanto, o termo Σ DDT refere-se à soma de p,p'-DDE e p,p-DDD (Σ DDT=DDE+DDD).

As concentrações da Σ DDT variaram entre valores inferiores ao limite de detecção (3 μ g/kg) e 136,11 ng/g no perfil P-1 (Tabela 23) e entre 3,95 e 227 ng/g no perfil P-3 (Tabela 24). No ponto de descarga do efluente do complexo industrial ELPESA-HERCASA-Refinaria Esso não foram detectadas concentrações da Σ DDT. Não foi possível determinar a razão desta ausência da Σ DDT. Há entretanto duas possibilidades: a) Σ DDT em concentrações não detectáveis ou b) interferência do cromatograma característico do toxafeno na dosagem da Σ DDT.

Em todos os dois perfís, o aumento das concentrações com a distância (Figura 15) indicam que a contaminação não é causada pelas correspondentes fontes pontuais e é provável que seja devida à existência de uma fonte pontual próxima que não foi determinada na análise qualitativa dos pesticidas.

7.3 VARIÁVEIS FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS

Em média as concentrações de todas as variáveis físico-químicas determinadas foram maiores na primeira amostragem do que na segunda em decorrência do aumento do volume de água ao final do período das chuvas.

A temperatura da água foi um pouco maior na primeira amostragem do que na segunda. Os valores obtidos encontraram-se entre 27,0 e 30,4 °C na primeira amostragem e entre 26,8 e 29,2 °C, na segunda. As temperaturas mais elevadas nas duas amostragens foram detectadas nos perfís P-1 e P-2 (Tabela 25).

Tabela 25. Concentrações das variáveis físico-químicas encontradas no lago Xolotlán em Junho - Julho 1993(1) e Outubro - Novembro 1993(2)

Estação de amostragem	TEMP °C		pH		COND. µS/cm		TURB. UNT		DBOS mg/l		DQO mg/l		S. TOT. mg/l		S. FIX mg/l		S. VOL mg/l		
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
P.1 0m	28,8	29,2	8,45	8,74	1214	2050	80	90	464,08	n/d	1000,00	n/d	689	n/d	278	n/d	411	n/d	
P.1 50m	n/d	29,2	n/d	8,82	n/d	2070	n/d	100	n/d	5,13	n/d	78,43	n/d	1230	n/d	836	n/d	398	n/d
P.1 100m	29,2	29,2	10,01	8,88	2220	2070	460	100	12,84	5,50	200,00	176,47	1398	1244	738	869	640	368	
P.1 250m	29,4	28,8	9,87	8,86	2120	2050	500	110	10,34	5,80	196,08	137,25	1334	1249	890	770	444	469	
P.1 500m	30,2	28,8	9,92	8,81	2070	2060	380	110	14,84	6,00	200,00	176,47	1326	1344	808	756	518	586	
P.1 750m	30,0	n/d	9,94	n/d	2350	n/d	350	n/d	13,34	n/d	396,04	n/d	1472	n/d	950	n/d	522	n/d	
P.1 1000m	30,4	n/d	9,94	n/d	2390	n/d	300	n/d	12,34	n/d	297,03	n/d	1526	n/d	946	n/d	580	n/d	
P.2 0m	n/d	29,0	n/d	8,53	n/d	2040	n/d	85	n/d	9,13	n/d	137,25	n/d	1230	n/d	735	n/d	472	n/d
P.2 50m	n/d	28,8	n/d	8,57	n/d	2030	n/d	95	n/d	8,88	n/d	76,92	n/d	1263	n/d	910	n/d	349	n/d
P.2 100m	n/d	28,8	n/d	8,66	n/d	2010	n/d	100	n/d	8,75	n/d	76,92	n/d	1216	n/d	959	n/d	250	n/d
P.2 250m	28,2	29,0	9,20	8,70	2330	2070	540	110	6,40	6,30	198,02	115,38	1800	1304	1270	817	530	488	
P.2 500m	28,4	29,0	9,24	8,75	2350	2080	650	120	7,20	6,40	198,02	115,38	1782	1342	1186	840	596	490	
P.2 750m	28,6	n/d	9,25	n/d	2340	n/d	450	n/d	6,40	n/d	196,08	n/d	1658	n/d	861	n/d	797	n/d	
P.2 1000m	28,6	n/d	9,30	n/d	2320	n/d	520	n/d	6,00	n/d	294,12	n/d	1668	n/d	884	n/d	784	n/d	
P.3 0m	28,0	29,0	6,85	8,09	985	1409	800	370	270,00	120,00	384,62	333,33	902	925	396	639	506	259	
P.3 50m	28,0	28,5	8,27	9,05	2100	1890	450	160	12,00	11,50	288,46	171,43	1428	1214	1022	764	406	466	
P.3 100m	27,8	28,5	9,05	9,20	2250	2070	450	150	9,20	4,00	192,31	152,38	1480	1247	1078	832	402	415	
P.3 250m	27,8	28,5	9,25	9,26	2460	2190	330	150	6,80	3,20	192,31	133,33	1682	1335	992	832	690	503	
P.3 500m	27,8	29,0	9,27	9,27	2500	2200	380	110	5,00	2,60	192,31	152,38	1732	1361	960	872	772	473	
P.3 750m	27,8	n/d	9,31	n/d	2500	n/d	300	n/d	5,40	n/d	192,31	n/d	1586	n/d	1054	n/d	532	n/d	
P.3 1000m	27,8	n/d	9,40	n/d	2440	n/d	290	n/d	5,80	n/d	192,31	n/d	1558	n/d	1028	n/d	530	n/d	
P.4 0m	27,0	28,0	8,91	7,48	1690	1118	500	230	8,50	n/d	190,48	152,38	1328	n/d	642	n/d	686	n/d	
P.4 50m	27,0	28,5	9,12	9,03	2180	2030	300	140	6,60	9,25	190,48	160,00	1640	1218	938	837	702	374	
P.4 100m	27,0	28,5	9,22	9,13	2180	2060	300	130	5,80	6,00	285,71	160,00	1698	1242	1026	759	672	476	
P.4 250m	27,0	28,5	9,23	9,28	2350	2160	310	110	5,00	3,00	190,48	80,00	1674	1306	1136	767	538	542	
P.4 500m	27,0	28,5	9,18	9,26	2340	2180	360	110	4,00	2,40	372,09	80,00	1648	1320	1174	771	474	532	
P.4 750m	27,4	n/d	9,21	n/d	2310	n/d	290	n/d	4,80	n/d	372,09	n/d	1682	n/d	1164	n/d	518	n/d	
P.4 1000m	27,6	n/d	9,34	n/d	2340	n/d	360	n/d	4,20	n/d	588,14	n/d	1694	n/d	1180	n/d	514	n/d	
P-5 0m	28,2	27,6	7,92	7,86	1690	1671	200	120	64,00	29,75	265,31	182,74	1116	1026	712	725	388	306	
P-5 50m	28,0	27,4	9,06	8,84	2060	1936	140	160	11,00	12,38	204,08	162,44	1258	1215	682	828	556	373	
P-5 100m	27,8	27,2	8,98	8,95	2030	1943	130	130	11,00	11,84	142,86	162,44	1261	1181	715	809	557	383	
P-5 250m	28,8	27,4	9,15	9,17	2120	2070	180	110	6,25	6,62	142,86	162,44	1357	1314	914	859	449	436	
P-5 500m	28,2	27,4	9,26	9,33	2250	2240	180	120	5,75	4,22	122,45	162,44	1443	1364	663	1034	747	338	
P-6 0m	27,8	26,8	7,80	7,79	1238	1153	100	90	30,00	28,17	102,04	79,60	816	715	323	419	498	293	
P-6 50m	27,4	26,8	7,90	8,90	1316	1842	120	120	17,00	11,99	141,41	119,40	975	1178	461	774	489	394	
P-6 100m	28,2	27,0	9,17	8,96	1823	1897	230	140	7,25	11,48	181,82	119,40	1344	1179	832	837	488	341	
P-6 250m	27,4	27,2	9,24	9,20	1831	2070	200	160	7,25	6,31	141,41	119,40	1156	1255	849	728	310	521	
P-6 500m	27,8	27,2	9,30	9,24	1911	2230	180	120	6,13	5,72	121,21	119,40	1314	1373	798	1123	536	253	

TEMP.: Temperatura
 COND.: Condutividade
 TURB.: Turbidez
 S. TOT.: Sólidos totais
 S. FIX.: Sólidos fixos
 S. VOL.: Sólidos voláteis

