

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

EVALUACION DE NIVELES DE NITRITOS  
Y NITRATOS EN LAS AGUAS DEL LAGO DE AMATITLAN  
EN EPOCA LLUVIOSA

Informe de Tesis  
Presentado por

MARIO VALLADARES MONTALVO

Para Optar al Título de  
QUIMICO FARMACEUTICO

GUATEMALA, JUNIO DE 1994

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

372917

DL  
06  
T(92)

## AGRADECIMIENTO

Agradesco de manera muy especial, el apoyo brindado para la realización de esta Tesis a:

Mis padres

Mi Esposa e hijo

Hermanos

Lic. Elfego Rolando Lopez ( asesor )

Dirección General de Energía Nuclear en especial a:

Lic. Sergio Molina ( Dep. Radioquímica )

Laboratorios Laprín

Licda. Beatriz Medinilla

Lic. Luis Farnando Girón

Licda. Gloria E. Navas

Lic. Jorge Luis de Leon

Licda. Clemencia Galvez de Avila

Lic. Francisco Monteroso Salinas

Y a muchas otras personas que de una forma u otra colaboraron con esta tesis, a todas ellas MUCHAS GRACIAS



## 1. RESUMEN

En el presente estudio se determinó la presencia y contenido de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$  en las aguas del lago de Amatitlan y se compararon los valores encontrados en dicho estudio con los referidos por la Organización Mundial para la Salud.

El agua disuelve y arrastra infinidad de sustancias que pueden alcanzar valores intolerables para el consumo humano, lo que se evidencia para el caso de los nitritos y nitratos a través de diferentes estudios en los que se reportan valores elevados de éstos ( $> 0.01 \text{ mg/l}$  y  $45 \text{ mg/l}$  respectivamente), y que se relacionan con una mayor incidencia de metahemoglobinemia en infantes, especialmente en niños menores de 3 meses.

El presente estudio se realizó en el lago de Amatitlán y en 4 pozos aledaños, que surten de agua a la población que habita cerca de éstos.

El estudio se realizó en la época lluviosa del año durante los meses de junio-julio, muestreándose cada 8 días. Las muestras recolectadas se dividieron en dos grupos principales, que fueron: Las aguas del lago y las aguas de los pozos seleccionados, recolectándose para el primer grupo 2 muestras en cada una de las cinco estaciones de muestreo en cada fecha de muestreo y 2 muestras de cada pozo para el segundo grupo. Además se muestreó ocasionalmente el río Villa Lobos para utilizarse como referencia de valores de aguas contaminadas.



Según la Organización Mundial para la Salud (OMS), el límite máximo permitido de nitritos y nitratos en agua para consumo humano es de 0.01 mg/lit y 45 mg/Lit respectivamente.

Al efectuar el análisis estadístico de los resultados obtenidos se confirmó la presencia de nitratos, los cuales se encuentran en concentraciones menores a los límites máximos permitidos por la OMS; confirmándose también la presencia de nitritos, cuyas concentraciones en las muestras de agua de pozos son mayores a los límites máximos permitidos por la OMS para el adulto.

De esta forma se obtuvo información real que podrá ser utilizada por las organizaciones, instituciones y asociaciones que trabajan en el saneamiento del lago.



## 2. INTRODUCCION

Químicamente el agua está compuesta de dos átomos: uno de hidrógeno y otro de oxígeno, pero ésta no existe como tal exclusivamente, ya que durante su ciclo se pone en contacto con infinidad de sustancias que aún en pequeñas cantidades pasan a formar parte de la misma por disolución.

Según el Séptimo Congreso del Instituto Hispano Luso Americano de Derecho Internacional, desarrollado en Buenos Aires en 1969, "La contaminación aplicada a las aguas, las mancha y modifica, haciéndoles cambiar su inicial estado de pureza y de transparencia en las que deben estar exentas de materias nocivas y de microorganismos peligrosos " ( 10 ).

La contaminación de las aguas tiene origen natural o artificial, siendo esta última, ocasionada por el hombre de forma directa o indirecta; un ejemplo de esto es la contaminación agrícola, en la cual el empleo de plaguicidas, fertilizantes y otros es frecuente. Algunos fertilizantes son preparados a base de nitratos y fosfatos que son perjudiciales a la salud y sobre todo al ambiente. Estos son acarreados por las aguas de lluvias y riego a las fuentes naturales o reservorios de ésta (18).

Cuando una fuente posee concentraciones altas de nitritos y nitratos, se convierte en un peligro latente para la población que depende de ella, ya que el nitrato se reduce a nitrito por la microbiota intestinal, y al entrar al torrente sanguíneo se unen con facilidad al  $Fe^{++}$  de la molécula de hemoglobina,



disminuyendole su afinidad por el oxígeno al oxidarlo a  $Fe^{+++}$  , provocando así la patología denominada METAHEMOGLOBINEMIA, o hipoxia sanguínea que afecta principalmente a niños lactantes menores de 3 meses de edad.

Entre los reservorios de agua que se ven afectados por contaminación con sustancias de este tipo, esta el lago de Amatitlán, situado a 20 Km de la ciudad Capital, a  $14^{\circ}, 30'$  latitud norte y  $90^{\circ}, 35'$  longitud, a 1188 metros sobre el nivel del mar (msnm). Tiene una superficie de  $15 \text{ km}^2$  , el área de su cuenca tributaria es de  $368 \text{ km}^2$  y una profundidad promedio de 18 m. Según la Organización Mundial para la Salud el límite máximo permitido de nitritos y nitratos en agua es de 0.01 mg/lit y 45 mg/Lt respectivamente, por lo que es prioritario evaluar los niveles de contaminación para estas sustancias en el lago de Amatitlán, y de esta forma obtener información real que pueda utilizarse por las organizaciones, instituciones y asociaciones que trabajan con su saneamiento.



### 3. ANTECEDENTES

En lo que respecta a trabajos de investigación sobre esta temática en el lago de Amatitlán, se cuenta con varios informes que se encuentran en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos.

De acuerdo con la revisión bibliográfica, se determinó la existencia de información referente al análisis de contaminantes que promueven la eutroficación, entre los que se encuentran los nitritos y nitratos, pero por razones prácticas, únicamente se incluyen los que tienen relación directa con este trabajo. Se cuenta con varios proyectos de investigación realizados por instituciones privadas, semiprivadas y gubernamentales, entre las que podemos contar:

- En 1945, Comly (19) fue quien primero observó la toxicidad de los nitratos y nitritos en el hombre, encontrando elevados niveles de metahemoglobina y los signos conexos de toxicidad por nitrato en dos lactantes que habían consumido agua contaminada con altas concentraciones de nitratos.

