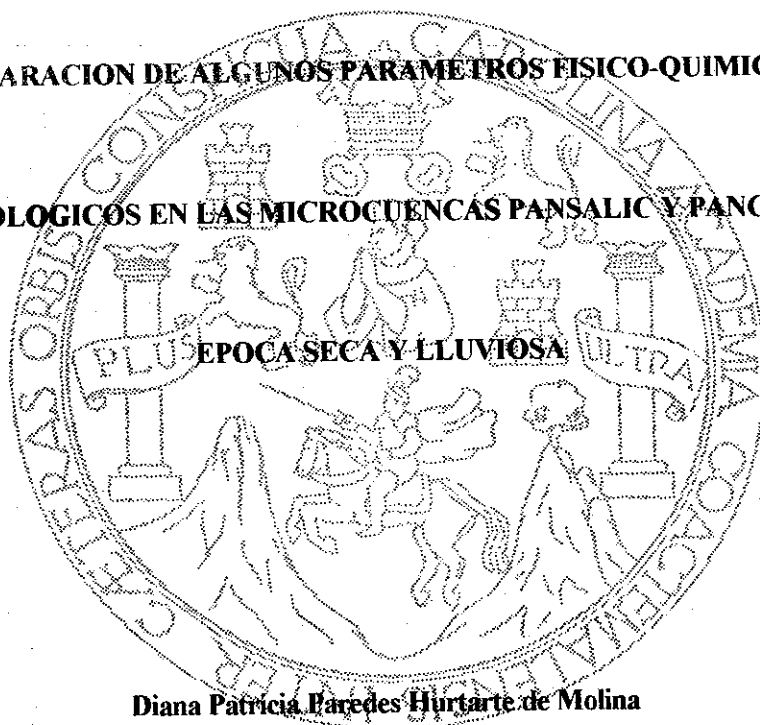


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

**COMPARACION DE ALGUNOS PARAMETROS FISICO-QUIMICOS Y  
BACTERIOLOGICOS EN LAS MICROCUENCAS PANSALIC Y PANCOCHA EN**



**Diana Patricia Paredes Hurtarte de Molina**

**Biología**

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca

**Guatemala, 10 de Agosto de 1995.**

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
LIBRARY

R  
06  
† (1704)  
13

**JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

DECANO	LIC. JORGE RODOLFO PEREZ FOLGAR
SECRETARIA	LICDA. ELEONORA GAITAN IZAGUIRRE
VOCAL I	LIC. MIGUEL ANGEL HERRERA GALVEZ
VOCAL II	LIC. GERARDO LEONEL ARROYO CATALAN
VOCAL III	LIC. MIGUEL ORLANDO GARZA SAGASTUME
VOCAL IV	BR. ANA MARIA RODAS CARDONA
VOCAL V	BR. HAYRO OSWALDO GARCIA GARCIA



## **DEDICATORIA**

**A mis Padres:** Raúl y Yolanda Paredes

**A mi Esposo:** Byron Ricardo

**A mis Hijos:** Byron Alfredo y Diana María

**A mis Tios:** Abel y Dorita Armas

**A mis Hermanos:** Beatriz, Raúl, Julio, Rossana,  
Lucrecia, María del Carmen y Carolina



## I N D I C E

1.	Resumen .....	1
2	Introducción .....	3
3.	Antecedentes .....	5
3.1	Características físicas	
3.1.1	Temperatura .....	5
3.1.2	pH .....	6
3.1.3	Oxígeno disuelto .....	7
3.1.4	Conductividad .....	9
3.1.5	Potencial Redox .....	9
3.1.6	Color .....	10
3.1.7	Olor .....	10
3.1.8	Turbidez .....	11
3.2	Características Químicas	
3.2.1	Ortofosfato y fósforo Total .....	11
3.2.2	Nitrógeno de Nitrito .....	12
3.2.3	Nitrógeno de Amonio .....	15
3.2.4	Nitrógeno de Nitrato .....	16
3.2.5	Nitrógeno Total .....	17
3.2.6	Dureza Total .....	18
3.2.7	Alcalinidad .....	19
3.2.8	Cloruro .....	20

3.2.9	Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	21
3.2.10	Coliformes Totales y Fecales .....	21
3.2.11	Metales pesados .....	22
3.2.12	Trabajos relacionados con el Tema .....	23
4.	Justificaciones .....	25
5.	Objetivos .....	26
6.	Hipótesis .....	27
7.	Aspectos Metodológicos	
7.1	Universo de Trabajo.....	28
7.2	Medios.....	29
7.3	Procedimiento.....	31
8.	Resultados.....	34
9.	Discusión de Resultados.....	47
10.	Conclusiones .....	62
11.	Recomendaciones.....	64
12.	Referencias.....	65
13.	Anexos.....	68



## RESUMEN

Dada la dificultad de encontrar fuentes de abastecimiento de agua potable, la presente tesis se dirigió a conocer la calidad del agua de los ríos Pansalic y Pancochá, que atraviesan el municipio de Mixco, y donde se observan las descargas de desechos líquidos así como actividades de higiene personal y recreación infantil asociada. El fin es generar una mayor información sobre la contaminación del agua natural cercana a la ciudad de Guatemala, para posteriores consideraciones sobre su uso como recurso hídrico.

Esta investigación se basó en la hipótesis de que: por haber varias colonias e industrias que drenan sus desechos líquidos al río Pansalic, el grado de contaminación de éste es mucho mayor que el del río Pancochá que carece de estas influencias.

Para conocer la calidad del agua se determinaron parámetros físicos como: olor, color, turbidez y conductividad. Parámetros Químicos como: oxígeno disuelto, pH, potencial redox, amonio, nitritos, nitratos, nitrógeno y fósforo total, fósforo de o-fosfato, dureza, alcalinidad, cloruro, Demanda bioquímica de oxígeno y metales pesados. Parámetros Bacteriológicos como: cuantificación de coliformes totales y focales.

Para la caracterización de los ríos se muestrearon cinco estaciones representativas de los impactos antropogénicos y se realizaron tres muestreos en época seca y tres en época lluviosa, con el objeto de conocer en que forman varían estos parámetros en cada época. El trabajo de campo consistió en la determinación in situ de ciertos parámetros por medio del Hydrolab Surveyor II y obtención de las muestras de agua. El análisis de las mismas, se hizo por medio de las metodologías estándar para el análisis de agua.

Los resultados obtenidos dan a conocer que las aguas del río Pansalic, transportan una gran cantidad de nutrientes fosforados y nitrogenados, una concentración baja de oxígeno disuelto y gran cantidad de microorganismos coliformes suficientes para considerarla no potable e hipertrófica.

En conclusión la microcuenca del Pansalic, se caracteriza por transportar agua de muy baja calidad, la cual se empobrece por los aportes de las zonas urbanas. Las aguas del río Pancochá y del Nacimiento a orillas del Pansalic, tampoco presentan características óptimas como agua natural, pero su calidad supera considerablemente a las del río Pansalic. La unión de ambos ríos solamente produce la pérdida total de la calidad de la microcuenca corriente abajo, lo cual no varía con la estación climática, evidenciando la constante tensión antropogénica a la cual la microcuenca esta sometida.

## INTRODUCCION

A pesar del hecho de que América Latina y el Caribe constituyen una de las zonas más ricas del mundo en recursos hídricos, hay una escasez en el abastecimiento de agua potable para varios segmentos de la población. Esto es producto de varias razones y una de ellas es, que menos de un 5 % de los municipios someten sus "aguas negras" a un tratamiento antes de descargarlas, lo que provoca la contaminación de masas de agua para los usuarios subsiguientes. (11)

Las aguas superficiales se han constituido en verdaderos riesgos a la salud, debido a las malas prácticas agrícolas de siembra, riego, fertilización y uso inadecuado de los pesticidas, pues con frecuencia son utilizadas para irrigar productos agrícolas de consumo humano, las cuales tienen un alto contenido de ciertos productos químicos los que tienden a reducir la fertilidad de los suelos o aumentar la resistencia de las plagas con lo cual se incrementa el uso de pesticidas, lo que provoca la filtración de dichos productos hacia las fuentes de agua subterráneas.

En el Municipio de la Villa de Mixco del Departamento de Guatemala se han encontrado con el problema de poder abastecer de agua potable al creciente número de sus habitantes. Allí mismo se encuentran dos ríos, el Pansalíc y el Pancochá, y debido a la falta de agua potable, la comunidad hace uso múltiple de ellos como lo es para higiene personal, lavado de ropa y como lugar de recreación.

A la fecha no se ha realizado un estudio que determine la calidad del agua para consumo de las microcuencas Pansalíc y Pancochá, uno de los objetivos de esta investigación es conocer el estado de contaminación de las microcuencas en la que se encuentran y en buena medida, que sirva de orientación a los administradores y planificadores del Municipio para las futuras políticas que se planteen en esta zona.

La hipótesis en que se basa este estudio es que existen diferencias entre el grado de contaminación orgánica e inorgánica entre las microcuencas Pansalic y Pancochá.

Para conocer el estado de contaminación en que se encuentra los ríos Pansalic y Pancochá, se compararon distintos parámetros físicos, químicos y bacteriológicos a través de muestreos que se realizaron en la estación seca y lluviosa del año. El análisis de las muestras de agua se hizo por medio de métodos analíticos estándar reconocidos internacionalmente.

## ANTECEDENTES

La revisión bibliográfica y las entrevistas realizadas demuestran que a la fecha no se han realizado estudios, en las microcuencas de los ríos Pansalic y Pancochá ubicados en el municipio de Mixco, que nos indiquen la calidad del agua.

Hay una gran diversidad de variables que influyen directa e indirectamente en la calidad del agua para uso en la comunidad de la Villa de Mixco, y es por esto que, para conocer la calidad de agua de estos ríos, se evaluarán las siguientes características:

### 3.1 Características Físicas:

#### 3.1.1 TEMPERATURA:

La temperatura se define como el grado de calor; el calor por otra parte, es una forma de energía. (23)

Este es un parámetro físico que influye en la solubilidad de sales y gases que se encuentran en el seno del agua, en las reacciones biológicas que necesitan una temperatura óptima para realizarse, en la expansión de los líquidos ya que se expanden más fácilmente cuando aumenta la temperatura. (29)

El agua tiene una gran capacidad para mantener la temperatura y esta varía desde la superficie a lugares más profundos en parte por el movimiento del agua producido por el viento.(2)

En el agua, la concentración de materia orgánica aumenta la absorción de la energía, comparada con aguas menos turbias. Cuando se trata de agua residual, la temperatura generalmente es más alta que las aguas naturales, debido a la adición de agua caliente procedente de las actividades industriales y aguas servidas en comunidades cercanas reducción del caudal por actividades agroindustriales y entorpecimiento del caudal por desechos no bio-degradables. Como el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas de las aguas residuales son más altas que las temperaturas locales del aire durante la mayor parte del año y solo son más bajas durante los meses fríos.(6)

### Importancia Limnológica:

La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles. Una temperatura más elevada puede, por ejemplo, ejercer cambios en la diversidad de las especies acuáticas.(9)

Por otro lado, la solubilidad del oxígeno es también afectada por la temperatura. El aumento de la velocidad de las reacciones químicas que supone un aumento de la temperatura, junto con la disminución del oxígeno presente en las aguas superficiales, pueden frecuentemente causar graves agotamientos de las concentraciones de oxígeno disuelto en los meses calurosos. Estos efectos se ven aumentados cuando se vierten cantidades suficientemente grandes de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Debe tenerse presente que un cambio repentino de temperatura puede dar como resultado un desbalance en el ecosistema acuático, mortalidad por un lado y crecimiento de organismos menos deseables.(9,20,23)

#### 3.1.2 PH:

La concentración del ion hidrógeno es un importante parámetro de calidad de agua porque el intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico.

El pH es la expresión de la concentración de iones hidrógeno en solución (23). Este expresa la intensidad de un ácido, dependiendo de su disociación. El agua es un electrólito débil, de aquí, por definición una pequeña fracción de ella se disocia en los iones que componen su molécula. Los iones obvios en agua pura son  $H^+$  y  $OH^-$ ;  $H^+$  marca la acidez y  $OH^-$  es típico de las bases. Cuando el agua es neutra la concentración molar de  $H^+$  se expresa como  $pH=7$ . Un aumento en  $H^+$  es reflejado en un valor menor de pH.

La principal fuente de iones hidrógeno en las aguas naturales proviene del ácido carbónico y de sus diferentes formas. (2,29)

Cuando la alcalinidad total es constante el cambio de pH es proporcional al cambio de  $CO_2$  y constituye, por consiguiente, un indicador útil de la intensidad o las intensidades del metabolismo de la comunidad total, ya

que es reducido alternativamente por la fotosíntesis y aumentado por la respiración. Las aguas con pH bajo son con frecuencia deficientes en elementos nutritivos y bajas en productividad, porque se reduce grandemente el fitoplancton y disminuye consecuentemente la clorofila "a".

El pH es así mismo un factor clave en el crecimiento de los organismos. La mayoría no puede tolerar niveles de pH por encima de 9.5 o por debajo de 4.0. Por lo general, el pH óptimo para el crecimiento se encuentra entre 6.5 y 7.5. Los hongos tienen un intervalo más amplio de pH (2 a 9) siendo 5.6 el óptimo para la mayoría de las especies.

El pH también es influido por los nitrificantes ya que favorece un ambiente débilmente alcalino.

El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el afluente puede alterar la concentración de las aguas naturales. (6.8.14.19.28).

### 3.1.3 OXÍGENO DISUELTO:

El oxígeno disuelto es consumido cuando los organismos aeróbicos utilizan los nutrientes orgánicos y durante el proceso de respiración. Si no se reponen el oxígeno disuelto, se favorecen los procesos anaeróbicos los cuales son responsables de la descomposición de la materia orgánica y la formación de malos olores.(31) No obstante, el oxígeno es solo ligeramente soluble en el agua. La cantidad real de oxígeno que puede estar presente en la solución viene regida por:

- 1) la solubilidad del gas
- 2) la presión parcial del gas en la atmósfera
- 3) la temperatura
- 4) la pureza del agua (salinidad, sólidos suspendidos, etc.)

La disponibilidad de oxígeno libre disuelto en el agua es el factor clave que limita la capacidad de autopurificación de una corriente de agua. Puesto que la velocidad de las reacciones bioquímicas que utilizan el

oxígeno se incrementa al aumentar la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en los meses de más calor. El problema se complica en estos meses ya que los caudales de los ríos son generalmente menores y, por ello, la cantidad total de oxígeno disponible es también menor. Si los nutrientes disueltos entran en el agua a una tasa tal que el oxígeno disuelto se gaste más rápidamente de lo que se puede reponer, el agua se desoxigena. Al cesar los rápidos procesos de purificación, los contaminantes orgánicos se acumulan en el agua, los anaeróbicos producen sustancias mal olientes de los contaminantes y la corriente queda contaminada. El funcionamiento de los procesos aerobios tales como fangos activados, filtros biológicos y digestión acróbia, dependen de la disponibilidad de cantidades suficientes de oxígeno. La concentración de equilibrio del gas disuelto en un líquido es función de la presión parcial del gas en contacto con el líquido. (19,20)

La materia orgánica degradable, a través del desarrollo de su DBO (demanda bioquímica de oxígeno), utiliza el oxígeno disuelto de las aguas receptoras para estabilizar los residuos. El principio básico de los procesos de tratamiento residual es mantener un alto nivel de oxígeno disuelto, para mantener una alta población microbiana para obtener una rápida descomposición aeróbica de los nutrientes.

El oxígeno disuelto se repone principalmente por reaireación atmosférica, fotosíntesis de las algas y dilución suplementaria aguas abajo. Fuentes principales de oxígeno disuelto en las corrientes naturales son el aire y el oxígeno producido por las plantas fotosintéticas y otros organismos; el oxígeno del aire se disuelve en la superficie del agua y se mueve por difusión y convección dentro del volumen del agua. Estos efectos son intensificados por la turbulencia, de manera que un río de curso rápido tendrá mayor disponibilidad de oxígeno disuelto que uno de curso lento. La relación entre la tasa de oxigenación y la tasa de desoxigenación en una corriente en condiciones estables se conoce a veces como "factor de autopurificación". (29)

La concentración mínima de oxígeno disuelto necesaria para la vida acuática, dependiendo de la especie, es de 2.0 a 5.0 mg/l. En los canales utilizados exclusivamente para drenaje, en los que no hay vida piscícola, no debe permitirse que el oxígeno disuelto descienda a 0 ya que, en caso contrario, podría originarse molestias por malos olores. (19,21)



### 3.1.4 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA:

Se denomina así a la propiedad que tiene una sustancia de dejar pasar, a través de su masa, una corriente eléctrica. Es una propiedad que se atribuye a los iones en solución. Si se conoce la conductancia de una muestra de agua, esta cifra se puede utilizar para una estimación aproximada de la fuerza iónica. La fuerza iónica se utiliza para calcular los coeficientes de actividad en soluciones acuosas. (15,16,18,24,25)

#### Importancia Limnológica:

La conductividad esta muy enlazada con los sólidos disueltos totales (SDT) del agua. Ambos son indicadores de la productividad del agua, puesto que ellos son medidas de los nutrientes disueltos en ella.

En general, una alta conductividad y un alto valor en sólidos disueltos totales esta asociado con lagos fértiles, y una baja conductividad y bajo sólidos disueltos totales con cierto grado de infertilidad en el lago. (1,31)

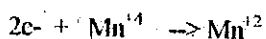
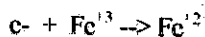
La conductividad eléctrica constituye un buen criterio para diferentes aplicaciones, tales como:

- a) Indicar el efecto de diversos iones en equilibrio químicos y sus efectos fisiológicos sobre plantas y animales.
- b) Medir indirectamente la pureza del agua.
- c) Determinar rápidamente variaciones de concentraciones de minerales disueltos.
- d) Estudiar las variaciones que sufren las aguas a lo largo del curso.(6,17)

### 3.1.5 POTENCIAL REDOX: (POR)

Es un índice útil para conocer la dinámica del sistema (acróbico o anacróbico). Se mide a través de una celda galvánica compuesta de un electrodo de referencia y un electrodo indicador de un metal muy noble.

La medida del Potencial Redox en aguas naturales son difíciles de interpretar. Los únicos potenciales que se registran son los de las especies que pueden reaccionar en la superficie del electrodo indicador. En el agua natural son pocos los que se reportan, ejemplo:



Las del ciclo del nitrógeno, azufre y carbono no se reportan en el electrodo indicador de una celda POR. La lectura del voltaje producida en una celda POR refleja muchas reacciones, por lo tanto es un potencial mixto y por consiguiente es difícil de interpretar. La lectura del voltaje varía con el tiempo, casi siempre descendiendo. (23,32)

### 3.1.6 COLOR:

El agua natural y sin contaminación no tiene ningún color, es clara y transparente. Cuando el agua es residual su condición se determina cualitativamente por su color y olor. El agua residual suele ser gris, sin embargo, como quiera que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual es séptica. Algunas aguas residuales de tipo industrial añaden color al agua residual doméstica. (21)

### 3.1.7 OLOR:

Los olores son debidos a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el del sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaeróbicos que reducen los sulfatos y sulfitos. Las aguas residuales industriales contienen a veces compuestos olorosos, o capaces de producir olores en el proceso de tratamiento. (1,8,17)

### 3.1.8 TURBIDEZ:

Es un fenómeno óptico que dependen de la absorción de la luz que ilumina un volumen de agua y de su difusión, la que a su vez dependen del tamaño de las partículas en suspensión. La transparencia y turbidez se interrelacionan ya que una es la inversa de la otra. (30)

## 3.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS INVESTIGADAS

### 3.2.1 DETERMINACIÓN DE orto-FOSFATO Y FÓSFORO TOTAL:

El fósforo es también esencial para el crecimiento de ciertos organismos biológicos y de algas. Debido a la alta proliferación nociva que tiene lugar en las aguas superficiales y con poca corriente, existe mucho interés en la actualidad en controlar la cantidad de los compuestos de fósforo que entran en las aguas superficiales a través de los vertidos de aguas residuales industriales y domésticas y de las fuentes naturales.

Las formas más frecuentes en que se encuentra el fósforo en soluciones acuosas son ortofosfato, polifosfato, y fosfato orgánico. Los ortofosfatos, por ejemplo,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , se hallan disponibles para el metabolismo biológico sin precisar posterior ruptura. Los polifosfatos incluyen moléculas con dos o más átomos de fósforo, átomos de oxígeno y, en algunos casos, átomos de hidrógeno combinados en una molécula compleja. Los polifosfatos sufren la hidrólisis en soluciones acuosas y vuelven a sus formas de ortofosfato; sin embargo, esta hidrólisis es generalmente de menor importancia en la mayoría de las aguas residuales domésticas, pero puede ser un importante constituyente de las aguas residuales industriales y fangos de aguas residuales domésticas.

El fósforo tiene gran repercusión en la fertilización del agua, ya que en aguas oligotróficas se inmoviliza muy rápidamente para dar compuestos insolubles en agua, de esta forma no son disponible para el fitoplancton y las algas no se desarrollan de forma digna para ser mencionadas. En aguas eutróficas, el fitoplancton asimila el fósforo entrante, incluso por encima de sus necesidades comienza el proceso de eutroficación, esto ocurre aún con cantidades mínimas de nitrógeno disuelto en agua, y la ayuda de la fijación atmosférica.

Los aumentos de fósforo constatados en las últimas décadas en las aguas residuales reside en un cambio de composición efectuado en los detergentes, así como su utilización creciente paralela al aumento del nivel de vida: los polvos de lavado anteriores constaban de jabón, sosa y perborato, siendo menos efectivos y suaves con la ropa que los detergentes complejos modernos. El fosfato que de esta manera pasa al agua residual fue 25-50% (7.27).

El efecto del fosfato natural es amortizado con la ayuda de iones metálicos como el hierro III que forma fosfato insolubles, precipitándose hacia los sedimentos.

Si las descargas cesan, el sistema actúa para compensar la tensión y como consecuencia del agotamiento de nutrientes las algas mueren y sus cuerpos se depositan en el fondo del cuerpo de agua. (7)

### 3.2.2 NITROGENO DE NITRITO:

#### Nitritos como indicador de impurificación del agua:

Entre los compuestos de nitrógeno que se pueden encontrar en aguas por degradación de materia viva los nitritos representan un grado intermedio metastable y tóxico, en comparación, en la oxidación bacteriana proteínas  $\rightarrow$  amonio  $\rightarrow$  nitritos  $\rightarrow$  nitrato. Así los nitritos se convierten en un importante indicador de impurificación, el cual sugiere una nitrificación todavía no terminada. La breve permanencia del nitrógeno como nitritos en el proceso normal de nitrificación conduce a reducidas concentraciones que, sin embargo, se pueden determinar fácilmente debido a la alta sensibilidad de la reacción de Griess. La oxidación bacteriana presupone el desarrollo de dos cepas bacterianas Nitrosomonas y Nitrobacter, mencionadas anteriormente.

Normalmente después de algún tiempo se desarrollan poblaciones de bacterias que aseguran la nitrificación continua por oxidación de amonio y nitritos igualmente rápida. Debido a la lenta duplicación de las bacterias (13-14h) pueden surgir "situaciones de acumulación" en un breve aumento de metabolitos, cuya consecuencia es un aumento del contenido de nitritos. Un típico ejemplo son acuarios recién instalados en que se produce primeramente una acumulación de amonio por excremento de peces, fragmentos muertos de plantas, etc..

la cual se convierte seguidamente en acumulación de nitritos, que sólo después de cierto tiempo es degradada a nitrato inocuo.

Las aguas subterráneas conteniendo nitritos indican la presencia de focos de descomposición y putrefacción en el suelo (montones de basuras, pozos absorbentes, etc). Los ríos que contienen aguas residuales de uso industrial y comunales a menudo presentan 0.5 - 1 ppm de  $\text{NO}_2$ . En lagos, en cuyas orillas pueden localizarse más fácilmente las afluencias, el contenido es considerablemente inferior la mayoría de las veces. Las aguas contaminadas contienen generalmente 0.1 - 2 ppm, la mayoría de las veces 0.1 - 0.5 ppm. En casos especiales también las aguas no contaminadas presentan contenido de nitritos relativamente elevados: aguas pantanosas a menudo contienen 0.1 - 1 ppm, las aguas de aguaceros tormentosos hasta 0.3 ppm. También es posible una reducción posterior de nitratos en suelos y recipientes recién cementados o galvanizados. Puesto que los nitritos son oxidados en procedimientos de tratamiento del agua, no deberían ser detectables en el agua potable. Algunos países permiten, sin embargo, cantidades entre 0.005 y 0.1 ppm. (17,18,20,21)

#### Nitritos como toxinas:

Otro problema relacionado con los nitritos en agua potable y alimentos es su toxicidad. Los nitritos originan la metahemoglobinemia, una transformación de la hemoglobina en la sangre en metahemoglobina, con lo que queda impedido el transporte de oxígeno por la misma. En relación con esto se han comparado los envenenamientos con nitritos y cianuros bajo el concepto "ahogo interior". El ser humano absorbe nitritos por medio de productos cárnicos sometidos a salazón. Los nitritos provocan la formación de nitrosomioglobina roja lo que evita la coloración gris o parda de las carnes, tiene la propiedad de conservarla ya que inhibe el crecimiento de gérmenes y forma sustancias aromáticas que se comparan con la que despiden la carne asada.

Los niños, especialmente los lactantes, muestran una susceptibilidad mucho más alta a los nitritos, lo que ocasionalmente conduce a la muerte. A altas concentraciones de nitrato en aguas también puede resultar peligroso para lactantes ya que éste último allí es reducido más fácilmente debido al pH ácido del estómago. (7,17,26)

La metahemoglobinemia es también una conocida causa de envenenamiento de peces. Esto se apreció particularmente bien en la dependencia de la parte de hemoglobina dotada de capacidad funcional que queda en la sangre de jóvenes truchas arco iris del contenido de nitritos en agua. (18)

Los daños ocasionados por nitritos dependen en gran medida del valor del pH, al igual que en el amoníaco. En ambos casos existe un equilibrio entre el  $\text{NH}_4$  (ácido) «  $\text{NH}_3$  (alcalino) y  $\text{HNO}_2$  (ácido) «  $\text{NO}_2$  (alcalino) en aguas que depende del pH. Como las formas no ionizadas amoníaco  $\text{NH}_3$  y ácido nitroso  $\text{HNO}_2$  difunden más fácilmente que los iones  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_2$  a través de membranas biológicas, su toxicidad es considerablemente mayor. Con respecto a los nitritos, a diferencia del amonio, el peligro reside en las aguas ácidas, puesto que aquí aumenta fuertemente la porción de  $\text{HNO}_2$ .

Como punto de partida para la toxicidad de los nitritos para distintas especies de peces sirven los valores  $\text{CL}_{50}$ , es decir, las concentraciones en que el 50% de los peces mueren en el ensayo tras un período de tiempo fijado previamente. (CL = concentración letal). Como los experimentos de este tipo son influidos por numerosos otros factores aparte del valor del pH (restante química del agua, eventuales efectos de inmunidad a  $\text{NO}_2$ , estado general de salud, temperatura, etc.), es posible que se obtenga distintos hallazgos dentro de una misma especie.

La trucha y el salmón son los tradicionales peces exigentes que quieren agua limpia. (25)

Para la trucha arco iris considerada sensible, estos valores se situaron en 0.46, 0.39 y 0.18 ppm, correspondiendo del valor inferior aproximadamente al valor de orientación en acuariología. (18)

La tolerancia fue relativamente alta en Daphnia magna (pulgas acuáticas). La tolerancia fue aún considerablemente superior en dos especies de moluscos, Ostrea virginica (ostra americana) y Mercenaria mercenaria. Esto posiblemente explique el crecimiento de lamelibranquios aparecidos en las bahías fuertemente contaminadas con aguas de alcantarilla comunales. (18)

Últimamente se ha planteado con frecuencia del peligro de la formación de nitrosaminas cancerígenas a partir de nitritos y aminas en el agua. Sin embargo, estas no se pueden identificar a un límite de detección de 0.0005 ppm, ni se considera probable una posible formación de las mismas. (18)

### 3.2.3 NITROGENO DE AMONIO:

El ion amonio es la forma química más abundante del equilibrio amonio-amoniaco en soluciones que se mantienen a pH menor a 8. (21) A valores de pH mayores de 8 se establece la forma soluble que se pierde completa y paulatinamente de la disolución cuando el pH se eleva por encima de 10. Por lo anterior es que la determinación de éste ion es delicada, pues la reacción se verifica a pH 13.

#### Importancia limnológica:

El amonio junto con el nitrato y el nitrito son indicadores típicos de contaminación, junto con la urea son producto final de las proteínas, porque los microorganismos saprófitos del ambiente forman aminas, purinas y aminoácidos que rápidamente se metabolizan a amoniaco y el que es retenido como ion amonio en el agua.(22)

Es el primer elemento inorgánico que se forma por la degradación de la materia orgánica, de donde es indicador de putrefacción .

Cuando se encuentra ion amonio asociado a coliformes es mucho más alta la probabilidad que las aguas sean poco higiénicas.