Tabela 25. Continuação

Estação de amostragem	S. DIS mg/l		S. SUSP. mg/l		S. SUSP. mg/l		Na+ mg/l		Na+ mg/l		K+ mg/l		K+ mg/l		AT mg/l		AT mg/l		DUR mg/l	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
P.1 0m	582	s/d	107	s/d	160,40	s/d	6,98	s/d	21,10	s/d	146,09	s/d	2,92	s/d	216,84	s/d	2,92	s/d	216,84	s/d
P.1 50m	s/d	1200	s/d	30	s/d	500,00	s/d	21,75	s/d	73,20	s/d	1,87	s/d	741,58	s/d	14,82	s/d	741,58	s/d	14,82
P.1 100m	1990	1212	8	32	531,90	500,00	23,14	21,75	68,90	74,20	1,76	1,90	14,84	14,84	104,00	112,54	14,84	14,84	104,00	112,54
P.1 250m	1274	1200	60	49	500,00	500,00	21,75	21,75	64,80	76,10	1,66	1,95	13,62	13,62	107,93	116,49	13,62	13,62	107,93	116,49
P.1 500m	1312	1243	14	101	510,50	510,50	22,21	22,21	64,80	76,10	1,66	1,95	13,62	13,62	99,10	112,54	13,62	13,62	99,10	112,54
P.1 750m	1448	s/d	24	s/d	576,20	s/d	25,06	s/d	78,00	s/d	804,06	s/d	16,07	s/d	104,99	s/d	16,07	s/d	104,99	s/d
P.1 1000m	1468	s/d	58	s/d	587,80	s/d	25,57	s/d	74,70	s/d	814,88	s/d	16,28	s/d	106,46	s/d	16,28	s/d	106,46	s/d
P.2 0m	s/d	1172	s/d	58	s/d	500,00	s/d	21,75	s/d	76,10	s/d	1,95	s/d	721,30	s/d	14,41	s/d	721,30	s/d	14,41
P.2 50m	s/d	1205	s/d	58	s/d	500,00	s/d	21,75	s/d	75,20	s/d	1,92	s/d	723,55	s/d	14,46	s/d	723,55	s/d	14,46
P.2 100m	s/d	1177	s/d	39	s/d	500,00	s/d	21,75	s/d	75,20	s/d	1,92	s/d	721,30	s/d	14,41	s/d	721,30	s/d	14,41
P.2 250m	1532	1237	268	67	599,50	542,70	26,08	23,61	71,40	79,00	1,83	2,02	16,35	14,86	110,28	107,61	16,35	14,86	110,28	107,61
P.2 500m	1592	1186	190	156	623,90	553,70	27,14	24,08	73,00	81,00	1,87	2,07	16,83	14,86	109,11	105,63	16,83	14,86	109,11	105,63
P.2 750m	1481	s/d	177	s/d	611,60	s/d	26,60	s/d	71,40	s/d	836,53	s/d	16,72	s/d	110,28	s/d	16,72	s/d	110,28	s/d
P.2 1000m	1458	s/d	210	s/d	611,60	s/d	26,60	s/d	72,20	s/d	833,28	s/d	16,65	s/d	109,50	s/d	16,65	s/d	109,50	s/d
P.3 0m	530	849	372	76	160,40	298,30	6,98	12,98	25,30	47,20	0,65	1,21	6,16	9,46	89,29	107,55	6,16	9,46	89,29	107,55
P.3 50m	1280	1160	148	54	531,90	477,60	23,14	20,77	64,00	72,20	1,64	1,85	14,68	13,56	107,93	106,55	14,68	13,56	107,93	106,55
P.3 100m	1334	1231	146	16	576,20	531,90	25,06	23,14	67,20	77,10	1,72	1,97	15,38	14,86	108,91	107,55	15,38	14,86	108,91	107,55
P.3 250m	1474	1294	208	41	649,30	531,90	28,24	23,14	73,90	84,90	1,89	2,17	16,76	15,50	109,89	104,56	16,76	15,50	109,89	104,56
P.3 500m	1440	1317	292	44	662,60	531,90	28,82	23,14	74,70	84,90	1,91	2,17	17,02	15,90	108,91	106,55	17,02	15,90	108,91	106,55
P.3 750m	1514	s/d	72	s/d	662,60	s/d	28,82	s/d	75,50	s/d	843,02	s/d	16,85	s/d	108,91	s/d	16,85	s/d	108,91	s/d
P.3 1000m	1546	s/d	12	s/d	649,30	s/d	28,24	s/d	73,00	s/d	828,95	s/d	16,57	s/d	103,42	s/d	16,57	s/d	103,42	s/d
P.4 0m	1010	s/d	318	s/d	423,50	s/d	18,42	s/d	53,30	s/d	594,12	s/d	11,87	s/d	121,67	s/d	11,87	s/d	121,67	s/d
P.4 50m	1308	1194	332	24	587,80	477,60	25,57	20,77	69,70	77,10	1,78	1,97	15,40	14,73	110,87	116,51	15,40	14,73	110,87	116,51
P.4 100m	1428	1177	270	65	510,50	510,50	22,21	22,21	73,00	78,10	1,87	2,00	16,44	15,14	106,91	92,81	16,44	15,14	106,91	92,81
P.4 250m	1502	1245	172	61	531,90	531,90	23,14	23,14	78,00	82,00	1,99	2,10	16,65	15,36	107,93	109,54	16,65	15,36	107,93	109,54
P.4 500m	1468	1287	180	33	521,20	531,90	22,67	23,14	75,50	83,00	1,93	2,12	16,87	15,68	107,93	102,57	16,87	15,68	107,93	102,57
P.4 750m	1502	s/d	180	s/d	521,20	s/d	22,67	s/d	78,00	s/d	819,21	s/d	16,37	s/d	102,04	s/d	16,37	s/d	102,04	s/d
P.4 1000m	1476	s/d	218	s/d	553,70	s/d	24,08	s/d	80,50	s/d	828,95	s/d	16,57	s/d	104,00	s/d	16,57	s/d	104,00	s/d
P-5 0m	870	861	246	165	372,50	353,10	16,20	15,36	56,80	46,60	0,54	1,19	11,93	12,70	108,54	104,85	11,93	12,70	108,54	104,85
P-5 50m	1224	1132	34	83	477,60	455,70	20,77	19,82	72,20	57,70	1,85	1,48	14,29	14,55	107,55	109,61	14,29	14,55	107,55	109,61
P-5 100m	1171	1115	90	66	521,20	455,70	22,67	19,82	76,10	57,70	1,95	1,48	14,11	14,64	107,55	108,66	14,11	14,64	107,55	108,66
P-5 250m	1236	1186	121	128	553,70	510,50	24,08	22,21	81,00	63,70	2,07	1,63	15,53	15,09	106,15	105,80	15,53	15,09	106,15	105,80
P-5 500m	1289	1255	154	109	500,00	553,70	21,75	24,08	74,20	69,70	1,90	1,78	15,34	16,26	101,97	101,99	15,34	16,26	101,97	101,99
P-6 0m	691	642	125	73	239,80	195,10	10,43	8,49	34,40	25,10	0,88	0,64	12,24	11,40	219,08	148,69	12,24	11,40	219,08	148,69
P-6 50m	861	1073	114	105	250,00	444,80	10,87	19,35	37,00	56,00	0,95	1,43	15,39	14,37	189,21	137,25	15,39	14,37	189,21	137,25
P-6 100m	1162	1160	182	19	434,10	466,60	18,88	20,30	66,20	56,90	1,69	1,46	12,52	14,41	113,52	133,44	12,52	14,41	113,52	133,44
P-6 250m	1116	1183	40	72	455,70	510,50	19,82	22,21	67,20	63,70	1,72	1,63	14,95	15,18	112,53	118,19	14,95	15,18	112,53	118,19
P-6 500m	1168	1281	146	92	466,60	553,70	20,30	24,08	70,20	68,90	1,80	1,76	12,92	15,86	106,55	104,85	12,92	15,86	106,55	104,85

S. DIS.: Sólidos dissolvidos

S. SUSP.: Sólidos em suspensão

AT.: Alcalinidade total

DUR.: Dureza

Tabela 25. Continuação

Estação de amostragem	DUR meq/l	Ca++		Mg++		CO3=		CO3=		CO3=		HCO3-		HCO3-		HCO3-			
		meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l		
P.1 0m	4,33	57,37	2,86	1,47	17,87	1,56	27,25	0,91	122,73	5,59	122,73	2,01	563,47	5,59	122,73	2,01	563,47		
P.1 50m	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d		
P.1 100m	2,08	12,18	0,61	1,47	17,87	1,70	230,97	1,70	178,38	7,70	178,38	7,14	541,48	7,70	178,38	7,14	541,48		
P.1 250m	2,16	9,64	0,43	1,73	20,96	1,72	198,53	1,72	197,30	6,62	198,53	7,01	500,25	6,62	198,53	7,01	500,25		
P.1 500m	1,98	9,64	0,43	1,55	18,82	1,70	190,74	1,70	194,59	6,36	190,74	7,37	508,50	6,36	190,74	7,37	508,50		
P.1 750m	2,10	7,07	0,35	1,75	21,20	s/d	s/d	7,92	497,50	s/d	s/d	8,15	s/d	s/d	s/d	8,15	s/d		
P.1 1000m	2,13	6,29	0,31	1,81	22,04	1,54	238,75	7,96	508,06	4,95	238,75	8,33	577,22	4,95	508,06	8,33	577,22		
P.2 0m	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	1,78	18,70	s/d	148,65	s/d	18,70	s/d	577,22	4,95	577,22	s/d	577,22		
P.2 50m	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	1,72	21,57	s/d	162,16	5,41	21,57	s/d	552,48	5,41	552,48	s/d	552,48		
P.2 100m	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	1,68	20,85	s/d	162,16	5,41	20,85	s/d	549,73	5,41	549,73	s/d	549,73		
P.2 250m	2,20	7,31	0,36	1,84	22,35	1,68	20,37	7,09	159,46	5,32	20,37	9,26	582,71	5,32	582,71	9,26	582,71		
P.2 500m	2,18	7,86	0,39	1,79	21,73	1,64	205,02	6,83	186,49	6,22	205,02	9,99	527,74	6,22	609,67	9,99	527,74		
P.2 750m	2,20	12,18	0,61	1,60	19,39	s/d	s/d	6,19	642,66	s/d	185,55	10,53	s/d	s/d	642,66	s/d	642,66		
P.2 1000m	2,19	7,70	0,38	1,80	21,92	s/d	s/d	6,44	622,87	s/d	193,34	10,21	s/d	s/d	622,87	s/d	622,87		
P.3 0m	1,78	19,80	0,99	0,80	9,67	1,25	38,93	1,30	72,97	2,43	38,93	4,87	428,79	2,43	296,92	4,87	428,79		
P.3 50m	2,16	10,37	0,52	1,64	19,92	1,53	207,61	6,92	243,24	8,11	207,61	7,76	332,59	8,11	473,75	7,76	332,59		
P.3 100m	2,18	9,82	0,49	1,69	20,49	1,71	236,16	7,87	164,86	5,50	236,16	7,50	571,72	5,50	457,91	7,50	571,72		
P.3 250m	2,20	7,47	0,37	1,82	22,16	1,69	221,89	7,40	200,00	6,67	221,89	9,36	538,74	6,67	571,40	9,36	538,74		
P.3 500m	2,18	6,68	0,33	1,84	21,28	1,75	232,27	7,74	205,41	6,85	232,27	9,28	552,48	6,85	566,12	9,28	552,48		
P.3 750m	2,18	7,07	0,35	1,82	22,16	s/d	s/d	8,56	505,42	s/d	256,92	8,28	s/d	s/d	505,42	s/d	505,42		
P.3 1000m	2,07	5,89	0,29	1,77	21,54	s/d	s/d	8,48	493,54	s/d	254,33	8,09	s/d	s/d	493,54	s/d	493,54		
P.4 0m	2,43	10,22	0,51	1,92	23,35	s/d	s/d	3,29	523,90	s/d	98,62	8,09	s/d	s/d	523,90	s/d	523,90		
P.4 50m	2,22	8,06	0,40	1,81	22,04	1,73	188,15	6,27	586,89	5,86	188,15	9,13	541,48	5,86	586,89	9,13	541,48		
P.4 100m	2,18	7,86	0,39	1,78	21,68	1,40	205,02	6,83	585,92	5,05	205,02	9,60	615,70	5,05	585,92	9,60	615,70		
P.4 250m	2,16	6,68	0,33	1,82	22,49	1,85	207,61	6,92	593,84	6,49	207,61	9,73	541,48	6,49	593,84	9,73	541,48		
P.4 500m	2,16	6,68	0,33	1,82	22,16	1,71	224,48	7,48	572,72	7,03	224,48	9,39	527,74	7,03	572,72	9,39	527,74		
P.4 750m	2,04	6,29	0,31	1,73	20,96	s/d	s/d	9,08	444,72	s/d	272,49	7,29	s/d	s/d	444,72	s/d	444,72		
P.4 1000m	2,08	5,70	0,28	1,79	21,80	s/d	s/d	8,30	504,10	s/d	249,13	8,26	s/d	s/d	504,10	s/d	504,10		
P-5 0m	2,17	18,74	0,94	1,23	14,99	1,39	56,88	1,90	612,08	2,79	56,88	10,03	604,70	2,79	612,08	10,03	604,70		
P-5 50m	2,15	9,97	0,50	1,65	20,60	1,70	126,98	4,23	613,43	4,77	126,98	10,05	596,46	4,77	613,43	10,05	596,46		
P-5 100m	2,15	9,57	0,48	1,67	20,13	1,66	121,69	4,06	613,43	5,95	121,69	10,05	530,49	5,95	613,43	10,05	530,49		
P-5 250m	2,12	7,82	0,39	1,73	21,29	1,75	174,60	5,82	591,37	5,41	174,60	8,71	590,96	5,41	591,37	8,71	590,96		
P-5 500m	2,04	6,38	0,32	1,72	20,89	1,75	185,19	6,17	589,62	7,75	185,19	9,17	519,49	7,75	589,62	9,17	519,49		
P-5 1000m	4,38	2,97	43,23	35,50	2,22	1,20	82,01	2,73	3,69	579,80	470,02	9,50	7,70	3,69	579,80	470,02	9,50	7,70	
P-6 50m	3,78	2,74	33,10	12,60	2,13	2,11	83,33	2,78	5,05	769,48	568,97	12,61	9,32	5,05	769,48	568,97	12,61	9,32	
P-6 100m	2,27	7,98	11,45	0,40	22,73	2,10	124,34	4,14	5,32	511,19	555,23	8,38	9,10	4,14	5,32	511,19	555,23	8,38	9,10
P-6 250m	2,25	6,94	7,63	0,35	23,12	1,98	161,38	5,38	6,31	583,83	541,48	9,57	8,87	6,31	583,83	541,48	9,57	8,87	
P-6 500m	2,13	2,10	5,98	5,73	22,24	1,81	182,54	6,08	6,85	417,02	549,73	6,83	9,01	6,85	417,02	549,73	6,83	9,01	