- Estudios de escasez de zooplancton en el lago de Izabal, en 1969, en el que se logró determinar que el causante fue un aumento indiscriminado de algas rojas, causado por altas concentraciones de nitrito y nitrato ( 3 ).



- Evaluación de niveles de nitritos y nitratos en aguas para consumo humano de la ciudad de Rabinal, Departamento de Baja Verapaz ( 13 ). En este estudio se realizaron muestreos en el municipio de Rabinal en fuentes de agua como ríos, pilas y pozos, donde se encontró que los niveles de nitritos y nitratos se encontraban por debajo de los límites.

- Evaluación de niveles de nitritos y nitratos en fuentes de agua de la República de Guatemala ( ríos, lagos, lagunas, mares, etc.) por el Ministerio de Energía y Minas. Este análisis de aguas se realiza periódicamente al disponerse de financiamiento, pero sus resultados están aún pendientes de publicación(17).

- Eutroficación de la Laguna el Pino ( 14 ), en donde se evaluó el grado de eutroficación que posee la laguna ; evaluando varios parámetros como: nitritos, nitratos, amoníaco, nitrógeno total, pH y otros, encontrándose cifras significativamente altas.

- En 1982 se reportaron concentraciones de nitritos y nitratos que oscilaron entre 0.0 y 0.45 mg/Lt en las aguas que utiliza la población de Amatillo, Ipala, del Departamento de Chiquimula ( 7 ).

- En 1983 se reportaron concentraciones de nitritos y nitratos de 0.2 a 1.76 mg/litro en las aguas que se utilizan en la ciudad de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos ( 9 ).



Además se cuenta con varias publicaciones internacionales de varios autores sobre el estudio de la metahemoglobinemia en niños como consecuencia de consumo de aguas contaminadas (6).

Basterrechea (1) cuenta con varias publicaciones de estudios realizados en el lago de Amatitlán ( 1,2 ), donde se estudian las características hídricas del lago de Amatitlán como lo son: su cuenca, profundidad, afluentes, efluentes, etc.



El desarrollo de la Industria Agrícola, y la necesidad de nutrientes en el suelo para cultivo, ha extendido ampliamente la utilización indiscriminada de los fertilizantes.

Algunos de estos fertilizantes poseen la capacidad de degradarse a nitritos y nitratos que son acumulados frecuentemente en las fuentes de agua al ser lavados y arrastrados de las tierras por lluvias y aguas de riego (4).

La acumulación de nitritos y nitratos en las aguas, promueven el crecimiento desmedido de la flora acuática (eutroficación), que actúa como un elemento de obstrucción al libre escurrimiento del agua y además disminuye el contenido de oxígeno disuelto presente en el agua, lo que ocasiona la muerte de la fauna existente en ellas (2,4,13) .

Cuando una fuente posee concentraciones altas de nitritos y nitratos, se convierte en un peligro latente para la población que depende de ella, ya que el nitrato se reduce a nitrito por la microbiota intestinal, y al entrar al torrente sanguíneo se unen con facilidad al  $Fe^{++}$  de la molécula de hemoglobina, disminuyéndole su afinidad por el oxígeno al oxidarlo a  $Fe^{+++}$  , provocando así la patología denominada METAHEMOGLOBINEMIA, o hipoxia sanguínea que afecta principalmente a niños lactantes menores de 3 meses de edad. Estos niños poseen un alto contenido de hemoglobina fetal, mucho más susceptible a formar el complejo de coordinación con el ion NITRITO ( 2,6,11,13,18).

El lago de Amatitlán por su cercanía a la capital, además



de servir como área de recreación para su población, recibe además el 75% de las aguas negras que provienen de la misma, por lo que se aumenta la descarga contaminante de los afluentes ( 1,2,4,5 ), y poniendo en peligro latente a la población que consume estas aguas.

La concentración de nitritos y nitratos considerada por la Organización Mundial de la Salud como inofensiva es de 0.01 mg/lt y 45 mg/lt respectivamente, de donde se infiere que si los niveles encontrados son mayores indicarán un peligro potencial para sus consumidores. ( 5 )



## 5. OBJETIVOS

1. Cuantificar los niveles de nitrito y nitrato en las aguas del lago de Amatitlán, así como en las de los pozos Santa Teresa, San Pedro, La Virgen y Palmeras Bajas de la parte sureste del lago, según el método espectrofotométrico.
2. Comparar los valores de concentración de nitrito y nitrato en las aguas del lago y pozos, con los referidos por la organización Mundial para la Salud.
3. Determinar el área del lago que según el muestreo presenta mayor concentración de nitrito y nitrato.
4. Evidenciar el riesgo en que se encuentra la población que pudiera consumir y utilizar esta agua, e informar a instituciones gubernamentales y privadas



## 6. HIPOTESIS

1. Los niveles de concentración de nitrito y nitrato en las aguas del lago de Amatitlán en época lluviosa son mayores a 0.01 mg/Lt Y 45 mg/Lt respectivamente, que son los límites establecidos por la Organización Mundial para la Salud (OMS).

2. Las concentraciones de nitrito y nitrato en las aguas subterráneas ( Pozos ) son mayores a las encontradas en aguas superficiales del lago de Amatitlán debido al fenómeno de filtración que sobrepasan estas moléculas.



## 7. MATERIALES Y METODOS

### ASPECTOS METODOLOGICOS

#### 7.1 UNIVERSO DE TRABAJO

Lo constituyen el lago de Amatitlán y pozos de la parte sureste del mismo, con su contenido de nitritos y nitratos, de donde se colectaron las muestras de las distintas áreas de muestreo, para un total de 63 muestras (ver mapa adjunto).

#### 7.2 MEDIOS

##### 7.2.1 Recursos Materiales

##### 7.2.1.1 Equipo y Material de Laboratorio

- Agitador eléctrico
- Balanza analítica
- Espectrofotómetro
- Cubetas de vidrio de 2cc.
- Refrigerador
- Balones Aforados de 50,100,250 y 1000 ml
- Baños de María
- Vasos de Precipitar de 100 y 250 ml
- Pipetas Volumétricas de 1,2,5,10 ml
- Espátulas
- Pissetas
- Goteros
- Botella Muestreadora
- Frascos de color ámbar



- Nitrato de Sodio
- Hielo
- Agua desionizada
- Kit de reactivos "Spectroquant nitrato" de la casa comercial Merck, que cuenta con dos reactivos: NO<sub>3</sub> -1A ( azocompuesto )  
NO<sub>3</sub> -2A ( ACIDO SULFURICO 96% )
- Cloruro de N-1 Naftil etilendiamonio
- Sulfanilamida

#### 7.2.2 Recursos Humanos

- Autor de la Tesis: Mario Valladares Montalvo.
- Asesor de Tesis: Lic. Elfego Rolando López.  
Lic. Sergio Molina Dirección General  
de Energía Nuclear (DGEN).