Dependiendo de las condiciones, amonio/amoniaco pueden acumularse en el agua o ser convertido por las bacterias en presencia de oxígeno en nitrito y nitrato. Este último proceso se conoce como "nitrificación". Bajo ciertas condiciones el proceso contrario (desnitrificación: reducción de nitrato a amonio/amoniaco) puede ocurrir por medio de la acción de las bacterias o químicamente.(16,18,20,28)

#### Toxicidad:

##### Efectos tóxicos del amonio en peces:

Especie	Niveles letales	Límite
Carpa	0.20 mg/l	0.20 mg/l
Trucha	0.08 mg/l	0.08 mg/l

El contenido de amoníaco es más elevado en el punto de polución y como las formas oxidadas (nitritos y nitratos) aumentan a partir de este punto con la distancia, las determinaciones de estos componentes proporcionan una medición de la polución directa y relativamente fácil de obtener. (1)

El amonio constituye un agente fertilizador de las aguas y suelos y junto con el nitrato es el principal aporte de nitrógeno para el desarrollo de especies no fijadoras de nitrógeno del fitoplancton, convirtiéndose en uno de los elementos que determinan el avance y mantenimiento de la eutrofización. (16,17,18)

### 3.2.4 NITROGENO DE NITRATO:

El ion nitrato es un ion muy distribuido en la corteza terrestre porque sus sales son solubles en agua. Como es el máximo estado de oxidación del nitrógeno es muy estable cuando no hay biodegradación. Es el último eslabón inorgánico de la cadena trófica en la naturaleza. Su origen en el agua es muy variado:

- 1) Puede provenir de la putrefacción de la materia orgánica a través de la nitrificación realizada por bacterias autótrofas. La nitrificación por bacterias específicas en dos fases:
  - a) Oxidación del amoníaco a nitrito por bacterias del género Nitrosomas:
 
$$2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{HNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$
  - b) Oxidación de nitrito a nitrato por bacterias del género Nitrobacter:
 
$$\text{HNO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{HNO}_3$$
- 2) Puede provenir de los vapores volcánicos y tormentas eléctricas que convierte el nitrógeno endógeno en la corteza terrestre y el atmosférico, en óxidos de nitrógeno y ácido nítrico que en los suelos alcalinos se convierte en nitrato.
- 3) Zonas que contienen salitre proporcionan cantidades considerables de nitrato al agua.
- 4) Por la descomposición de la materia nitrogenada de las aguas de deshechos.
- 5) Por los fertilizantes agrícolas.



Por su gran solubilidad puede filtrarse en las escorrentías y contaminar las aguas subterráneas.

Afecta también a la población lactante ya que existen en mayor abundancia que el nitrito, cuando se ingiere nitrato este se transforma en nitrito en la cavidad oral a través de las levaduras de la microbiota normal.(26)

La presencia del nitrato es fuente de nitrógeno de alta concentración que fertiliza el agua y multiplica las algas. Los nitratos pueden ser usados por las algas y otras plantas acuáticas para formar proteínas vegetales que, a su vez, pueden ser utilizadas por animales para formar proteínas animales. Después del fósforo, es uno de los factores importantes en la eutroficación, debido a las cantidades que artificialmente son descargadas en los cuerpos de agua por las prácticas agrícolas, las únicas especies que lo pueden utilizar son los vegetales y el fitoplancton. Por la eficiencia del fitoplancton en aprovecharlo coloniza la superficie del agua, eleva la zona fótica que priva de fotosíntesis a las macrófitas sumergidas iniciándose un proceso de eutroficación.(4,20,21,26):

### 3.2.5 NITROGENO TOTAL:

Es la suma de todos los aportes nitrogenados protéicos y no protéicos, que puedan ser medidos.

La utilización directa del amonio, en nitrato o el nitrógeno atmosférico, por parte de los organismos autótrofos, conducen a la biologización del nitrógeno, dado a que en las condiciones normales de aguas naturales, no existen procesos espontáneos de la formación de compuestos orgánicos nitrogenados sin la presencia de organismos vivos.

Se asimila en el órgano o células receptoras que conducen a la formación de aminas y amidas endógenas que al procesarse biológicamente para generar la simetría de los aminoácidos formarán las proteínas, purinas y porfirinas de las rutas biológicas. El siguiente eslabón en la cadena trófica es la que asegura el nitrógeno en las especies animales, cuyas excretas por las heces, orina y la putrefacción de sus cuerpos al morir entregan carga nitrogenada al ambiente hasta mineralizarse de nuevo en las formas de amonio, nitrato y nitrito.

Al descargarse los procesos y los residuos en los cuerpos de agua se da origen a la llamada eutroficación que proviene del ciclo de la transformación de las excretas y los elementos de putrefacción.

Las descargas de nitrógeno de origen humano es directamente proporcional a la densidad de población que se encuentra en sus riberas, en regiones en donde no hay tratamiento de aguas residuales. La muerte y descomposición de las proteínas animales y vegetales por las bacterias produce de nuevo amoníaco. Por otro lado la descomposición de la materia orgánica vegetal se hace lenta, debido a que los vegetales poseen paredes celulares de celulosa que primero tiene que metabolizarse por microorganismos celulóticos para proceder al metabolismo de los cuerpos nitrogenados.(9)

### 3.2.6 DUREZA TOTAL:

Es la propiedad determinada por el contenido en sales de calcio y magnesio (la mayoría bicarbonatos) que se caracterizan por dejar residuos de sarro al evaporarse el agua y por su propiedad de formar sales de calcio insolubles con los jabones constituidos de ácidos grasos y sulfónicos, provocando la ineficiencia de los mismos en su capacidad de formar micelas que atrapan las grasas y anulando su poder detergente. Se mide en grados. Un grado alemán de dureza (1 dH) corresponde a 10 mg de óxido de calcio o a 7.19 mg de óxido de magnesio por litro de agua. El agua dura hace mal espuma con el jabón porque se forman jabones insolubles de calcio y magnesio. Las instalaciones de calefacción y agua caliente necesitan agua blanda, de lo contrario se producirán incrustaciones.

(21)

La dureza es uno de las medidas más frecuentemente tomadas en el agua. El término de dureza total significa generalmente la suma de la media de dureza del calcio, dureza de magnesio, estroncio y bario. La composición química del agua esta determinada por el tipo de tierra del cual ésta proviene. Basalto, arenisca o granito son regiones que típicamente producen aguas con 16.7 a 83.3 ppm de  $\text{CaCO}_3$ , si en el área existe el yeso o la dolomita la dureza del agua local puede alcanzar valores tan altos como 1700 ppm de  $\text{CaCO}_3$ .(21)

La intervención humana en las descargas que aumentan la dureza del agua es bastante evidente en la industria turística y de la construcción a las orillas de los cuerpos de aguas, por las que se pueden alcanzar niveles sumamente altos de calcio y alcalinidad.(10,22)

Aunque el magnesio no es catalogado como un nutriente, sino como un oligoelemento, el magnesio presente en las aguas duras es un cofactor del proceso de eutroficación pues es el centro de coordinación de la metaloporfirina Clorofila que es la base de la actividad autótrofa del fitoplancton, siendo éste elemento uno de los más importantes en la actividad metabólica de las algas.

Según la composición de las sales que producen la dureza del agua se distinguen aguas con dureza "temporal" y con dureza "permanente", designando como aguas temporalmente duras las que contienen bicarbonatos de calcio y magnesio, la dureza temporal se puede quitar por ebullición o por adición de óxido de calcio que transforma los bicarbonatos en carbonatos insolubles.

La dureza permanente es ocasionada por el contenido de sulfato de calcio. La dureza temporal y permanente se pueden eliminar mediante filtración del agua a través de filtros de permutita.

Mientras que el agua de río es casi siempre dura, las aguas de lluvia y manantiales de rocas graníticas son blandas; el sabor del agua dura es más agradable que el de la blanda, cuyo sabor es insulso.

### 3.2.7 ALCALINIDAD:

El término alcalinidad se refiere a la propiedad de una solución de poseer y mantener un pH por encima de 7, susceptible de ser medida por titulación de un ácido patrón, la cual está originada por la disolución de compuestos alcalinos o alcalinógenos. (22)

La presencia de bases en aguas naturales proviene esencialmente de la composición geológica de la cuenca así como de los procesos naturales del ciclo del carbono en los medios acuosos. El aporte geológico está dado principalmente por rocas compuestas de óxidos de calcio, magnesio, estroncio y bario que forman carbonatos insolubles o bicarbonatos solubles, que constituyen la alcalinidad de reserva, o bien pueden mantenerse como hidróxidos responsables de la alcalinidad física, asociados a valores de pH por encima de 8.0.

La alcalinidad en el agua se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amonio. De éstos, los más frecuentes son los bicarbonatos magnesio y calcio.

En el equilibrio ecológico, el dióxido de carbono y el ion bicarbonato son la fuente de carbono de los organismos autótrofos como las macrófitas y las algas, que dan el carácter biosintético a la clorofila, mediada por la luz solar. (22)

Solamente alcalinidades asociadas a valores de pH por encima de 11 (alcalinidad física) tiene repercusión en la salud humana, pues tales concentraciones de iones hidroxilo produce una lesión permanente en el tracto digestivo, especialmente en el esófago, con hidrólisis de las de las proteínas de las mucosas gástricas.

El agua residual es generalmente alcalina, recibiendo su alcalinidad del agua de suministro, del agua subterránea y de las materias añadidas durante el uso doméstico. (21)

### 3.2.8 CLORUROS:

Otro parámetro de calidad importante es la concentración de cloruros. Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disociación de suelos y rocas que las contienen y que están en contacto con el agua y, en las regiones costeras, de la intrusión del agua salada. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales en las aguas superficiales. (22)

Las heces humanas, por ejemplo, contienen 6 g. de cloruro por persona y día. En lugares donde la dureza del agua sea elevada los ablandadores del agua aportan grandes cantidades de cloruros. (22)

El ion cloruro es la base de la isotonicidad relativa a las células de los organismos vivos y su presencia en todos los fluidos biológicos de los animales es significativa, pues la presión osmótica a la cual los tejidos están sometidos, determinan la supervivencia e integridad celular evitando su colapso o ruptura, y manteniendo la cantidad de agua necesaria que estabiliza la estructura terciaria de las proteínas, y por ello su función biológica.

Otra de las fuentes de cloruro en las aguas lo constituyen los fertilizantes a base de cloruro como anión, que en las aguas de escorrentía, y la precipitación pluvial que aporta cloruro en forma inversamente proporcional a su distancia del mar, lo cual se explica por la formación de aerosoles en estrecho contacto con la superficie marina dada la presión atmosférica de, por lo menos 760 mm de mercurio, lo que permite la disolución de pequeñas cantidades de cloruro en la microgota siendo así transportada a las regiones continentales. La contaminación

industrial por cloruro proviene del procesamiento y obtención de papel en que las aguas residuales han preconcentrado el contenido de sales de la pulpa, y en plantas de producción de potasio a partir de cloruro de potasio. (22)

### 3.2.9 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

Estima el oxígeno gastado en la descomposición biológica actual de una muestra de agua, y es una simulación de laboratorio del proceso microbiano de autopurificación. El parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los 5 días. Con este dato puede calcularse la velocidad a la que se requerirá el oxígeno.

Las limitaciones de la determinación de la DBO incluyen la necesidad de tener que disponer de una elevada concentración de bacterias activadas y aclimatadas que hagan de inócuo, la necesidad de un pretratamiento cuando haya residuos tóxicos y la necesidad de reducir los efectos de los organismos nitrificantes, el arbitrario y prolongado período de tiempo requerido para obtener resultados, el hecho de que sólo se midan los productos orgánicos biodegradables, y el que el ensayo no tenga validez estequiométrica una vez que la materia orgánica soluble presente en la solución haya sido utilizada. (21)

### 3.2.10 COLIFORMES TOTALES Y FECALES:

Las aguas meteóricas al caer hacia la tierra arrastran las partículas de polvo suspendidas en la atmósfera, gases, microbios, etc. Cuando mayor es la cantidad de estos materiales en la atmósfera (urbes, zonas industriales, regiones secas) más cantidad de bacterias contiene el agua. En las regiones deshabitadas o en las que se desarrollan escasa actividad humana estas aguas apenas contienen gérmenes. Al llegar a la tierra, las aguas se cargan de microorganismos proporcionados por el suelo receptor, cuyo número y variedad está en consonancia con el grado y naturaleza de la polución del terreno. En general, los arroyos y ríos en su nacimiento, son pobres en bacterias y en sus aguas se encuentra únicamente flora telúrica. (8)

A medida que los ríos discurren por regiones habitadas o fuertemente industrializadas, reciben los vertidos domésticos e industriales. Son estas aguas las que nutren los lagos, pantanos y embalses.

Los vertidos que reciben los ríos a lo largo de su cauce contienen enormes concentraciones de microorganismos procedentes de la flora intestinal de la especie humana, incrementada en el medio rural por las excretas y los residuos alimenticios de los animales, constituyendo un conjunto heterogéneo en el que se encuentran una gama de microorganismos patógenos.

La influencia de las aguas residuales domésticas (aguas negras) sobre las corrientes fluviales o lagos es muy variable y depende de factores diversos: proporción de vertido y de corriente receptora, velocidad de ésta, naturaleza del lecho del río, características geológicas de la corriente, aireación, etc. (8)

El término coliformes se refiere a géneros y especies pertenecientes a la familia "Enterobacteriaceae", que se caracteriza por desarrollar procesos de fermentación de azúcares. El término coliformes focales es aún menos específico y aunque con él se trate de hacer referencia a la contaminación fecal de las aguas producida principalmente por Escherichia coli, muchas otras enterobacterias diferentes a ésta son parte de la microbiota normal del sistema digestivo de los mamíferos superiores; a mayor número de coliformes en el agua, mayor será el riesgo que represente para la salud humana. (28)

Se incluyen en la familia Enterobacteriaceae a los siguientes géneros: **Escherichia, Shigella, Edwardsiella, Salmonella, Arizona, Citrobacter, Klebsiella, Enterobacter, Hafnia, Serratia, Proteus, Morganella, Providencia, Yersinia, Erwinia y Pectobacterium.**(22,28)

### 3.2.11 METALES PESADOS:

Vestigios de muchos metales, tales como el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, cinc, cobre, hierro y mercurio son importantes constituyentes de muchas aguas. Algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia en cantidades suficientes podría, por ejemplo, limitar el crecimiento de las algas. La presencia de cualesquiera de los metales citados en cantidades excesivas interferirá con muchos

usos provechosos del agua dada su toxicidad; por tanto, conviene casi siempre medir y controlar las concentraciones de dichos metales. (21)

La característica de estos metales de formar sales insolubles o iones complejos con los grupos amino o carboxilo libres de las proteínas determinan su potencial toxicológico, aparte que algunos de ellos son carcinogénicos por actuar a nivel de los ácidos nucleicos. Concentrados por especies vegetales o fitoplanctónicas, los metales pesados pueden transportarse a través de la cadena trófica asociada, hasta llegar al ser humano en donde prosigue su proceso de preconcentración hasta manifestarse como intoxicación crónica con su patología característica para cada elemento.

Los métodos para determinar las concentraciones de estos metales varían en complejidad según las posibles sustancias productoras de interferencias que se encuentren presentes. (21)

### 3.2.12 TRABAJOS RELACIONADOS CON EL TEMA:

En relación con investigaciones realizadas en el país sobre Limnología se pueden mencionar los trabajos de Basterrechea, M. (1986) quien publicó "Limnología de Guatemala, la química analítica y aplicada para el control del medio ambiente", en este documento se refiere a la importancia ambiental de los parámetros químicos, así como las técnicas estandarizadas y el control de calidad, indica también que varios cuerpos de agua que existen en el país están siendo monitoreados desde 1985, entre estos se encuentran los lagos de Amatitlán, Izabal, Chichoj, Atitlán y varios del Petén. El mismo autor junto a sus colaboradores, trabajaron en la "Determinación de Nutrientes y otros parámetros de Calidad de Agua para evaluar el proceso de eutroficación en el lago de Amatitlán" (1989) y en "Determinación de Nutrientes y otros parámetros de Calidad de Agua para evaluar la contaminación y el proceso de eutroficación de la Laguna de Chichoj (Alta Verapaz)" (1992). Los resultados de los trabajos indican que la mayor contribución de la eutroficación de los Lagos radica en la falta de tratamiento de las aguas residuales domiciliarias e industrias, además en el caso de Amatitlán, la región nororiental acumula nutrientes por los aportes de aguas negras del Río Villalobos. (14)

Por su parte Beltrán, E. (1989) determinó en su trabajo titulado "Determinación de los niveles fluctuantes de los nutrientes: amonio, nitrito y orto-fosfato para la cuantificación del grado de avance de eutroficación del Lago de Amatitlán", la importancia que tiene el cambio de época (seca-lluviosa), el punto de muestreo y las distintas profundidades sobre la distribución y concentración de Amonio, Nitrito, Orto-fosfato en las aguas del Lago de Amatitlán. Demostró que la concentración de amonio depende de la estación del año (seca o lluviosa) y por el punto de muestreo, no siendo válido el mismo comportamiento para las concentraciones de nitritos encontradas. En el caso de las concentraciones de ortofosfato la estación del año, la profundidad y el punto de muestreo no tuvieron mayor significancia en los resultados.(5)

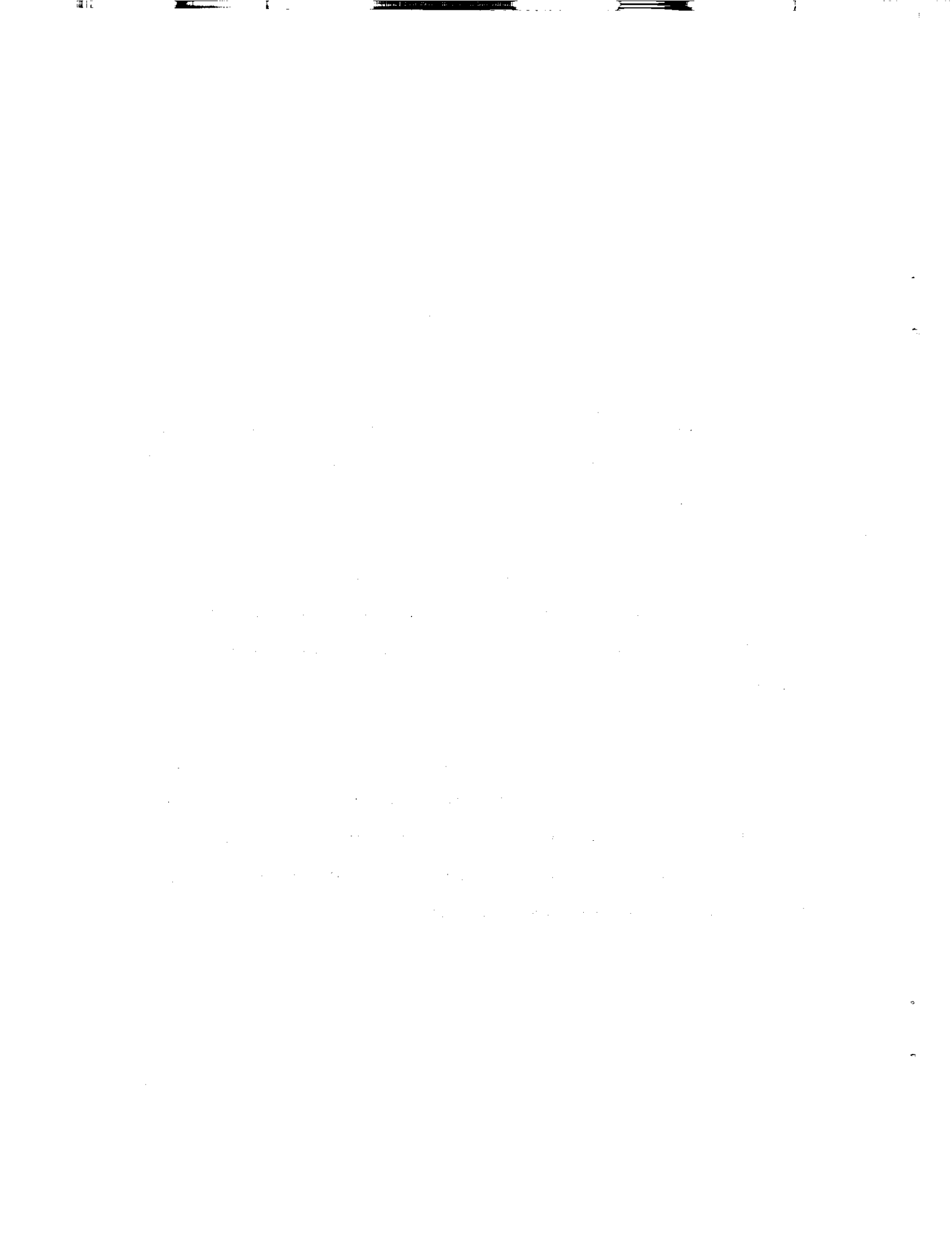


## JUSTIFICACIONES

De la problemática ambiental de Guatemala la contaminación de agua es uno de los más importantes al extremo de que muchas de las pequeñas comunidades como Mixco se enfrentan a serias dificultades para encontrar fuentes de abastecimiento.

El incremento de la población ha aumentado el uso del agua, dando como resultado una baja general en su calidad para efectos de consumo doméstico. Un factor que merece considerarse seriamente es el de los peligros a la salud ocasionados por la deposición de desechos en los cuerpos de agua, sin ningún tratamiento previo o tratamientos ineficientes. (12)

Se sabe que la microcuenca Pansalic está expuesta al drenaje de aguas residuales industriales y domésticas, lo que ha generado una baja en su calidad. Hay un alto porcentaje de la población humana que hace uso del agua de esas microcuencas para lavado de ropa e higiene personal, de donde el conocimiento de la calidad del agua se hace necesario para proponer medidas correctivas. El estudio permite conocer la dinámica de la microcuenca para poder evaluar en el futuro los impactos directos en casos de contaminación.



## OBJETIVOS

### Generales:

- Generar información sobre la contaminación en cuerpos de agua cercanos a la ciudad capital.
- Determinar el grado de contaminación de las microcuencas Pansalíc y Panchochá mediante el análisis de parámetros físico-químicos y bacteriológicos.

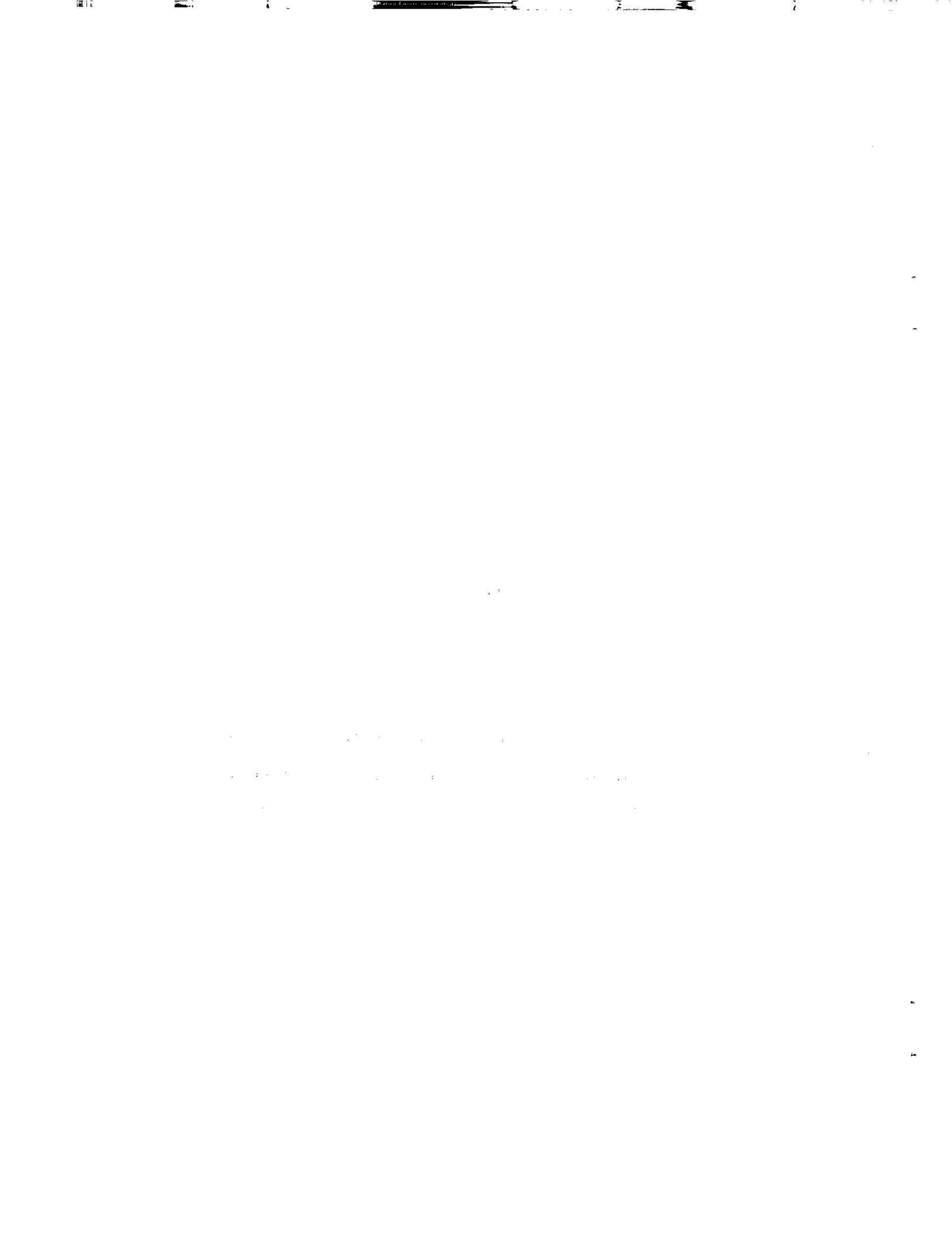
### Específicos:

- Comparar los parámetros físicos: olor, color, aspecto, temperatura, Conductividad, entre las microcuencas en estudio.
- Comparar los parámetros químicos: pH, Concentraciones de amonio, nitrito, nitrato, nitrógeno total, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, dureza total, alcalinidad, cloruros, fosfatos, fósforo total y metales pesados.
- Determinar Coliformes Totales y Fecales.
- Determinar las principales fuentes de contaminación y la variación de estas en las épocas seca-lluviosa.



### **HIPÓTESIS**

Por haber varias colonias e industrias que drenan al río Pansalic, el grado de contaminación de este es mucho mayor que la del río Pancochá que no tiene estas influencias.



## ASPECTOS METODOLOGICOS

### Universo de Trabajo:

#### \* Pancochá

Río del municipio de Mixco, Guatemala. Se forma al oeste del caserío La Presa, de la confluencia del río Las Flores con una corriente. Fluye de noroeste a sureste. Al oeste de la aldea San Ignacio se une con el río Pansalic, origen del río Molino. (13)

Lat. 14° 38' 16" Long. 90° 36' 35"

Longitud del río: 5 km.

#### \* Pansalic

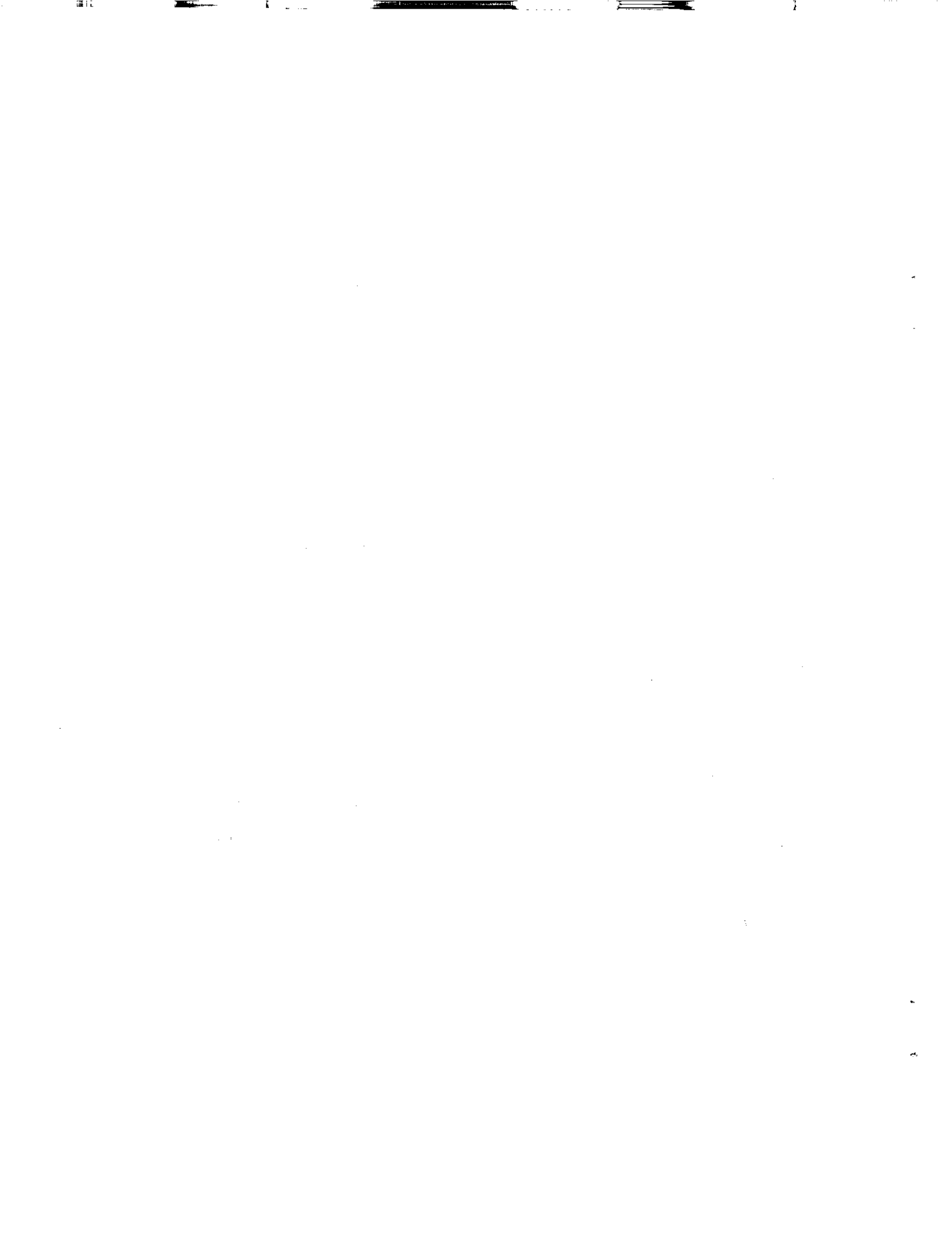
Río del municipio de Mixco, Guatemala. Se forma al norte del parcelamiento agrario Pachalí, al oeste del caserío Pacul. Su curso es de noroeste al sureste. Pasa al norte del caserío Payatzancán y toma al este. Al norte de la cabecera y al oeste de la aldea San Ignacio se une con el río Pancochá, origen del río Molino. (13)

Lat. 14° 38' 16" Long. 90° 36' 35"

Longitud: 8 km

En 1865 se hizo referencia al río como Panzali.