DUR.: Dureza

Tabela 25. Continuação

Estação de amostragem	Cl ⁻ mg/l		Cl ⁻ meq/l		SO ₄ ⁼ mg/l		SO ₄ ⁼ meq/l		NO ₃ ⁻ mg/l		NO ₃ ⁻ meq/l		Fe mg/l		NO ₂ ⁻ mg/l		NO ₂ ⁻ mg/l		N-NH ₄ mg/l		N-NH ₄ mg/l		
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
P.1 0m	265,84	s/d	7,50	s/d	63,161	s/d	1,31	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	0,40	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	0,52	s/d	0,52	s/d	
P.1 50m	s/d	266,58	s/d	7,52	s/d	35,091	s/d	0,731	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,24	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,01	0,01
P.1 100m	274,70	266,58	7,75	7,52	53,359	35,128	1,11	0,731	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,08	1,08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01
P.1 250m	255,01	271,26	7,19	7,65	76,252	36,288	1,63	0,755	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,67	0,60	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01
P.1 500m	251,49	266,58	7,09	7,52	50,952	36,135	1,06	0,752	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,51	0,58	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01
P.1 750m	290,94	s/d	8,21	s/d	55,117	s/d	1,15	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	1,44	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,04	s/d	0,04	s/d	s/d
P.1 1000m	295,28	s/d	8,33	s/d	54,618	s/d	1,14	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	1,07	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,03	s/d	0,03	s/d	s/d
P.2 0m	s/d	266,58	s/d	7,52	s/d	38,231	s/d	0,796	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,80	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,01	0,01
P.2 50m	s/d	261,91	s/d	7,39	s/d	37,147	s/d	0,773	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	1,31	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,01	0,01
P.2 100m	s/d	261,91	s/d	7,39	s/d	36,622	s/d	0,762	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	1,29	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,11	0,11
P.2 250m	296,30	271,26	8,36	7,65	38,052	35,304	0,79	0,735	<0,05	0,371	0,006	0,006	3,00	1,41	<0,05	0,10	<0,05	0,10	0,46	0,05	0,46	0,05	0,05
P.2 500m	305,74	271,26	8,62	7,65	39,261	35,912	0,82	0,748	<0,05	0,489	0,008	0,008	1,66	2,12	<0,05	0,05	<0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05
P.2 750m	302,27	s/d	8,53	s/d	38,649	s/d	0,80	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	8,89	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	0,03	s/d	0,03	s/d	s/d
P.2 1000m	302,71	s/d	8,54	s/d	42,920	s/d	0,89	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	8,33	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	0,06	s/d	0,06	s/d	s/d
P.3 0m	82,69	177,72	2,33	5,01	36,789	37,013	0,77	0,771	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,98	0,83	<0,05	45,60	<0,05	<0,05	11,40	7,90	11,40	7,90	7,90
P.3 50m	260,02	247,88	7,33	6,99	43,991	36,789	0,92	0,766	<0,05	0,716	0,012	0,012	3,02	0,62	<0,05	0,25	<0,05	0,25	0,14	0,99	0,14	0,99	
P.3 100m	275,15	271,26	7,76	7,65	42,648	36,689	0,89	0,764	<0,05	0,619	0,010	0,010	1,93	0,65	<0,05	0,13	<0,05	0,13	0,04	0,36	0,04	0,36	
P.3 250m	308,28	280,61	8,70	7,92	38,670	36,571	0,81	0,761	<0,05	0,666	0,011	0,011	1,16	0,44	<0,05	<0,05	<0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
P.3 500m	316,09	289,97	8,92	8,18	38,258	37,329	0,80	0,777	<0,05	0,643	0,010	0,010	0,76	0,60	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	
P.3 750m	311,47	s/d	8,79	s/d	38,275	s/d	0,80	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,64	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	0,03	s/d	0,03	s/d	s/d
P.3 1000m	303,19	s/d	8,55	s/d	40,662	s/d	0,85	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,63	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	0,03	s/d	0,03	s/d	s/d
P.4 0m	194,05	s/d	5,47	s/d	68,832	s/d	1,43	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	2,58	s/d	<0,05	1,54	<0,05	<0,05	0,04	s/d	0,04	s/d	s/d
P.4 50m	275,68	257,23	7,78	7,26	55,215	35,860	1,15	0,747	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,16	0,60	<0,05	0,15	<0,05	0,15	0,03	1,09	0,03	1,09	
P.4 100m	283,82	271,26	8,01	7,65	51,423	35,886	1,07	0,747	<0,05	0,406	0,007	0,007	1,34	0,60	<0,05	0,15	<0,05	0,15	0,03	0,71	0,03	0,71	
P.4 250m	306,59	280,61	8,65	7,92	39,565	37,689	0,82	0,785	<0,05	0,687	0,011	0,011	1,00	0,62	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,02	0,11	0,02	0,11	
P.4 500m	310,77	280,61	8,77	7,92	40,448	37,648	0,84	0,784	<0,05	0,751	0,012	0,012	0,80	0,63	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	
P.4 750m	302,44	s/d	8,53	s/d	41,407	s/d	0,86	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,71	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	0,03	s/d	0,03	s/d	s/d
P.4 1000m	306,07	s/d	8,63	s/d	38,993	s/d	0,81	s/d	<0,05	s/d	s/d	s/d	0,74	s/d	<0,05	s/d	<0,05	s/d	0,03	s/d	0,03	s/d	s/d
P-5 0m	200,90	200,41	5,67	5,65	27,600	35,650	0,575	0,742	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,44	0,49	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	7,49	9,03	7,49	9,03	
P-5 50m	259,82	249,45	7,33	7,04	34,747	40,171	0,723	0,836	0,422	<0,05	0,007	0,007	1,53	1,50	<0,05	0,14	0,08	0,08	1,31	1,47	1,31	1,47	
P-5 100m	257,89	253,73	7,27	7,16	34,279	39,800	0,714	0,829	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,64	0,56	<0,05	0,16	0,08	0,08	1,57	1,43	1,57	1,43	
P-5 250m	269,48	272,77	7,60	7,69	35,607	41,121	0,741	0,856	0,643	<0,05	0,010	0,010	1,14	0,12	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	0,60	0,19	0,60	0,19	
P-5 500m	288,80	297,05	8,15	8,38	36,239	37,771	0,754	0,786	0,465	<0,05	0,008	0,008	0,71	0,56	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	
P-6 0m	66,65	69,50	1,88	1,96	20,512	36,460	0,427	0,759	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,34	0,33	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	9,12	9,47	9,12	9,47	
P-6 50m	94,08	218,50	2,65	6,16	53,605	54,255	1,116	1,130	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,34	1,21	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	3,45	1,14	3,45	1,14	
P-6 100m	258,86	228,98	7,30	6,46	51,270	49,133	1,067	1,023	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,43	1,19	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	1,45	0,06	1,45	
P-6 250m	221,19	263,25	6,24	7,43	51,570	46,184	1,071	0,962	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,32	1,53	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,02	0,05	0,02	
P-6 500m	233,74	296,57	6,59	8,37	48,887	40,210	0,842	0,837	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,12	1,54	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	

Tabela 25 (Conclusão)