#### 7.3 PROCEDIMIENTO

- 7.3.1 Revisión bibliográfica.
- 7.3.2 Elaboración de un mapa de las áreas de muestreo.
- 7.3.3 Recolección de muestras.
- 7.3.4 Determinación y cuantificación de las concentraciones de nitritos y nitratos de las muestras recolectadas.
- 7.3.5 Análisis de datos.
- 7.3.6. Elaboración de informe final.



#### 7.4 METODO

##### Determinación cuantitativa de nitratos

Si la determinación no tiene lugar inmediatamente, se conserva la muestra de agua manteniéndola en refrigeración o congelada. En esta forma el agua se conserva inalterada durante unas dos semanas para la determinación de nitratos.

Para la determinación de las concentraciones en las muestras de agua, se utilizó la técnica descrita, utilizando el kit de reactivos "Spectroquant Nitrate" de la casa comercial Merck.

Técnica: Se tomó una microcucharada de reactivo  $\text{NO}_3^-$  -1A y se colocó en un tubo seco, se agregaron 5 ml de reactivo  $\text{NO}_3^-$  -2A y se disolvió el reactivo  $\text{NO}_3^-$  -1A. Una vez disuelto se agregó con cuidado 1.5 ml de la muestra de agua y se dejó reposar hasta temperatura ambiente. Después de 10 minutos se realizó la lectura espectrofotométrica de la solución. Como blanco de referencia se utilizó 1.5 ml de la muestra de agua con 20 ml de ácido sulfúrico 96%. La lectura fotométrica se realizó a una longitud de onda de 515 nm. Para la elaboración de una curva de calibración se realizaron las siguientes etapas: 0.1635 gramos de nitrato de sodio se llevaron a 1000 ml en un balón aforado con agua destilada en donde 1 ml es igual a 0.1 miligramos de nitrato. De esta solución se preparon las alícuotas necesarias.



## Determinación cuantitativa de nitritos

Al igual que en el análisis anterior, si éste no se realiza inmediatamente después de colectada la muestra, se debe ejecutar el mismo tratamiento inicial que para los nitratos. Técnica: Se trataron 5 ml de la muestra de agua, o según sea la concentración de iones nitrito, con 2 gotas de una mezcla de volúmenes iguales de solución de sulfanilamida y cloruro de 1-naftil etilendiamonio, se mezcló y a los 10 minutos de reacción, durante los cuales se debe proteger de la luz solar directa, se midió a 543 nm frente a una muestra en blanco tratada de igual manera de 5 ml de agua desionizada.

La curva de calibración se estableció mediante soluciones patrón de nitrito de sodio, que han sido tratadas de la misma manera que la muestra de agua. ( 10 )

## 7.5 DISEÑO DE INVESTIGACION

### 7.5.1 Diseño de Muestreo

Se tomó el diseño de muestreo establecido por estudios anteriores (1).

Se realizaron seis muestreos en cinco diferentes partes del lago, siendo estas áreas:

- Desembocadura del río Villalobos.
  - Desembocadura de efluente de Amatitlán.
  - Sector medio de parte Norte y Sur.
  - Desembocadura de río Panpumay y Chanquín.
- (Ver mapa adjunto).



En cada una de estas áreas se tomó la muestra y su duplicado de cada uno.

Además del muestreo del lago se seleccionaron cuatro pozos que utiliza la población de la parte sur del lago, ya que tanto los nitritos como nitratos son solubles en el agua, y se concentran causando mayores problemas en las fuentes de agua subterránea.

Los pozos que se muestrearon fueron:

- Santa Teresa (ST)
- La Virgen (LV)
- Palmeras Bajas (PB)
- San Pedro (SP)

Estos análisis se realizaron por duplicado.

#### 7.5.2 Análisis de resultados

##### 7.5.2.1 Prueba de hipótesis de comparación de medias

Se utilizó la prueba de Duncan para establecer la diferencia múltiple de medias, para compararlos entre sí, y con el límite establecido por la OMS.

##### 7.5.2.2 Análisis de varianza

Se les aplicó un análisis utilizando ANDEVA con una comparación múltiple de medias con un alfa de 0.05%, utilizando el programa de computación SAS.



R E S U L T A D O S

TABLA 1

EVALUACION ESTADISTICA DE CONTENIDO DE NITRITO Y NITRATO  
EN LAS ESTACIONES INVESTIGADAS

ESS	CONCENTRACION DE NITRITO	CONCENTRACION DE NITRATO	MUESTREO	ESTACION DE MUESTREO	TIPO
1	2.76	1268.87	1	01	L
2	1.53	779.29	1	02	L
3	2.42	490.34	1	03	L
4	2.78	131.34	1	05	L
5	19.84	507.85	1	PB	P
6	1	157.61	1	ST	P
7	28.91	4649.45	1	SP	P
8	4.91	113.83	1	LV	P
9	2.78	1173.31	2	01	L
10	3.13	700.48	2	02	L
11	3.62	113.83	2	03	L
12	2.78	1593.60	2	04	L
13	5.41	52.54	2	05	L
14	43.66	1234.60	2	06	R
15	20.2	2250.30	2	PB	P
16	1.89	1033.21	2	ST	P
17	15.22	3493.66	2	SP	P
18	3.84	1024.46	2	LV	P
19	6.65	823.07	3	01	L
20	3.44	665.46	3	02	L
21	3.4	1068.24	3	03	L
22	17.91	639.19	3	04	L
23	4.51	1488.53	3	05	L
24	13.27	1479.77	3	PB	P
25	2.54	717.99	3	ST	P
26	15.59	1611.11	3	SP	P
27	33.64	674.21	3	LV	P
28	3.35	3043.57	4	01	L
29	4.58	2427.44	4	02	L
30	5.11	554.90	4	03	L
31	5.46	2632.82	4	04	L
32	3.53	2753.63	4	05	L
33	43.62	3514.73	4	06	R
34	16.89	3473.48	4	PB	P
35	3.18	3369.75	4	ST	P
36	32.72	17684.83	4	SP	P
37	26.91	4179.18	4	LV	P

SP - San Pedro

PB - Palmeras Bajas

L - Lago

LV - La Virgen

ST - Santa Teresa

R - Río

P - Pozo



Tabla 1

EVALUACION ESTADISTICA DE CONTENIDO DE NITRITO Y NITRATO  
EN LAS ESTACIONES INVESTIGADAS  
(CONTINUACION)

Est	CONCENTRACION DE NITRITO	CONCENTRACION DE NITRATO	MUESTREO	ESTACION DE MUESTREO	TIPO
38	2.11	3007.33	5	01	L
39	2.65	2801.95	5	02	L
40	2.45	2838.19	5	03	L
41	3.72	4577.85	5	04	L
42	3.36	1146.87	5	05	L
43	67.2	4346.63	5	06	R
44	50.57	2052.93	5	PB	P
45	1.4	869.00	5	ST	P
46	31.79	31528.74	5	SP	P
47	83.29	4058.37	5	LV	P
48	6.75	639.47	5	01	L
49	1.1	2137.50	6	02	L
50	1.1	977.50	5	03	L
51	1.1	2632.82	6	04	L
52	2.08	554.50	6	05	L
53	27.66	3514.73	6	06	R
54	64.93	3164.38	6	PB	P
55	1.1	470.33	6	ST	P
56	107.8	34863.08	6	SP	P
57	21.14	893.17	6	LV	P

Las concentraciones de nitritos y nitratos estan presentadas en ug/l.