\* Variables Físico-químicas y bacteriológicas.





Medios:

## Recursos Humanos:

Diana Patricia Paredes H. (Tesisista)

Licenciado Sergio Molina (Asesor)

Licenciado Mamerto A. Gómez (Asesor)

Licenciada Paula Castellanos

Personal del Depto. de Radioquímica, DGEN.

## Recursos Físicos

Biblioteca de Fac. de Farmacia, USAC.

Biblioteca de Escuela de Ingeniería Sanitaria, USAC.

Municipalidad de Mixco, Depto. de Drenajes

Departamento de Ecología de la Escuela de

Biología, USAC.

Sección de Radioquímica de la Dirección General de Energía Nuclear. (DEGEN)

## Recursos Materiales:

Vehículo

Botellas de van Dorn

Hydrolab Surveyor II y Accesorios

Aislantes térmicos

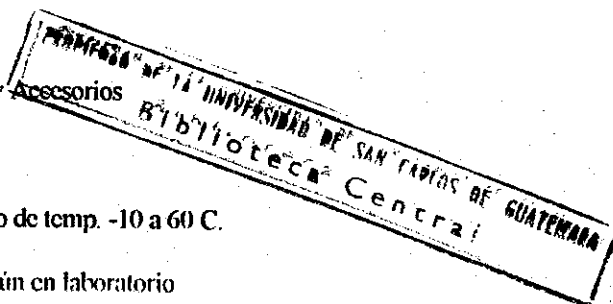
Termómetro con rango de temp. -10 a 60 C.

Cristalería de uso común en laboratorio

Pipetas de titulación

Bolsas plásticas

Recipientes plásticos



Guantes plásticos

Servilletas de Papel

Agua Destilada

Refrigeradora de laboratorio

Equipo de filtración al vacío

Aspiradores de pipeta

Incubadora DBO

Incubadora microbiológica

Espectrofotómetro de doble haz

Balanza analítica de 0.1 mg de sensibilidad

Oxímetro digital con detector para botella

Medidor de pH con electrodo combinado

Magnets agitadores

Agitador eléctrico

Buretas

Cadena para fluorescencia de Rayos X

Tubo generador de Rayos X.

#### Disoluciones y Reactivos

Kit de reactivos Merck para análisis de Nitrato

Acido Clorhídrico 37%

Acido Nítrico 65%

Acido Clorhídrico Tritrisol 0.1N.

Acido Sulfúrico 99%

Caldo Brilla Fluorocult

Caldo Lauril Sulfato Fluorocult

Cromato de Potasio  
Etilendiamino-tetra-acetato de disodio  
Fenol  
Ftalato ácido de Potasio  
Heptamolibdato de Amonio  
Hidróxido de Sodio  
Nitrato de Plata  
Persulfato de Potasio  
Sulfamilamida  
Sulfato de Magnesio  
Tartrato de Antimonil Potasio  
Fosfato Diácido de Potasio  
Fosfato Monoácido de Sodio  
Cloruro de Amonio  
Cloruro de Calcio  
Cloruro Férrico  
Hipoclorito de Sodio  
Acido Ascórbico

**Procedimiento:**

**Diagnostico estático inicial:**

Cuando se hizo la visita preliminar al área de estudio se constató que existen dos colonias habitacionales siendo estas: "El Roconal" y "Maravilla" cuyas aguas drenan al río Pansalic, ambas colonias tienen sistemas de tratamiento para aguas negras, pero hoy resultan insuficientes debido al aumento de la población. Este aspecto fue uno de los motivos que influyó al escoger los puntos de muestreo.

### Muestreo:

Se localizarán los dos ríos en un mapa cartográfico de escala 1:50,000.

De acuerdo a la hipótesis planteada anteriormente y a la visita al área se escogerán 5 estaciones representativas de los impactos antropogénicos que permitirá la caracterización de las cuencas.

### Sitio:

1. 250 mt. antes de la descarga de aguas negras provenientes de las colonias, servirá para evaluar la calidad de agua que fluye de regiones más altas de la microcuenca del Río Pansalic.
2. 250 mt. río arriba de la unión del Río Pansalic con el Río Pancochá, sobre el río Pansalic.
3. Nacimiento de agua sobre el Río Pansalic, ya que la gente utiliza estas aguas para lavado de ropa y aseo personal.
4. 250 mt. arriba de la unión sobre el Río Pancochá
5. 15 mt. después de la unión de los dos ríos.

Se muestreará tres veces en época seca (marzo y abril) y tres veces en época lluviosa (junio y julio), realizándose el muestreo por las mañanas.

### Las muestras se tomaron:

1. En una botella de DBO para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, y
2. En recipientes de polietileno, para la determinación de nutrientes.

Los recipientes fueron previamente lavados para evitar la contaminación, además se desaguarán tres veces con el agua de muestreo antes de tomar la muestra. Se utilizó botellas estériles con EDTA para el análisis bacteriológico. Todas las muestras fueron colocadas en aislantes térmicos para ser transportadas al Laboratorio.

En cada sitio, y en el transcurso de la mañana se realizaron mediciones utilizando el equipo Hydrolab Surveyor II, que cuenta con sensores de lectura directa para: temperatura, pH, Oxígeno Disuelto, Potencial Redox, Conductividad y profundidad. También se observó el color, el olor, aspecto del agua y se anotó la fecha.

#### Trabajo de Laboratorio:

##### Filtrado de la muestra:

Las muestras luego de filtrarse al vacío en papel filtro convencional de poro fino, se almacenaron en un sitio refrigerado hasta antes de ser analizada.

#### Análisis de muestras:

Los análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno, las determinaciones de Alcalinidad, Dureza, Nitrógeno de Amonio, Nitrato, Nitritos, Nitrógeno total, Fósforo Total, orto-Fosfato, Metales pesados y la cantidad probable de Coliformes Totales y Fecales se hicieron en el laboratorio según Métodos estándar para la evaluación de agua y aguas de desechos. (3)

Durante el análisis de las muestras de agua se llevó a cabo un programa de garantía de calidad de los procedimientos, evaluando controles de concentración conocida junto con las muestras y determinando su porcentaje de recuperación y su coeficientes de variación.

#### ANALISIS ESTADÍSTICO:

La evaluación estadística se realizó mediante el programa SAS (Statistical Analytical System), aplicando modelos generales lineales de análisis de varianza y utilizando como variables la época climática (seca-lluviosa), las estaciones de muestreo (1,2,3,4 y 5) y la evolución temporal por número de muestreo (1,2,3,4,5 y 6). Se estableció una comparación múltiple de medias aplicando la prueba de Duncan, con una significancia límite de  $\alpha=0.05$ , habiendo establecido previamente una probabilidad de igualdad de varianza máxima de  $P=0.0500$  para considerar la dependencia de la variable respuesta con las variables de estudio.

0017

0017

0017

0017

0017

0017

0017

0017

0017

0017

0017

0017

0017

0017

0017

0017

0017

## RESULTADOS

Los resultados que se exponen se basan en la información generada durante seis muestreos de las aguas de los ríos Pancochá y Pansalic durante los meses de Marzo a Agosto de 1993. La información se resume en los cuadros A,B y C adjuntos en esta sección, en los que se muestra las medias obtenidas y las estadísticas dadas por la agrupación de medias de la prueba Duncan, y además se observa el valor de probabilidad de igualdad de varianzas para cada parámetro. Para efectos de una mejor visualización, se agregan en la sección de Anexos los cuadros, figuras y gráficas de cada parámetro.

### PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS:

#### 1. Temperatura, °C:

(Cuadro No. 1)

- 1.1 Las cinco estaciones fueron estadísticamente iguales con una media de 19.92 °C.
- 1.2 En el primero y segundo muestreo, realizados el 24 de Marzo y 14 de Abril respectivamente, se registraron las temperaturas más altas con una media de 21.48 °C.
- 1.3 El tercer muestreo fue significativamente diferente al primero y al segundo con un valor medio de 20.46 °C, aunque los tres primeros muestreos corresponden a la época seca.
- 1.4 Mientras que los muestreos 4,5 y 6 (pertenecientes a la época lluviosa, realizados el 29 de Junio, 21 de Julio y 20 de Agosto respectivamente), fueron estadísticamente iguales con una media de 18.69 °C.
- 1.5 Se observó una diferencia en los valores de las temperaturas tomadas en la época seca y la lluviosa, con un valor medio de 18.69 °C y 21.14 °C respectivamente.

## 2. pH:

(Cuadro No. 2)

- 2.1 Las cinco estaciones de muestreo presentaron el mismo comportamiento, por lo que se obtuvo una media estadística de 6.77.
- 2.2 En todos los muestreos se observaron valores numéricamente iguales por lo que se obtuvo una media de 6.92 exceptuando el muestreo 4, en el cual la media fue de 6.03.
- 2.3 Con relación a la época de muestreo, entre época seca y lluviosa no se encontró diferencia estadística significativa obteniéndose una media de 6.77.

## 3. Oxígeno Disuelto (mg O<sub>2</sub>/L):

(Cuadro No. 3)

- 3.1 Las estaciones 1, 2 y 5 fueron estadísticamente iguales con una media de 4.63. Los valores más bajos siempre se obtuvieron en la estación 2 que corresponde a 250 m. después de las colonias, llegándose a valores de 0.5 mg/l durante el 2o. muestreo. Las estaciones 3 y 4 formaron otro grupo con una media de 6.39.
- 3.2 Los muestreos 1, 2 y 3 presentaron valores muy parecidos con una media de 4.12, mientras que 4, 5 y 6 estadísticamente iguales presentaron una media de 6.32.
- 3.3 Por la forma en que se agruparon los muestreos anteriormente se observa que los de la época seca (correspondientes a los muestreos 1, 2 y 3) es estadísticamente diferente a los de la época lluviosa (muestreos 4, 5 y 6).



#### 4. Conductividad: mS/cm

(Cuadro No. 4)

- 4.1 La conductividad fue en general baja, obteniéndose un máximo de 0.332 mS/cm en las estaciones 5 y 2, que eran estadísticamente iguales y un mínimo de 0.226 mS/cm en las estaciones 1, 3 y 4, también estadísticamente iguales entre sí.
- 4.2 No hubo diferencias estadísticas entre los muestreos, ni entre las épocas, por lo que la media fue de 0.268 mS/cm.

#### 5. Potencial de Oxido-Reducción: (mV)

(Cuadro No. 5)

- 5.1 Entre las estaciones, la 2 fue la única diferente de las demás, con un valor negativo de -0.203 mV y las otras estaciones tuvieron una media positiva de 0.116 mV.
- 5.2 Entre los muestreos hay poca diferencia por lo que se agrupan estadísticamente en un grupo con una media de 0.052.
- 5.3 Aunque, la diferencia es mínima, a nivel de Época se marcan los muestreos de la época seca con una media de -0.0526 y la lluviosa con 0.1473.

#### 6. Turbidez:

(Cuadro No. 6)

- 6.1 En las estaciones 2 y 5 el agua siempre es turbia. El agua de la estación 3, por lo contrario, es transparente y clara, mientras que en la estación 4 la mayoría de las veces es ligeramente turbia.
- 6.2 Todos los muestreos son estadísticamente iguales.
- 6.3 No hay diferencias significativas entre los muestreos de la época seca y la lluviosa.

## 7. Color:

- 7.1 En la estación 3 (nacimiento de agua), el agua siempre es clara e incolora. En las estaciones 1,2 y 5 el color del agua es de un tono gris en la época seca y con un tono café-gris en la época lluviosa. En la estación 4, el agua es incolora en la época seca y durante la época lluviosa el agua variaba de un color ligeramente beige a un color café claro.

## 8. Olor:

- 8.1 Las estaciones 1,2 y 5, en la mayoría de los muestreos tienen olores desagradables. En la estación 3 el agua no tiene ningún olor, con excepción del muestreo 5 en que se sentía un olor a orina en el lugar donde se colectaba el agua. En la estación 4 no se siente ningún olor en particular.
- 8.2 Durante el muestreo 1, en las estaciones 2 y 5 se siente un fuerte olor a amonio.

## PARÁMETROS QUÍMICOS:

### 9. Fósforo de orto-Fosfato: (ug/L)

(Cuadro No. 7)

- 9.1 Si hubo diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones, siendo las estaciones 5 y 2 iguales con una media de 1536.25 ug/L; el otro grupo formado por las estación 1 con una media de 688.10, y por último las estaciones 3 y 4 que tienen una media de 57.0 ug/L.
- 9.2 El único muestreo estadísticamente diferente fue el 3 en el que se tiene una media de 1829.18; mientras que en los otros la media fue de 563.7.

- 9.3 Los muestreos de las épocas fueron estadísticamente diferentes, ya que los de la época seca presenta una media de 1180.02 y los de la lluviosa de 361.23

10. Fósforo Total soluble: (ug/L)

(Cuadro No. 8)

- 10.1 Se diferenciaron significativamente tres grupos: las estaciones 2 y 5 con una media de 3134.50 ug/L la estación 3 con 1451.00 y las estaciones 3 y 4 con 90.10 ug/L.
- 10.2 Los muestreos son representativos de las épocas, ya que el 1, 2 y 3 (de la época seca) fueron estadísticamente iguales con una media de 563.01 y los muestreos 4, 5 y 6 (de la época lluviosa) también estadísticamente iguales entre sí, con una media de 463.70.
- 10.3 Por lo anterior se observa diferencia significativa entre la época seca y lluviosa.

11. Nitrogeno de Nitrito: ug/L

(Cuadro No. 9)

- 11.1 Si hay diferencias significativas entre las estaciones agrupandose siempre en dos grupos: estaciones 1,2 y 5 con una media de 33.34 y estaciones 3, 4 con 3.31 ug/L.
- 11.2 Los muestreos se agrupan de la siguiente forma: 3 y 4 con una media de 39.37; y 1,2,5 y 6 con 12.35.
- 11.3 Estadísticamente no hay diferencia entre época seca y lluviosa obteniéndose una media de 21.33.

12. Nitrógeno de Amonio: ug/L

(Cuadro No. 10)

- 12.1 Las estaciones 2 y 5 estadísticamente iguales muestran una media bastante alta con un valor de 4,958.00 ug/L. Mientras que las estación 1 tiene 1578.00 y la 3 y 4 con una media de 38.00.

- 12.2 Los muestreos 2,3 y 5 resultan especialmente elevados con una media de 3,723.00. Los otros muestreos la media se ubica en 905.33.
- 12.3 Se diferenciaron significativamente la época seca con una media de 3,377.70, de la época lluviosa cuya media es de 1,250.60.

13. Nitrógeno de Nitrato: ug/L

(Cuadro No. 11)

- 13.1 No hay diferencia significativa entre las cinco estaciones y juntas tienen una media de 636.72.
- 13.2 Entre los muestreos, el sexto presenta los valores más altos y su media alcanza un valor de 1304.40. Los otros muestreos son estadísticamente iguales entre sí, con una media de 503.20.
- 13.3 Se diferenciaron significativamente, la época seca (489.79) de la época lluviosa (786.66).

14. Nitrógeno Orgánico Soluble: ug/L

(Cuadro No. 12)

- 14.1 La estación 5, es la única diferente con una media de 4,127.44; mientras que las demás son estadísticamente iguales con una media de 1600.75.
- 14.2 Entre los muestreos no hay diferencia significativa, por lo que la media es de 2,106.0
- 14.3 Al igual que los muestreos, los valores de la época lluviosa son estadísticamente iguales a los de la época seca.

15. Dureza: mg/L

(Cuadro No. 13)

- 15.1 La estación 3, es la única diferente con una media de 91.48, mientras que la media de las otras estaciones es de 80.26. (P=0.04)
- 15.2 Estadísticamente no hay diferencia entre los muestreos, cuya media es de 82.50. (P=0.084)
- 15.3 Tampoco hay diferencias significativas entre la época seca y lluviosa. (P=0.084)

16. Alcalinidad: mg/L de CaCO<sub>3</sub>

(Cuadro No. 14)

- 16.1 Las estaciones 2 y 5 son estadísticamente iguales con una media de 143.73, mientras que las estaciones 1, 3 y 4 tienen una media de 110.36.  
(P=0.001)
- 16.2 Los muestreos 4 y 6 forman un grupo, con una media de 97.8, mientras que el 1, 2, 3 y 5 forman otro grupo con una media de 136.67. (P=0.007)
- 16.3 Las dos épocas son diferentes, para la seca la media es de 139.05 y para la lluviosa 108.37.

17. Cloruro: mg/L

(Cuadro No. 15)

- 17.1 Se diferencian dos grupos: uno formado por las estaciones 2, 3 y 5 con una media de 8.15; y el otro formado por las estaciones 4 y 1 con una media de 2.16. (P=0.0008)
- 17.2 Los muestreos, todos son estadísticamente iguales con una media de 5.75. (P=0.1212)
- 17.3 Los valores obtenidos en la época seca son mayores, pues la media es de 7.10, mientras que los de la época lluviosa es de 4.40.

**PARÁMETROS BIOLÓGICOS:**

18. Demanda Bioquímica de Oxígeno: mg/L de O<sub>2</sub>

(Cuadro No. 16)

- 18.1 Las estaciones 2 y 5 (Pansalic y la unión de ríos) forman un grupo estadísticamente igual con una media de 59.17. Las estaciones 1, 3 y 4 forman otro grupo con una media de 10.43.  
(P=0.0020)

- 18.2 Con relación a los muestreos hay tres grupos: el 3 y el 1 con una media de 52.66; el 2, 4 y 5 con una media de 24.00 y por último el muestreo 6 con una media de 2.26. (P=0,0402)
- 18.3 Los valores durante la época seca son más altos (media de 42.87) que los valores observados en la época lluviosa (media de 16.99)

19. Coliformes Fecales: NMP/dl

(Cuadro No. 17)

- 19.1 Estadísticamente todas las estaciones son iguales con una media de 2,970.4. (P=0.2888)
- 19.2 A nivel de muestreos solamente el 6 es diferente a los demás con una media de 11,904. Los otros presentan una media de 1,183.6. (P=0.0111)
- 19.3 Entre estaciones no hay diferencias significativas, con una media de 2,970.

20. Coliformes Totales: NMP/dl

(Cuadro No. 18)

- 20.1 Entre las estaciones la 2 y la 5 forman un grupo estadísticamente igual con una media de 17,211; la 1, 3 y 4 forman el otro grupo con 5,264. (P=0.004)
- 20.2 El único muestreo diferente fue el 6, con una media de 21,400. Los otros cinco muestreos se agrupan estadísticamente y presentan una media de 7,771.6 que es mucho más baja que la anterior. (P=0.0045)
- 20.3 Entre los muestreos de las épocas no hay diferencias, obteniéndose una media con un valor de 10,043.

**ANÁLISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X****21. Potasio: mg/L**

(Cuadro No. 19)

- 21.1 En las estaciones la 3 (nacimiento de agua) y la 4 (Río Pancochá) presentan la media más baja de 4.15. si se compara con las estaciones 1, 2 y 5 en las que encontramos un valor de 8.24. (P=0.0192)
- 21.2 El muestreo 3 es el único diferente, con una media de 11.13, mientras que en los otros se obtiene una media de 5.48. (P=0.0396)
- 21.3 Si hay diferencias, la época seca tiene una media de 7.80 y la lluviosa de 4.82.

**22. Calcio: mg/L**

(Cuadro No. 20)

- 22.1 Entre las estaciones no hay diferencias significativas por lo que la media es de 29.78. (P=0.842)
- 22.2 El único muestreo diferente es el 3, que corresponde a principios de mayo, la media de este muestreo es de 39.18. Los demás muestreos tienen una media con un valor de 27.43. (P=0.0396)
- 22.3 Las dos épocas son estadísticamente iguales por lo que la media es de 29.58.

**23. Hierro: mg/L**

(Cuadro No. 21)

- 23.1 La única estación diferente es la 3, que corresponde al nacimiento de agua, la cual tiene un valor más alto que las demás, la media es de 1.828, mientras que las otras juntas tienen una media de 0.492. (P=0.0450)

- 23.2 El muestreo 2 (abril), es diferente con un valor de 0.71. Las demás estaciones se agrupan y dan una media de 1.773.
- 23.3 Las épocas son diferentes, con una media de 1.192 para la época seca y 2.114 para la época lluviosa.

#### 24. Otros Elementos: mg/L

(Cuadros No. 22 a 25)

- En menor cantidad y no en todos los muestreos ni estaciones se encuentran presentes Estroncio, Cobre Zinc y Manganeso.
- 24.1 Estroncio: La estación 4 presenta una media de 0.188, mientras las demás tienen un valor de 0.111. En muestreos, el 2 tiene un valor de 0.07 y los demás, estadísticamente iguales, tienen una media de 0.142. No hay diferencia entre las épocas.
- 24.2 Cobre: En las estaciones 1 y 4 no se observa la presencia de este elemento, y en las otras estaciones la media es de 0.014. En el muestreo 4, tampoco está presente y son cantidades pequeñas las que se encontraron en los otros muestreos, la media es de 0.014. No hay diferencia entre las épocas.
- 24.3 Cinc: hay poco zinc en la cuenca por lo que la media de las cinco estaciones es de 0.0384. En los muestreos, la media fue de 0.0384. Las épocas son estadísticamente iguales.
- 24.4 Manganeso: La estación 2 presenta una media de 0.150, y la estación 5 tiene una media con un valor de 0.118; en las otras estaciones no aparece este elemento. Tanto los muestreos como las épocas son estadísticamente iguales, con una media de 0.0536.

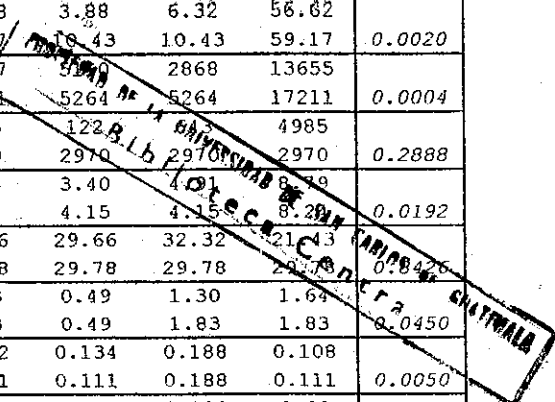


**Cuadro A**  
**Variaciones por Estación de Muestreo**

Parámetro	Media	Estaciones					P
		1	2	3	4	5	
Temperatura ° C	Obs	19.27	20.68	20.09	19.74	19.79	0.2055
	Est	19.92	19.92	19.92	19.92	19.92	
pH	Obs	7.10	6.91	6.26	6.79	6.81	0.0908
	Est	6.78	6.78	6.78	6.78	6.78	
Oxígeno Disuelto mg/L de O <sub>2</sub>	Obs	5.20	3.23	6.77	6.02	4.91	0.0222
	Est	4.64	4.64	6.39	6.39	4.64	
Conductividad mS/cm	Obs	0.209	0.321	0.228	0.239	0.343	0.0177
	Est	0.226	0.332	0.226	0.226	0.332	
Potencial Redox mV	Obs	+0.092	-0.203	+0.181	+0.105	+0.088	0.0299
	Est	+0.116	-0.203	+0.116	+0.116	+0.116	
Turbidez Escala discreta arbitraria	Obs	2.50	3.00	1.00	1.67	3.00	0.0001
	Est	2.50	3.00	1.00	1.67	3.00	
Nitrógeno de Amonio mg/L	Obs	1578.00	4311.00	11.00	65.00	5606.00	0.0002
	Est	1578.00	4958.00	38.00	38.00	4958.00	
Nitrógeno de Nitrito mg/L	Obs	24.88	30.90	1.40	5.23	44.25	0.0032
	Est	33.34	33.34	3.31	3.31	33.34	
Nitrógeno de Nitrato mg/L	Obs	721.90	609.30	666.60	534.60	651.20	0.9179
	Est	636.70	636.70	636.70	636.70	636.70	
Nitrógeno Orgánico Solubl mg/L	Obs	1456.00	2676.00	891.00	1380.00	4127.00	0.0840
	Est	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	4127.00	
Fósforo de o-Fosfato mg/L	Obs	688.10	1464.40	64.00	48.50	1608.10	0.0004
	Est	688.10	1536.25	57.00	57.00	1536.25	
Fósforo Total mg/L	Obs	1451.00	3055.20	95.60	84.60	3213.90	0.0003
	Est	1451.00	3134.50	90.10	90.10	3134.50	
Dureza mg/L de CaCO <sub>3</sub>	Obs	77.60	76.94	91.48	84.66	81.82	0.0424
	Est	80.26	80.26	91.48	80.26	80.26	
Alcalinidad mg/L de CaCO <sub>3</sub>	Obs	101.52	135.87	121.90	107.67	151.60	0.0010
	Est	110.36	143.73	110.36	110.36	143.73	
Cloruro mg/L	Obs	1.63	8.56	5.95	2.69	9.94	0.0008
	Est	2.16	8.15	8.15	2.16	8.15	
Demanda Bioquímica de O <sub>2</sub> mg/L de O <sub>2</sub>	Obs	21.10	61.73	3.88	6.32	56.62	0.0020
	Est	10.43	59.17	10.43	10.43	59.17	
Coliformes Totales NMP/dL	Obs	7815	20767	5264	2868	13655	0.0004
	Est	5264	17211	5264	5264	17211	
Coliformes Fecales NMP/dL	Obs	3937	5165	1228	2970	4985	0.2888
	Est	2970	2970	2970	2970	2970	
Potasio mg/L	Obs	7.26	8.68	3.40	4.15	8.20	0.0192
	Est	8.24	8.24	4.15	4.15	8.20	
Calcio mg/L	Obs	30.43	29.06	29.66	32.32	21.43	0.0450
	Est	29.78	29.78	29.78	29.78	29.78	
Hierro mg/L	Obs	1.84	2.53	0.49	1.30	1.64	0.0450
	Est	1.83	1.83	0.49	1.83	1.83	
Estroncio mg/L	Obs	0.122	0.082	0.134	0.188	0.108	0.0050
	Est	0.111	0.111	0.111	0.188	0.111	
Cobre mg/L	Obs	0.000	0.050	0.000	0.000	0.02	0.8352
	Est	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	
Cinc mg/L	Obs	0.016	0.038	0.030	0.048	0.060	0.1528
	Est	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	
Manganeso mg/L	Obs	0.000	0.150	0.000	0.000	0.118	0.0339
	Est	0.030	0.150	0.030	0.030	0.030	

Obs = Media Experimental

Est = Media Estadística (Agrupación de Duncan)



**Cuadro B**  
**Variaciones en el tiempo por Número de Muestreo**

Parámetro	Media	Número de Muestreo						P
		1	2	3	4	5	6	
Temperatura ° C	Obs	20.90	22.08	20.48	18.41	19.16	18.49	0.0001
	Est	21.48	21.48	20.46	18.69	18.69	18.69	
pH	Obs	6.97	6.86	6.86	6.03	7.18	6.75	0.0332
	Est	6.92	6.92	6.92	6.03	6.92	6.92	
Oxígeno Disuelto mg/L de O <sub>2</sub>	Obs	3.96	4.34	4.08	6.50	5.28	7.20	0.0292
	Est	4.13	4.13	4.13	6.32	6.32	6.32	
Conductividad mS/cm	Obs	0.290	0.260	0.323	0.240	0.310	0.190	0.1018
	Est	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	
Potencial Redox mV	Obs	+0.083	-0.128	-0.085	+0.107	+0.144	+0.191	0.1014
	Est	+0.052	+0.052	+0.052	+0.052	+0.052	+0.052	
Turbidez Escala discreta arbitraria	Obs	2.40	1.80	2.40	2.40	2.00	2.40	0.0830
	Est	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	
Nitrógeno de Amonio mg/L	Obs	1532.00	3630.00	4971.00	887.00	2568.00	297.00	0.0123
	Est	905.00	3723.00	3723.00	905.00	3723.00	905.00	
Nitrógeno de Nitrito mg/L	Obs	16.90	8.48	41.66	37.08	12.04	11.84	0.0345
	Est	12.31	12.31	39.37	39.37	12.31	12.31	
Nitrógeno de Nitrato mg/L	Obs	484.60	476.10	499.70	418.50	637.10	1304.40	0.0072
	Est	503.20	503.20	503.20	503.20	503.20	1304.40	
Nitrógeno Orgánico Solubl mg/L	Obs	ND	1327.00	1351.00	2508.00	3326.00	2018.00	0.4189
	Est	ND	2106.00	2106.00	2106.00	2106.00	2106.00	
Fósforo de o-Fosfato mg/L	Obs	890.40	844.40	1829.20	353.80	676.70	53.20	0.0056
	Est	563.70	563.7	1829.20	563.70	563.70	563.7	
Fósforo Total mg/L	Obs	3298.20	2182.50	2608.60	366.50	789.20	235.40	0.0032
	Est	2696.40	2696.40	2696.40	463.70	463.70	463.70	
Dureza mg/L de CaCO <sub>3</sub>	Obs	89.75	81.21	79.62	82.47	87.81	74.16	0.0842
	Est	82.50	82.50	82.50	82.50	82.50	82.50	
Alcalinidad mg/L de CaCO <sub>3</sub>	Obs	132.64	136.42	148.09	108.57	129.52	87.03	0.0007
	Est	136.67	136.67	136.67	97.80	136.67	97.80	
Cloruro mg/L	Obs	5.31	8.82	7.17	4.71	5.67	2.83	0.1212
	Est	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	
Demanda Bioquímica de O <sub>2</sub> mg/L de O <sub>2</sub>	Obs	46.22	23.30	59.10	31.94	16.76	2.26	0.0402
	Est	52.66	24.00	52.66	24.00	24.00	2.26	
Coliformes Totales NMP/dL	Obs	5538	7866	12326	5950	7178	21400	0.0045
	Est	7771	7771	7771	7771	7771	21400	
Coliformes Fecales NMP/dL	Obs	88	114	3174	2376	166	11904	0.0111
	Est	1183	1183	1183	1183	1183	11904	
Potasio mg/L	Obs	4.74	7.54	11.13	4.03	5.60	ND	0.0046
	Est	5.48	5.48	11.13	5.48	5.48	ND	
Calcio mg/L	Obs	28.01	24.63	39.18	28.59	28.50	ND	0.0396
	Est	27.43	27.43	39.18	27.43	27.43	ND	
Hierro mg/L	Obs	1.44	0.71	1.43	2.38	1.85	ND	0.1264
	Est	1.77	0.71	1.77	1.77	1.77	ND	
Estroncio mg/L	Obs	0.124	0.070	0.158	0.118	0.168	ND	0.0042
	Est	0.142	0.070	0.142	0.142	0.142	ND	
Cobre mg/L	Obs	0.010	0.008	0.030	0.000	0.022	ND	0.5969
	Est	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	ND	
Cinc mg/L	Obs	0.040	0.034	0.064	0.000	0.054	ND	0.5683
	Est	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	ND	
Manganeso mg/L	Obs	0.020	0.102	0.026	0.000	0.124	ND	0.1585
	Est	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	ND	