Estação de Amostragem	NH4+		POT		PTDIS		ORTO		-PORTO-		BORO		SILICA		SILICA		P-	
	mg/l	s/d	mg/l	s/d	mg/l	s/d	mg/l	s/d	mg/l	s/d	mg/l	s/d	mg/l	s/d	mg/l	s/d	mg/l	s/d
P-1 0m	0,67	s/d	0,19	s/d	0,13	s/d	0,11	s/d	<0,1	s/d	<0,1	s/d	35,31	s/d	1,10	s/d	1,10	s/d
P-1 50m	s/d	0,02	0,24	s/d	0,17	s/d	0,17	s/d	0,11	s/d	2,22	s/d	11,12	s/d	1,25	s/d	1,25	s/d
P-1 100m	0,04	0,02	0,42	0,23	0,05	0,13	0,02	0,02	0,09	0,11	2,35	2,22	11,76	11,02	1,64	1,40	1,64	1,40
P-1 250m	0,05	0,02	0,29	0,21	0,05	0,07	0,01	0,04	0,04	0,04	2,20	2,06	8,10	10,98	1,62	1,39	1,62	1,39
P-1 500m	0,04	0,02	0,30	0,19	0,06	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01	2,03	2,22	13,59	9,77	1,61	1,34	1,61	1,34
P-1 750m	0,05	s/d	0,18	s/d	0,05	s/d	0,01	0,01	s/d	s/d	2,53	s/d	14,98	s/d	1,61	s/d	1,61	s/d
P-1 1000m	0,03	s/d	0,18	s/d	0,05	s/d	0,02	0,02	0,01	0,01	2,71	s/d	14,93	s/d	1,79	s/d	1,79	s/d
P-2 0m	s/d	0,02	s/d	0,26	s/d	0,05	s/d	0,05	0,01	s/d	s/d	2,06	s/d	7,24	s/d	1,16	s/d	
P-2 50m	s/d	0,02	s/d	0,31	s/d	0,05	s/d	0,05	<0,01	s/d	s/d	1,99	s/d	7,54	s/d	1,31	s/d	
P-2 100m	s/d	0,14	s/d	0,29	s/d	0,05	s/d	0,05	<0,01	s/d	s/d	1,76	s/d	6,56	s/d	1,32	s/d	
P-2 250m	0,59	0,07	0,41	0,22	0,06	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	3,03	2,53	15,87	8,96	1,75	1,34	1,75	1,34
P-2 500m	0,05	0,07	0,28	0,13	0,05	0,3	0,02	0,01	0,01	0,01	3,16	2,36	15,59	10,05	1,90	1,35	1,90	1,35
P-2 750m	0,04	s/d	0,29	s/d	0,05	s/d	0,02	0,02	s/d	s/d	2,56	s/d	16,34	s/d	1,59	s/d	1,59	s/d
P-2 1000m	0,08	s/d	0,33	s/d	0,05	s/d	0,02	0,02	s/d	s/d	3,14	s/d	16,81	s/d	1,75	s/d	1,75	s/d
P-3 0m	14,68	10,17	3,75	3,03	1,98	2,15	1,90	1,90	1,09	1,09	0,20	0,92	49,43	42,80	1,10	0,99	1,10	0,99
P-3 50m	0,18	1,28	0,68	0,50	0,12	0,06	0,08	0,08	0,01	0,01	2,45	1,69	16,34	18,85	1,99	1,20	1,99	1,20
P-3 100m	0,05	0,47	0,40	0,22	0,06	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01	3,38	2,09	15,43	13,52	2,05	1,24	2,05	1,24
P-3 250m	0,04	0,04	0,20	0,09	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	3,40	2,26	14,63	12,40	2,22	1,42	2,22	1,42
P-3 500m	0,04	0,03	0,17	0,07	0,03	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	2,78	2,02	15,10	11,79	2,07	1,35	2,07	1,35
P-3 750m	0,03	s/d	0,15	s/d	0,04	s/d	0,06	0,06	s/d	s/d	2,74	s/d	15,01	s/d	2,04	s/d	2,04	s/d
P-3 1000m	0,03	s/d	0,14	s/d	0,06	s/d	0,02	0,02	s/d	s/d	3,25	s/d	14,82	s/d	2,18	s/d	2,18	s/d
P-4 0m	0,05	s/d	0,44	s/d	0,06	s/d	0,01	0,01	s/d	s/d	1,68	s/d	27,61	s/d	1,88	s/d	1,88	s/d
P-4 50m	0,04	1,40	0,30	0,36	0,05	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	3,16	1,24	17,91	15,25	2,15	1,39	2,15	1,39
P-4 100m	0,04	0,92	0,22	0,26	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	3,30	1,50	17,42	14,27	2,13	1,30	2,13	1,30
P-4 250m	0,03	0,14	0,16	0,12	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	3,25	1,56	14,76	11,93	2,27	1,36	2,27	1,36
P-4 500m	0,04	0,07	0,15	0,11	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	2,93	1,53	14,82	11,93	2,25	1,34	2,25	1,34
P-4 750m	0,04	s/d	0,15	s/d	0,04	s/d	0,01	0,01	s/d	s/d	2,93	s/d	14,87	s/d	2,27	s/d	2,27	s/d
P-4 1000m	0,04	s/d	0,14	s/d	0,05	s/d	0,01	0,01	s/d	s/d	2,93	s/d	13,85	s/d	2,25	s/d	2,25	s/d
P-5 0m	9,64	11,63	1,53	1,86	0,97	1,29	0,82	0,82	1,07	1,07	1,24	1,63	25,68	32,10	0,81	0,61	0,81	0,61
P-5 50m	1,69	1,89	0,34	0,71	0,04	0,09	0,01	0,01	0,02	0,02	2,09	2,43	16,98	23,11	1,10	0,65	1,10	0,65
P-5 100m	2,02	1,84	0,38	0,58	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	2,26	2,22	15,10	21,61	0,99	0,65	0,99	0,65
P-5 250m	0,77	0,24	0,20	0,39	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	1,92	2,53	12,78	18,24	1,11	0,81	1,11	0,81
P-5 500m	0,04	0,03	0,08	0,14	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	2,53	2,67	11,56	13,96	1,14	0,81	1,14	0,81
P-6 0m	11,74	12,19	0,86	0,99	0,65	0,78	0,64	0,64	0,70	0,70	1,40	0,66	66,23	56,30	0,45	0,19	0,45	0,19
P-6 50m	4,44	1,46	0,52	0,34	0,39	0,05	0,32	0,32	0,02	0,02	2,06	2,16	53,64	27,39	0,66	0,66	0,66	0,66
P-6 100m	0,07	1,87	0,25	0,33	0,04	0,05	0,01	0,01	<0,01	<0,01	2,02	2,09	21,40	26,11	0,93	1,70	0,93	1,70
P-6 250m	0,07	0,03	0,20	0,20	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,82	2,46	20,26	19,01	0,87	1,70	0,87	1,70
P-6 500m	0,04	0,02	0,13	0,13	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,50	2,60	16,55	14,31	0,81	1,87	0,81	1,87

P.TOT.: Fósforo total
P.T. DIS.: Fósforo total dissolvido
ORTO-P.: Ortófosfato dissolvido

De uma forma geral foi constatado que os efluentes monitorados não produzem uma contaminação térmica no lago Xolotlán. As temperaturas da água na maioria dos pontos de descarga dos efluentes foram mais baixas que nos pontos mais afastados da costa.

O pH das águas do lago Xolotlán é alcalino. Os carbonatos, bicarbonatos, hidroxilas assim como os fosfatos, silicatos, amônia entre outros, são os ânions que contribuem à alcalinidade (MOORE & MOORE, 1976).

Os valores obtidos de pH aumentam progressivamente com o aumento da distância à costa, embora o valor mais alto foi encontrado na primeira amostragem a 100 metros de distância do efluente do complexo industrial amostrado.

O aumento do pH com a distância se deve ao aumento da cocentração iônica que influe diretamente no pH (carbonatos, bicarbonatos, boratos, etc.).

Os elevados valores de pH encontrados no perfil P-1 não podem ser atribuídos ao efluente do complexo industrial. No ponto de descarga de dito efluente, o pH foi de 8,46 na primeira e 8,74 na segunda amostragem. O pH medido nas águas residuárias da Refinaria em 1984 esteve entre 6 e 7 unidades (BECK & PAREDES, 1985).

O primeiro perfil amostrado foi o perfil P-1 (localizado na Baía de Miraflores) quando ainda não tinha começado a época de chuva. Ao longo desse perfil a profundidade máxima foi de aproximadamente 5 metros. A geografia do sítio e a pouca profundidade favorecem a concentração dos íons que influem no pH, refletido nos elevados valores de pH encontrados neste perfil.

Na segunda amostragem, os valores de pH diminuíram, embora o valor mais baixo (7,49) foi maior que na primeira amostragem e corresponde ao ponto de descarga do canal Oriental (perfil P-4).

Nos monitoramentos mensais de julho 92 a junho 93, efetuados pelo CIRA na Baía de Miraflores obtiveram-se valores dentre 9,18 e 9,40 unidades, sendo a média de um ano de 9,31. Na estação 7 do lago (o sítio menos afetado pela contaminação produzida pela cidade de Managua), os valores variaram entre 9,12 e 9,38 e a média foi de 9,22. ALMENDÁREZ & OBANDO (1991) obtiveram uma média de 9,46 no setor de Piedras Azules.

A turbidez mede a presença de sólidos em suspensão através da propriedade óptica da água (APHA, 1992).

A turbidez limita a penetração da luz incidente e é portanto, um fator limitante para a fotossíntese e a produção primária nos sistemas aquáticos (PHILBERT, 1987).

Os despejos industriais e os esgotos podem contribuir ao incremento da turbidez como mostram os valores altos de turbidez encontrados nos pontos de descarga dos coletores de esgotos.

A maior turbidez foi detectada na descarga do coletor do Rubén Darío (perfil P-3) com valores de 800 e 370 UNT, respectivos à primeira e à segunda amostragem.

O contrário aconteceu no ponto de descarga do complexo industrial (perfil P-1) e do coletor de esgotos da FAS (perfil P-6), onde foram obtidos os valores mais baixos de turbidez. Isto se deve provavelmente ao fato dos pontos de descarga serem bastante protegidos dos ventos e a água pouco agitada facilitando maior decantação dos materiais em suspensão.

Os valores mensais de turbidez registrados pelo CIRA entre julho 92 e junho 93 variaram entre 400 e 450 UNT na Baía de Miraflores e 260 e 235 na estação 7 do CIRA.

ERIKSON, et al. (1991), não encontraram variação espacial nem sazonal da taxa da atividade fotossintética bruta por unidade de área no lago Xolotlán ($2120 \text{ mg O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) e embora os valores de turbidez sejam elevados, o lago foi classificado como um dos lagos mais produtivos do mundo pela sua produção diária ($18-19 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$). A elevada atividade fotossintética poderia ser atribuída à alta carga de nutrientes do lago Xolotlán (ERIKSON, et al., 1991).

A condutividade é a capacidade de uma solução de transmitir uma corrente elétrica, que depende da concentração, do tipo dos íons em solução, da valência e da mobilidade iônica (PHILBERT, 1987).

Os íons que contribuem para a condutividade elétrica nas águas naturais são Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- e em menor grau, silicato, nitrato, nitrito e fosfato. A composição iônica da água da área de estudo será discutida mais abaixo.

Em todos os perfís estudados a primeira amostragem foi caracterizada pelos baixos valores de condutividade nos pontos de descarga dos efluentes. Os valores de condutividade elétrica variaram entre 935 e 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na primeira amostragem e 1113 e 2240 $\mu\text{S}/\text{cm}$, na segunda. Nota-se que a condutividade, em geral, diminuiu na época chuvosa (de junho a outubro), devido aos efeitos da diluição.

Os valores médios de condutividade registrados pelo CIRA (de julho 92 a junho 93) na Baía de Miraflores e na estação 7 do lago são 2,32 e 2,38 mS/cm, nessa ordem.

Os sólidos em suspensão estão conformados por matéria orgânica viva ou morta (vegetal e animal), minerais, silte e material de erosão em geral (PHILBERT, 1987).