L = lago P = pozo R = rio

SP = San Pedro  
LV = La Virgen

ST = Santa Teresa  
PB = Palmeras Bajas

TABLA 2

SAS  
 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA MODELOS LINEALES  
 VARIABLE DEPENDIENTE: NITRATO

DF	Tipo III SS	Promedio al cuadrado	Valor F	Pr > F	FUENTE
5	235641975.5	47128395.1	2.15	0.0776	MUESTREO
7	882426093.44	126060870.49	5.76	0.0001	ESTACION
0	0.00				TIPO

TABLA 3

SAS  
 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA MODELOS LINEALES  
 VARIABLE DEPENDIENTE: NITRITO

DF	Tipo III SS	Promedio al cuadrado	Valor F	Pr > F	FUENTE
5	1949.251633	389.850327	1.41	0.2422	MUESTREO
7	4656.270979	665.181568	2.40	0.0370	ESTACION
0	0.00				TIPO







TABLA 4  
 DESVIACION ESTANDAR DE LOS ANALISIS DE NITRITOS Y NITRATOS  
 (CONTINUACION) 7

ESTACION DE MUESTREO	CONCENTRACION DE NITRITO	DESVIACION ESTANDAR DE NITRITO	CONCENTRACION DE NITRATO	DESVIACION ESTANDAR DE NITRATO
01	2.11	1.09	3007.33	0
02	2.65	0.84	2601.95	0
03	2.65	0.84	2838.19	0
04	3.72	0.84	4577.85	0
05	3.36	0.84	1146.87	0
06	67.2	1.55	4396.63	0
PB	50.57	1.18	2052.93	0
ST	1.4	1.08	869.00	0
SP	31.79	1.30	31528.74	0
LV	83.29	2.17	4058.37	0
01	6.75	0.28	639.47	0
02	1.1	0.00	2137.50	0
03	1.1	0.00	977.50	0
04	1.1	0.00	2632.82	0
05	2.08	0.28	554.90	0
06	27.96	0.00	3514.73	0
PB	64.93	0.00	3164.39	0
ST	1.1	0.00	470.33	0
SP	107.8	0.93	34863.08	0
LV	21.14	0.28	893.17	0

PB = Palmeras Bajas  
 LV = La Virgen

ST = Santa Teresa  
 SP = San Pedro



TABLA 5

SAS

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA MODELOS LINEALES  
 TEST DE DUNCAN DE RANGO MULTIPLE PARA VARIABLE: NITRITO

nota: este test controla el error comparativo tipo I, no el error experimental.  
 Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

AGRUPAMIENTO DUNCAN	PROMEDIO	NUMERO DE MUESTRAS	MUESTREO
A	24.674	10	5
A	23.506	10	6
A	14.535	10	4
A	11.439	9	3
A	10.456	10	2
A	8.021	8	1

TABLA 6

SAS

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA MODELOS LINEALES  
 TEST DE DUNCAN DE RANGO MULTIPLE PARA VARIABLE: NITRITO

nota: este test controla el error comparativo tipo I, no el error experimental.  
 Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

AGRUPAMIENTO DUNCAN	PROMEDIO	NUMERO DE MUESTRAS	ESTACION
A	45.61	4	6
A	38.67	6	SP
A	30.95	6	PB
A	28.95	6	LV
B	6.19	3	4
B	4.07	6	1
B	3.72	6	3
B	3.62	6	5
B	2.74	6	2
B	1.05	6	ST

LV = La Virgen  
 PB = Palmeras Bajas

SP = San Pedro  
 ST = Santa Teresa

TABLA 7

SAS

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA MODELOS LINEALES  
 TEST DE DUNCAN DE RANGO MULTIPLE PARA VARIABLE: NITRITO

nota: este test controla el error comparativo tipo I, no el error experimental.  
 Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

AGRUPAMIENTO DUNCAN	PROMEDIO	NUMERO DE MUESTRAS	TIPO
A	45.61	4	R
B	25.11	24	P
C	3.99	29	L
<i>L = Lago</i>	<i>R = Río</i>	<i>P = Pozo</i>	

TABLA 8

SAS

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA MODELOS LINEALES  
 TEST DE DUNCAN DE RANGO MULTIPLE PARA VARIABLE: NITRATO

nota: este test controla el error comparativo tipo I, no el error experimental.  
 Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

AGRUPAMIENTO DUNCAN	PROMEDIO	NUMERO DE MUESTRAS	MUESTREO
A	5728	10	5
A	4985	10	6
A	4364	10	4
A	1267	10	2
A	1019	9	3
A	1012	8	1



TABLA 9

SAS

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA MODELOS LINEALES  
TEST DE DUNCAN DE RANGO MULTIPLE PARA VARIABLE: NITRATO

nota: este test controla el error comparativo tipo I, no el error experimental.  
Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

AGRUPAMIENTO DUNCAN	PROMEDIO	NUMERO DE MUESTRAS	ESTACION
A	15638	6	SP
B	3165	4	6
B	2415	5	4
B	2156	6	PB
B	1824	6	LV
B	1659	6	1
B	1585	6	2
B	1193	6	ST
B	1021	6	5
B	1007	6	3

SP = San Pedro  
LV = La Virgen

ST = Santa Teresa  
PB = Palmeras Bajas

TABLA 10

SAS

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA MODELOS LINEALES  
TEST DE DUNCAN DE RANGO MULTIPLE PARA VARIABLE: NITRATO

nota: este test controla el error comparativo tipo I, no el error experimental.  
Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

AGRUPAMIENTO DUNCAN	PROMEDIO	NUMERO DE MUESTRAS	TIPO
A	5180	24	P
A	3165	1	R
A	1507	29	L

L = Lago

R = Río

P = Pozo



## 9. Discusión de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pueden observar dos tendencias, las cuales se deben a las dos áreas evaluadas (pozos-lago). Los pozos de la parte sureste son de mayor importancia que el mismo lago, ya que son los que suplen de agua para consumo a toda la población que habita en las áreas aledañas a los mismos. Las aguas subterráneas también llegan al lago por medio de filtración directa, representando más del 60% del agua que entra al lago. Estas aguas como puede verse en las tablas de resultados, se encuentran altamente contaminadas, representando un peligro toxicológico latente, que se manifiesta en la evolución de metahemoglobinemia o hipoxia sanguínea. Esta patología se presenta principalmente en niños menores de 3 meses que ingieren estas aguas, debido a que su hemoglobina es más susceptible.