Obs = Media Experimental

Est = Media Estadística (Agrupación de Duncan)

ND = No Disponible

**Cuadro C**  
**Variaciones por Estación Climática**

Parámetro	Media	Estación Climática	
		Epoca Seca	Epoca Lluviosa
Temperatura	Obs	21.14	18.69
° C	Est	21.14	18.69
pH	Obs	6.89	6.65
	Est	6.78	6.78
Oxígeno Disuelto	Obs	4.13	6.32
mg/L de O <sub>2</sub>	Est	4.13	6.32
Conductividad	Obs	0.291	0.245
mS/cm	Est	0.268	0.268
Potencial Redox	Obs	-0.053	+0.147
mV	Est	-0.053	+0.147
Turbidez	Obs	2.20	2.27
Escala discreta arbitraria	Est	2.23	2.23
Nitrógeno de Amonio	Obs	3377.00	1250.00
mg/L	Est	3377.00	1250.00
Nitrógeno de Nitrito	Obs	22.35	20.32
mg/L	Est	21.33	21.33
Nitrógeno de Nitrato	Obs	486.80	786.70
mg/L	Est	486.80	786.70
Nitrógeno Orgánico Solubl	Obs	1338.00	2617.00
mg/L	Est	1978.00	1978.00
Fósforo de o-Fosfato	Obs	1188.00	361.20
mg/L	Est	1188.00	361.20
Fósforo Total	Obs	2696.50	463.70
mg/L	Est	2696.50	463.70
Dureza	Obs	83.53	81.48
mg/L de CaCO <sub>3</sub>	Est	82.50	82.50
Alcalinidad	Obs	139.05	108.37
mg/L de CaCO <sub>3</sub>	Est	139.05	108.37
Cloruro	Obs	7.10	4.40
mg/L	Est	7.10	4.40
Demanda Bioquímica de O <sub>2</sub>	Obs	42.87	16.99
mg/L de O <sub>2</sub>	Est	42.87	16.99
Coliformes Totales	Obs	8577	11509
NMP/dL	Est	10043	10043
Coliformes Fecales	Obs	1125	4815
NMP/dL	Est	2970	2970
Potasio	Obs	7.80	4.82
mg/L	Est	7.80	4.82
Calcio	Obs	30.60	28.55
mg/L	Est	29.57	29.57
Hierro	Obs	1.19	2.11
mg/L	Est	1.19	2.11
Estroncio	Obs	0.116	0.143
mg/L	Est	0.129	0.129
Cobre	Obs	0.016	0.011
mg/L	Est	0.014	0.014
Cinc	Obs	0.046	0.027
mg/L	Est	0.037	0.037
Manganeso	Obs	0.048	0.062
mg/L	Est	0.055	0.055

Obs = Media Experimental

Est = Media Estadística (Agrupación de Duncan)

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Temperatura:

El hecho de que las cinco estaciones fueran estadísticamente iguales se debió a que tanto los ríos como el nacimiento mostraron poca profundidad y poco caudal, permitiendo un rápido intercambio térmico con el ambiente e indicando que no hay descargas térmicas o bien éstas se amortiguan rápidamente.

La evolución en el tiempo demostró un comportamiento acorde con el clima predominante, ya que las mayores temperaturas se observaron durante la época seca calurosa (21.48 °C en los muestreos 1 y 2), disminuyendo a medida que se inician los vientos templados próximos a la época lluviosa (20.46 °C en muestreo 3) y reduciéndose a los valores más bajos de temperatura durante los 3 meses de época lluviosa que se muestrearon (18.69 °C en los muestreos 4, 5 y 6). Lo anterior se confirmó al evaluar la variable época climática, siendo la temperatura de la época seca (21.14 °C) estadísticamente mayor que la de la lluviosa (18.69 °C).

Con base en este comportamiento se infiere que las variaciones de la temperatura en la microcuenca estuvieron relacionadas directamente con el entorno ambiental, careciendo de tensiones térmicas antropogénicas.

### pH:

Todas las estaciones mostraron valores de pH estadísticamente iguales con una media de 6.78, que es aproximadamente neutro y comparable a un amortiguamiento por fosfato más que a un amortiguamiento por el sistema ácido carbónico-bicarbonato que se ajusta aproximadamente a 5.0. Lo anterior indicó que no se presentaron descargas exageradamente ácidas o alcalinas, descartando la posibilidad de afluentes industriales de tal naturaleza.

La evolución del pH en el tiempo solamente manifestó una disminución estadísticamente significativa durante el muestreo 4 (6.03) con respecto al resto de los muestreos (6.92) lo cual puede asociarse a la disminución

de fosfato observada en la época lluviosa (ver discusión de o-fosfato) lo que acentúa más el equilibrio ácido carbónico-bicarbonato.

No se observó diferencia de pH entre época seca y lluviosa (a excepción del muestreo 4) lo que implica que no hubieron cambios severos en la acidez de la microcuenca, aunque su valor medio sugirió una influencia antropogénica en vez de una interacción natural.

#### Oxígeno Disuelto:

Se observó claramente que las estaciones: Pansalic antes de la colonia (Estación 1) Pansalic después de la colonia (Estación 2) y la unión de los dos ríos (Estación 5) manifestaron los valores más bajos de oxígeno disuelto siendo su media estadísticamente igual de 4.64 mg/L, mientras que el nacimiento (Estación 3) y el río Pancochá (Estación 4) mostraron concentraciones de oxígeno estadísticamente superiores (6.39 mg/L). La menor cantidad de oxígeno disuelto observado en las estaciones del Pansalic solamente pudieron deberse a que el contenido de material orgánico biológicamente oxidable es alto y en su proceso bioquímico de descomposición consume gran parte de oxígeno solubilizable en el agua a dicha altitud y temperatura (aproximadamente 7.2 mg/L). Las aguas del Río Pancochá parecen portar una menor cantidad de material orgánico oxidable debido a que se mantuvo su concentración de oxígeno disuelto más cerca al valor de saturación. Es necesario indicar que la renovación del oxígeno disuelto es un proceso continuo, por lo que su disminución en aguas corrientes puede sugerir que la demanda bioquímica es sumamente alta, tal y como se confirmó por los resultados de D.B.O. El hecho de que la unión de los ríos manifestara bajas concentraciones de oxígeno, establece la preponderancia del río Pansalic sobre el Pancochá, evidenciable por un mayor caudal del primero sobre el segundo, e implicando el deterioro de la calidad del agua del río Pancochá por efecto del Pansalic, originando una microcuenca resultante con las mismas características de las de más baja calidad.

La evolución del oxígeno disuelto con el tiempo atendió a características propias de la temperatura ambiental haciendo variar la concentración en una relación inversa (a mayor temperatura, menor oxígeno disuelto) observándose concentraciones bajas en la época seca (muestrros 1, 2 y 3) de 4.13 mg/L, atribuibles a una mayor

concentración de materia orgánica biodegradable, por efecto de un caudal reducido por ausencia de precipitación pluvial. Con ello aunque la magnitud de las descargas sea constante, si estas se vierten en un menor caudal, la resultante es una mayor concentración que implica mayor utilización del oxígeno disuelto para los procesos de degradación. Por otro lado, a medida que las lluvias aparecen, la descarga constante se va diluyendo en un mayor caudal, implicando valores más altos de oxígenos disueltos.

En la época lluviosa es ligeramente mayor el caudal de los ríos por lo que es mayor la velocidad de la corriente y en consecuencia se oxigena más el agua. En este caso, se observó que las descargas de materia orgánica (que provocan la disminución del oxígeno disuelto) son de tipo antropogénico, y que los suelos de la cuenca no aportan considerable cantidad, debido a que el primer muestreo de la época lluviosa (Muestreo 4) no manifestó la conducta típica del aporte de suelos fértiles que son lavados en su material orgánico con las primeras lluvias, las cuales a veces generan una marcada diferencia (valores más bajos) con respecto a los niveles de oxígeno de los meses lluviosos declarados. Por el contrario desde el inicio de la época lluviosa, los niveles de oxígeno disuelto fueron estadísticamente iguales (6.32 mg/L).

Los valores más bajos siempre se obtuvieron en la Estación No. 2 (Pansalic, después de atravesar las colonias) llegando hasta 0.5 mg/L durante el segundo muestreo de la época seca.

Así el oxígeno disuelto es bajo en el río Pansalic por efecto de la demanda que de él hay por la materia orgánica descargada en forma de aguas negras.

#### Conductividad:

La conductividad se mostró con los valores más altos en la microcuenca del río Pansalic, después de su paso por los asentamientos urbanos y en la unión de los dos ríos (0.332 mS/cm), que en el nacimiento y la microcuenca del río Pancochá (0.226 mS/cm) poniendo de manifiesto el impacto antropogénico de las comunidades urbanas sobre las aguas corrientes a través de las descargas de aguas negras. El contenido de iones disueltos estuvo estadísticamente elevado en un 47% con respecto al promedio del resto de estaciones, y un 59% con respecto a su misma microcuenca río arriba. Dado que no se observan variaciones de la conductividad con la

evolución en el tiempo, ni con la estación climática (aunque las variaciones oscilaron entre 0.190 y 0.323 mS/cm) puede decirse que el aporte de iones solubles proviene de una fuente líquida de volumen de descarga constante y de similar magnitud a la del caudal del río. De esta manera se puede decir que hay una descarga considerable de materiales iónicos sobre el río Pansalic, de carácter antropogénico debido a que están por encima de la contribución geológica de la microcuenca del Pancochá.

#### Potencial de Redox:

El comportamiento del potencial redox de la microcuenca reveló que todas las estaciones poseen un potencial tendiente a la oxidación, dados sus valores positivos los cuales son característicos de los cuerpos de agua en proceso de autodepuración, a excepción de la estación sobre el Pansalic, después de atravesar las colonias cercanas, cuyo potencial negativo (-0.203 mV) indicó que el principal fenómeno químico que se estuvo produciendo es el de reducción, que es característico de aquellos cuerpos de agua donde predominan los procesos de putrefacción y degradación microaerofílica. Lo anterior es congruente con los niveles de oxígeno disuelto disminuidos y descritos con anterioridad.

La tendencia fue observar procesos reductivos en la medida en que el caudal de las microcuencas disminuyó, y como consecuencia la cantidad de material oxidable aumentó, generando el potencial reductivo en vez de oxidante, como se demuestra por un potencial promedio de -0.053 mV en época seca y de +0.147 en época lluviosa. Lo anterior evidenció que las descargas orgánicas sobre el Pansalic son de gran magnitud. Sin embargo, al mezclarse las aguas de ambos ríos, se invierte el fenómeno hacia el metabolismo oxidativo y la autodepuración aunque esto no significa que realmente se encuentran más formas oxidadas que reducidas, sino más bien, implica que hay potencial para que se efectúe la oxidación y no que se esté produciendo. Los valores más bajos de potencial redox se observaron en el río Pansalic (negativos), y en la unión de los ríos (Estación 5) con valores escasamente positivos con tendencia a cero. A diferencia de las microcuencas no afectadas antropogénicamente, éstas son debilmente oxidativas.

### Turbidez:

Para la evaluación de este parámetro se designó una escala visual arbitraria discreta con valores de 1 a 3,0 correspondiendo el 1 a aguas transparentes, el 2 a aguas ligeramente turbias, y el 3 a aguas muy turbias. Se designó como Turbidez para diferenciarlo del término cuantitativo Turbiedad que posee sus propias unidades de medida.

Los resultados de la evaluación de turbidez, indicaron que las estaciones sobre el Pansalic, después de atravesar las colonias cercanas, y la unión de ambos ríos son estadísticamente iguales y "muy turbia", siendo en su orden descendente, la estación Pansalic antes de atravesar las colonias "turbia", mientras que las del Nacimiento y Pancochá mostraron entre "transparente a turbia". Estas características no se modificaron en la evolución temporal ni con respecto a la estación climática, evidenciando que la calidad del agua determinada a través de la turbidez de la microcuenca del Pansalic, ya deteriorada en la estación 1, se empobrece más al atravesar las colonias cercanas y recibir las descargas, y aportan su baja calidad a la unión de ambos ríos, poniendo de manifiesto la tensión antropogénica sobre el Pansalic y su impacto en dicha sub-cuenca.

La ausencia de diferencia estadística entre época lluviosa y seca confirmó que los sólidos transportados en el agua de escorrentía es un factor poco significativo en el aporte de la turbidez del agua de la microcuenca.

### Color:

En la estación No. 3 (Nacimiento de agua) el fluido siempre fue claro e incoloro, debido a que el agua es filtrada a través de las diferentes capas del suelo. La estación No. 4 (Río Pancochá), en la época seca mostró un agua incolora, mientras que durante la época lluviosa se mostró de un color ligeramente beige a un color café claro, debido al suelo que es arrastrado por los drenajes naturales hacia el Río. En las estaciones No. 1, 2 y 5 el color del agua durante la época seca y lluviosa es de un tono gris, lo que indicó la presencia de aguas residuales.



### Olor:

En la mayoría de los muestreos, las estaciones No. 1, 2 y 5 tuvieron olores desagradables. Durante el muestreo No. 1, se percibió un fuerte olor a amoníaco. Los olores se debieron a los gases producidos por la descomposición aeróbica y anaeróbica de la materia orgánica. Se presume que en la estación No. 2 predominan procesos anaeróbicos por el bajo potencial redox.

En la estación No. 4 no se percivieron olores particulares en ninguna época.

### Fósforo de o-Fosfato:

La evaluación del fósforo de o-fosfato indicó las más altas concentraciones en el río Pansalic, después de las colonias, y en la unión de los ríos Pansalic y Pancochá (1536.25 ug P/L) en comparación con el resto de estaciones (266.90 ug P/L) superando así la tolerancia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para ser considerada el agua como potable (1300 ug P/L), y de las expectativas de las aguas naturales templadas (10-70 ug P/L) (17). En relación a la estación antes de las colonias (688.10 ug P/L) se observó que la estación posterior tiene 123% de exceso de fósforo, atribuido a las excretas coprológicas de las aguas negras. Estas condiciones pudieron explicar el carácter más bien neutro y no ácido de las aguas descrito en la discusión de pH: una amortiguación fosfática en vez de carbónica.

La evolución temporal del o-fósforo de fosfato describió un promedio durante la época seca de 1188.0 ug P/L y manifestó un máximo en el Muestreo No. 3 (1829.20 ug P/L) que correspondió al último mes de época seca, caracterizado por manifestar un menor caudal, descendiendo en la medida que se establece la época lluviosa (361.20 ug/L). Las cantidades de o-fosfato encontradas describen directamente una descarga antropogénica que se transporta por la unión de los ríos a la subcuenca de Amatitlán.

#### Fósforo Total Soluble:

El fósforo total describió concentraciones aproximadamente al doble del fósforo de o-fosfato, implicando cantidades similares de fósforo orgánico y de fósforo inorgánico, lo cual es consecuencia de la alta actividad metabólica encontrada en las aguas negras, en las que la degradación y síntesis microbiológica se acentúan notablemente. El comportamiento por estación de muestreo fue idéntico al de fósforo de o-fosfato, observándose que las concentraciones de fósforo total en la época seca fueron seis veces más altas (2696.5 ugP/L) que en la época lluviosa (463.7 ugP/L) lo cual ilustra una descarga constante cuya concentración varía por efecto de la variación del caudal según la estación climática. Las concentraciones excedieron considerablemente a la tolerancia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para agua potable (1500 ug/L) y las concentraciones habituales en aguas naturales templadas carentes de fosforitas (100 ug/L).(2) El fósforo total en aguas naturales generalmente no supera en mucho a la concentración de fósforo de o-fosfato, dado que los procesos metabólicos están limitados por la cantidad de los otros nutrientes y la de los microorganismos. Sin embargo, la descarga de aguas negras en dicha microcuenca aporta, no solamente, estos elementos sino que también parte del fósforo orgánico incluido en la medición del fósforo total confirmando el carácter no natural de sus concentraciones.

#### Nitrógeno de Nitrito:

El comportamiento del ion nitrito en la microcuenca investigada reflejó directamente el esfuerzo natural de la misma por su autodepuración. Valores altos de nitrógeno de nitrito, solamente pueden provenir de manera significativa de procesos metabólicos redox por acción de la microbiota presente, ya sea por altos niveles de amonio o de nitrato. El caso particular de la microcuenca de los ríos Pansalic y Pancochá refleja un fenómeno oxidativo dadas las altas concentraciones de nitrógeno de amonio y las bajas concentraciones de nitrógeno de nitrato. La tendencia es pues oxidativa (utilización del oxígeno disuelto disponible, confirmado con una demanda bioquímica de oxígeno relativamente alta y superior a la oferta por simple disolución del mismo), indicando un proceso que parte del amonio que se metaboliza, a nitrito y nitrato. Las mayores concentraciones se observaron en

el río Pansalic y en la unión del Pancochá con el Pansalic (33.34 ug N/L) con niveles similares a los de aguas negras, mientras que las concentraciones observadas en la evolución del Pancochá son más bien "naturales" (3.31 ugN/L) y acordes a su contenido de nitrógeno de amonio.

En la evolución temporal de la microcuenca no se observó diferencia significativa entre la estación seca y lluviosa (promedio por muestreo de 21.33 ugN/L) aunque al final de la época seca e inicio de la lluviosa, se presentaron las concentraciones más altas (39.37 ugN/L en los muestreos 3 y 4). Este comportamiento estuvo asociado a las elevaciones de microorganismos coliformes observadas en los mismos períodos, los cuales generan nitrato cuando disponen de amonio.

La ausencia de diferencias estadísticas significativas de nitrógeno de nitrato entre la época seca y lluviosa fueron indicativas de que el sistema ha rebasado los límites de autodepuración, indicando que a pesar de que en la época lluviosa las concentraciones de amonio bajan, las de su metabolito de autodepuración se mantienen constantes por lo que la microcuenca en ningún momento disminuye la tensión que antropogénicamente está recibiendo por acción de las descargas sobre el río Pansalic.

#### Nitrógeno de Amonio:

Los fenómenos de desaminación degradativa de la materia orgánica se pusieron de manifiesto por los elevadísimos niveles de las estaciones Pansalic después de las colonias y la Unión de los ríos (4958 ug N/L) con respecto al río Pansalic antes de su paso por los asentamientos urbanos (1578 ug N/L). Es evidente entonces que la microcuenca transportó un caudal contaminado a su paso por las colonias cercanas, las que aportan un 300% adicional de nitrógeno amoniacal. Solamente el Nacimiento y la microcuenca del río Pancochá mantienen concentraciones "naturales" de nitrógeno de amonio (39 ug N/L) cuyas aguas se deterioraron en la unión de los ríos por el aporte antropogénico del Pansalic.

Las concentraciones de nitrógeno de amonio fueron evidentemente variables en su evolución temporal, aunque la evaluación por estación climática indicó mayores valores (3377 ug N/L) en la época seca que en la

lluviosa (1250 ug N/L) confirmando el carácter constante de la descarga de las colonias frente a variaciones de caudal determinados por la precipitación pluvial.

Estas concentraciones altas de nitrógeno de amonio explicaron la predominancia de procesos bio-reductivos mediados por microorganismos, en la putrefacción de la materia orgánica. Además, las concentraciones altas de amonio constituye un agente fertilizador de las aguas y junto con el nitrato representan el principal aporte de nitrógeno para el desarrollo de especies de fitoplancton no fijadoras de nitrógeno, convirtiéndose en uno de los elementos que determina el avance y mantenimiento de un proceso de eutroficación.

Descargas de tal naturaleza, aportadas a la subcuenca del Lago de Amatitlán, a través los ríos Molino y Villalobos, son parte de su problema de hipertroficación. Los tóxicos niveles de amonio alcanzados por la microcuenca del río Pansalic justifican la inexistencia de especies icticas en él, lo que no sucedió en el Pancochá en donde sí se pudieron observar pequeños peces durante la época lluviosa. Se puede decir entonces, que la microcuenca del río Pansalic manifiesta los efectos de desaminación degradativa típica de las aguas negras (altos contenidos de nitrógeno de amonio), desde antes de su paso por las colonias cercanas, y empobrecen las aguas menos intervenidas del río Pancochá.

#### Nitrógeno de Nitrato:

El contenido de nitrógeno de nitrato a lo largo de las estaciones muestreadas no indicó que hubieran diferencias estadísticas significativas, manifestándose una media de 636.70 ug N/L, lo que sugirió que el aporte de nitrato no proviene por descargas puntuales, y por su bajo nivel, indicó que su principal origen es también, como el caso del nitrito, de carácter metabólico como último eslabón de la mineralización del nitrógeno. La evolución temporal indicó que solamente en el último muestreo (durante la época lluviosa) los valores de nitrógeno de nitrato se elevaron considerablemente (1304 ug N/L) con respecto a los muestreos anteriores (503.20 ug N/L), lo cual es consistente con una mayor disponibilidad de oxígeno durante dicho muestreo (7.20 mgO<sub>2</sub>/L) con respecto a los demás (4.13 mg O<sub>2</sub>/L) lo que confirmó su carácter metabólico (oxidación del amonio y del nitrito) en vez de

antropogénico. Lo anterior concuerda con los resultados observados por época climática para el nitrógeno de amonio y para el oxígeno disuelto.

#### Nitrógeno Orgánico Soluble:

La evaluación del nitrógeno orgánico soluble indicó que solamente la unión de los ríos Pansalic y Pancochá presenta las mayores concentraciones de nitrógeno orgánico (4127 ugN/L) en relación al resto de estaciones (1600 ugN/L), sugiriendo que en este punto predominan los procesos biosintéticos a partir de la formas inorgánicas nitrogenadas abundantemente presentes en los ríos que lo originan. Dichos ríos en contraposición, manifiestan un carácter de tendencia biodegradativa. Aunque no hay resultados que permitan hacer evidente esta afirmación, lo más probable es que el nitrógeno orgánico encontrado en las microcuencas separadas, pertenece a la materia en descomposición, y el de la unión de los ríos a la suma de ésta, más la producción de nitrógeno orgánico por fijación atmosférica y metabolismo. Dado que el contenido de nitrógeno orgánico no cambió en la evolución temporal de la microcuenca, ni con la época climática, el proceso de degradación y síntesis permanecieron constantes.

#### Dureza:

En términos generales el agua de la microcuenca se observó relativamente blanda, confirmando el carácter sedimentario de la misma, y evidenciando que por lo menos en la actualidad, el impacto ambiental de la construcción de núcleos habitacionales (aportes de Hidróxido de Calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) se ha anulado. Existió una diferencia significativa entre el Nacimiento sobre el río Pansalic con valores de dureza más elevados (91.48  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ ) que en el resto de las estaciones (80.26  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ ) lo cual se explica por la disolución de metales alcalino-térreos (lixiviación) mientras el manto freático atraviesa el subsuelo y emerge como un nacimiento. La dureza disminuyó posteriormente en las microcuencas, por efecto de la precipitación de las sales de magnesio, calcio, bario y estroncio con el fosfato presente al ascender el pH como consecuencia del amortiguamiento

fosfórico en vez del carbónico (ver discusión del pH). Aunque en este estudio no se evaluaron sulfatos ni silicatos, su contribución a la formación de sales insolubles podría haber sido ser significativa.

No se observaron diferencias significativas a lo largo de la evolución temporal, ni por estación climática, lo que sugiere que el contenido de metales alcalino-térreos del agua es el que la propia geología de la cuenca aporta en forma natural y en equilibrio, ya que a pesar de la diferencia de caudales entre una y otra estación climática, las concentraciones permanecieron estadísticamente iguales. Lo anterior es confirmado por el hecho de que los constituyentes principales de las descargas (desechos líquidos urbanos) no contienen cantidades significativamente altas de metales alcalino-térreos.

#### Alcalinidad:

En términos generales, la alcalinidad de la cuenca fue relativamente alta, si se le compara con los parámetros de calidad del agua potable, la que implica que el contenido de iones bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) fue también elevado, dado el amortiguamiento por fosfato que indican las mediciones de pH y el propio análisis de este ion. Por esa razón, tanto el bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) proveniente de la disolución de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico, como el proveniente del metabolismo del carbono, se mantiene más tiempo en disolución que lo que se esperaría para un agua natural.

Las estaciones con mayor alcalinidad fueron la del río Pansalic después de su paso por las áreas urbanas y la de la Unión de los dos ríos (143.73 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ). Es evidente que las mismas estaciones que demuestran una intervención antropogénica, son las que reflejan una acumulación de carbono metabolizado como bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ).

La evolución temporal de las microcuencas fue variable, aunque la tendencia fue hacia la disminución de la alcalinidad con el incremento de las precipitaciones pluviales poniendo de manifiesto el carácter metabólico de su origen, al diluirse las descargas durante el invierno.

La evaluación por estación climática reflejó que la alcalinidad durante la época seca fue mayor (139.05 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ) que durante la lluviosa (108.37 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ) en un comportamiento similar a la temperatura, la

que marca la velocidad del metabolismo del carbono. La alcalinidad es también un reflejo de las condiciones antropogénicamente intervenidas de la microcuenca Pansalic, que produce una corriente de muy baja calidad.

#### Cloruro:

El contenido de cloruro (y por consiguiente la salinidad) de la cuenca fue sumamente bajo como para indicar una sobresalinización del agua. Los cauces de los ríos sin intervención antropogénica (Pansalic antes de colonias y Pancochá) tuvieron las concentraciones más bajas (2.16 mg/L) comparadas con el resto de estaciones (8.15 mg/L). Es por ello evidente la contribución de la descarga de aguas negras en la elevación del cloruro en el río Pansalic, por descarga del contenido salino de la orina y las heces transportadas (aproximadamente 6,000 mg/persona/día). El hecho de que el Nacimiento sobre el río Pansalic presentó concentraciones superiores de cloruro puede explicarse por lixiviación del contenido salino propio de la geología de la cuenca o por descargas en el uso del nacimiento para el lavado de ropa.

El comportamiento del cloruro en el tiempo fue muy variable, pero se marcaron diferencias estadísticamente significativas entre la estación seca (7.10 mg/L) y la lluviosa (4.40 mg/L) como consecuencia de las diferencias en caudal para una descarga constante tal como se ha discutido previamente. La microcuenca del Pansalic tienen por lo tanto un aporte antropogénico de cloruro a su paso por los asentamientos urbanos.

#### Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):

La DBO de las microcuencas fue alta en términos estadísticos mostrándose las estaciones del Pansalic, después de las descargas urbanas y la Unión de los ríos, con los valores más altos (59.17 mg O<sub>2</sub>/L) y el resto de estaciones con valores más bajos (10.43 mg O<sub>2</sub>/L), con la tendencia a que el nacimiento sobre el río Pansalic presentó los niveles más bajos (3.88 mg O<sub>2</sub>/L), los cuales se consideraron demasiado altos aún, para aguas naturales recién en contacto con el ambiente.

La evolución de la DBO en el tiempo fue variable durante la época seca, y en franca disminución durante la época lluviosa lo que evidenció el carácter dilutorio de las precipitaciones pluviales sobre las descargas

biodegradables que sufre la microcuenca, significando un aporte positivo hacia la depuración de la microcuenca durante el invierno (promedio 24.0 mg O<sub>2</sub>/L para los muestreos 4 y 5; y 2.26 mg O<sub>2</sub>/L para el muestreo 6). Durante el período en que la época lluviosa esta declarada, se observó una dilución de un 95.7% del carbono biodegradable traduciéndose en demandas menores del oxígeno disuelto para realizar la oxidación. El muestreo 6 presentó los potenciales redox más altos (0.191 mV) y los mejores niveles de oxígeno disuelto (7.2 mg O<sub>2</sub>/L) lo que es congruente con la dilución indicada anteriormente. Resulta obvio el resultado estadístico observado en una DBO mayor en la época seca (42.87 mg O<sub>2</sub>/L) que en la lluviosa (16.99 mg O<sub>2</sub>/L).

#### Coliformes Fecales:

La abundancia de coliformes fecales en la microcuenca es probablemente la mayor evidencia de su contaminación por aguas negras, ya que su distribución es homogénea en todas las estaciones (2970 NMP/dl) a excepción del Nacimiento a orillas del Pansalic (122 NMP/dl) que si bien posee menores cantidades, supera el límite aceptado de aguas naturales (menos de 2 NMP/dl).<sup>(26)</sup> El hecho de que no existiera diferencia significativa en la evolución temporal de las microcuencas, ni entre estaciones climáticas, sugirió que la contaminación fecal es continua y las poblaciones bacterianas se mantienen estables en función de que se satisfacen sus requerimientos de metabolismo y crecimiento en "fase lag", evidenciando un problema puntual de carácter sanitario. Puede extrapolarse hasta indicar que la cuenca del Villalobos está siendo contaminada por residuos fecales desde sus orígenes en las microcuencas superiores.

