

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

Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del  
Canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos  
Múltiples, Monterrico

Informe Final de Tesis

Presentado por

Oswaldo Efraín Martínez Rojas

Para optar al título de

Químico

Guatemala, septiembre de 2006

## JUNTA DIRECTIVA

Oscar Manuel Cóbar Pinto, Ph. D.	Decano
Licda. Jannette Sandoval Madrid de Cardona, M.A.	Secretaria
Licda. Lillian Raquel Irving Antillón, M.A.	Vocal I
Licda. Liliana Vides de Urizar	Vocal II
Licda. Beatriz Eugenia Batres de Jiménez	Vocal III
Br. Ángel Damián Reyes Valenzuela	Vocal IV
Br. Ángel Jacobo Conde Pereira	Vocal V



## AGRADECIMIENTOS

A mis padres por todo su apoyo, cariño y comprensión

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

A la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

A Bessie por toda la confianza y apoyo

A todos en el departamento de Análisis Inorgánico de la Escuela de Química por toda la ayuda: Paty Ramírez, Vilma Gómez, Claudia de León, Pablo Oliva, Jhoni Álvarez, Ricardo Véliz.

A todo el personal de la estación del CECON en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, por su ayuda y colaboración.

A todo el personal docente, administrativo y de servicio de la Escuela de Química.

A los de siempre: Selvin, Jason, Ratón, Mario y Jules por estar en las buenas y en las peores.

A la familia Cardona Sandoval por toda la ayuda.

En especial a Anny por estar allí siempre desde el principio hasta el fin y alrededor. Tu sabes que todo esto es por y para ti.

## Índice

	Pág.
I. Resumen	1
II. Introducción	3
III. Antecedentes	5
3.1. Caracterización fisicoquímica de la calidad del agua	5
3.2. Parámetros de calidad del agua	6
3.2.1. Parámetros de alteraciones físicas	6
3.2.1.1. Color	6
3.2.1.2. Olor	7
3.2.1.3. Temperatura	7
3.2.1.4. Materiales en suspensión	7
3.2.1.5. Conductividad	8
3.2.1.6. Sólidos disueltos totales	8
3.2.1.7. Sólidos filtrables en suspensión	8
3.2.1.8. Sólidos sedimentables	9
3.2.1.9. Sólidos totales	9
3.2.1.10. Potencial de óxido-reducción	9
3.2.2. Parámetros de alteraciones químicas del agua	9
3.2.2.1. pH	9
3.2.2.2. Oxígeno disuelto	10
3.2.2.3. Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	10
3.2.2.4. Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno DQO	10
3.2.2.5. Nitrógeno Total	11
3.2.2.6. Fósforo Total	11
3.2.2.7. Aniones: nitratos, nitritos, fosfatos y sulfatos	11

3.2.2.8. Cationes: calcio, magnesio y amonio	11
3.2.3. Investigación del recurso agua	12
3.3. El problema del agua en Guatemala	13
3.4. El Canal de Chiquimulilla	14
3.4.1. Descripción del cuerpo de agua	14
3.4.3. Regiones que abarca	14
3.4.4. Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico	15
3.4.5. Situación general y problemas identificados en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico	16
3.5. Estudios previos sobre la calidad del agua y relacionados con la conservación efectuados en el canal de Chiquimulilla	19
IV. Justificación	22
V. Objetivos	24
5.1. Objetivo General	24
5.2. Objetivos Específicos	24
VI. Hipótesis	25
VII. Materiales y Métodos	26
7.1. Universo	26
7.2. Muestra	26
7.3. Materiales	27
7.3.1. Equipo	27
7.3.2. Reactivos	27
7.3.3. Cristalería	28
7.4. Método	29
7.4.1. Diseño de la investigación	29
7.4.2. Recopilación de información previa	29
7.4.3. Muestreo	29
7.4.4. Procedimiento	31

7.4.4.1. Toma de muestra	31
7.4.4.2. Métodos en el laboratorio	32
A) Determinación de Dureza	32
B) Determinación de demanda bioquímica de De oxígeno DBO <sub>5</sub>	33
C) Determinación de la Demanda Química de Oxígeno DQO	35
D) Determinación de fósforo de orto fosfatos y fósforo total	37
E) Determinación de nitrógeno de nitritos	38
F) Determinación de nitrógeno de nitratos	39
G) Determinación de nitrógeno total	39
H) Determinación de nitrógeno de amonio	40
I) Determinación de sulfatos	40
J) Determinación de sólidos suspendidos no filtrables	42
K) Determinación de sólidos totales	44
L) Determinación de sólidos sedimentables	45
7.5. Análisis Estadístico	45
VIII. Resultados	46
IX. Discusión de Resultados	70
X. Conclusiones	100
XI. Recomendaciones	106
XII. Referencias	107
XIII. Anexos	110
12.1. Mapas	110
12.2. Gráficas de Resultados	115