Os sólidos voláteis, representam uma estimativa da fração orgânica dos sólidos totais (SAWYER & McCARTY, 1978).

Na primeira amostragem obtiveram-se concentrações de sólidos totais maiores. Os valores maiores foram obtidos no perfil do lixão Acahualinca entre 1800 e 1668 mg/l e os menores, no perfil do coletor FAS (816 - 1314 mg/l). Na segunda amostragem, as concentrações foram mais homogêneas, obtendo-se uma média de 1210 mg/l.

A Figura 16 mostra que os sólidos no litoral do lago Xolotlán apresentam uma tendência de aumentar com a distância. Isto pode ser explicado pelo aporte de sais dissolvidas pela atividade vulcânica que é mais intensa na zona norte do lago e das águas residuárias da planta geotérmica que são lançadas em grande parte ao lago. Segundo estudos realizados, foram detectadas no efluente de dita planta concentrações de sólidos totais dissolvidos de até 6900 mg/l (INE¹⁹ apud LACAYO, 1993).

¹⁹INE. 1990. Campo Geotérmico Momotombo. Características de producción. Resumen de Campo. Dirección de Geotermi, 1-46 (Relatório Técnico).

Média de todos os perfis das amostragens de Junho–Julho e Outubro–Novembro, 1993

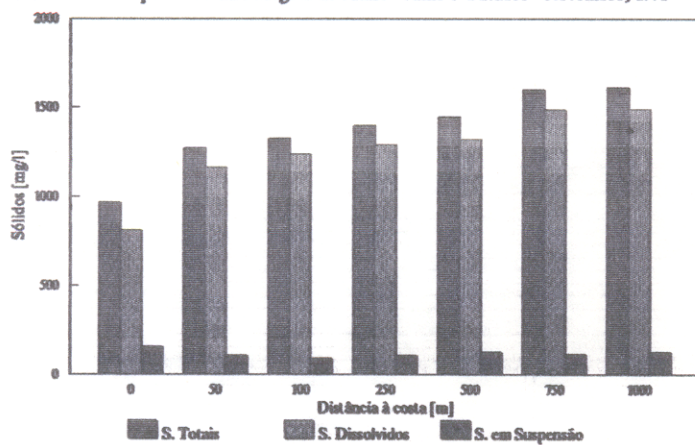


Figura 16. Fração dos sólidos totais correspondentes a sólidos dissolvidos e sólidos em suspensão no lago Xolotlán

Média de todos os perfis das amostragens de Junho–Julho e Outubro–Novembro, 1993

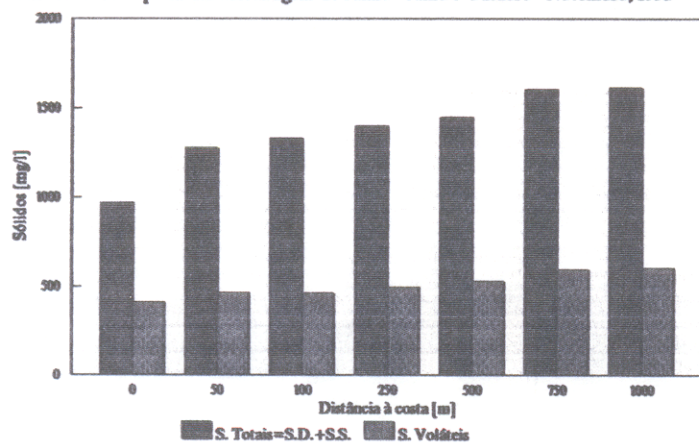


Figura 17 Fração dos sólidos totais correspondentes a sólidos voláteis no lago Xolotlán

Na Figura 16 também pode observar-se que os sólidos totais estão conformados principalmente por sólidos dissolvidos, correspondendo os sólidos em suspensão a uma fração muito pequena dos sólidos totais. Contudo, na maioria dos pontos de descarga, a concentração de sólidos em suspensão é maior que nos pontos mais afastados das fontes pontuais de contaminação.

Os sólidos voláteis correspondem a menos da metade dos sólidos totais (Figura 17).

As concentrações de sólidos dissolvidos obtidos pelo CIRA foram de 1817 e 1834 mg/l (Baía de Miraflores e estação 7). ALMENDÁREZ & OBANDO (1991) registraram uma média de 761 mg/l no setor de Piedras Azules.

Em geral, as concentrações de sólidos totais foram menores nos pontos de descarga dos efluentes. BECK & PAREDES (1985) encontraram concentrações de sólidos totais no efluente da Refinaria entre 428 e 460 mg/l (de 232 a 256 mg/l de sólidos voláteis). No coletor de esgotos do Rubén Darío, o conteúdo médio de sólidos totais registrado pelo laboratório de Águas Residuárias do CIRA foi de 664 mg/l; sendo 447 mg/l, a concentração de sólidos dissolvidos e 346 mg/l a concentração, de sólidos voláteis.

A **demanda bioquímica de oxigênio** (DBO_5) é o parâmetro mais usado para medir a contaminação orgânica. É a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação aeróbica da matéria orgânica, expressa como o oxigênio consumido em cinco dias de incubação a 20 °C.

Os maiores valores de DBO_5 (464,08 mg/l) foram registrados na primeira amostragem no ponto de descarga do efluente industrial

amostrado. Os outros valores registrados nesse perfil (P-1) encontraram-se dentro de uma média de 12,74 mg/l.

O segundo maior valor foi registrado no ponto de descarga do coletor do Rubén Darío, com 270,00 mg/l. Neste perfil (P-3), nas duas amostragens, evidencia-se a capacidade de estabilização do lago Xolotlán (Figura 18). No ponto de descarga foram encontrados os maiores valores de DBO₅ e a medida que aumenta a distância da costa estes diminuem significativamente. As causas são: a) o efeito da diluição dos despejos ao avançar em direção do centro do lago; b) a precipitação dos materiais que determinam a DBO e c) o aumento da circulação de oxigênio em decorrência da marcada turbulência provocada pela ação do vento.

Os valores menores de DBO₅ foram registrados na segunda amostragem, nos perfís P-3 e P-4 a 500 metros de distância da costa (2,6 e 2,4 mg/l) e são ainda menores que aqueles obtidos no lago, na estação 7 pelo CIRA (4,6 mg/l).

A **demanda química de oxigênio (DQO)** refere-se à concentração de oxigênio necessária para a oxidação química e bioquímica da matéria orgânica e inorgânica. Por essa razão os valores de DQO são maiores que os valores de DBO.

Em geral, a DQO no lago Xolotlán é alta, sendo os valores obtidos pelo CIRA de 145,3 e 152,8 na estação 7 e na Baía de Miraflores, nessa ordem. Na área de estudo do presente trabalho foram obtidas concentrações ainda maiores em Junho-Julho de 93 (1000 mg/l no ponto de descarga do efluente do complexo industrial e 558 mg/l aos 1000 metros do perfil P-4). Já na amostragem de Outubro-Novembro, as concentrações registradas variaram entre 78,4 e 333,3 mg/l.

Valores médios das amostragens de Junho–Julho e Outubro–Novembro 1993. Perfil P–3

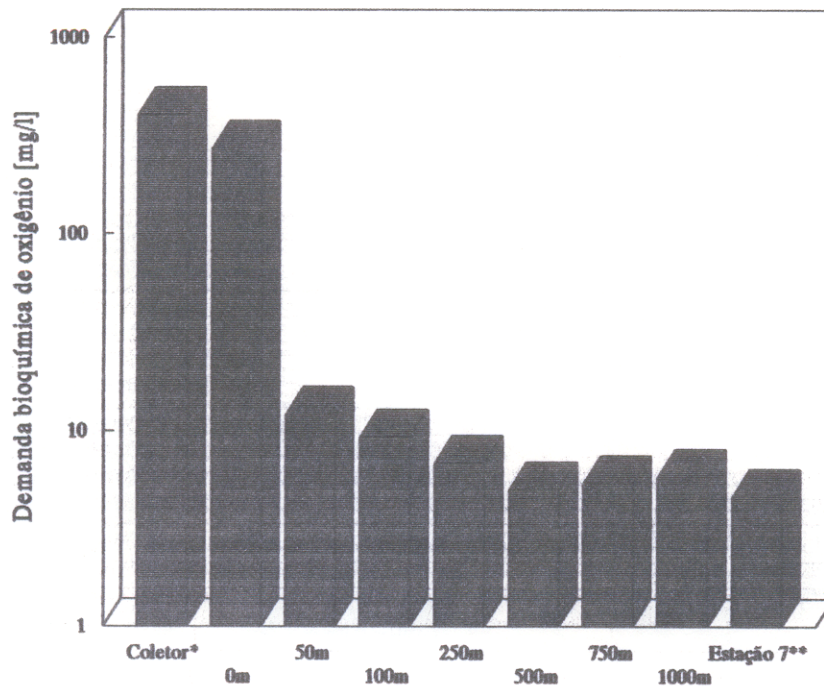


Figura 18. Variação da concentração de DBO desde sua entrada no lago Xolotlán

*Valor médio do monitoramento sistemático do coletor de esgotos do Rubéa Darío pelo Lab. de Águas Residuárias do CIRA

** Média anual de dados de monitoramentos mensais do CIRA (Julho 92–Junho 93)

Carbono, nitrogênio, fósforo e em menor grau sílica, ferro e outros elementos são chamados **nutrientes** devido a sua importância na fotossíntese dos organismos aquáticos (AFGHAN, 1987).

No entanto, cargas elevadas de nutrientes podem causar a eutrofização nos corpos de água, que se manifesta com crescimento excessivo de algas ("blooms"), aumento da turbidez, esgotamento de oxigênio e modificação na composição da fauna aquática.

O **nitrogênio** nas águas naturais se apresenta como nitrogênio orgânico, amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-), todos fazendo parte do ciclo do nitrogênio.

Uma parte do nitrogênio orgânico não podendo ser digerido se torna detrito nas águas e nos sedimentos. Uma outra parte é convertida em amônio pelas bactérias saprófitas e pode ser nitrificada pelas bacterias do grupo das Nitrosomas. Os nitritos, por sua vez podem ser oxidados pelas bactérias do grupo Nitrobacter ou formadoras de nitratos. Este processo é reversível, ou seja, por sua vez o processo de desnitrificação pode liberar nitrogênio (FENZL, 1988a).

A origem do nitrogênio orgânico é a decomposição orgânica, os dejetos orgânicos humanos e de animais (uréia), despejos industriais e alguns detergentes (BRÉMOND & PERRODON, 1979).