#### Coliformes Totales:

Los microorganismos coliformes aparecieron en cantidad abundante en la microcuenca con una alta variabilidad. Se distinguen claramente las estaciones de muestreo de regiones no intervenidas con bacterias coliformes totales del orden de 5,000 NMP/dl, mientras que las que sufren descargas transportan microorganismos coliformes en un orden de 17,000 NMP/dl, lo que demuestra la naturaleza contaminada de la descarga en las zonas urbanas y en la unión de los dos ríos.



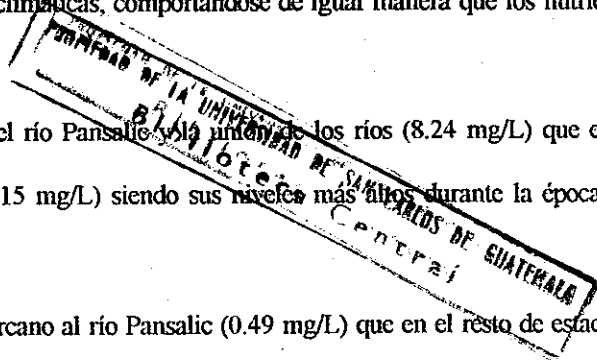
La evolución en el tiempo de las microcuencas evidenció un máximo (no estadístico) al finalizar la época seca cuando se presentan las mayores temperaturas (12,000 NMP/dl) con las que se aceleran la multiplicación bacteriana. El último muestreo presentó una descarga considerable de coliformes (21,000 NMP/dl) la cual está correlacionada también con el incremento de nitrógeno del nitrato, el aumento de oxígeno disuelto y disminución de la demanda bioquímica de oxígeno, reflejando una aceleración de los fenómenos oxidativos normales de los cuerpos de agua. Sin embargo, como no existió diferencia significativa entre las épocas seca y lluviosa (cantidad del orden de 10,000 NMP/dl) este comportamiento sugiere una descarga adicional en dicho muestreo que puede deberse a la escorrentía que recogiera material en descomposición desde el suelo, como por ejemplo el de un relleno sanitario. Las microcuencas contienen cantidades de microorganismos coliformes suficientes como para considerarlas no potables, lo cual se agudiza en el Pansalic, con la descarga urbana de aguas negras.

#### Elementos Metálicos

Se distinguieron elementos propios de la geología de la cuenca por su cantidad e invariabilidad en el tiempo e identidad estadística entre estaciones de muestreo y épocas climáticas, tales como el calcio (29.78 mg/L), estroncio (0.13 mg/L), cobre 0.014 mg/L), que indican que la cuenca no recibe descargas considerables (industriales) de estos elementos.

Por otro lado, se encuentran elementos de carácter antropogénico, dada su variación con las estaciones de muestreo, la evolución en el tiempo, entre épocas climáticas, comportándose de igual manera que los nutrientes. Los casos indicados son los siguientes:

- Potasio: mayores niveles en toda la cuenca del río Pansalic y río Nacimiento de los ríos (8.24 mg/L) que en las estaciones del Nacimiento y río Pancochá (4.15 mg/L) siendo sus niveles más altos durante la época seca (7.80 mg/L) que en la lluviosa.
- Hierro: Menos abundante en el nacimiento cercano al río Pansalic (0.49 mg/L) que en el resto de estaciones (1.83 mg/L), mostrando concentraciones más altas en la época lluviosa (2.11 mg/L) que en la seca (1.19 mg/L), como descarga de los productos de oxidación de estructuras metálicas ferrosas.



- **Manganeso:** Se presentó con concentraciones elevadas en la descarga de las zonas urbanas (0.49 mg/L) con respecto al resto de estaciones (0.03 mg/L), en forma constante en el tiempo y sin diferencia significativa entre estaciones climáticas. El hecho de encontrarse elevado en la descarga de aguas negras, sugirió un aporte antropogénico, aunque su origen podría considerarse mixto.

### CONCLUSIONES

Las microcuencas carecieron de tensiones térmicas antropogénicas, pero se observaron cambios severos en cuanto al desplazamiento de la acidez natural. El oxígeno disuelto es bajo en la microcuenca del Pansalic por efecto de la Demanda Bioquímica de Oxígeno que de él hay, debido a la descarga de materia orgánica en forma de aguas negras. Se observó además, una descarga considerable de materiales iónicos sobre el río Pansalic, ya que se encontraron por encima de la contribución geológica de la cuenca. Las cantidades de fosfato u fósforo total encontradas describieron directamente una descarga antropogénica que se transporta por la unión de los ríos a la sub-cuenca de Amatitlán. La microcuenca del río Pansalic manifiesta los efectos de desaminación degradativa típica de las aguas negras (altos contenidos de amonio), desde antes de su paso por las colonias cercanas, empobreciendo las aguas menos intervenidas del río Pancochá en la unión de los ríos. La invariabilidad del nitrito en el tiempo fue indicativa de un proceso de tensión-autodepuración constante que no permite llegar a la autodepuración completa. Al igual que el nitrito, el nitrato fue bajo e invariable permitiéndole asignar un origen metabólico en vez de antropogénico. El nitrógeno orgánico proviene fundamentalmente de la materia orgánica en descomposición de las microcuencas individuales, mientras que en la unión de los ríos, su nivel proviene de la suma de éste con la biosíntesis de materia orgánica de los microorganismos presentes.

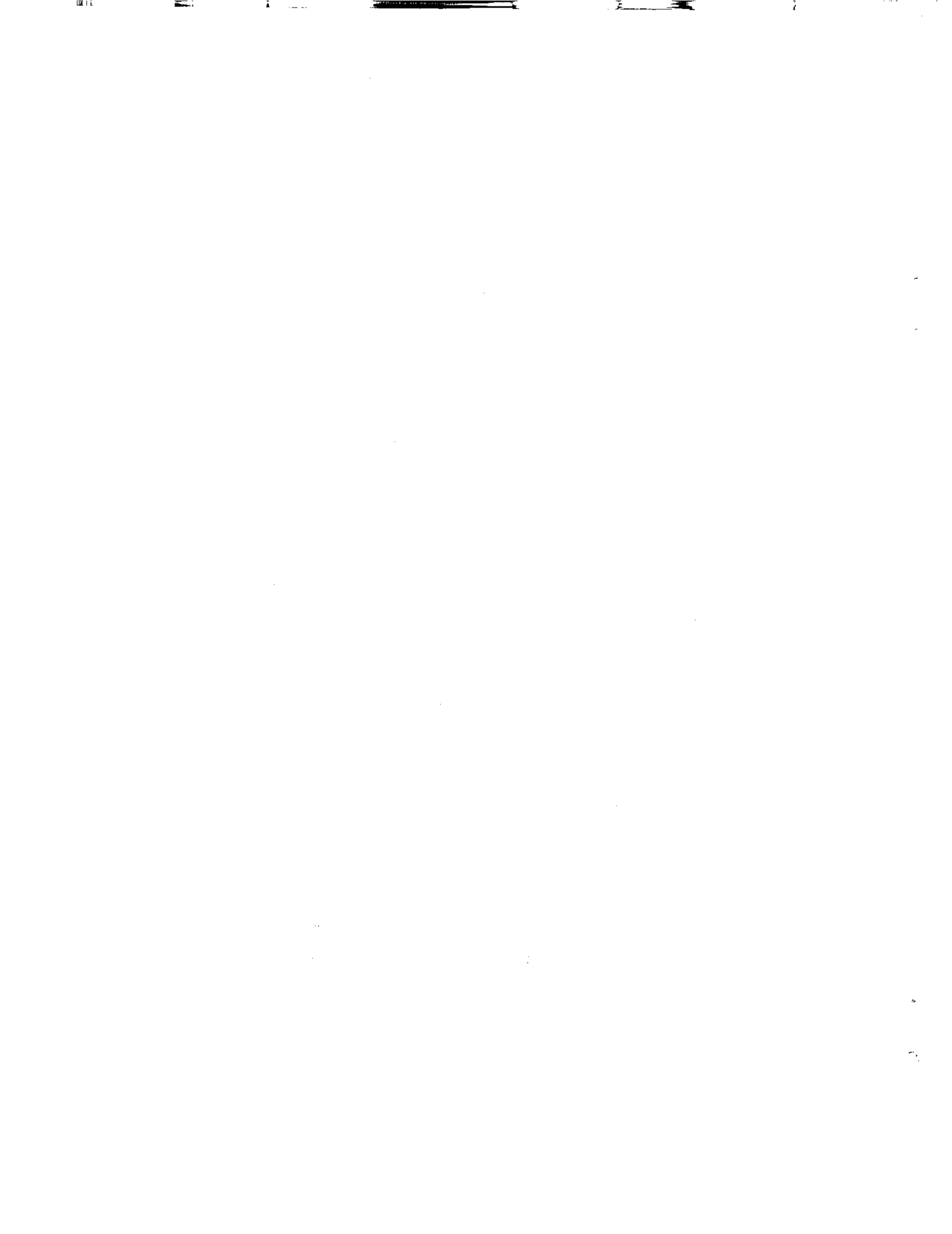
El agua de las microcuencas es relativamente blanda, con un contenido de metales alcalino-térreos propios de la geología de la cuenca. La alcalinidad es alta debido al efecto amortiguador del fósforo presente, haciendo valores de pH más altos que los habituales en las aguas naturales. A su paso por las colonias, el río Pansalic recibe un aporte antropogénico de cloruro.

La Contaminación fecal es constante y continúa dadas las cantidades de microorganismos coliformes, sobre todo de origen fecal, que se observaron en la mayoría de estaciones, sin variación temporal.

La microcuenca del río Pansalic se caracteriza por transportar agua de muy baja calidad, la cual se empobrece más por los aportes de las zonas urbanas. Las aguas del río Pancochá y del Nacimiento tampoco presentan características óptimas como agua natural, pero su calidad supera considerablemente a la del río Pansalic. La unión de ambos ríos solamente produce la pérdida total de la calidad de la microcuenca del río Molino.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar una investigación que profundice en los focos puntuales y no puntuales de descargas sobre el río Pancochá dada su baja calidad como agua natural.
2. Determinar la correlación entre el grado de contaminación de las microcuencas y la tasa de incidencias de enfermedades diarreicas en los habitantes cercanos a las microcuencas para determinar el impacto en el sector salud de la contaminación microbiológica de la microcuenca.
3. Recomendar a las autoridades sanitarias del País un mejor control y tratamiento de las descargas de desechos líquidos que se producen en el río Pansalic.
4. Se recomienda a las autoridades sanitarias una vigilancia periódica sobre éstas y otras microcuencas con el objeto de asegurar la calidad natural de sus aguas y evitar la contaminación.
5. Se recomienda que las autoridades del Lago de Amatitlán incluya estas microcuencas dentro de su programa de vigilancia trófica de éste lago, por ejercer un impacto directo a través del río Villalobos.



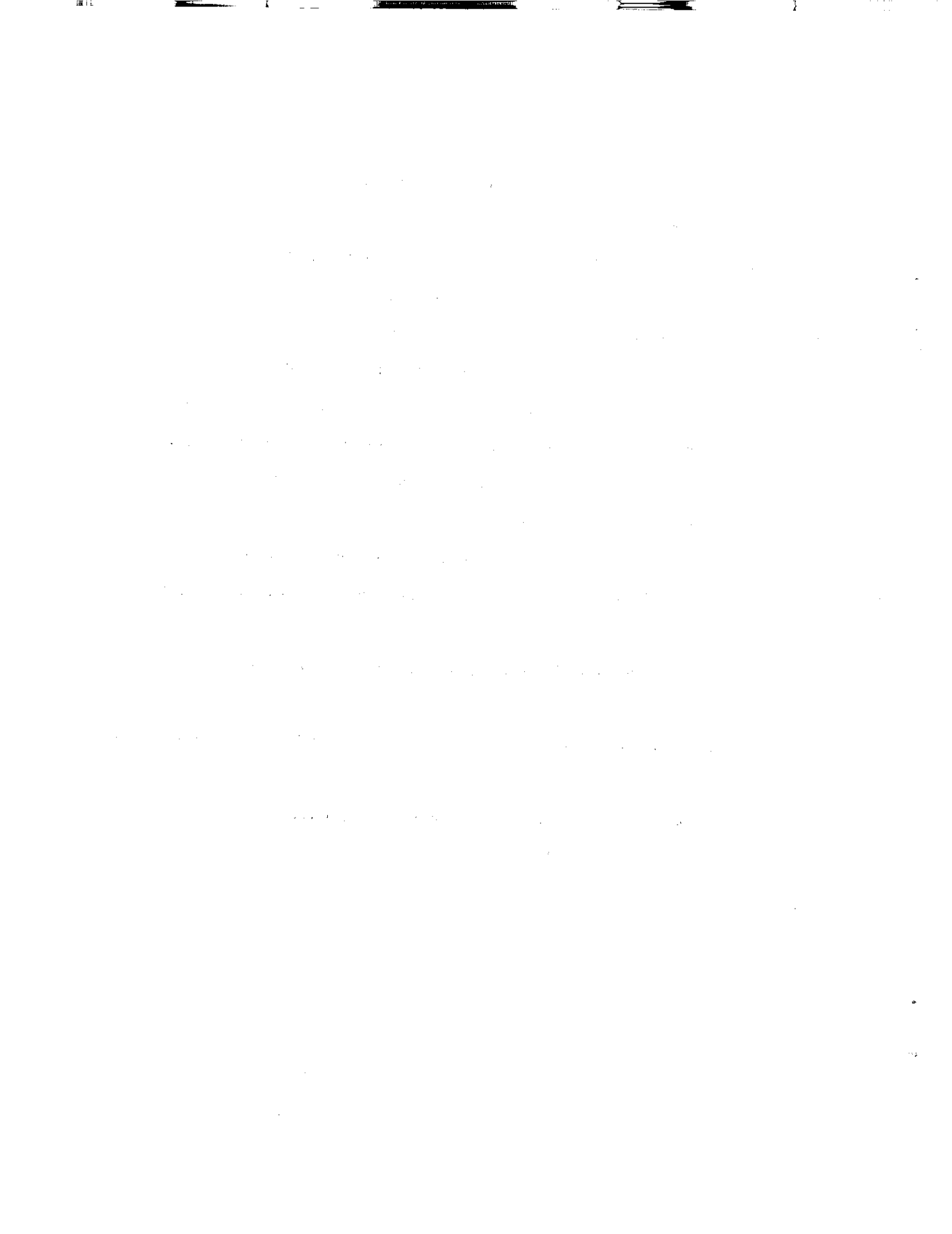
## REFERENCIAS

1. American Water Works Association. **Agua, Su Calidad y Tratamiento**. Verrey JM, trad. México. Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana. 1968.
2. Andrew WA. **"A guide to the study of Fresh Water Ecology"** USA. Prentice-Hall Inc. 1972.
3. APHA, AWWA, WPCF. **"Standard Methods for the Examination of water and wastewater."** 15th ed. Washington, USA. APHA. 1981.
4. Barrera R. RF. **"Determinación y Comparación de Parámetros Físico-Químicos y Bacteriológicos para la evaluar la calidad del agua de la Planta Potabilizadora de Jalapa para consumo humano y usos industriales"**. Guatemala. Universidad de San Carlos (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería Civil.) 1991.
5. Beltrán AE. **"Determinación de los niveles fluctuantes de los nutrientes: Amonio, Nitrito y Ortofosfato para la cuantificación del grado de avance de eutroficación del Lago de Amatitlán"** Guatemala. Universidad de San Carlos (Tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia). 1989.
6. Boyd C. **"Water Quality in warmwater fish ponds"**. USA. Auburn University, Agricultural Experiment Station. 1988.
7. Branco. S.M. **"Limnología Sanitaria, Estudio de Polución de Aguas Continentales"**. USA. Sección General de la Organización de Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Monografía No. 28. Washington D.C. 1984.
8. Cabo J, de la Puente, Catalán P. **"Bacteriología y Potabilidad del Agua"**. Madrid, España. Blume. 1972. Pag. 165-169.
9. Cole GA. **Limnology, Textbook**. 3a. edición. USA. The C.V. Mosby Company. 1983.

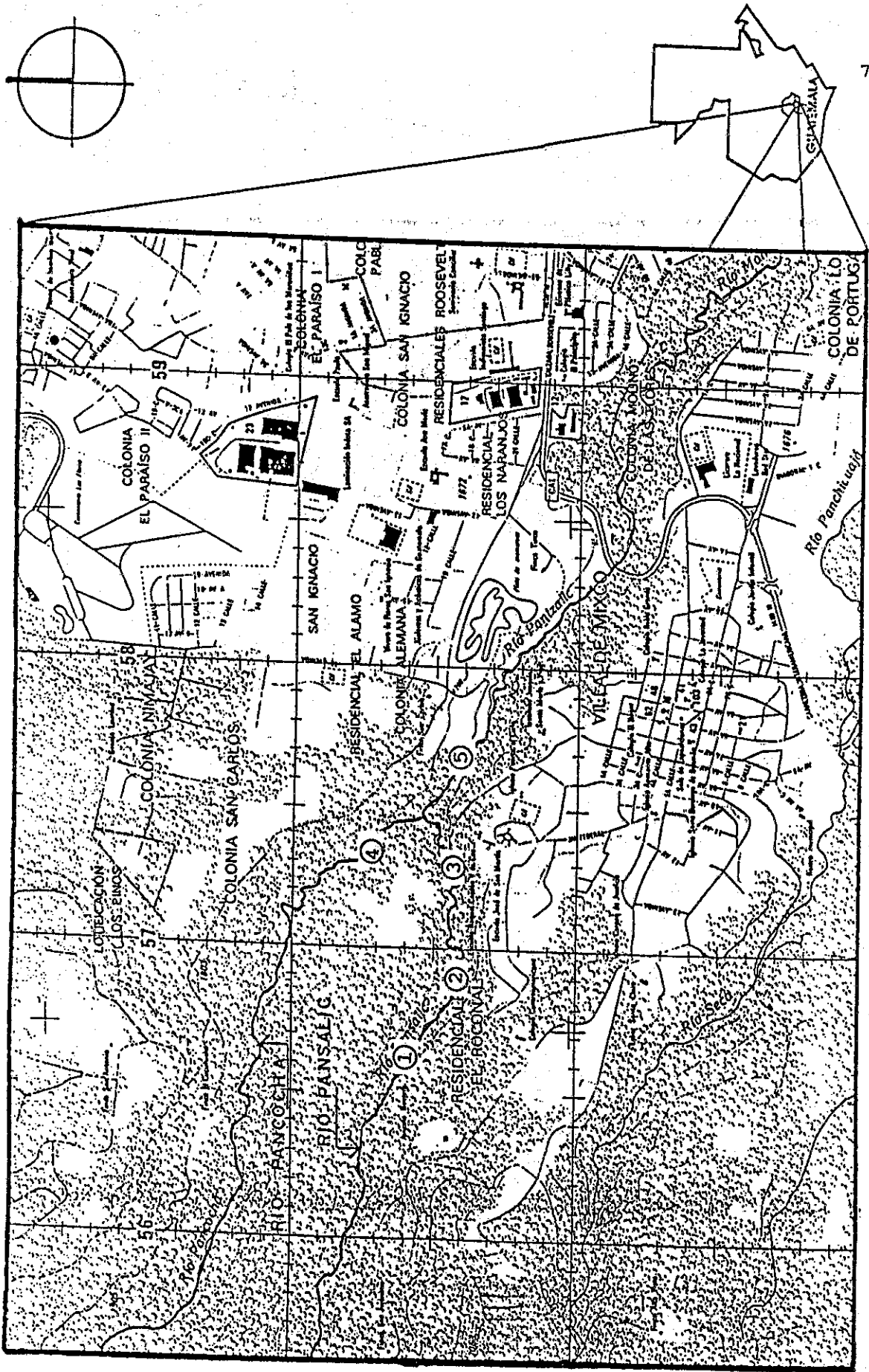
10. DGEN-SEBV. **Calidad del Agua del Lago de Izabal y Principales Tributarios**. Guatemala. DGEN. 1991.
11. ERIS. **Simposium sobre Contaminación de Corrientes**. Guatemala. Facultad de Ingeniería. USAC. 1967. Págs. 123-131.
12. ICATA. **Perfil Ambiental de la República de Guatemala**. Guatemala. Universidad Rafael Landívar. Tomo III. 1984. pág. 179.
13. IGN. **Diccionario Geográfico Nacional**. Compilación crítica Francisco Gall. Guatemala. 1981. pág. 866-871.
14. I.A.E.A.Ch., USAC, UVG. **II Taller Centroamericano y del Caribe sobre Química Analítica Ambiental y Sanitaria**. Guatemala. 1992.
15. Masterton W, Slowinski E, Stanitski C. **Química General Superior**. 6a edición. México. Mc Graw-Hill. 1989.
16. Meal S. **Diccionario de Química**. Giral J, trad. México. Editorial Atlante, S.A. 1943.
17. Merck. E. **Análisis del Agua**. Alemania. Merck. 1974. pág. 85-89.
18. Merck. **Sistemas modernos de Análisis**. Alemania. Merck. 1989. pág. 10-12 y 45-48.
19. Merck. **Aquamerck Compact Laboratory, for water analysis**. Alemania. Merck. 1991. pág. 1-37.
20. Merck. **Aquamerck Oxigen**. Alemania. Ed. Reagents Merck. 1990. pág. 6-7.
21. Metcalf E. **Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales**. 2a ed. España. Labor, S.A. 1981. pág. 245-274.
22. Molina S y col. **Manual de Procedimientos para estudios Limnológicos y Calidad de Agua**. Guatemala. DGEN. 1992. 40p.
23. Mortimer C. **Química**. 5a. ed. Guerrero Santafe J. trad. México. Grupo Editorial Iberoamericana. 1983.
24. Nordmann J. **Análisis Cualitativo y Química Inorgánica**. México. Ureta E, trad. C.E.C.S.A. 1979.
25. Odum E. **Ecología**. 3a ed. México. Interamericana. 1972. pág. 489.



26. O.P.S. **Programa de Salud Ambiental de la OPS.** Discusiones Técnicas Salud y Ambiente. México. 1989.
27. Paz BH. **Determinación del Nivel Actual en el Transporte y Descarga del Lago de Amatitlán del Surfactante Aniónico Sulfonato de alquilbenceno.** Guatemala. Universidad de San Carlos. (Tesis de graduación Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1983.
28. Pelczar M. Reid. **Microbiología.** México. McGraw-Hill. 1980. pág. 514-515.
29. Saenz L. JA. **Estudio de algunos parámetros físico-químicos del Ecosistema Estuario y su relación con el desarrollo de Rizophora mangle L. en el manglar Las Lisas.** Guatemala. Universidad de San Carlos. (Tesis de Biología). Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 1984.
30. Snoeyink V, Jenkins D. **Química del Agua.** Sangines MC. trad. México. Limusa. 1987.
31. Schwoerbel J. **Métodos de Hidrobiología.** Haering FJ. trad. España. H.Blume. 1975. Pág. 14-38.
32. Riesenfeld E. **Tratado de Química Inorgánica.** Sauras JM trad. Buenos Aires. Ed. Manuel Marín. 1950. Pág. 498-499.
33. Winkler. M. **Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho.** García CA, trad. México. Limusa. 1986.
34. Organización Panamericana de la Salud, OPS. **Las Condiciones de Salud en las Américas 1977-1980.** Publicación Científica 427. Washington D.C. 1982.
35. Organización Panamericana de la Salud, OPS. **Guías para la calidad del agua potable.** Organización Mundial de la Salud. Estados Unidos. 1985.5



A N E X O S



Mapa No. 2

LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES

ESC. 1:1333

COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES EN LOS DIFERENTES PUNTOS MUESTREADOS

CUADRO No. 1

TEMPERATURA  
°C

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media Observ.	Estadist.		Media Observ.	Estadist.		Media Observ.	Estadist.
1	19.27	19.92	1	20.90	21.48	Seca	21.14	21.14
2	20.68		2	22.06				
3	20.69		3	20.46	20.46			
4	19.74		4	18.41	Lluviosa	18.69	18.69	
5	19.79		5	19.16				18.69
		6	18.49					

CUADRO No. 2

pH

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media Observ.	Estadist.		Media Observ.	Estadist.		Media Observ.	Estadist.
2	6.91	6.78	1	6.97	6.92	Seca	6.89	6.78
5	6.81		2	6.86				
1	7.10		3	6.86		6.92		
3	6.26		5	7.18	Lluviosa	6.65		
4	6.79		6	6.75				
		4	6.03	6.03				

CUADRO No. 3

OXIGENO DISUELTO  
mg/l

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
1	5.20		1	3.96		Seca	4.13	4.13
2	3.23	4.64	2	4.34	4.13			
5	4.91		3	4.08				
3	6.77	6.39	4	6.50		Lluviosa	6.32	6.32
4	6.02		5	5.28	6.32			
			6	7.20				

CUADRO No. 4

CONDUCTIVIDAD  
mS/cm

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
2	0.321	0.332	1	0.290	0.268	Seca	0.291	0.268
5	0.343		2	0.260				
1	0.209	3	0.323					
3	0.228	0.226	4	0.240	Lluviosa	0.245		
4	0.239	5	0.310					
			6	0.190				

CUADRO No. 5

POTENCIAL DE OXIDO REDUCCION  
(P.O.R)  
mV

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
2	-0.203	-0.203	1	0.083	0.052	Seca	-0.053	-0.053
1	0.092		2	-0.128				
3	0.181	0.116	3	-0.085				
4	0.105		4	0.107				
5	0.088		5	0.144		Lluviosa	0.147	0.147
			6	0.191				

CUADRO No. 6

## TURBIDEZ

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
2	3.00	3.00	1	2.40	2.23	Seca	2.20	2.23
5	3.00		2	1.80				
1	2.50	2.50	3	2.40				
3	1.00	1.00	4	2.40				
4	1.67	1.67	5	2.00		Lluviosa	2.27	
			6	2.40				

CUADRO No. 7

FOSFORO DE o-FOSFATO  
mg/l

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media Observ.	Estadist.		Media Observ.	Estadist.		Media Observ.	Estadist.
2	1464.40	1536.25	3	1829.2	1829.2	Seca	1188	1188
5	1608.10		1	890.40	563.70		361.2	361.2
1	688.10	2	844.40	361.2		361.2		
3	64.00	57.00	4	353.80		361.2	361.2	
4	48.50	57.00	5	676.70		361.2	361.2	
			6	53.20		361.2	361.2	
							Lluviosa	

CUADRO No. 8

FOSFORO TOTAL SOLUBLE  
mg/l

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media Observ.	Estadist.		Media Observ.	Estadist.		Media Observ.	Estadist.
2	3055.20	3134.50	1	3298.20	2696.40	Seca	2696.5	2696.5
5	3213.90		2	2182.50			2696.5	2696.5
1	1451.00	1451.00	3	2608.60			2696.5	2696.5
3	95.60	90.10	4	366.50	463.70	Lluviosa	463.7	463.7
4	84.60		5	789.20			463.7	463.7
			6	235.40			463.7	463.7



CUADRO No. 9

NITROGENO DE NITRITO  
mg/l

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
1	24.88	33.34	3	41.66	39.37	Seca	22.35	21.33
2	30.90		4	37.08				
5	44.25		1	16.90				
3	1.40	3.31	2	8.48	12.31	Lluviosa	20.32	
4	5.23		5	12.04				
			6	11.84				

CUADRO No. 10

NITROGENO DE AMONIO  
mg/l

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
2	4311	4958	2	3630	3723	Seca	3377	3377
5	5606		3	4974				
1	1578	1578	5	2568				
3	11	38	1	1532	905	Lluviosa	250	250
4	65		4	887				
			6	297				

CUADRO No. 11

NITROGENO DE NITRATO  
mg/l

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
1	721.90		1	484.60		Seca	486.8	486.8
2	609.30		2	476.10				
3	666.60	636.70	3	499.70	503.20			
4	534.60		4	418.50		Lluviosa	786.7	786.7
5	651.20		5	637.10				
			6	1304.40	1304.40			

CUADRO No. 12

NITROGENO ORGANICO SOLUBLE  
mg/l

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
5	4127	4127	2	1327		Seca	1338	1978
1	1456		3	1351				
2	2676		4	2508	2106			
3	891	1600	5	3326		Lluviosa	2617	
4	1380		6	2018				

CUADRO No. 13

DUREZA TOTAL  
mg/l de CaCO<sup>3</sup>

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
3	91.48	91.48	1	89.75	82.5	Seca	83.53	82.5
1	77.60	80.26	2	81.21				
2	76.94		3	79.62				
4	84.66		4	82.47				
5	81.82		5	87.81		Lluviosa	81.48	
			6	74.16				

CUADRO No. 14

ALCALINIDAD  
mg/L de CaCO<sup>3</sup>

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
2	135.87	143.73	1	132.64	136.67	Seca	139.05	139.05
5	151.60		2	136.42				
1	101.52	3	148.09					
3	121.90	110.36	5	129.52	97.80	Lluviosa	108.37	108.37
4	107.67		4	108.57				
			6	87.03				

CUADRO No. 15

CLORURO  
mg/l de Cl/L

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
1	1.627	2.157	1	5.31	5.752	Seca	7.101	7.101
4	2.687		2	8.82				
2	8.558	8.149	3	7.17		Lluviosa	4.403	4.403
3	5.952		4	4.71				
5	9.937		5	5.67				
			6	2.83				