## I. Resumen

Considerando que en Guatemala existe una compleja problemática del agua debida a la demanda generada por las poblaciones en crecimiento y a la presión a la que se someten las fuentes naturales, debido sobre todo a los procesos de polución por parte de las comunidades, de las industrias especialmente la agropecuaria en el país y a los procesos naturales de contaminación; es necesario contar con valores de línea base de los parámetros de la calidad del agua para aquellos cuerpos que tienen una importancia económica, social, turística, cultural o destinada a la conservación.

Es por ello, que considerando que no existen estudios sobre la calidad fisicoquímica del agua del canal de Chiquimulilla, en el área que abarca la Reserva de Usos Múltiples de Monterrico, y que los estudios efectuados sobre el agua del Canal, no están actualizados; se elaboró el siguiente trabajo de tesis con el objetivo de determinar la calidad fisicoquímica del agua en dicho lugar. La importancia de la investigación radica en el hecho de que el área en cuestión constituye una zona de manejo en la cual se busca mantener un equilibrio en la relación entre la población y los recursos naturales; por otra parte, resulta importante la investigación de aquellos factores que se utilizan como parámetros de contaminación o perturbación de las condiciones acuáticas normales. De manera que pudo documentarse la situación para que las autoridades competentes puedan gestionar las medidas adecuadas.

Para determinar la calidad fisicoquímica del agua en la Reserva, se efectuaron cuatro muestreos de los distintos parámetros distribuidos de tal manera que se ejecutaron en plena temporada seca, al final de la misma, en plena temporada lluviosa y al final de dicha temporada. Fue precisamente antes de este último muestreo que el país se vió afectado por el paso del huracán Stan, lo cual permitió evaluar los efectos que dicho fenómeno natural tuvo sobre la calidad fisicoquímica del agua del canal en la Reserva.

Entre los parámetros determinados se obtuvieron los valores de pH, potencial de oxido-reducción, temperatura, conductividad, salinidad, sólidos totales disueltos, concentración y porcentaje de oxígeno disuelto, visibilidad y profundidad, los cuales se determinaron en cada sitio de muestreo. En el laboratorio se determinaron la demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, el fósforo de ortofosfatos, el fósforo total, el nitrógeno de amonio, el nitrógeno de nitritos, el nitrógeno de nitratos, el nitrógeno total, los sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos filtrables, sólidos sedimentables, la dureza total y los sulfatos. Para estas determinaciones se utilizaron un potenciómetro, un oxímetro y un conductímetro calibrados para el trabajo de campo y se siguieron metodologías específicas estandarizadas para el trabajo de laboratorio.

En términos generales se obtuvieron los datos característicos de 15 puntos de muestreo distribuidos a lo largo y ancho del área que abarca la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, siendo estos: El Papaturre, Cuatro Caminos, Las Flores, la Entrada al Bericuate, el Dragado, Entrada a Salinas Agua Dulce, Laguna San Marcos, La Avellana, El Repecho, Límite Oeste de la Reserva, el Tortuguero, la Entrada a la Laguna Puente Grande, el Pumpo, San Pedro y el Embarcadero de Monterrico.

Los datos obtenidos reflejaron las condiciones que prevalecen en el agua del canal en el período normal de un año abarcando tanto la temporada seca como la lluviosa. De tal manera se obtuvo que a lo largo del estudio ejecutado, el agua del canal presenta condiciones de eutrofización en época seca, recuperándose en época lluviosa; y en general posee elevadas cantidades de material orgánico e inorgánico diluido y en suspensión, con tendencias a presentar estados reductores con concentraciones bajas de oxígeno disuelto. También se llegó a conclusiones sobre cada uno de los parámetros evaluados.