No litoral do lago Xolotlán a forma predominante é o amônio. As concentrações de amônio foram elevadas nos efluentes de esgotos domésticos (14,68 - 9,64 mg/l), mas diminuíram rapidamente com a distância até atingir valores entre 0,08 e 0,02 mg/l nos pontos mais afastados.

Nitrito só foi encontrado em elevadas concentrações na primeira amostragem no ponto de descarga do coletor do Rubén Darío (45,6 mg/l). Nos outros pontos de coleta as concentrações encontradas se situam entre 0,06 e 1,54 mg/l, porém na maioria dos casos, as concentrações foram inferiores a 0,05 mg/l.

Os nitratos não foram registrados nas amostragens de Junho e Julho. Nas amostragens de Outubro e Novembro, foram detectados em quatro perfís, mas em concentrações muito baixas (0,06 - 0,012 mg/l).

Nas análises dos efluentes do coletor Rubén Darío realizados pelo CIRA, obtiveram-se concentrações de amônio de 16,17 mg/l e de nitritos, de 0,1 mg/l.

Análises microbiológicas realizadas pelo CIRA paralelamente ao presente trabalho, registraram no perfil P-3 a densidade de saprófitos que diminuíram de 2×10^5 UFC/ml no ponto de descarga do coletor do Rubén Darío até 30 UFC/ml aos 1000 metros de distância.

O fósforo é um dos elementos limitantes para a vida aquática mais comuns nas águas naturais. Os tipos de fósforo que normalmente são medidos nos sistemas aquáticos são os fosfatos (PO_4^{3-}), o fósforo total dissolvido e o fósforo particulado (GOLDMAN & HORN, 1983).

Os fosfatos podem ser de origem natural (produto da decomposição dos organismos vivos, lixiviação de minerais), porém atualmente sua presença deve-se fundamentalmente à contribuição antropogênica (fezes, sabão em pó, indústria química, etc) (BRÉMOND & PERRODON, 1979).

Entre as fontes de contaminação pontual estudadas no lago Xolotlán, os coletores do Rubén Darío e do Armando Guido foram os

que registraram o maior aporte de fósforo total, nas duas amostragens. O coletor do Rubén Darío, com uma concentração de 3,75 mg/l, na primeira coleta e 3,03 mg/l, na segunda amostragem. O coletor do Armando Guido, com 1,53 mg/l, na primeira amostragem e 1,86 mg/l na segunda.

A Figura 19 mostra que no lago Xolotlán o fósforo total está formado principalmente por componentes particulados. Os pontos de descarga mostram concentrações muito elevadas, uma queda abrupta aos 50 metros e depois vão diminuindo gradativamente até a estação 7 do CIRA.

As fontes de contaminação pontuais estão contribuindo para o aumento da concentração de sílica com valores de até 66,23 mg/l, contra os 16,26 mg/l obtidos pelo CIRA na estação 7 no lago. A menor concentração foi obtida aos 100 metros sobre o perfil P-2 na primeira amostragem (6,56 mg/l).

O ferro é um componente que mostra uma marcada variação sazonal (Figura 20). As concentrações na segunda amostragem são menores que na primeira. No perfil P-2, na primeira amostragem, foram obtidos as maiores concentrações de ferro (8,89 e 8,39 aos 750 e 1000 metros de distância à costa, nessa ordem).

Os fluoretos neste ambiente aquático tem como origem o intemperismo das rochas, as emanções vulcânicas e a influência antropogênica. O íon fluoreto tem a capacidade de aumentar a solubilidade do ferro e outros metais em águas (AFGHAN, 1987).

As concentrações de fluoretos foram mais baixas nos pontos de descarga, o que indicar que sua origem é basicamente um resultado de processos geológicos. As concentrações mais altas foram

Média das amostragens de Junho–Julho e Outubro–Novembro 1993

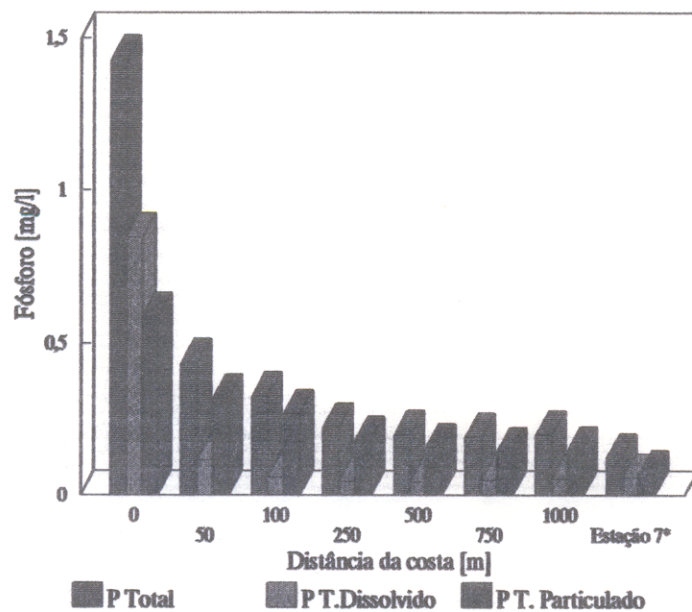


Figura 19. Distribuição do fósforo total no lago Xolotlán
*Média de dados de monitoramentos mensais do CIRA

Média das amostragens de Junho–Julho e Outubro–Novembro 1993

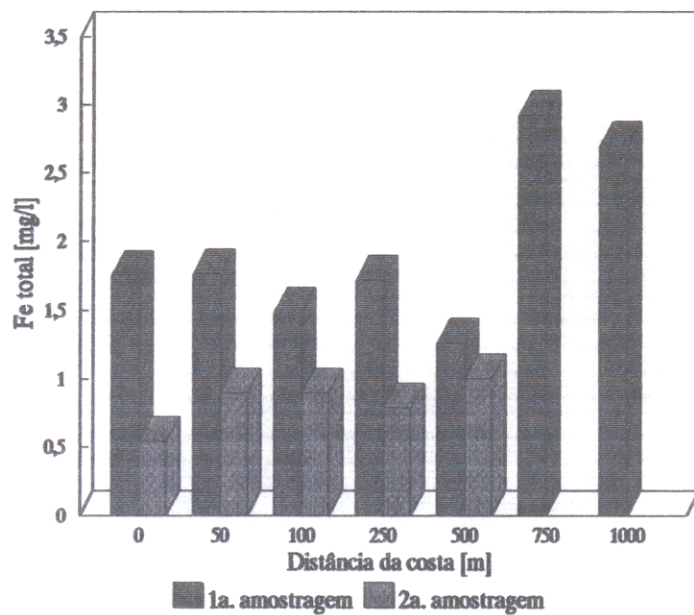


Figura 20. Variação Sazonal da concentração de Ferro Total no lago Xolotlán

registradas na primeira amostragem nos perfís do Rubén Darío e do canal Oriental, com uma média de 1,95 e 2,17 mg/l, respectivamente. Na estação 7, a concentração média obtida pelo CIRA também foi de 2,17 mg/l.

O boro em águas não contaminadas somente aparece em quantidades traços (AFGHAN, 1987). Na área de estudo, entretanto, as concentrações de boro variaram entre 0,2 e 3,4 mg/l. Estas concentrações limitam o uso das águas do lago para a irrigação. No efluente da Planta Geotérmica foram encontradas concentrações de boro de até 29 mg/l (INE apud LACAYO, 1993).

A alcalinidade mede a capacidade da água de neutralizar um ácido e reflete a presença de carbonatos, bicarbonatos e em menor escala boratos, silicatos, fosfatos. Em certos casos a amônia ou hidróxidos podem contribuir para a formação da alcalinidade (SAWYER & McCARTY, 1978).

A alcalinidade em todos os casos foi menor nos efluentes que no resto dos pontos. O menor valor foi obtido no ponto de descarga do efluente do complexo industrial com 146,1 mg CaCO_3/l e o maior valor no perfil P-3, com 851,7 mg CaCO_3/l .

A descarga de águas residuárias influencia a composição iônica das águas do lago Xolotlán, como é mostrado nas Figuras 21 e 22, embora os íons predominantes sempre sejam o sódio e o bicarbonato. Nos pontos de descarga, o cálcio é o segundo cátion predominante, mas sua concentração diminui drasticamente aos 50 metros e continua a diminuir até o centro do lago, onde predominam o Na^+ , HCO_3^- e Cl^- .

O aumento da somatória da concentração iônica ao centro-norte do lago também sugere um aporte dos íons sódio, potássio, carbonato, bicarbonato e cloreto pela atividade vulcânica.

Na classificação dos lagos segundo sua concentração iônica (PAYNE, 1986), o Xolotlán pode ser considerado um lago de Classe II (Tabela 26)

Tabela 26. Classificação dos lagos segundo sua concentração iônica

Parâmetros	Classe I	Classe II	Classe III
Condutividade [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	<600	600-6000	6000-160mil X
X íons Predom. ?	Na, HCO_3 (Ca)	Na, HCO_3 (Cl)	
pH	6,5-8	8,8-9,5	9,5-10,5

Fonte: PAYNE, 1986

A dureza é causada por cátions metálicos divalentes como cálcio, magnésio, estrôncio e ferro ferroso.

O valor médio de dureza total obtido na área de estudo foi de 114,3 mg CaCO_3/l (2,28 meq/l) e as águas podem ser consideradas como moderadamente duras, segundo a classificação da Water Encyclopedia (PHILBERT, 1987).