La hemoglobina al ponerse en contacto con el anión nitrito que es el que ingresa al torrente sanguíneo, se oxida irreversiblemente, lo que evita que ésta ligue oxígeno para suplir a los tejidos. Esta situación provoca en los niños problemas serios que a veces se adjudican o consideran típicos y "normales" en los niños de esta región. Algunos de estos problemas son: disminución en su desarrollo mental y físico, poco crecimiento, mayor susceptibilidad a enfermedades y otros.



Los nitritos y nitratos son lavados de las tierras de cultivo por las aguas de riego y las lluvias. Estas los filtran por la tierra hasta las fuentes de agua subterránea donde se concentran. Cuando una fuente posee concentraciones altas de nitritos y nitratos, se convierte en un peligro latente para la población que depende de ella.

Debido a que el INSIVUMEH no cuenta con datos de la precipitación pluvial directamente de la región evaluada, se trató de hacer una correlación con los datos de la precipitación de la ciudad capital, ya que la parte sur de la misma corresponde a la cuenca del lago de Amatitlán.

La evaluación de la concentración de nitrato en el lago respecto a la precipitación acumulada en la ciudad capital no es estadísticamente significativa, debido a que los datos de precipitación son un promedio de la precipitación de la parte norte y sur de la capital, siendo sólo la parte sur la que tiene impacto directo sobre la cuenca de Amatitlán. Por ello es una mejor aproximación la evaluación respecto al orden de los muestreos que, aunque sin valores específicos de precipitación en el período indicado, muestran un incremento de las filtraciones del suelo, ya que se inició el estudio en los primeros días de invierno y se concluyó con una precipitación periódica y abundante. De esta manera aunque no existe diferencia significativa con el número de muestreo tanto para nitritos como para nitratos, sí existe una correlación relativamente significativa entre el número de muestreo y la concentración de nitrito ( $R = 0.050$  ;



P = 0.01 ) y con el nitrato ( R = 0.38 ; P = 0.06 ), lo que revela una tendencia no necesariamente lineal de incremento en ambas especies aniónicas con el aumento de precipitación pluvial. Esto significa que hay una tendencia acumulativa de nitrito y nitrato por filtración desde el suelo. En el caso del nitrito, se observa que en el muestreo seis es el único que difiere significativamente y es el de más alta concentración ( 0.04874 mg/lt ). Esto pone de manifiesto el carácter o ambiente reductivo que existe en las aguas subterráneas, dado que su presencia depende directamente de la concentración de nitrato ( R = 0.58 ; P = 0.003 ). Esto es congruente con la alta carga bacteriana que presentan dichos pozos, que provocan la reducción metabólica del nitrato, confirmandose los hallazgos previos a este estudio (17).

De los cuatro pozos evaluados solamente el pozo Santa Teresa manifiesta las concentraciones más bajas ( 0.00185 mg/lt P = 0.057 ), mientras que los pozos restantes ( San Pedro, Palmeras Bajas y La Virgen ) presentan concentraciones relativamente mayores ( prom = 0.03286 mg/lt) que el límite máximo permitido para agua de consumo humano.

En relación al nitrito se observó que las concentraciones se encontraban por debajo de los límites establecidos por la OMS y que se presentaban en las cinco estaciones de muestreo del lago y en el pozo Santa Teresa, mientras que el resto de pozos y río Villa Lobos constituyen un foco puntual de toxicidad (P = 0.0001). En el caso del anión nitrato solamente el pozo San Pedro se diferencia estadísticamente del resto, presentando las mayores concentraciones de



nitratos ( 15.638 mg/lt ; P = 0.008 ) con algunos picos por encima de 30.000 mg/lt en los últimos muestreos, mientras el resto de los pozos se encuentra con concentraciones bajas ( 1.6943 mg/lt ).

El pozo San Pedro presenta concentraciones de nitratos superiores a las presentadas por el lago y río Villa Lobos. Esto lo identifica como una descarga puntual de nitratos en la porción sureste de este cuerpo de agua, que es la que manifiesta la tendencia a concentraciones más altas de nitratos. Estas altas concentraciones pueden deberse a la gran actividad agrícola en esta área y a la actividad del ingenio azucarero y beneficio de café que se encuentran en el área y que hacen sus descargas hacia el lago.

La descarga del río Villa Lobos presentó altas concentraciones de nitrito ( 3.1650 mg/lt ) y nitrato (45.610 mg/lt), siendo la de nitrito la más importante pues es una descarga directa que debe asimilar el lago. La mayor causa de estos altos niveles lo constituye el beneficio de café que tiene su descarga antes de que el río entre al poblado de Villa Lobos. Estas altas concentraciones de las descargas son metabolizadas y utilizadas por las algas y bacterias presentes en el lago, que a su vez son las responsables del grado de eutroficación del mismo.



## 10. CONCLUSIONES

1. Las concentraciones elevadas de nitritos y nitratos que ingresan al lago son en parte responsables del grado de eutroficación que presenta el mismo al ser éstos metabolizados por las algas y bacterias que habitan en él.
2. Las concentraciones de nitrito, en aguas del pozo San Pedro y Palmeras Bajas, están por encima de los niveles permitidos; representando un peligro latente para la población que depende de ellas.
3. Las concentraciones de nitrato no superan los límites permisibles establecidos por la OMS para agua para consumo humano adulto (45.000 mg/lt), aunque sí los superan en el caso de las necesidades hídricas de los infantes (25.000 mg/lt) en el caso del pozo San Pedro, Palmeras Bajas. (16).
4. Las aguas del lago no representan un peligro toxicológico para la población que vive en sus alrededores, debido a que sus concentraciones de nitritos y nitratos están por debajo de los límites establecidos por la OMS.
5. Las aguas de los pozos, con excepción del Santa Teresa, representan un riesgo toxicológico para la población que depende de ellos, debido a sus altas concentraciones de nitritos.



6. Los pozos contienen agua con altas concentraciones de nitrato que no es dañina para el adulto por no sobrepasar el límite establecido, pero sí lo es para los niños, en cuyo caso el límite es menor.