CUADRO No. 16

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO  
mg/L de O<sub>2</sub>

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
2	61.73	59.17	1	46.22	52.66	Seca	42.87	42.87
5	56.62		3	59.10				
1	21.10	10.43	2	23.30				
3	3.88		4	31.94	24.00			
4	6.32		5	16.76				
			6	2.26	2.26			

CUADRO No. 17

COLIFORMES FECALES  
NMP/dl

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
1	3937	2970	1	88	1183	Seca	1125	2970
2	5165		2	114				
3	122		3	3174				
4	643		4	2376				
5	4985		5	166				
			6	11904	11904	Lluviosa	4815	

CUADRO No. 18

COLIFORMES TOTALES  
NMP/dl

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
2	20767	17211	1	5538	7771	Seca	8577	10043
5	13655		2	7866				
1	7815	3	12326					
3	5110	4	5950					
4	2868	5	7178					
			6	21400	21400	Lluviosa	11509	

CUADRO No. 19

POTASIO  
mg/l

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
1	7.26		3	11.13	11.13	Seca	7.80	7.80
2	8.68	8.24	1	4.74	5.48			
5	8.79		2	7.54				
3	3.40	4.15	4	4.03				
4	4.91		5	5.60		Lluviosa	4.82	4.82

CUADRO No. 20

CALCIO  
mg/L

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
1	30.43		3	39.18	39.18	Seca	30.60	29.57
2	29.06		1	28.01	27.43			
3	29.66	29.78	2	24.63				
4	32.32		4	28.59				
5	27.43		5	28.50		Lluviosa	28.55	

CUADRO No. 21

HIERRO  
mg/l

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
3	0.49	0.49	2	0.71	0.71	Seca	1.19	1.19
1	1.84	1.83	1	1.44	1.77			
2	2.53		3	1.43				
4	1.30		4	2.38				
5	1.64		5	1.85				
						Lluviosa	2.11	2.11

CUADRO No. 22

CALCIO  
mg/L

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
4	0.188		2	0.07	0.07	Seca	0.116	0.129
1	0.122	0.111	1	0.124	0.142			
2	0.082		3	0.158				
3	0.134		4	0.118				
5	0.108		5	0.168				
						Lluviosa	0.143	

CUADRO No. 23

COBRE  
mg/l

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
1	0	0.014	1	0.010	0.014	Seca	0.016	
2	0.05		2	0.008				
5	0		3	0.030				
3	0		4	0				
4	0.02		5	0.022		Lluviosa	0.011	

CUADRO No. 24

CINC  
mg/L

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
1	0.016	0.0384	1	0.040	0.0384	Seca	0.046	0.0365
2	0.038		2	0.034				
3	0.030		3	0.064				
4	0.048		4	0				
5	0.060		5	0.054		Lluviosa	0.027	



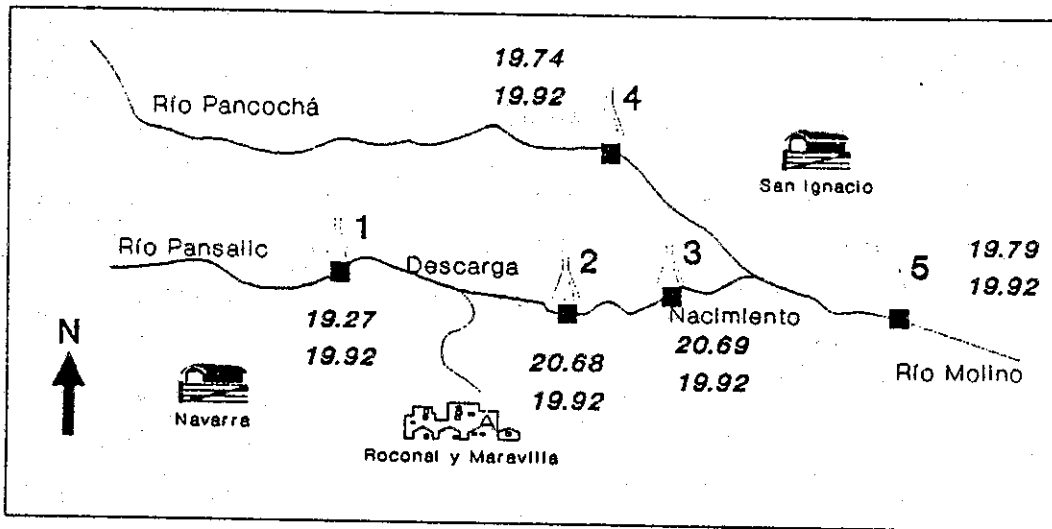
CUADRO No. 25

MANGANESO  
mg/l

ESTACION			MUESTREO			EPOCA		
	Media			Media			Media	
	Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.		Observ.	Estadist.
2	0.150	0.150	1	0.020	0.054	Seca	0.048	0.055
1	0	0.030	2	0.102				
3	0		3	0.026				
4	0		4	0				
5	0.118	5	0.124	Lluviosa		0.062		

## Temperatura (°C) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo

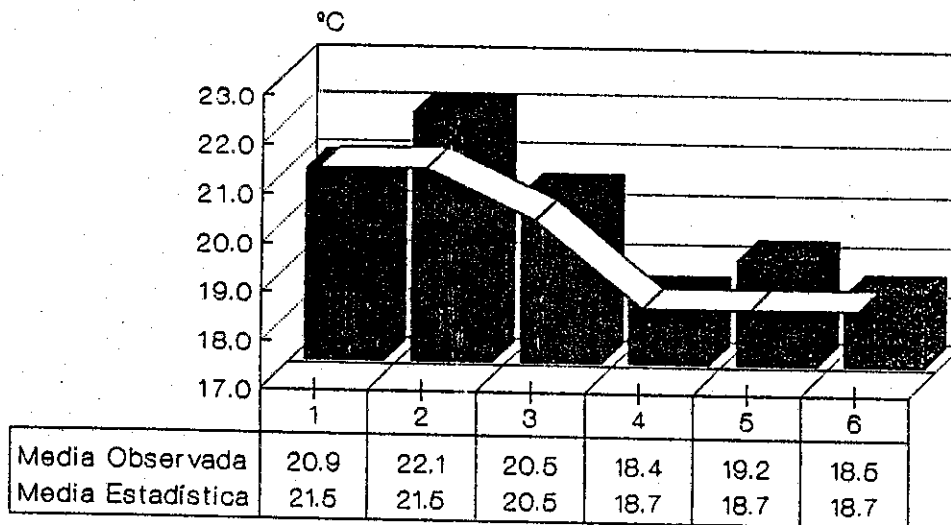


Urbanización



Finca

## Temperatura (°C) Variaciones en el tiempo



Número de Muestreo



Media Estadística

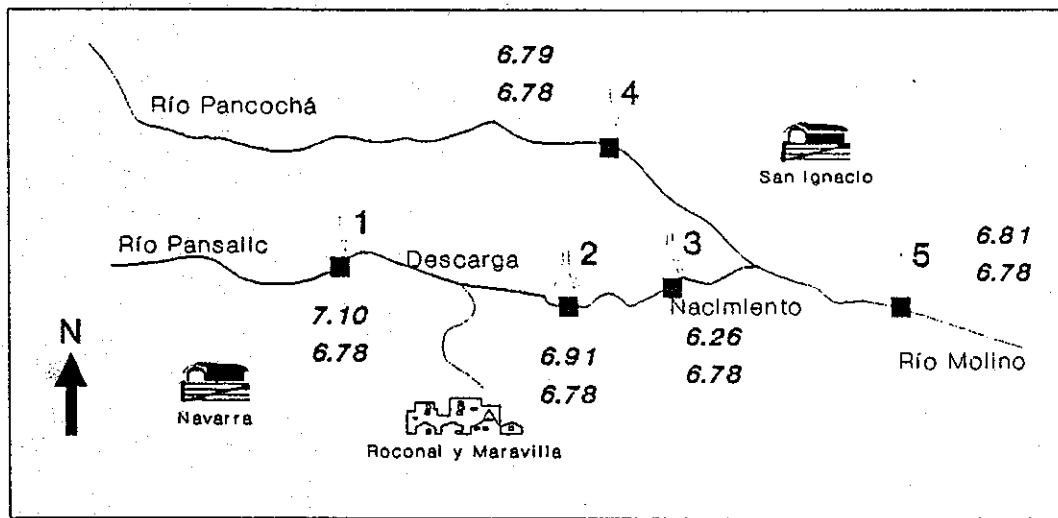


Media Observada

## pH

### Variaciones por Estación de Muestreo

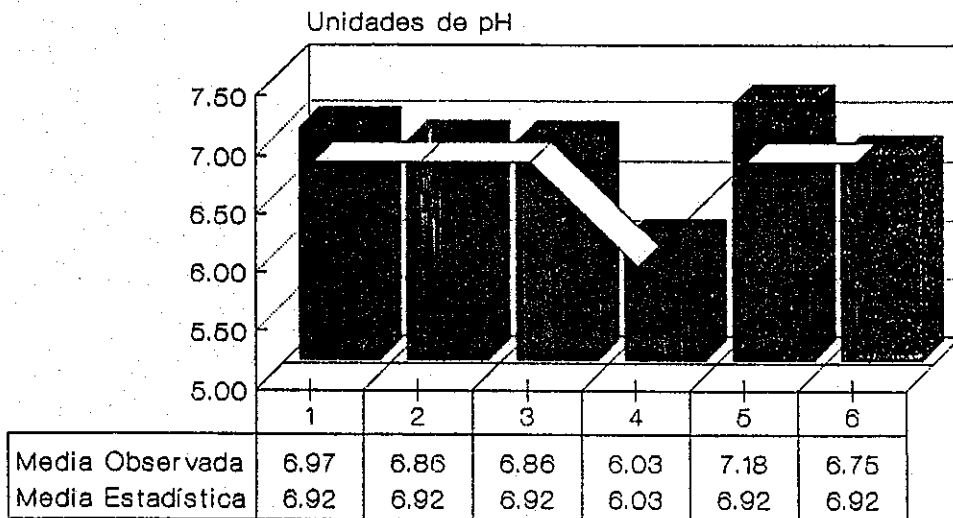
(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo    
  Urbanización    
  Finca

## pH

### Variaciones en el tiempo

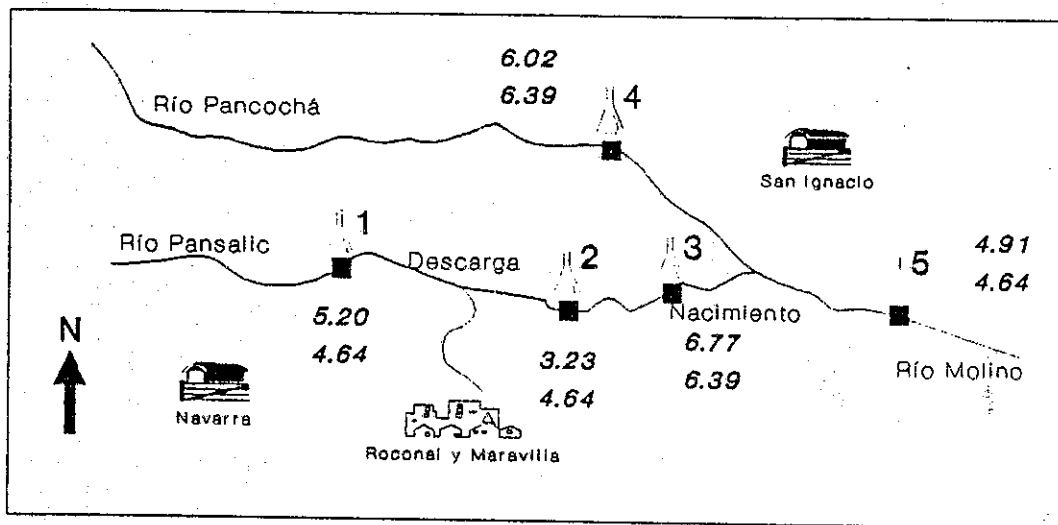


Número de Muestreo

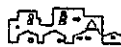
Media Estadística    
  Media Observada

## Oxígeno Disuelto (mg/L) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo

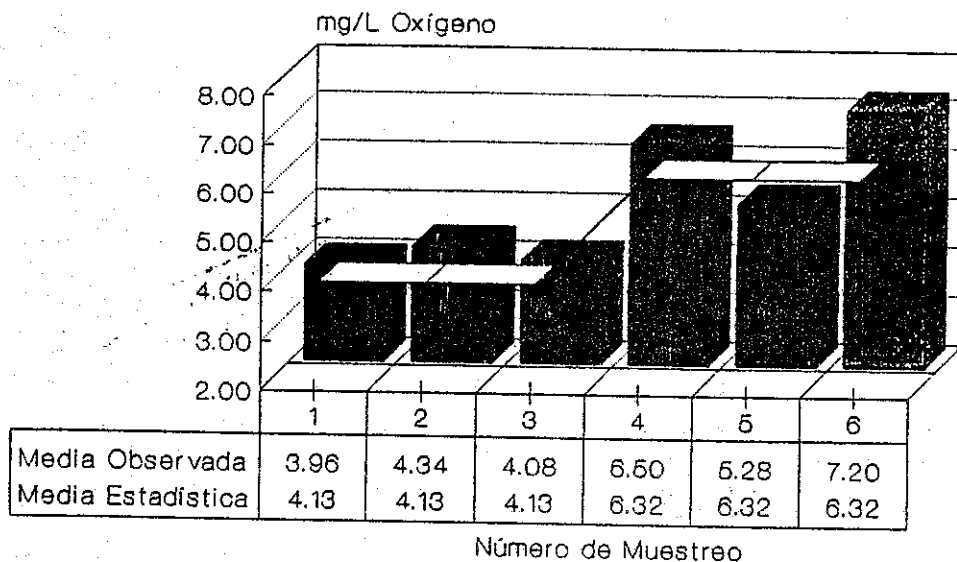


Urbanización



Finca

## Oxígeno Disuelto (mg/L) Variaciones en el tiempo



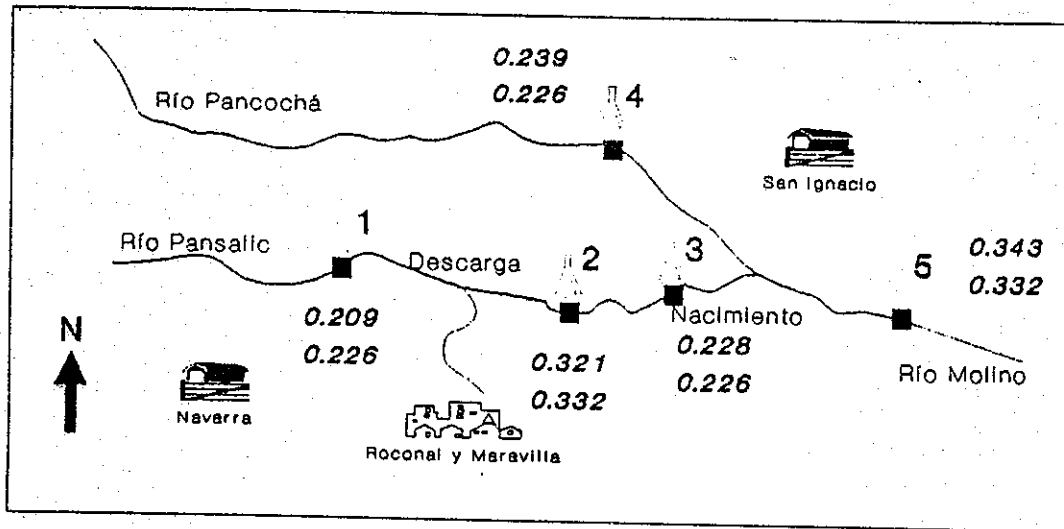
Media Estadística



Media Observada

## Conductividad (mS/cm) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo

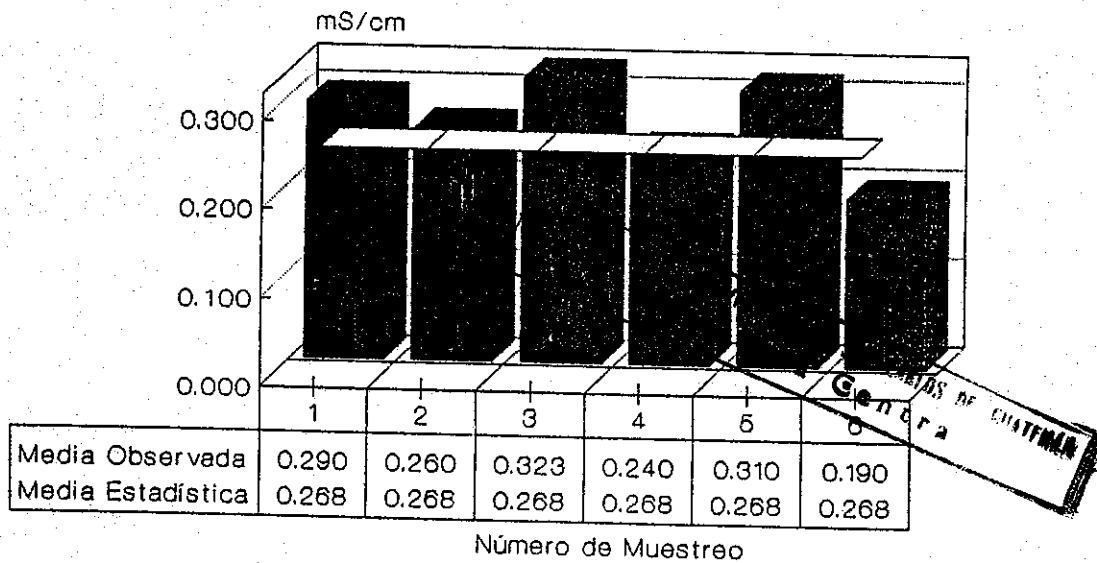


Urbanización



Finca

## Conductividad (mS/cm) Variaciones en el tiempo

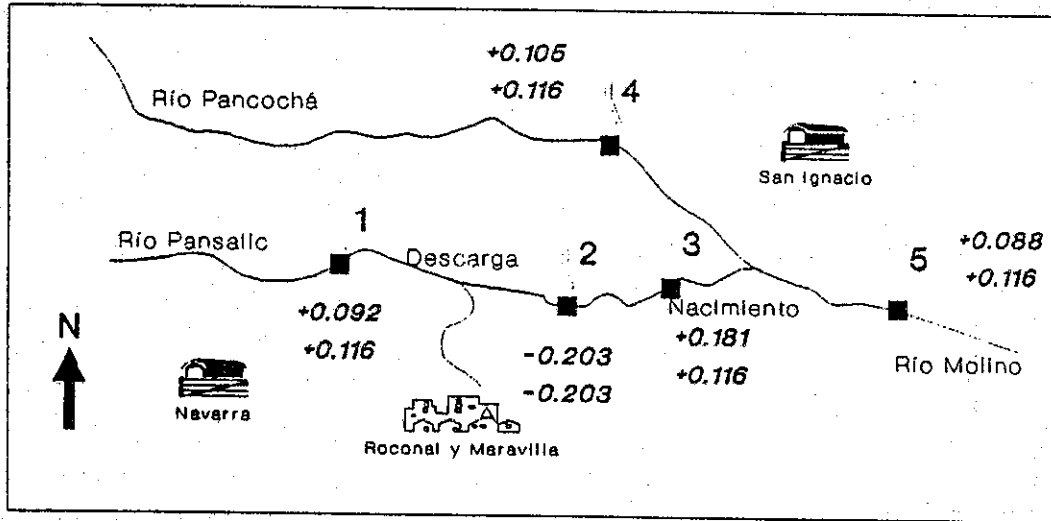


Media Estadística

Media Observada

## Potencial de Oxido-Reducción (mV) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo

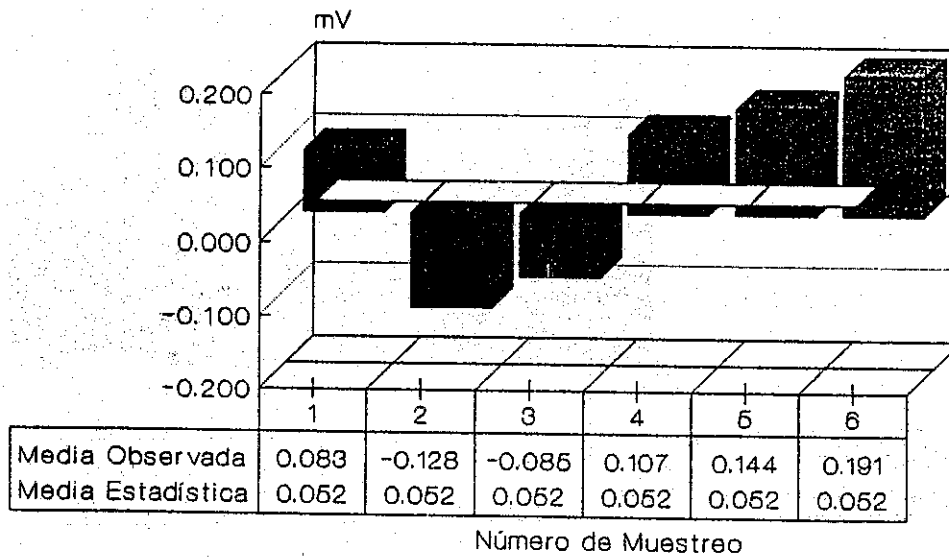


Urbanización



Finca

## Potencial de Oxido-Reducción (mV) Variaciones en el tiempo



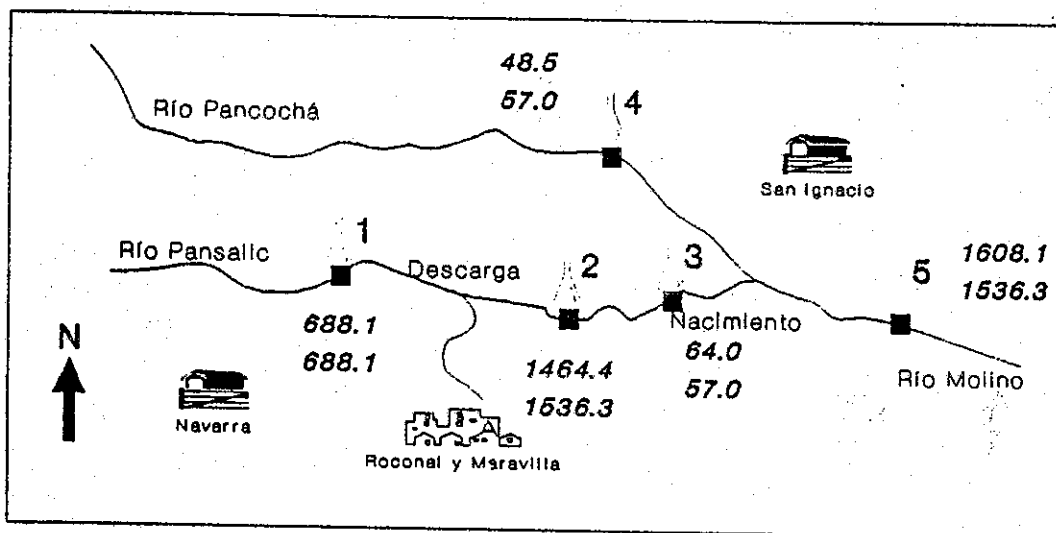
Media Estadística

Media Observada



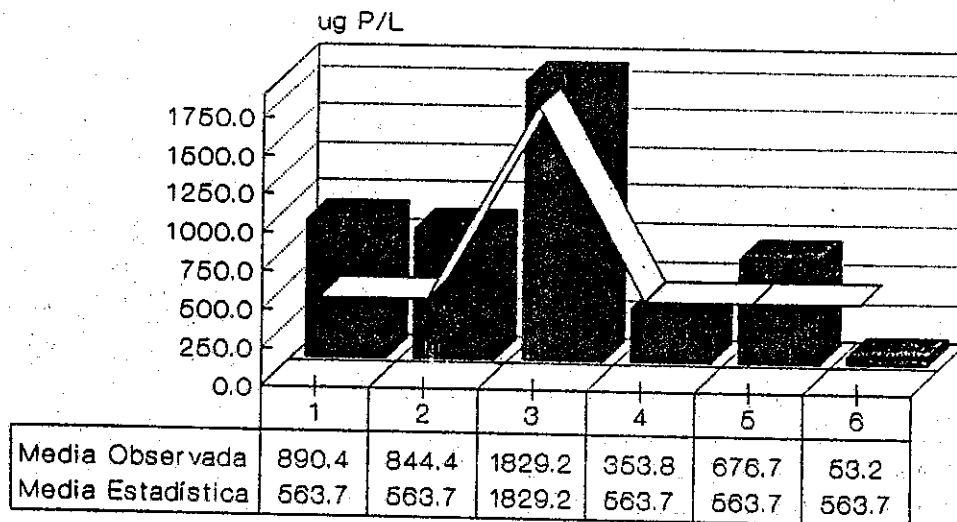
## Fósforo de o-Fosfato (ug/L) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo    
  Urbanización    
  Finca

## Fósforo de o-Fosfato (ug/L) Variaciones en el tiempo



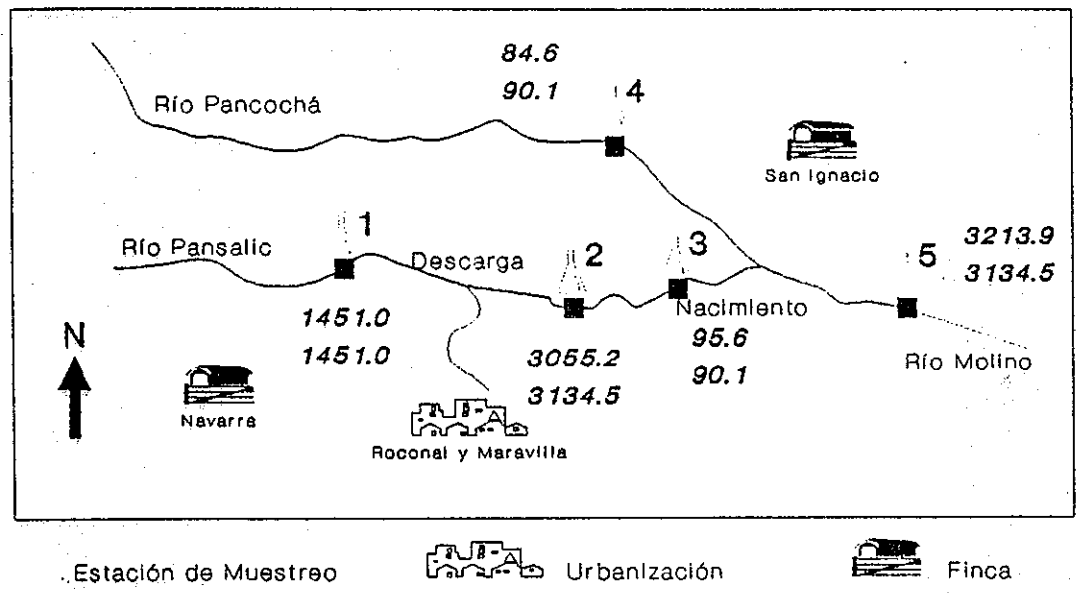
Número de Muestreo

Media Estadística    
  Media Observada

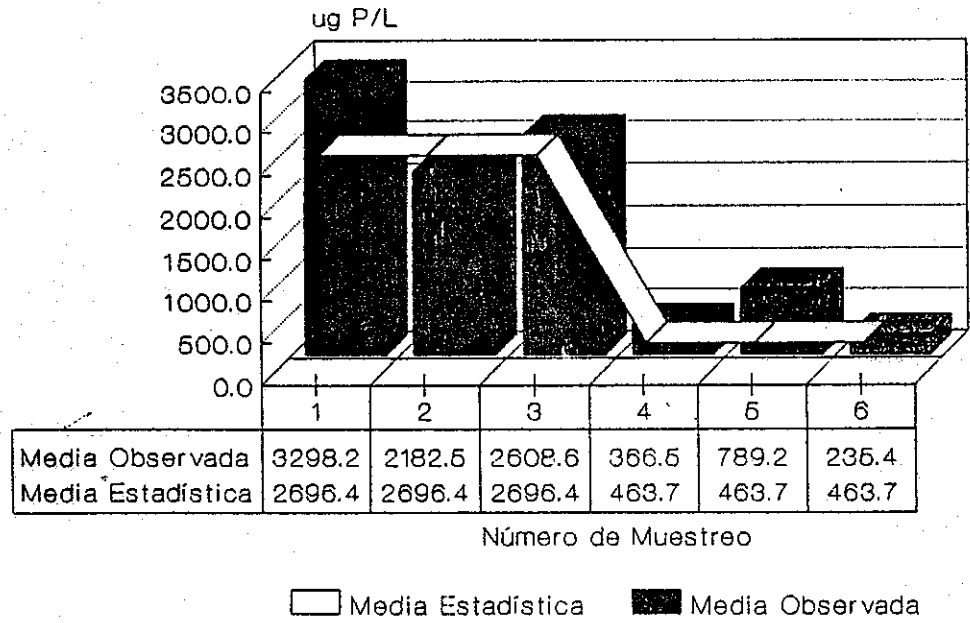


## Fósforo Total soluble (ug/L) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



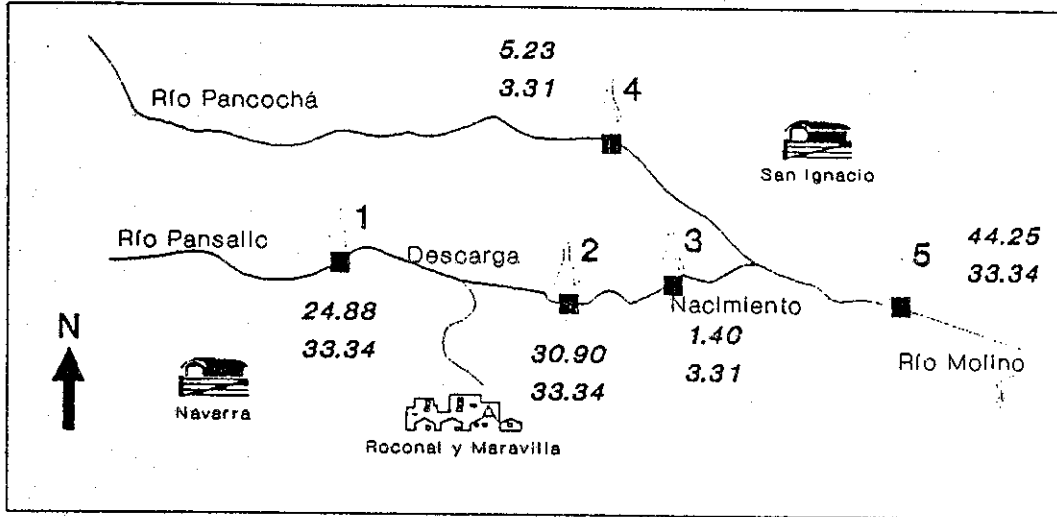
## Fósforo total soluble (ug/L) Variaciones en el tiempo