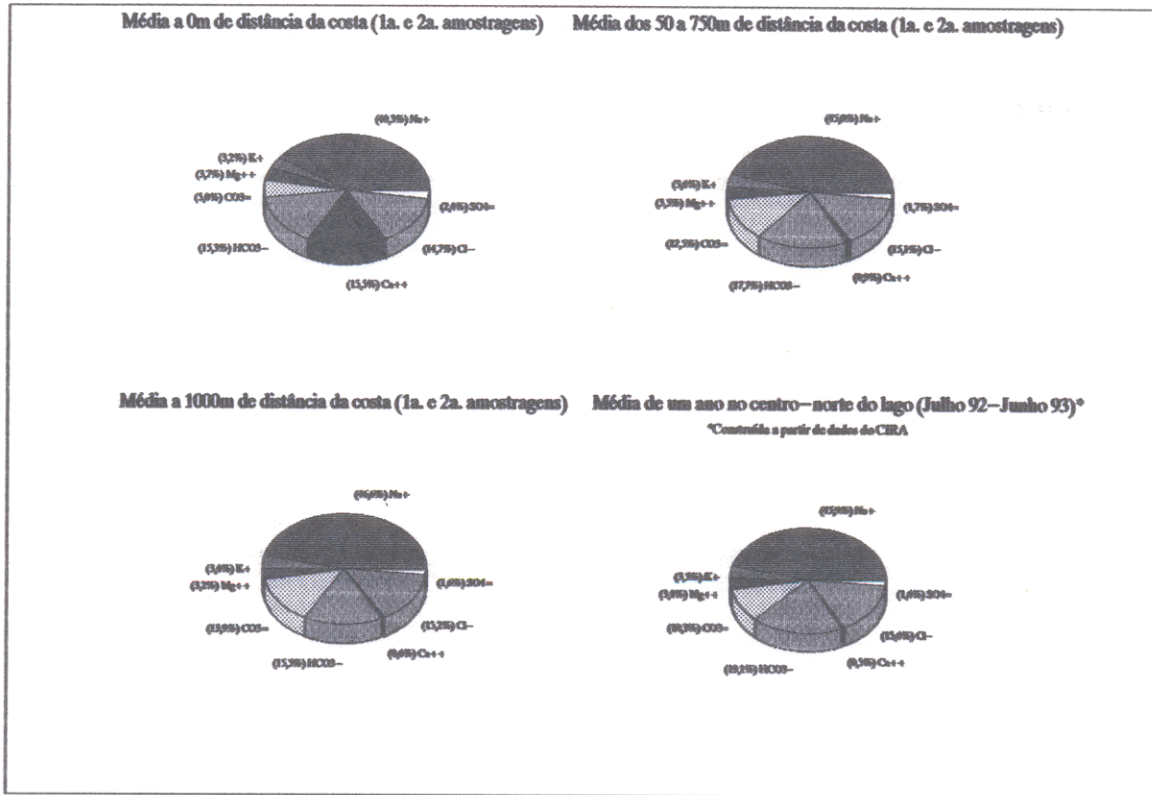


Figura 21 Distribuição da concentração dos íons principais das águas do lago Xolotlán

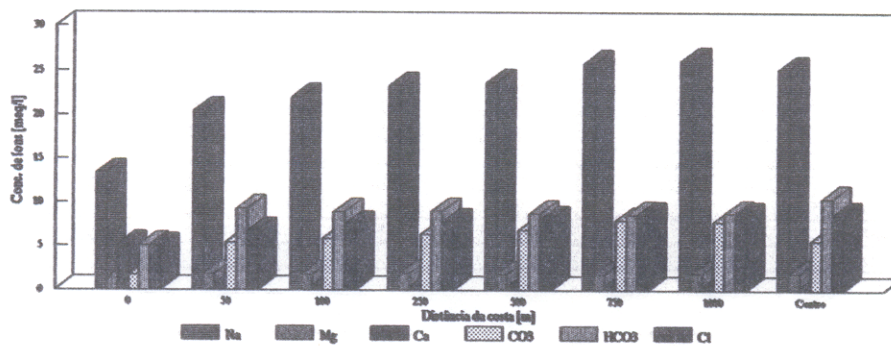


Figura 22 Variação espacial de Na, Mg, Ca, CO₃, HCO₃ e Cl no lago Xolotlán

8. CONCLUSÕES

1) As concentrações de cromo, cobre, arsênio e cádmio total em água foram inferiores aos limites estabelecidos pelo CONAMA, Brasil para águas salobras destinadas à recreação de contato primário, à proteção de comunidades aquáticas e à criação de espécies destinadas à alimentação humana.

2) O chumbo em água aparece em concentrações superiores ao limite mencionado no ponto de descarga do efluente do complexo industrial ELPESA-HERCASA-Refinaria ESSO.

3) Na maioria das amostras de água, não foi detectado o mercúrio total. Entretanto, em 16% das amostras registraram-se concentrações maiores à 0,1 ppb, sobretudo no perfil P-1 (descarga do efluente industrial).

4) A concentração de cromo em água apresentou um aumento na segunda amostragem que é interpretado como consequência do aumento da descarga deste elemento pelo coletor do Rubén Darío.

5) As concentrações médias (em $\mu\text{g/g}$), dos elementos traços analisados nos sedimentos do lago Xolotlán foram: Cr, 15,1; Cu, 138,6; As, 6,27; Hg, 3,02; Cd, 2,49 e Pb, 36,8.

6) A contaminação por cromo é gerada pelas fontes pontuais efluente do complexo industrial, pelo lixão Acahualinca, o coletor de esgotos do Rubén Darío, o canal Oriental e o coletor do Armando Guido.

7) A contaminação por cobre está sendo agravada pelas fontes pontuais de efluentes do complexo industrial ELPESA-HERCASA-Refinaria Esso, do coletor do Rubén Darío, do canal Oriental e do coletor da FAS.

8) A contaminação por arsênio é causada pelo efluente do complexo industrial, pelo lixão Acahualinca, pelo coletor do Rubén Darío, pelo coletor da FAS e pela atividade vulcânica.

9) As elevadas concentrações de mercúrio em sedimentos do litoral do lago Xolotlán são causadas pelo complexo industrial e em parte pelo lixão Acahualinca.

10) A contaminação por cádmio é causada pela atividade vulcânica.

11) A contaminação direta de chumbo no perfil P-3 é causada possivelmente pela lavagem de caminhões tanques no ponto de descarga do coletor de esgotos do Rubén Darío. A distribuição desordenada do chumbo no resto dos perfís sugere contaminação por fontes não pontuais.

12) Os resíduos organoclorados detectados em sedimentos do litoral do lago Xolotlán foram Σ DDT (formado por p,p'-DDE e p,p'-DDD) e toxafeno. As concentrações da Σ DDT encontradas variam entre 3,95 e 227 ng/g e sugere uma contaminação por uma fonte pontual não identificada. O toxafeno foi detectado num único ponto (ponto de descarga do efluente do complexo industrial amostrado) com uma concentração muito elevada (10,7 ppm).

A ocorrência do toxafeno num único ponto é coerente com a mobilidade restrita deste composto em sedimentos.

13) De maneira geral o lago Xolotlán demonstra um carácter alcalino. excluindo os pontos de descarga das fontes poluidoras, o pH varia entre 7,9 e 10,01.

14) Os sólidos totais no lago Xolotlán estão conformados principalmente por componentes dissolvidos. As elevadas

concentrações de sólidos dissolvidos é coerente com as concentrações iônicas e valores de condutividade encontradas (>2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Estes valores, somados à concentração de boro encontradas (>3 mg/l em alguns casos) não permitem o uso das águas do lago Xolotlán para a irrigação.

15) Segundo a classificação de Payne, o lago Xolotlán pertence a Classe II, cujos principais parâmetros são predomínio dos íons Na^+ , HCO_3^- e Cl^- , uma condutividade entre 600 e 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o pH dentre 8,8 e 9,5.

16) Nos pontos de descarga das fontes de contaminação, a composição iônica (em % de meq/l) das águas do lago Xolotlán é a seguinte: Na^+ , 40,3, Ca^{2+} , 15,5; Mg^{2+} , 3,7; K^+ , 3,2; HCO_3^- , 15,3; Cl^- , 14,7; CO_3^{2-} , 5,0 e SO_4^{2-} , 2,4. No centro-norte do lago, é: Na^+ , 45,9; K^+ , 3,5; Mg^{2+} , 3,4; Ca^{2+} , 0,5; HCO_3^- , 19,1; Cl^- , 15,6; CO_3^{2-} , 10,3 e SO_4^{2-} , 1,6.

17) O aumento dos valores de pH, alcalinidade, das concentrações iônicas e de boro, fluor e sólidos com direção norte do lago se deve muito provavelmente à atividade vulcânica.

18) A variação sazonal das variáveis físico-químicas reflete uma diminuição da concentração por diluição.

19) As maiores cargas de nutrientes são aportadas pelo coletor de esgotos do Rubén Darío acelerando o processo de eutrofização do lago Xolotlán.

20) O lago Xolotlán possui uma elevada capacidade de estabilização e conseqüentemente há uma rápida diminuição das demandas química e bioquímica de oxigênio e da concentração de nutrientes liberados ao lago via fontes pontuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFGHAN, B. K. 1987. Nutrients. In: VAN LOON, J., ed. *Chemical analysis of inorganic constituents of water*. 3. ed. Florida, CRC Press, Cap. 3., p. 133-185.
- AGUILAR, U. & LANUZA, L. 1991. **Diagnóstico preliminar y líneas generales del plan de acción para la reducción de la contaminación industrial en la ciudad de Managua y Lago Xolotlan**. Managua, IRENA, 26 p. (Relatório técnico).
- ALMA. 1993. **Disposición de la basura en la ciudad de Managua**. Managua, ALMA, 10 p. (Relatório técnico).
- ALMA/NACIONES UNIDAS. 1985. **Estudio del manejo del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Managua a nivel de diseño preliminar**. Proyecto NIC/82/002, V. 1. Managua, ALMA, 300 p.
- ALMENDAREZ, N. & OBANDO, M. 1991. **Estudio y análisis de las variables del agua en Lago de Managua para tratamiento de clarificación para uso de consumo humano**. Managua, Universidad Nacional de Ingeniería. (110 p). Tese (Mestrado) - Universidad Nacional de Ingeniería, 1991.
- ALTAMIRANO, M. & CÁCERES, R. 1991. **Características físico-químicas de las aguas de cauces y ríos que drenan al Lago de Managua**. León, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. (95 p). T.C.C. (Bachelerado em Química. Facultad de Química, Escuela de Ciencias, UNAN, 1991.
- ALVARADO, E. 1993. Alcantarillado sanitario de Managua. Operación y mantenimiento. In: SIMPOSIO DE AGUA Y SANEAMIENTO, 3., Managua, 1993 ANALES. Managua, INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS (INAA) - AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL JAPONESA (JICA) - ASOCIACIÓN NICARAGÜENSE DE INGENIERÍA AMBIENTAL (ANISA), p. 1 - 10.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. 1992. **Standard methods for the examination of water and waste water**. Washington, D. C., p. irreg.
- BAILEY, R. A.; CLARK, H.M.; FERRIS, J.P.; KRAUSE, S. STRONG, R.L. 1978. **Chemistry of the environment**. New York, Academic Press. 574 p.
- BECK, I. M. & CUADRA, Z. 1985 **Informe final : Hércules de Centro América fábrica de toxafeno**. Managua IRENA, 15 p. (Relatório técnico).
- BECK, I. M. & PAREDES, R. M. 1985 **Informe final : "ESSO Standard Oil S.A.; refinería de petróleo**. Managua, IRENA, 10 p. (Relatório técnico).