## 11. RECOMENDACIONES

1. Llevar acabo un estudio sanguíneo de los pobladores que consumen las aguas de pozo contaminadas con el propósito de evidenciar la presencia de la metahemoglobinemia, por la ingesta de altas concentraciones de nitritos y nitratos presentes en el agua.
2. Asegurar por parte de las autoridades sanitarias la calidad del agua, por un aumento de las redes de distribución de agua municipal que abarquen la mayor parte del área en estudio.
3. Que las autoridades municipales establezcan un sistema de control periódico de las concentraciones de nitritos y nitratos presentes en el agua, especialmente las de consumo humano (pozos).



## 12. BIBLIOGRAFÍAS

1. Basterrechea, Manuel. Limnología del Lago de Amatitlán. Rev. Brasil. Biol., mayo 1986.46(2):461-468.
2. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Simposium Estudios Recientes sobre la contaminación del Lago de Amatitlán. Guatemala: CATIE, 1987.
3. Gonzáles de Infanto, Aída. El Plancton de las aguas continentales. Secretaria General de la OEA, programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Monografía 33, Washington 1988. 450 p.
4. Simposio sobre Contaminación de Corrientes en Guatemala. Guatemala Facultad de Ingeniería USAC. 1967.
5. Organización Panamericana de la Salud. Criterios de Salud Ambiental 5. Nitratos, Nitritos y compuestos de N-nitroso. Washington, DC.,1980 109 p.
6. Organización Panamericana de la Salud. Metahemoglobinemia Infantil. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. México, DF. 1986.
7. Berganza, N.E. Análisis Físico, Químico y Examen Bacteriológico del agua para consumo humano de la población del Amatillo, Ipala, del Departamento de Chiquimula. Guatemala, 1982. USAC. 31 p. ( Tesis de Graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia).



8. Centro de Investigaciones de Ingeniería. Control de Calidad del Agua Para Consumo Humano. Ciudad de San Pedro Sacatepequez, San Marcos. Análisis Químico. Guatemala USAC. 1983.
9. Méndez, L.E. Control de Calidad del Agua Potable para Consumo Humano de la Ciudad de San Pedro Sacatepequez, Departamento de San Marcos. Guatemala: USAC, 1984. 65 p. ( Tesis de Graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Químico Farmacéutico).
10. Merck. Análisis de Agua. 10 ed. E. Merck. Barmstadt. Alemania: 264 p.
11. Casarett. Louis and M., John. Toxicology. The Basic Science of Poison. USA. Macmillan Publishing Co. Inc. 1975. XIII + 768 p.
12. Eutroficación del Lago de Amatitlán. Documento Presentado al 13 avo. Congreso Centroamericano de Ingeniería Sanitaria , Guatemala USAC Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria 1981.
13. Santizo, Salazar, O. Werner, Determinación de Niveles de Nitratos en Aguas para Consumo Humano de la Ciudad de Rabinal, Departamento de Baja Verapaz. Guatemala USAC. 1991 41 p. ( Tesis de Graduación. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Químico Farmacéutico ).
14. Rivera, Mazariegos, César. Eutroficación de la Laguna El Pino. Guatemala USAC. 1984. 92 p. ( Tesis de Graduación, Facultad de Ingeniería Sanitaria )



15. Criterios de Salud Ambiental 5, Nitratos, Nitritos y compuestos de N-nitroso. Publicado bajo el patrocinio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la OMS. Public. Cient. No.394, Washington D.C. U.S.A. 1980 Pp 109.
16. Merck, Rapid Test Handbook. Merck, Postfach 4119 Darmstadt Alemania, 1992.
17. Entrevista con el Licenciado Sergio Molina, Jefe del Departamento de Radioquímica, Dirección General de Energía Nuclear.
18. Organización Panamericana de la Salud. Metahemoglobinemia Infantil. Centro Panamericano de ecología Humana y Salud. Mexico, DF. 1986.
19. Comly, H Cyanosis in infants caused by nitrates in well water. JAMA 1,987; Vol. 257, No 20:2783 - 2792 p.



## ANEXOS

### ANEXO 1

#### 1. PROPIEDADES Y REACCIONES QUIMICAS

El ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es la base conjugada del ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). El ácido nítrico es un ácido fuerte ( $\text{pKa} = -1.37$ ) que se disocia en el agua produciendo iones nitrato y iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ). Las sales de ácido nítrico (nitratos) se disuelven fácilmente en el agua, con la excepción de los nitratos básicos de mercurio y bismuto.

El ion nitrito es la base conjugada del ácido nitroso ( $\text{HNO}_2$ ), un ácido débil ( $\text{pKa} = 3.37$ ) que existe sólo en solución acuosa diluida fría dado que se descompone fácilmente y produce agua y trióxido de dinitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}_3$ ), o ácido nítrico, óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y agua. Las sales de ácido nítrico (nitritos), mucho más estables que el ácido, son de fácil hidrosolubilidad, con excepción del nitrito de plata.

#### 2. FUENTES ARTIFICIALES

##### 2.1 Fertilizantes

Los fertilizantes artificiales, una fuente importante de nitratos ambientales, pueden estar compuestos de distintas sustancias químicas, incluidas amonio, calcio, potasio, nitratos de sodio y uréa.

La utilización de nitrógeno del suelo puede oscilar de 25 a 85 % según el cultivo y las técnicas agrícolas; por lo tanto, a fin de obtener una máxima producción, se debe



aplicar un exceso de fertilizante nitrogenado al suelo, razón por la cual aumentará sustancialmente el arrastre de nitrógeno por las aguas pluviales.

## 2.2 Excretas Animales

Otra fuente importante de nitratos son las excretas de animales las que contienen grandes cantidades de sustancias nitrogenadas susceptibles de convertirse en nitratos. Por ejemplo: un novillo de 450 Kg excreta alrededor de 43 Kg de nitrógeno al año, por lo que el problema reviste características más agudas, cuando la explotación ganadera es intensiva.

Sólo el 10 % de los nitratos excretados vuelve a las tierras cultivadas, el resto es arrastrado por las aguas pluviales según estudios realizados (Standford et al., 1969) (15).

## 2.3 Desechos Municipales, Industriales y del Transporte

Las descargas de desechos municipales e Industriales constituyen fuentes concentradas de compuestos de nitrógeno que, en gran medida, se depositan directamente en las aguas superficiales. La cantidad de nitrógeno en desechos humanos se estima en unos 5 Kg por persona/año. Aún tratados, estos residuos representan una intensa carga de contaminación del agua, pues el tratamiento secundario elimina menos de la mitad del nitrógeno. Los iones amonio en el afluente de tanques sépticos se pueden convertir rápidamente en nitratos, que pueden penetrar hasta cierta distancia del tanque. Los cienos de instalaciones de tratamiento y tanques sépticos también se deben evacuar, y representan otra fuente



significativa de contaminación por nitrógeno. Los procedimientos de evacuación de residuos sólidos, especialmente terraplenes sanitarios y vaciaderos, también constituyen fuentes de contaminación.