## Nitrógeno de Nitrito (ug/L)

### Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo



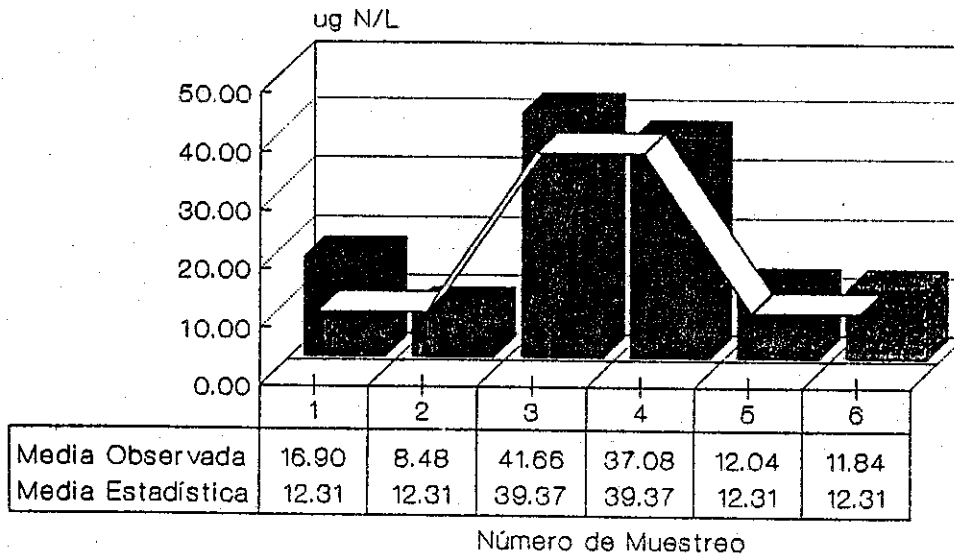
Urbanización



Finca

## Nitrógeno de Nitrito (ug/L)

### Variaciones en el tiempo

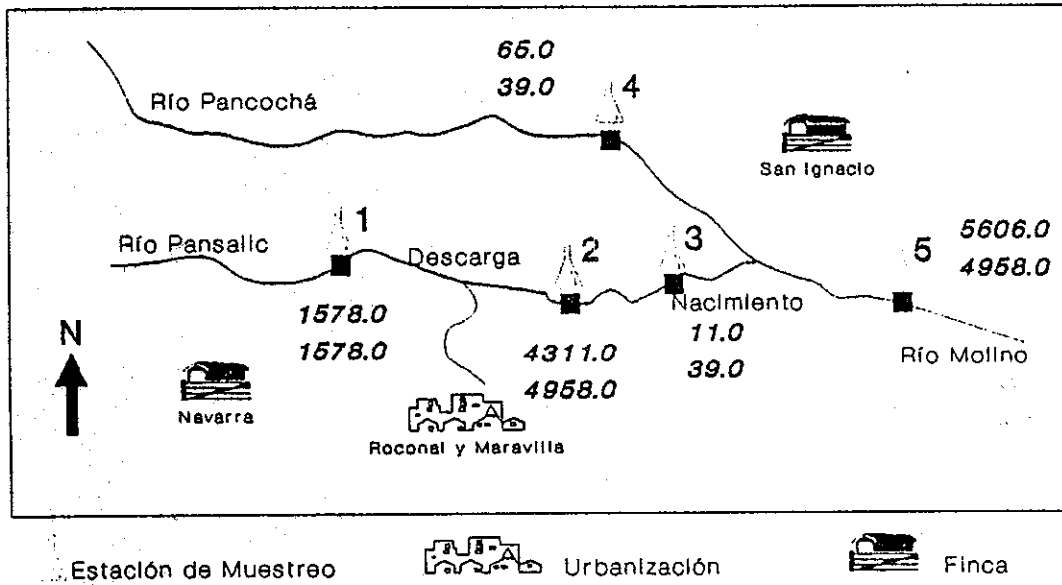


Media Estadística

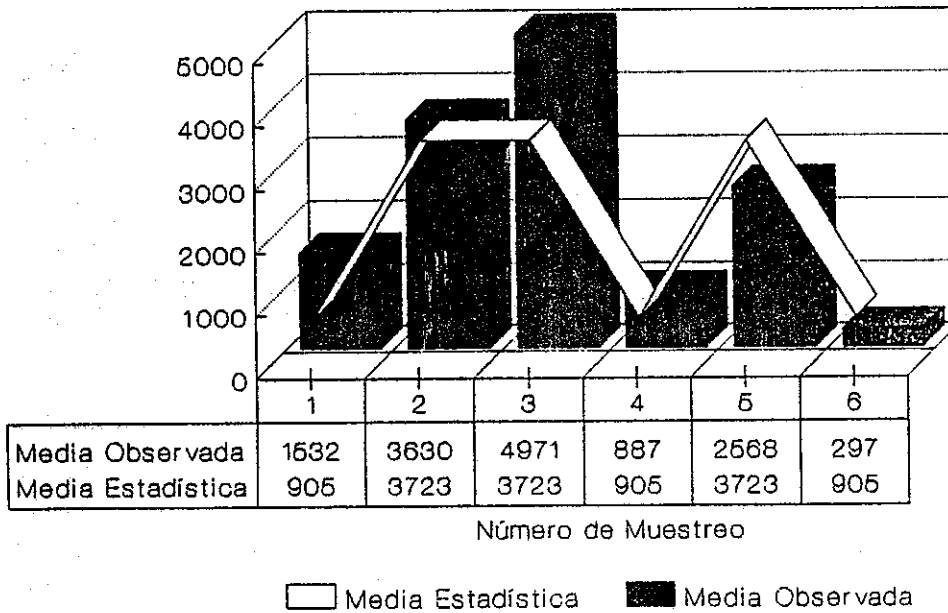
Media Observada

## Nitrógeno de Amonio (ug/L) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)

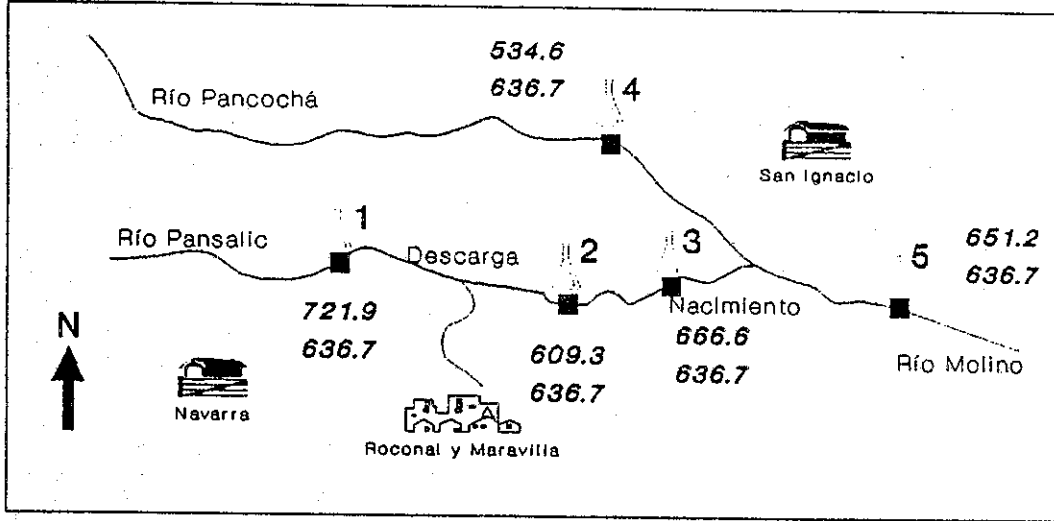


## Nitrógeno de Amonio (ug/L) Variaciones en el tiempo

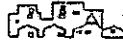


## Nitrógeno de Nitrato (ug/L) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo

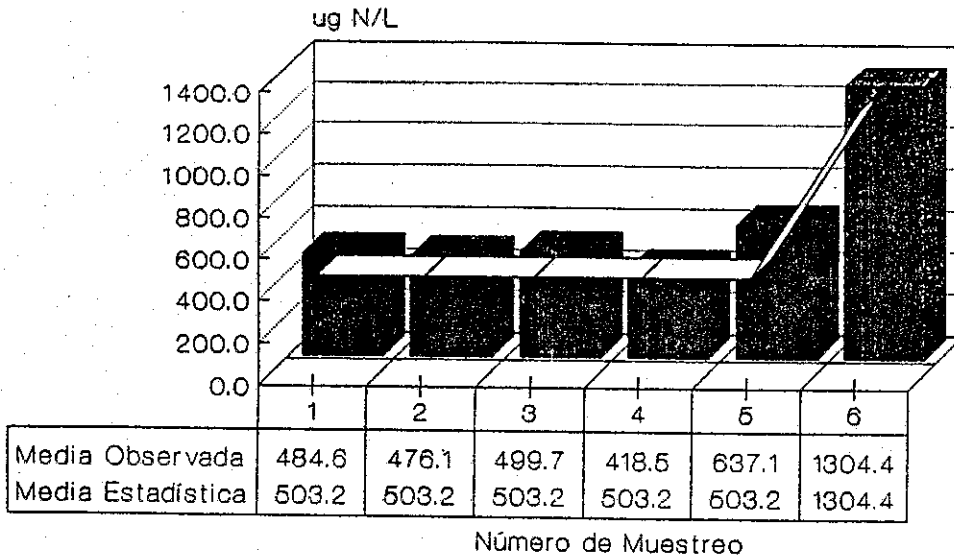


Urbanización



Finca

## Nitrógeno de Nitrato (ug/L) Variaciones en el tiempo



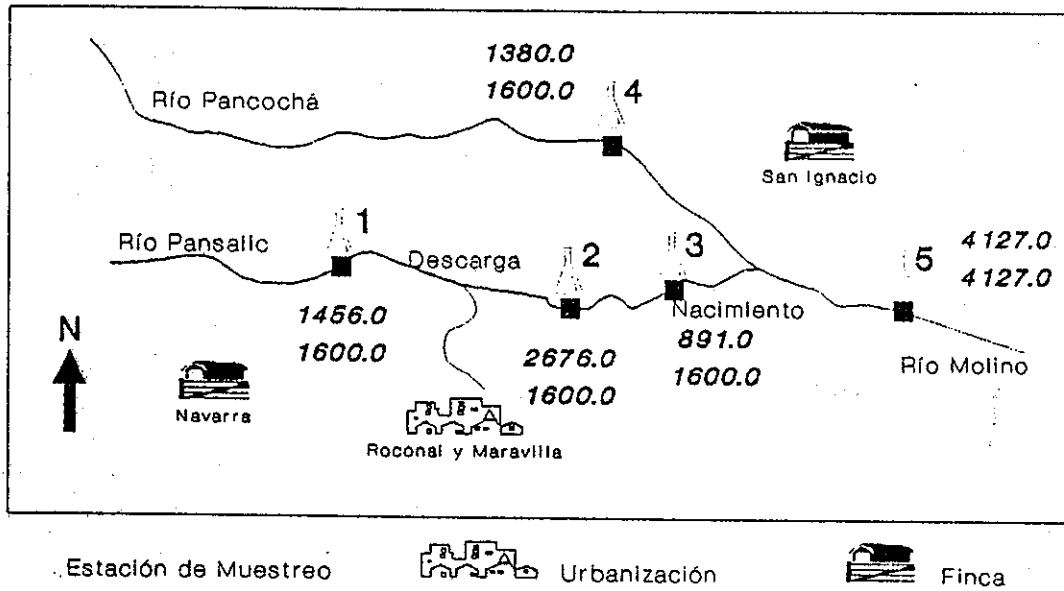
Media Estadística



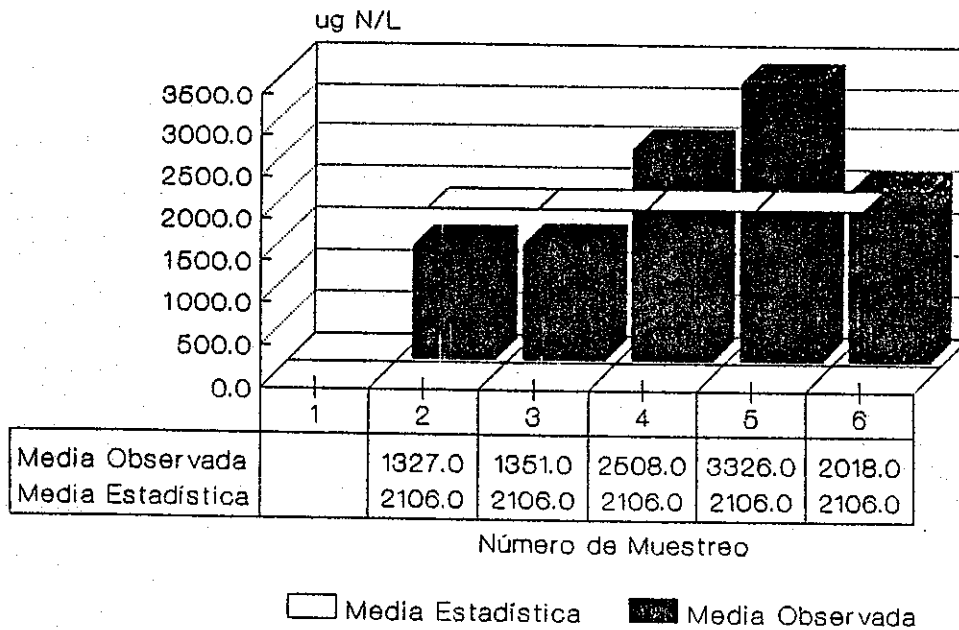
Media Observada

## Nitrógeno Orgánico Soluble (ug/L) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)

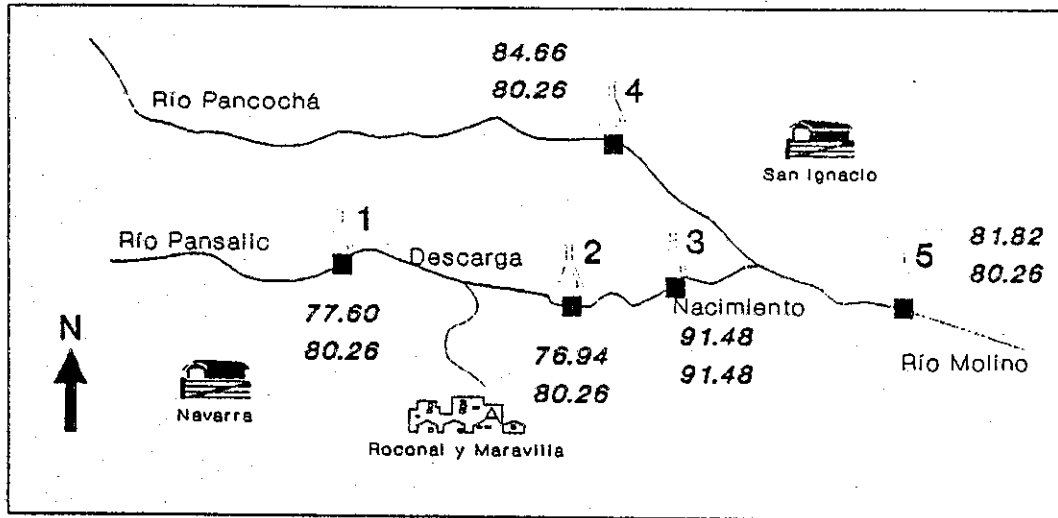


## Nitrógeno Orgánico Soluble (ug/L) Variaciones en el tiempo



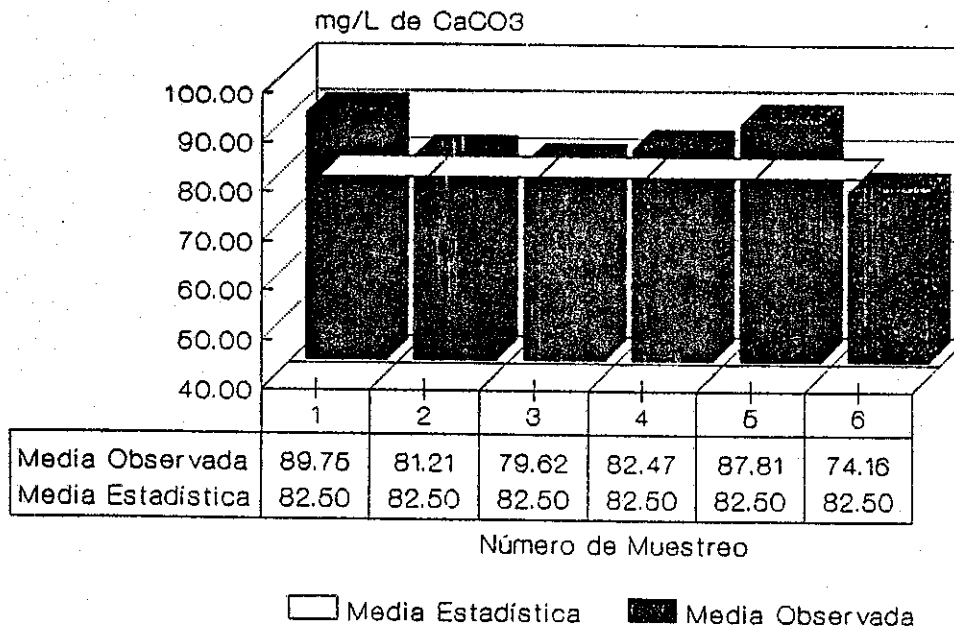
## Dureza Total (mg/L de CaCO<sub>3</sub>) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



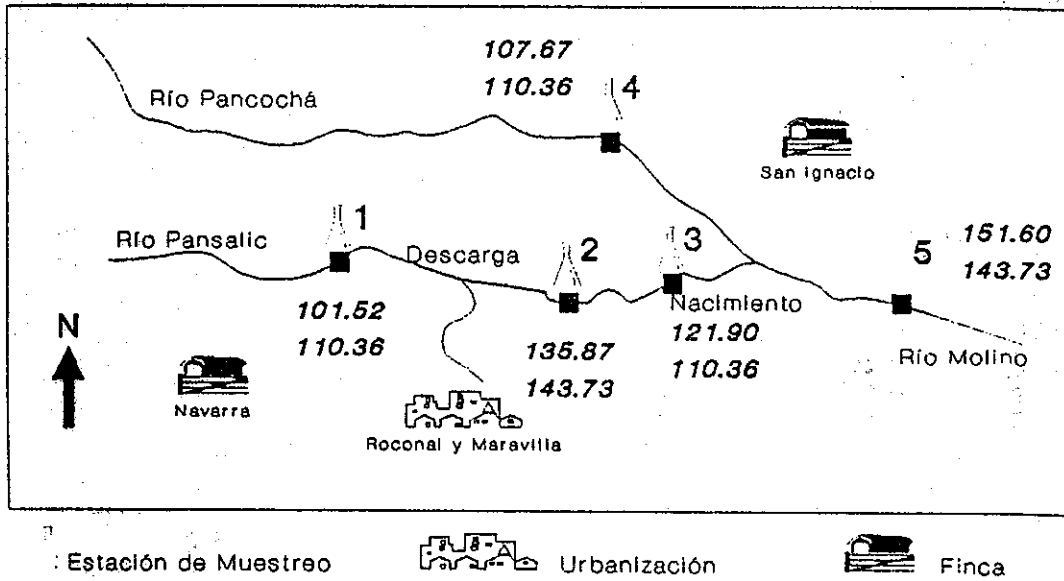
Estación de Muestreo    
  Urbanización    
  Finca

## Dureza Total (mg/L de CaCO<sub>3</sub>) Variaciones en el tiempo

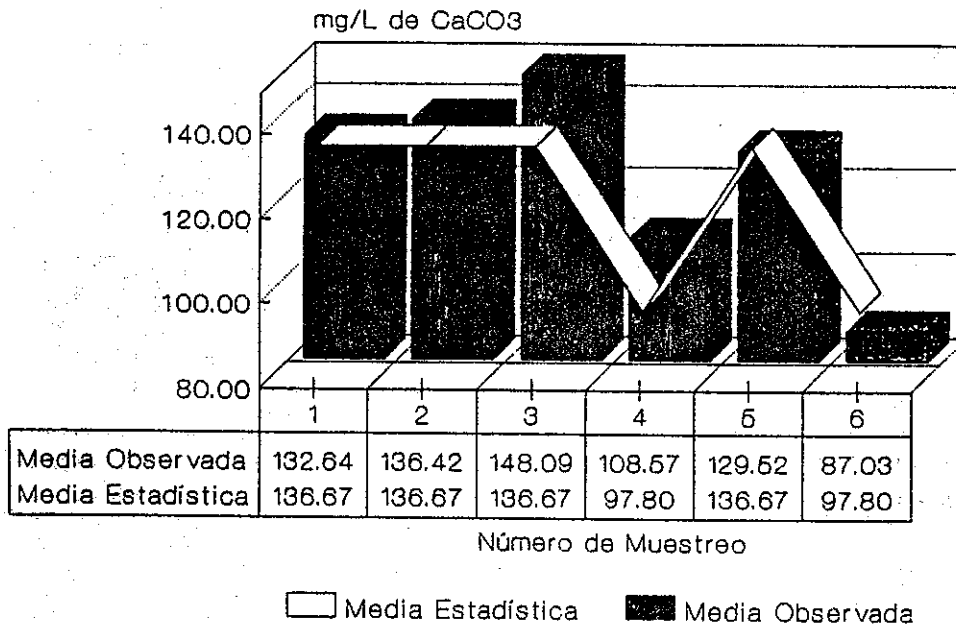


Media Estadística    
  Media Observada

**Alcalinidad (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)**  
**Variaciones por Estación de Muestreo**  
 (Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)

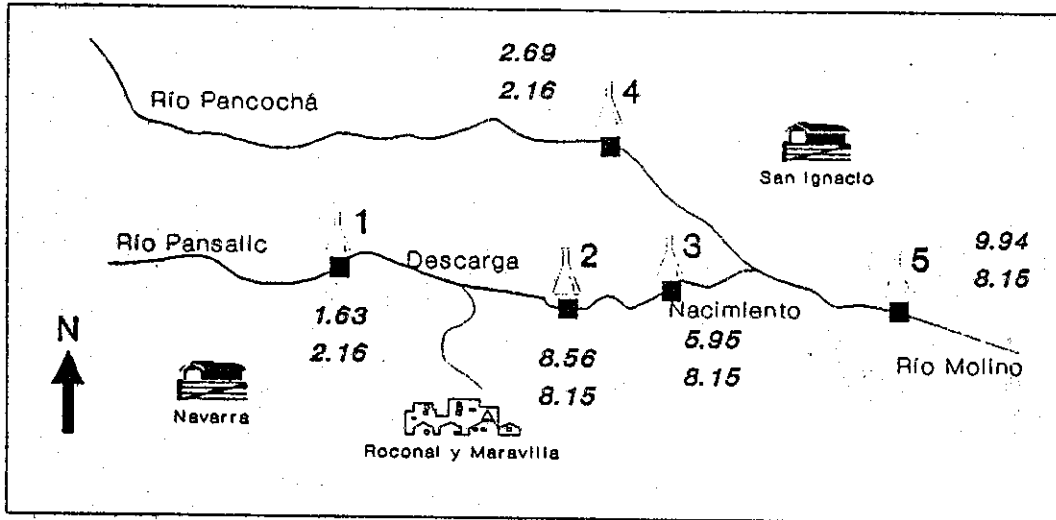


**Alcalinidad (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)**  
**Variaciones en el tiempo**



## Cloruro (mg/L) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo

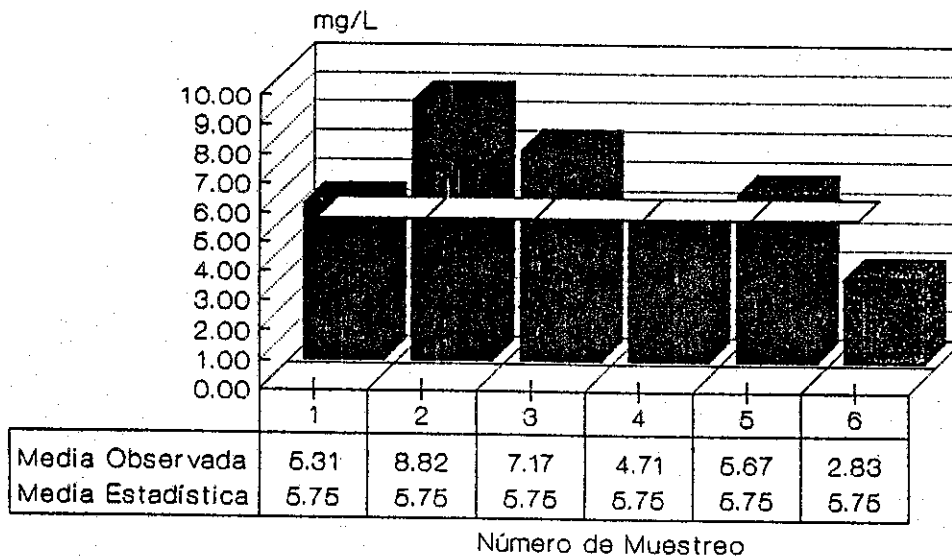


Urbanización



Finca

## Cloruro (mg/L) Variaciones en el tiempo



Número de Muestreo



Media Estadística

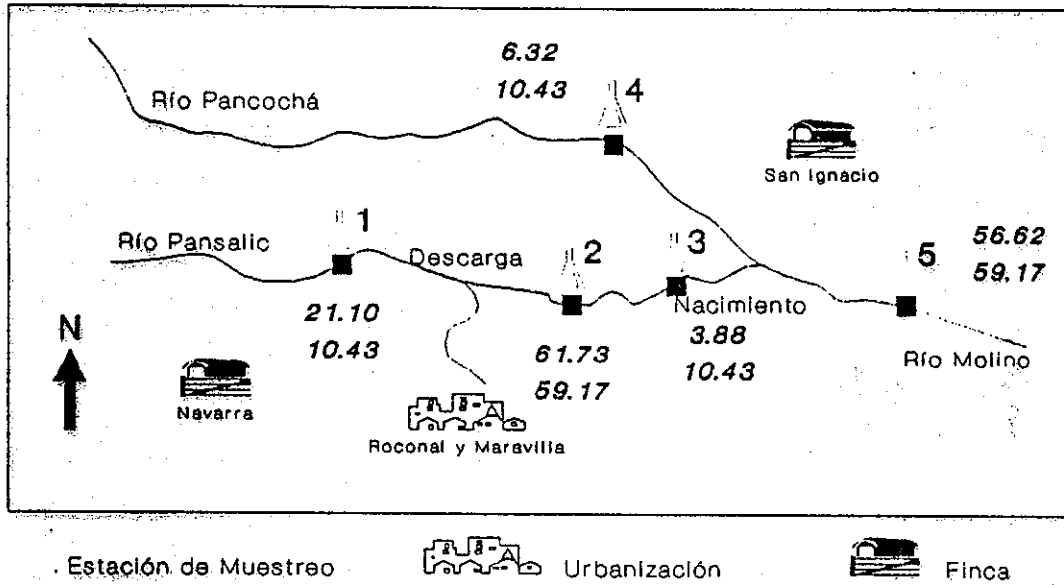


Media Observada

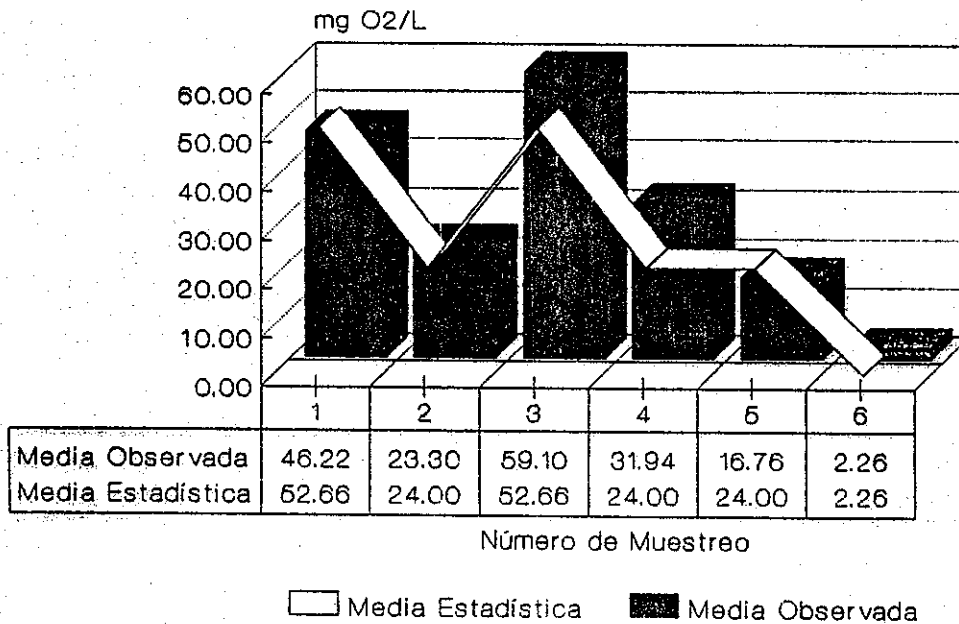


## Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)