- BRAILE, P. M. & CAVALCANTI, J.E.W.A. 1979. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 18. ed. São Paulo, CETESB.
- BRÉMOND, R. & PERRODON, C. 1979. **Les paramètres de la qualité des eaux**. 2. ed. s. 1. Ministère de L'Environnement et du Cadre de Vie.
- CALERO, E., DÁVILA, C. ZELAYA, A. L. 1992. **Caracterización físico-química de las aguas residuales del matadero "CARNIC"**. León, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. 102 p. T.C.C. (Bachelorado em Química) Facultad de Química, Escuela de Ciencias, UNAN, 1992.
- CALERO, S., FOMSGAARD, I., LACAYO, M.L., MARTÍNEZ, V.; RUGAMA, R. 1992. Preliminary study of 15 organochlorine pesticides in Lake Xolotlán, Nicaragua. **Chemosphere**, 24 (9): 1413-1419.
- CALERO, S., FOMSGAARD, I., LACAYO, M.L., MARTÍNEZ, V.; RUGAMA, R. 1993. Toxaphene and other organochlorine pesticides in fish and sediment from Lake Xolotlán, Nicaragua. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, (53): 297-305.
- CARDOZA, E. 1993. **Caracterización físico-química del efluente de la industria de bebidas carbonatadas MILCA S.A.** Managua, Universidad Nacional de Ingeniería. 94 p. T.C.C. (Engenharia Química) Facultad de Química, UNI, 1993.
- CHAU, A. & AFGHAN, B., eds. 1992. **Analysis of Pesticides in Water**. Florida, CRS Press. V. 2.
- ERIKSON, R., HOOKER, E., MEJIA, M. 1991. **Actividad fotosintética ne el lago Xolotlán**. Managua, UNAN/IRENA, 8 p.
- EWERS, U. & SCHLIPKOTER, H. 1991. Lead. In MERIAN, E., ed. **Metals and their compounds in the environment. Occurrence, analysis and biological relevance**. Weinheim, VCH. Cap. II.16, p. 971-1013.
- FENZL, N. 1988a. **Introdução a hidrogeoquímica**. . Belém, UFPa.
- FENZL, N. 1988b. **NICARÁGUA. Geografía, clima, geología e hidrogeología**. Managua, UFPa/INETER/UNAN. 62p.
- FÖRSTNER, U. 1980. Cadmium. In: HUTZINGER, O., ed. **The handbook of environmental chemistry. Antropogenic compounds**. Berlin, Springer-Verlag, V.3, Part A, p. 59-107.
- FÖRSTNER, U. & WITTMAN, G. T. W. 1983. **Metal pollution in the aquatic environment**. . 2 ed. Berlin, , Springer-Verlag.

- GARCIA, E (Coord.). 1988 *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo, CETESB.
- GARCIA, E., ALEJANDRO, C., GONZÁLEZ, M. ROBLETO, J, GABEL, B, CORDELAIR, R., MOHRMANN, Y., WATERMANN, B. 1985. *Informe sobre los análisis del agua y peces hacia una contaminación con mercurio y algunos pesticidas del lago Xolotlán, Nicaragua*. Managua, IRENA, 42 p. (Relatório técnico).
- GAUGLHOFER, J. & BIANCHI, V. 1991. Chromium. In: MERIAN, E., ed. *Metals and their compounds in the environment. Occurrence, analysis and biological relevance*. Weinheim, VCH, Cap. II. 7, p. 853-878.
- GOLDMAN, R. & HORNE, A. 1983. *Limnology*. New York McGraw-Hill.
- GONZALEZ, A & MONTENEGRO, S. 1990. Lake Managua (Nicaragua) and Lake Valencia (Venezuela). A comparison of two highly intervened tropical lakes. *Internacional Symposium Havana, 1. Selected Papers*. Havana, Research Center for Hidraulic. p. 169-175.
- GUTIÉRREZ, C. 1991. *Posibilidades de aprovechamiento del lago de Managua*. Managua, UNAN/IRENA. 6 p.
- HAZEN & SAWYER - AGUSTÍN CHAN. 1973. *Informe sobre tratamiento de aguas negras para proteger las aguas del lago de Managua*. Managua, DENACAL/MINISTERIO DE SALUD, 64 p. (Relatório técnico).
- HERNÁNDEZ, A. 1993. *caracterización físico-químicas del efluente de la industria carbonatada ENSA*. Managua, Universidad Nacional de Ingeniería. 101 p. T.C.C. (Engenharia Química) Facultad de Química, UNI, 1993.
- HODGSON, G. 1983. Geología del área de Managua. In: *Seminario Hidrogeológico, 1., Managua, 1983. Resúmenes*. Managua, ANGPA p.1-7.
- HIDROSCIENCE, INC. 1972. Water quality analysis of lake water near the city of Managua. In: Hazen & Sawyer - AUGUSTÍN CHAN. 1973. *Informe sobre tratamiento de aguas negras para proteger las aguas del lago de Managua*. Managua, DENACAL/MINISTERIO DE SALUD. p. 1 - 32. (Relatório técnico).
- IRENA. 1982a. *Información básica sobre el Lago de Managua (Xolotlán)*. Managua, IRENA. p. II-II1.
- IRENA. 1982b. *Tema V. Relaciones lago ciudad*. Managua IRENA.

- IRENA. 1982. **Estudio de la dinámica de la contaminación del lago Xolotlán. Proyecto Lago Xolotlán. Informe 1985. Fase II.** IRENA - Dirección del Ambiente. 84 p. (Relatório técnico).
- IRENA. 1987. **Estudio de la dinámica de la contaminación en el lago Xolotlán para su aprovechamiento.** Managua, IRENA - Dirección del Ambiente. 53 p. (Relatório técnico).
- IRENA. 1992. **Plan de acción para el saneamiento y recuperación del lago de Managua,** Managua, IRENA - Comisión de la Cuenca del Lago de Managua. (Relatório técnico).
- JAWORSKI, J; NRIAGU, J.; DENNY, P.; HART, B. T. LASHEEN, M. R. ; SUBRAMANIAN, V.; WONG. M. H. 1987. Lead. In: HUTCHINSON T. C. & MEENA, K.M. **Lead, mercury, cadmium and arsenic in the environment.** Chichester,, John Wiley & Sons on Behalf of the Scientific Committee on Problems of the environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU). Cap.1, p. 3-16.
- KLEIN, W. 1987. **Contaminación ambiental por Toxafeno y DDT.** Managua, MINSAs - Centro Nacional de Higiene y Epidemiología, 7 p. (Relatório técnico).
- KRASNY, J. & LÓPEZ, A. 1988 **Mas agua para Managua. Consideraciones sobre estrategia del abastecimiento futuro de la capital nicaragüense dentro del contexto regional.** Managua, INETER - Dirección General de Hidrometeorología y suelos, Departamento de Hidro geología. (Relatório técnico).
- LACAYO, M. 1991. Physical and chemical features of Lake Xolotlán (Managua). **Hydrobiological Bulletin.** (Limnology of Lake Xolotlán - Lake Managua, Nicaragua). 25 (2): 101-180; 111-116.
- LACAYO, M. 1993. **El lago Xolotlán, un ecosistema en crisis.** Artículo não publicado. 18 p.
- LACAYO, M.L. & FOMSGAARD, I. 1992. **Toxafeno y su impacto ambiental.** Managua, CIRA, (Relatório técnico).
- LACAYO, M.L., CRUZ, A., LACAYO, J., CALERO, S., FOMSGAARD, I. 1992. Total arsenic in water, fish and sediments from Lake Xolotlán (Managua). **Bulletin of environmental Contamination and Toxicology** 49: 463-470.
- LACAYO, M., CRUZ, A., LACAYO, J., FOMSGAARD, I. 1991. Mercury contamination in Lake Xolotlán (Managua). **Hydrobiological Bulletin.** (Limnology of Lake Xolotlán - Lake Managua, Nicaragua). 25 (2): 101-180; 173-176.
- LANNERGREN, C. 1982. **Lake Managua basin development. Environmental influences and interactions.** Stockholm, SWECO.

- LASHEEN, M.R. 1987. The distribution of trace metals in aswan High Dam reservoir and River Nile ecosystem. In: HUTCHINSON T.C. & MEENA, K.M. **Lead, mercury, cadmium and arsenic in the environment**. Chichester, John Wiley & Sons on Behalf of the Scientific Committee on Problems of the environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU). Cap. 15, p. 235-254.
- PAREDES, R.M. 1985. **Electroquímica PENWALT S.A. (ELPESA) (Industria de cloro-alkali)**. Managua IRENA - Dirección de Ambiente, Departamento de Estudios Ambientales. 12 p. (Relatório técnico).
- PAYNE, A. I. 1986. **The ecology of tropical lakes and rivers**. s.l., Wiley and Sons.
- PHILBERT, F.J. 1987. Physical parameters. In VAN LOON, J. ed. **Chemical analysis of inorganic constituents of water**. 3. ed. Florida, CRC Press, Cap. 1, p. 1-66.
- POLLOCK, G. & KILGORE, W. 1978. Toxaphene. **Residue Reviews** 69: 92-98.
- RE, M. L. & QUINTANILLA, M. 1992. **Caracterización físico-química de las aguas residuales de industria cervecera S.A., "TOÑA"**. Managua, Universidad Nacional de Ingeniería. 110 p. T.C.C. (Engeñaria Química). Facultad de Química, UNI, 1992.
- RODIER, J. 1981. **Análisis de las Águas**. Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Barcelona, Omega
- SAWIER, C.N. & McCARTY, P.L. 1978. **Chemistry for environmental engineering**. 3. ed. New York, McGraw Hill. 532 p.
- STOEPPLER, M. 1991. Cadmium. In: MERIAN, E., ed. **Metals and their compounds in the environment. Occurrence, analysis and biological relevance**. Weinheim, VCH. Cap. II. 6, p. 803-851.
- TEOS, P., VELÁSQUEZ, M.L., ZELAYA, E. 1992. **Caracterización físico-química de las aguas residuales de la industria láctea La Selecta**. León, Universidad Nacional Autónoma de Managua. 95 p. T.C.C. (Bachelerado em Química), facultad de Química, Escuela de Ciencias, UNAN, 1992.
- THOMPSON, J.A.J.; MACDONAL, R.W., WONG, C.S. 1980. Mercury geochemistry in sediments of a contaminated fjord of Coastal British Columbia. **Geochemical Journal**, 14: 71-82.
- UNITED STATES PROTECTON AGENCY - Office of Drinking Water Health advisories. 1988. Toxaphene. **reviews of environmental Contamination and Toxicology**. 104: 203-211.
- VARGAS, M.H., VAMMEN, K., MAIRENA, I, ZELAYA, A., VANEGAS, L., CHACÓN, C. 1991. **Estudio de la dispersión horizontal de bacterias fecales en el litoral sur del lago Xolotlán**. Managua, UNAN/IRENA, 7 p.
- VON BURG, R. & GREENWOOD, M. 1991. Mercury. In: MERIAN, E., ed. **Metals and their compounds in the environment. Occurrence, analysis and biological relevance**. Weinheim, VCH. Cap. II. 20 p.