El contenido de nitrógeno de los desechos industriales es sumamente variable; las industrias del combustible, la elaboración de alimentos y las refinerías de petróleo pueden constituir fuentes importantes de contaminación por nitrógeno. La relación Nitrogeno / Demanda Biológica de Oxígeno de los residuos de las instalaciones elaboradoras de alimentos es de cerca de 0.05, aumentando a 0.5 en los casos de residuos provenientes de la preparación de productos animales.

### 3. TRANSPORTE Y TRANSFORMACION EN MEDIOS AMBIENTALES Y BIOLÓGICOS

#### 3.1 Ciclo del Nitrógeno

El constante intercambio entre nitrógeno atmosférico y terrestre tiene lugar por diferentes vías, incluyendo el aire, agua, el suelo, los microorganismos, las plantas, los animales y el hombre. Esta transferencia y transformación del nitrógeno se denomina ciclo del nitrógeno ( ver diagrama adjunto).

Los factores principales que lo afectan son las condiciones climáticas, el tipo y la densidad de las poblaciones animales y vegetales, las prácticas agrícolas y la actividad pecuaria.

El nitrógeno atmosférico adopta la forma de dinitrógeno ( $N_2$ ); la gran potencia del enlace  $N=N$  es la causa principal



de su inercia química. Una parte del nitrógeno atmosférico se transforma por acción microbiana y se incorpora a organismos vivos. Este proceso se denomina " fijación " del nitrógeno y se estima que genera globalmente unos 150 millones de toneladas de nitrógeno fijo por año. La fijación industrial del nitrógeno representa cerca de la cuarta parte de la producción mundial de nitrógeno fijo (15) .

La fijación biológica del nitrógeno, esto es, su reducción a amoníaco, sólo puede ser realizada por un número limitado de organismos. La fijación simbiótica de nitrógeno tiene lugar en los nódulos radiculares de legumbres como el haba de soya, el trébol y la alfalfa que contienen bacterias de la especie *Rhizobium*. Algunas bacterias de vida autónoma y algas también pueden fijar el nitrógeno. La fijación se cataliza por la acción de una enzima compleja, la nitrogenasa. El amoníaco producido por fijación biológica se convierte seguidamente en nitrito y nitrato por el proceso de nitrificación. Las plantas pueden asimilar sólo una parte de los nitratos presentes en el suelo; parte se lixivia a las aguas subterráneas y ríos, llegando hasta los estuarios y océanos; el resto queda sometido a un proceso de desnitrificación que descarga en la atmósfera.

Los nitratos provenientes de la fijación natural y los fertilizantes artificiales se utilizan, en último término, en la síntesis de moléculas biológicas, particularmente proteínas. Las plantas, excretas animales y tejidos muertos devuelven el nitrógeno fijo al suelo, donde una parte de él se recicla y otra vuelve a la atmósfera, completando así el



ciclo del nitrógeno. La mayor utilización de abonos industriales ha dado lugar en algunas zonas un aumento de las concentraciones de nitratos en las masas de agua, que en algunos casos, ha producido eutroficación.

#### 4. METABOLISMO

Una parte de los nitritos ingeridos se absorbe fácilmente y otra parte puede ser metabolizada por la microbiota en el conducto gastrointestinal. En función de los organismos presentes, el pH y los nutrientes disponibles (oligo elementos e hidratos de carbono), se puede formar y absorber nitritos ( $\text{NO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ) hidroxilamina ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

##### 4.1 Biotransformación y eliminación

Por lo pronto se han realizado pocos estudios en humanos por lo que se presentan solamente datos observados en animales de laboratorio, de donde se ha establecido que los nitritos y nitratos se excretan por la orina y por la saliva siendo las cantidades proporcionales a las dosis ingeridas.

##### 4.2 Toxicidad

Aunque la característica sobresaliente de la toxicidad del nitrato es el desarrollo de la Metahemoglobinemia, los nitratos pueden también causar vasodilatación que agrava los efectos de esta última. El ion nitrito formado por reducción de nitratos oxida al hierro de la molécula de hemoglobina del estado ferroso al férrico. La metahemoglobina resultante es incapaz de ligar reversiblemente el oxígeno. Los signos



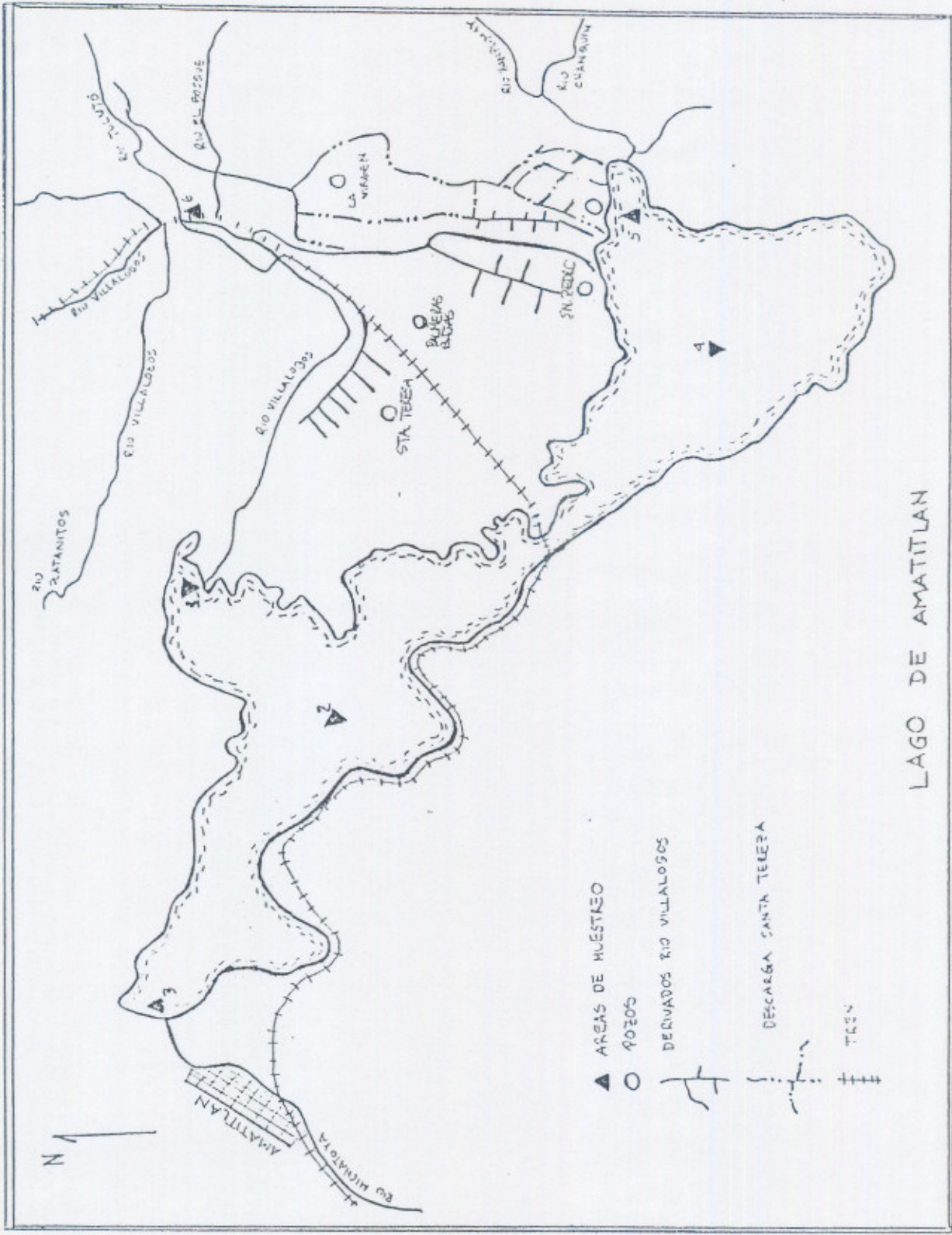
clínicos de la intoxicación por nitrato, atribuibles a hipoxia, aparecen cuando los valores de metahemoglobina por el ion nitrito pasan del 20 % . La oxidación de la metahemoglobina ocurre a diferentes tasas, aún entre animales de la misma especie. La reducción de la metahemoglobina en los eritrocitos, principalmente por el sistema enzimático NADH-metahemoglobina -reductasa, es característica de cada especie.