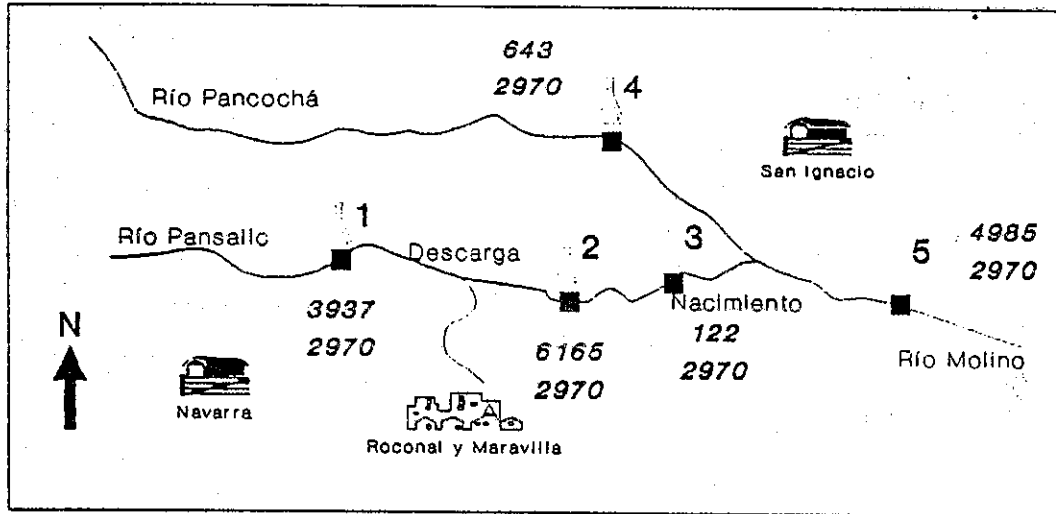


## Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) Variaciones en el tiempo



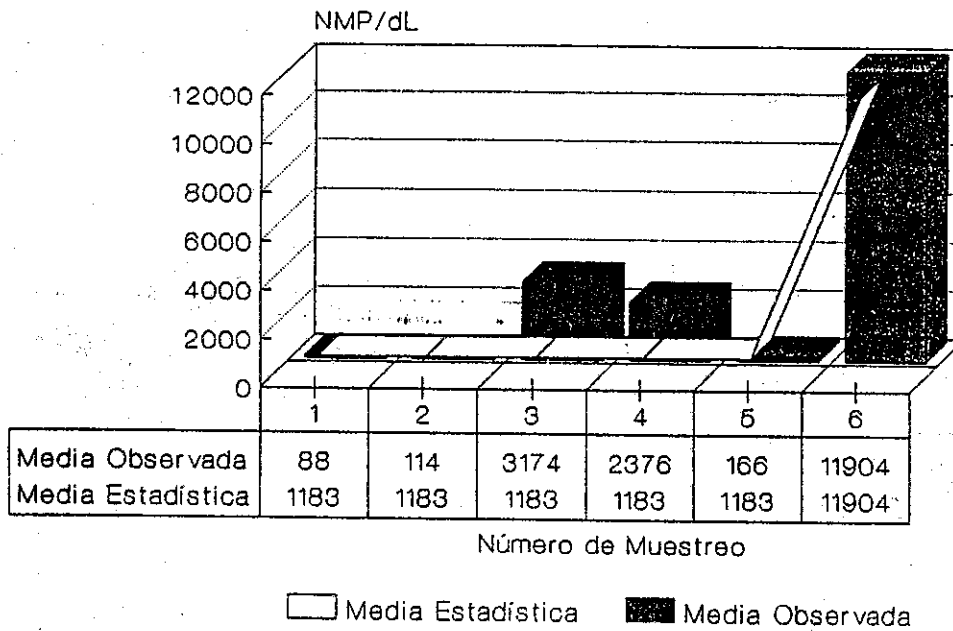
## Coliformes Fecales (NMP/dL) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo    
  Urbанизación    
  Finca

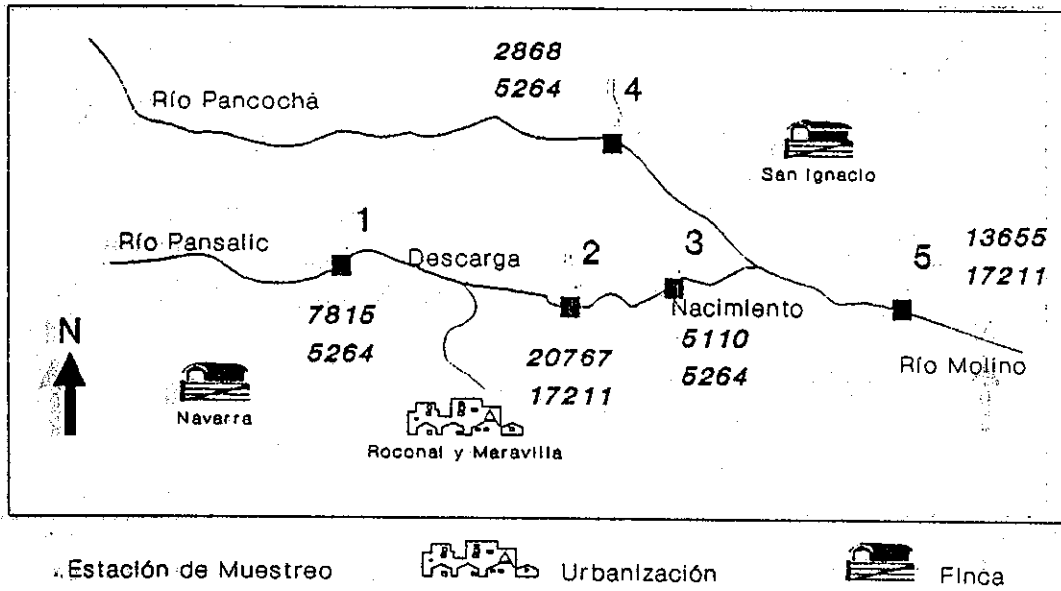
## Coliformes Fecales (NMP/dL) Variaciones en el tiempo



## Coliformes Totales (NMP/dL)

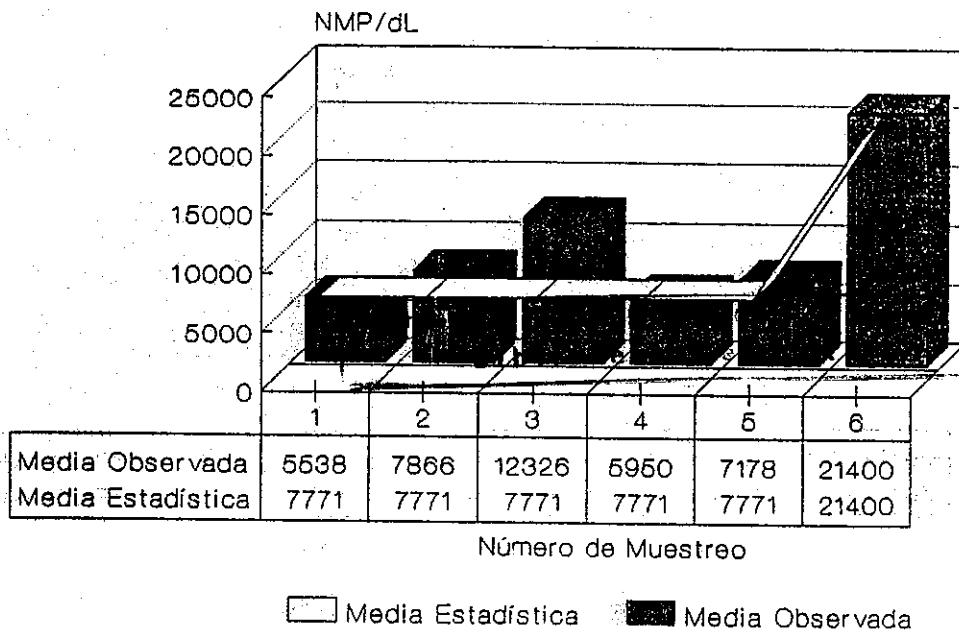
### Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



## Coliformes Totales (NMP/dL)

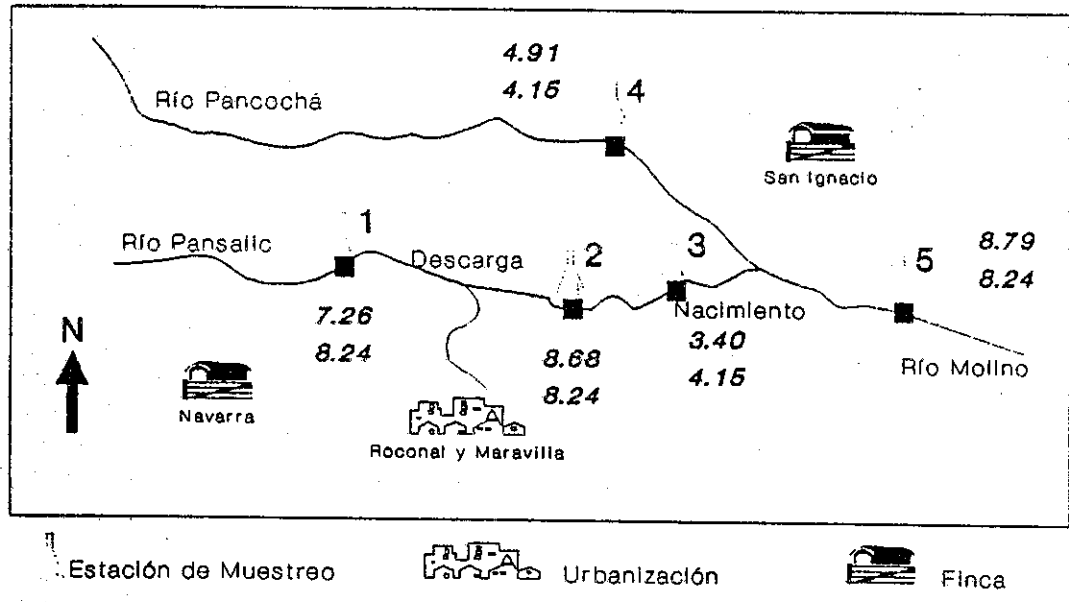
### Variaciones en el tiempo



## Potasio (mg/L)

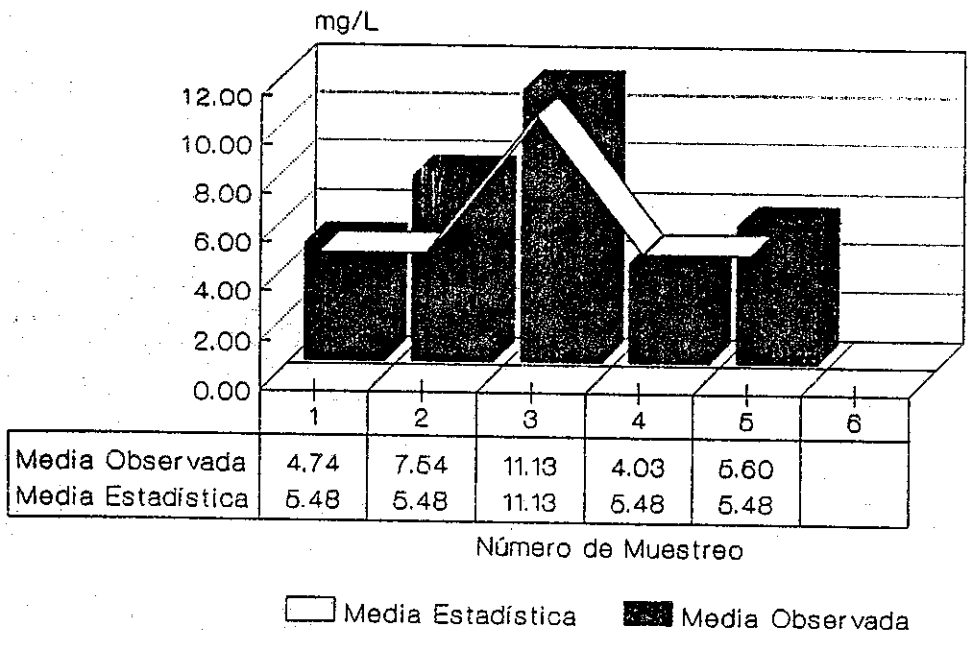
### Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



## Potasio (mg/L)

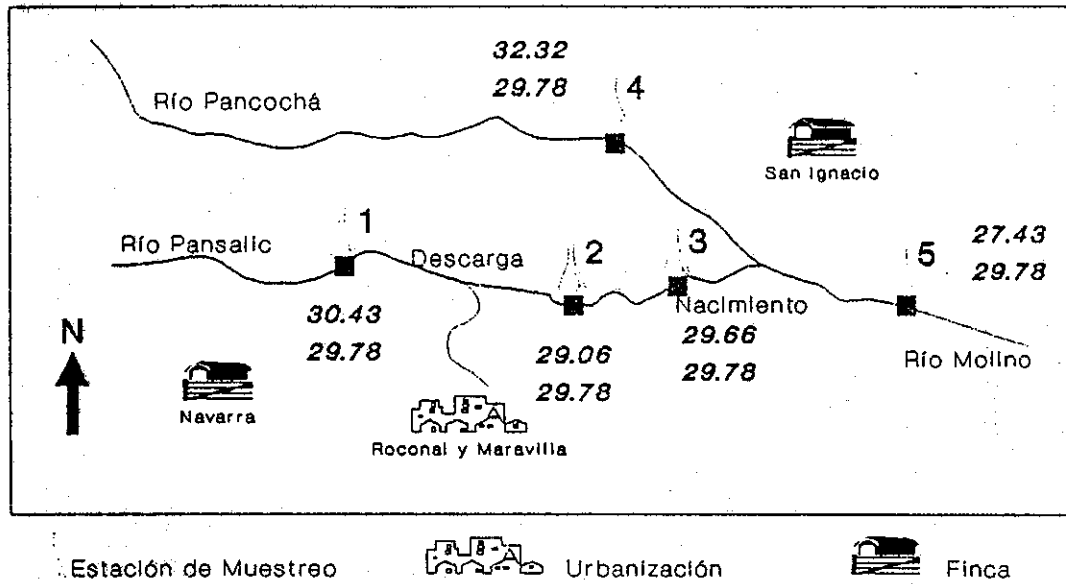
### Variaciones en el tiempo



## Calcio (mg/L)

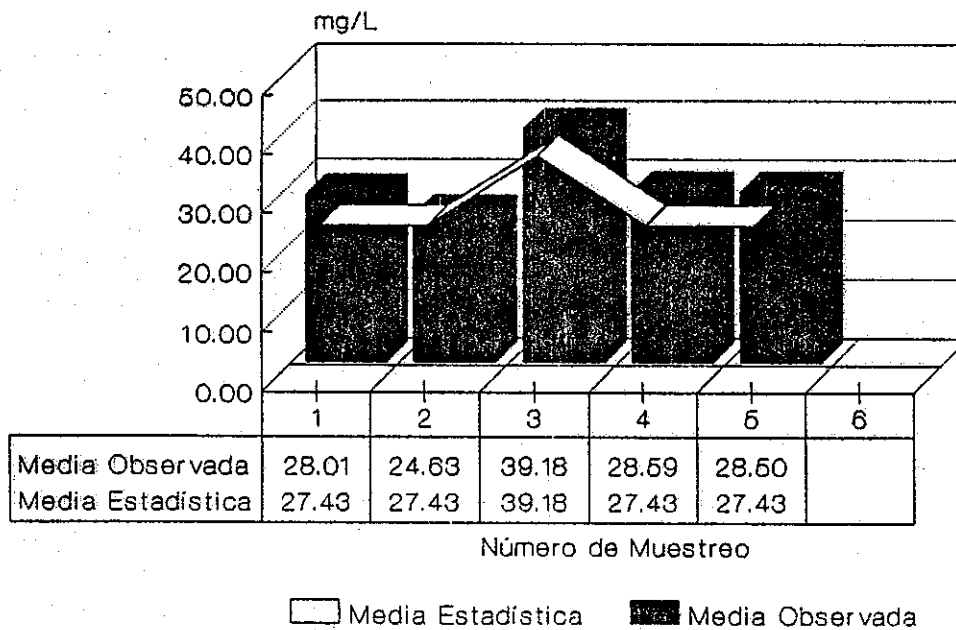
### Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



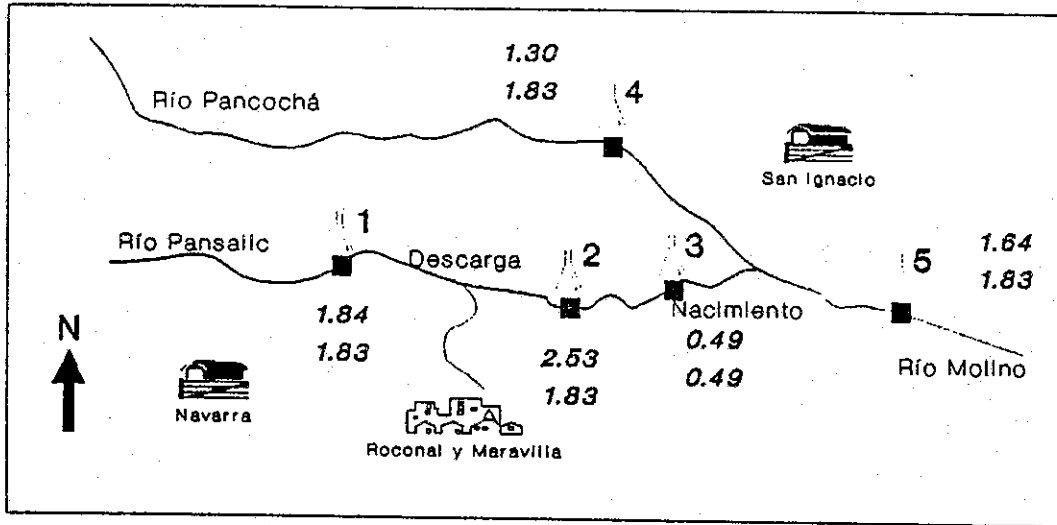
## Calcio (mg/L)

### Variaciones en el tiempo



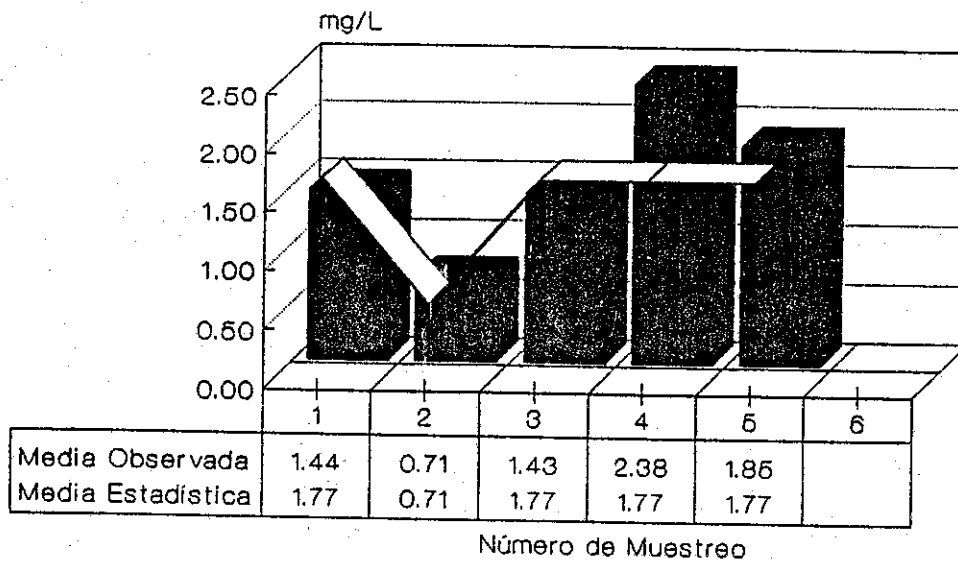
## Hierro (mg/L) Variaciones por Estación de Muestreo

(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo    
  Urbanización    
  Finca

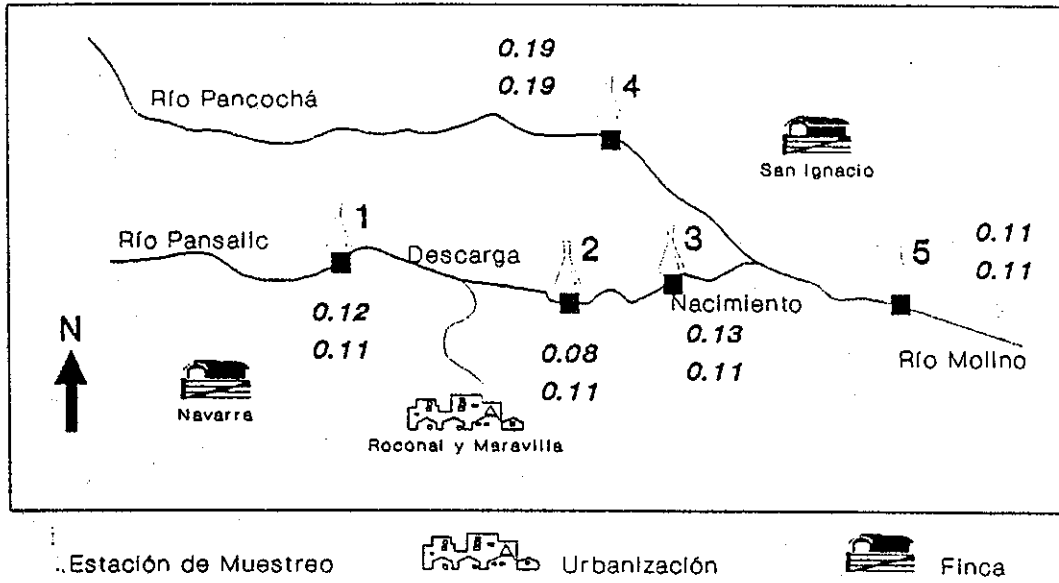
## Hierro (mg/L) Variaciones en el tiempo



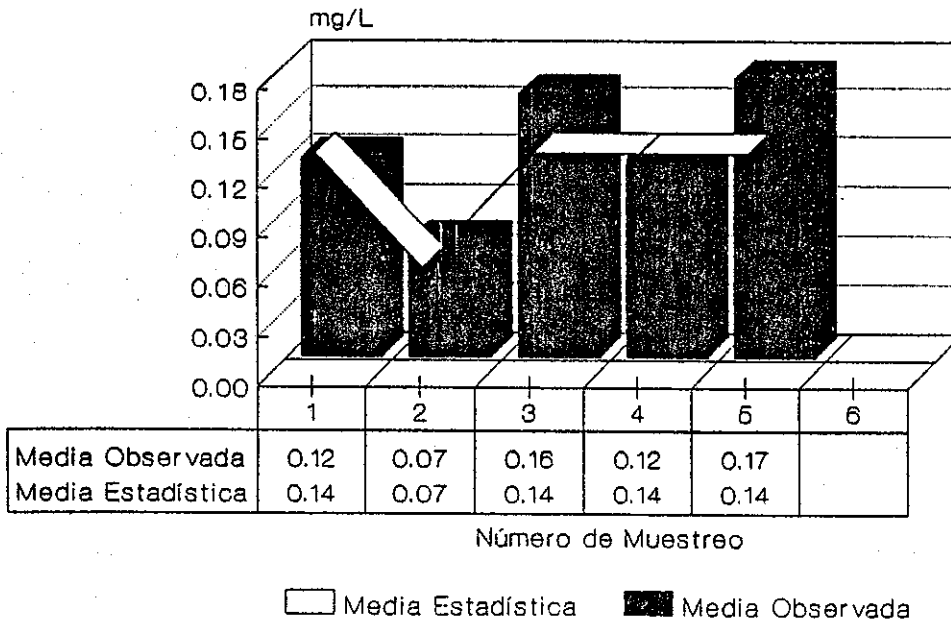
Media Estadística    
  Media Observada

## Estroncio (mg/L) Variaciones por Estación de Muestreo

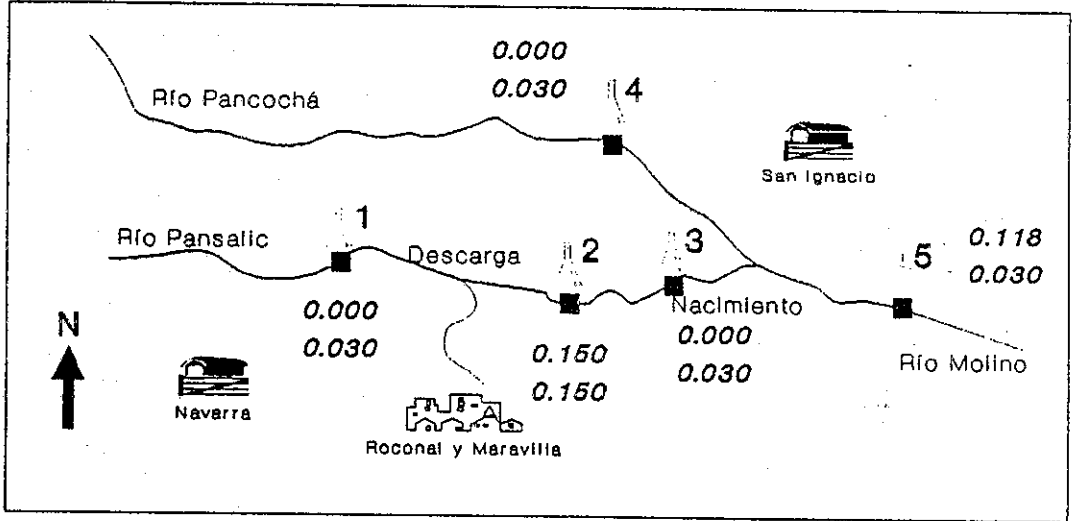
(Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



## Estroncio (mg/L) Variaciones en el tiempo

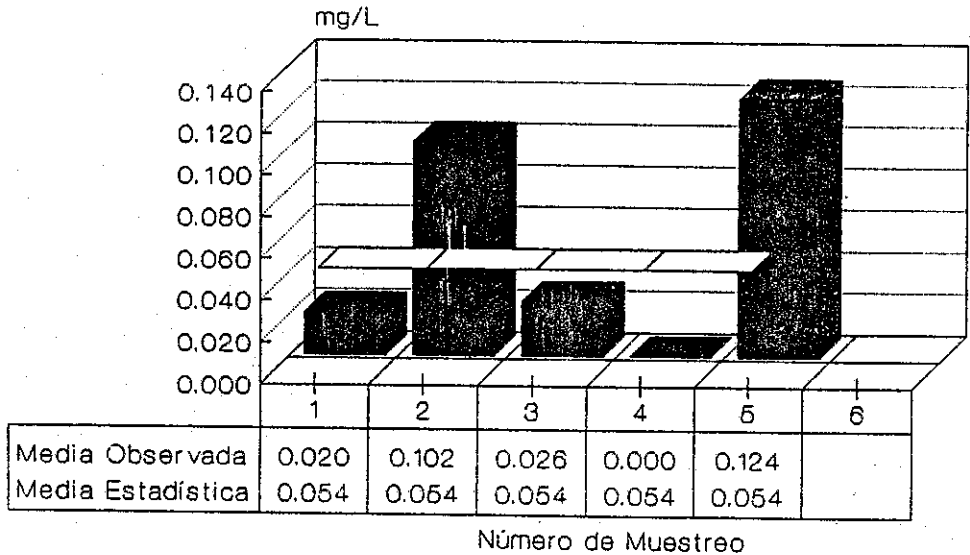


### Manganeso (mg/L) Variaciones por Estación de Muestreo (Arriba: Media Observada. Abajo: Media Estadística)



Estación de Muestreo    
 Urbanización    
 Finca

### Manganeso (mg/L) Variaciones en el tiempo



Media Estadística    
 Media Observada



**FIRMAS**



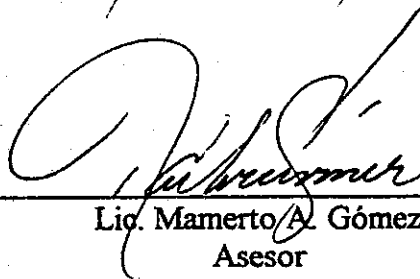
---

Diana Patricia Paródes Hurtarte de Molina



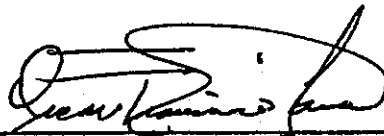
---

Lic. Sergio Molina Mejía  
Asesor



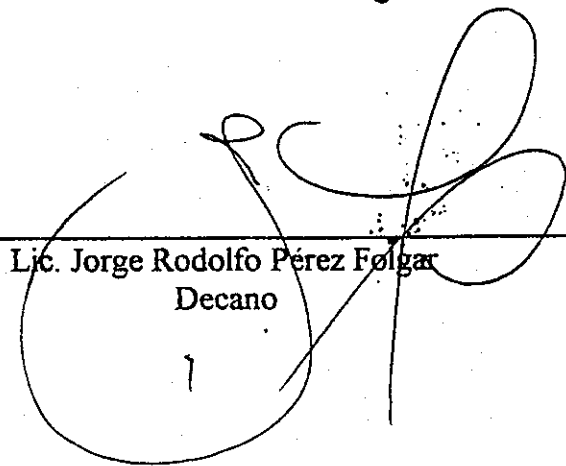
---

Lic. Mamerto A. Gómez  
Asesor



---

M.Sc. Oscar Francisco Lara López  
Director Escuela de Biología



---

Lic. Jorge Rodolfo Pérez Fólgar  
Decano