#### 5. EVALUACION DE LOS RIESGOS DE SALUD

Los niveles prevalentes de nitritos y nitratos en el agua y los alimentos al parecer no tienen efectos perjudiciales en los adultos y niños de más edad, si bien se conocen informes de individuos susceptibles que han sido afectados por carne tratada y de casos de intoxicación derivados de la ingesta de ciertos alimentos con un contenido accidental de cantidades excesivas de nitritos. También se puede observar la metahemoglobinemia subclínica en individuos que consumen agua con concentraciones elevadas de nitratos (15).

Los lactantes de menos de seis meses y, en especial, de menos de tres meses son particularmente susceptibles, a la metahemoglobinemia causada por la ingesta de agua contaminada, especialmente cuando se alimentan con preparaciones a base de leche en polvo de baja acidez. Los nitratos en el agua pueden llegar a causar la muerte del lactante, si bién no es posible estimar exactamente la dosis mínima letal (11,15).

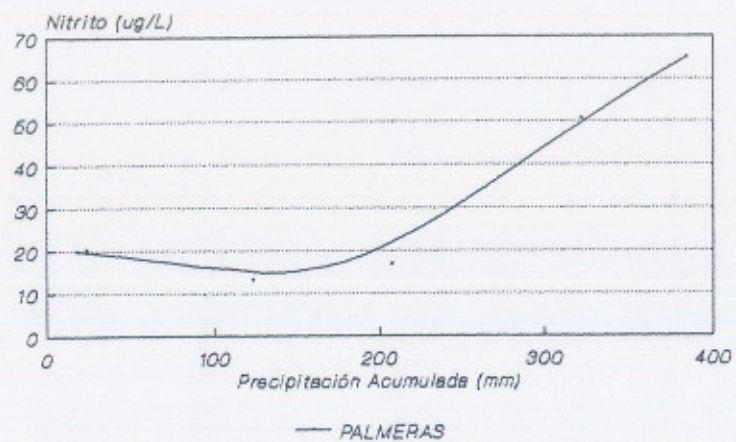




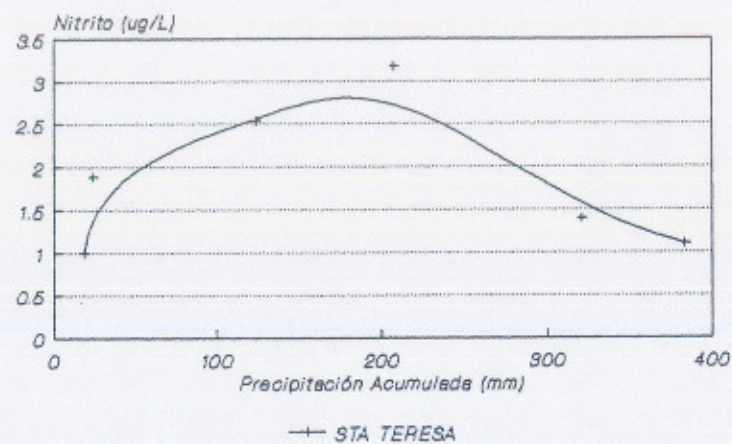
LAGO DE AMATITLAN



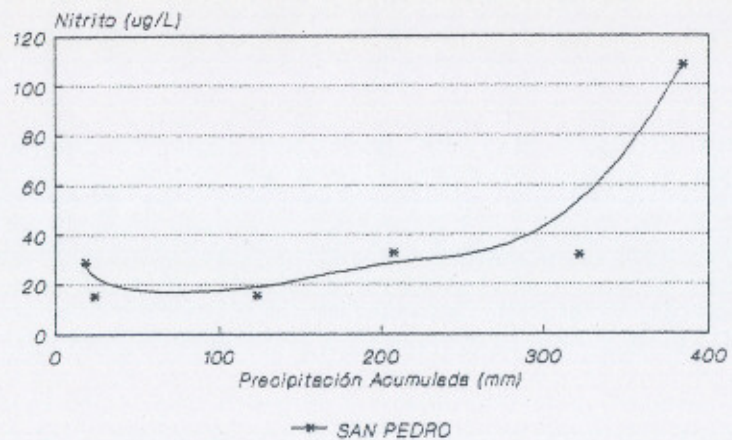
**[NITRITO] Y PRECIPITACION ACUMULADA**  
Evolución de la Concentración de Nitrito  
Pozo Palmeras



**[NITRITO] Y PRECIPITACION ACUMULADA**  
Evolución de la Concentración de Nitrito  
Pozo Santa Teresa



**[NITRITO] Y PRECIPITACION ACUMULADA**  
Evolución de la Concentración de Nitrito  
Pozo San Pedro



**[NITRITO] Y PRECIPITACION ACUMULADA**  
Evolución de la Concentración de Nitrito  
Pozo La Virgen