Debido a que antes del cuarto muestreo el área se vio afectada por el huracán Stan, se pudo concluir que el impacto del mismo en la calidad fisicoquímica del agua del canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico fue muy severo, sobre todo en los valores de potencial de oxido-reducción, en la demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, en los niveles de fósforo de ortofosfatos, de fósforo total, de nitrógeno de amonio, de nitrógeno total. Además en las cantidades de sólidos totales, sólidos suspendidos filtrables, sólidos disueltos totales y en los valores de dureza. En todos estos casos se alteraron las condiciones de tal manera que se obtuvieron valores característicos de época seca, en la cual el aumento de la concentración se debe a un proceso de reconcentración por evaporación. Sin embargo el huracán, a pesar de aumentar significativamente el nivel del agua, también aumento la deposición de material tanto orgánico como inorgánico por agua de escorrentía y por las inundaciones de las orillas, terrenos adyacentes y poblaciones.

Finalmente se concluyó que de acuerdo con los datos obtenidos, no puede hablarse de establecer los niveles de contaminación puesto que muchos de los valores obtenidos son característicos del medio acuático y están relacionados con las características propias del mismo. Sin embargo los datos obtenidos pueden considerarse como valores de línea base para futuras investigaciones, en las cuales ya se podrá establecer si efectivamente en el período de tiempo que transcurra entre este estudio y dichas investigaciones, ha ocurrido un proceso de contaminación.

## II. Introducción

El Canal de Chiquimulilla es un cuerpo de agua artificial que se extiende en una longitud de aproximadamente 120 kms entre los municipios de la Gomera, San José, Iztapa (Departamento de Escuintla), Taxisco, Guazacapán, Chiquimulilla (Departamento de Santa Rosa) y Moyuta (Departamento de Jutiapa) al sur de Guatemala. Su cauce posee una ubicación y una hidrología características que le hacen interactuar con centros urbanos, de importancia industrial y agropecuaria, turísticos y de conservación ambiental. Estas interrelaciones hacen que el cauce esté sometido a fuertes demandas de agua, a vertidos domésticos e industriales no controlados, todo lo cual hace que la problemática del agua resulte altamente compleja.

Un área significativa del Canal de Chiquimulilla en términos de conservación natural y manejo sostenible se encuentra en los alrededores de la aldea Monterrico en el Departamento de Santa Rosa. En ella se encuentra ubicada la Reserva Natural de Usos Múltiples, la cual está a cargo del Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Bajo estas circunstancias, y considerando que las actividades conservacionistas que se llevan a cabo en la región deben integrarse con las actividades económicas que se desarrollan en el lugar entre las que se encuentran la pesca, el uso del mangle, la agricultura y la prestación de servicios al turismo; y que estas últimas están relacionadas directamente con el recurso agua, es necesario una evaluación del recurso a través de una caracterización fisicoquímica.

El problema del agua en regiones tales como la del área del Canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, necesita de una gestión adecuada la cual puede darse únicamente si existe información que sirva de base para la adecuada toma de decisiones. Esta información debe corresponder a datos actualizados, accesibles, ordenados, sistematizados y debidamente interpretados.

La única forma con la cual se logrará un manejo sostenible del recurso agua en la región del canal que está comprendida en la Reserva y, se comprenderá de mejor manera el impacto de las actividades humanas sobre su cauce es a través de información homogénea y actualizada, siendo la carencia de estos elementos el principal problema para una adecuada gestión. Por lo cual en la presente investigación se realizó la determinación de la calidad fisicoquímica del agua del Canal, lo cual se logró a través de la medición de los niveles de los parámetros fisicoquímicos que se utilizan como referencia para determinar la calidad del agua de

fuentes naturales y que involucran tanto mediciones in situ, así como análisis en el laboratorio.

Las mediciones in situ realizadas fueron la determinación de pH, potencial de oxido-reducción, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, y sólidos disueltos totales. Las mediciones en el laboratorio consistieron en la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza total, fósforo total, fósforo de ortofosfatos, nitrógeno total, nitrógeno de amonio, nitrógeno de nitratos, nitrógeno de nitritos, sólidos sedimentables, disueltos, suspendidos, totales y sulfatos.

Con los datos obtenidos se pudo establecer los niveles de los indicadores de la calidad del agua del Canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, así como los parámetros que sobrepasaron los límites recomendados para aguas de fuentes naturales.

Los datos se recopilaron a través de cuatro muestreos, de tal manera que dos se desarrollaron en época seca y dos en época lluviosa en 15 puntos de muestreo, para una determinación completa del estado de la calidad fisicoquímica del agua.

### III. Antecedentes

#### 3.1. Caracterización fisicoquímica de la calidad del agua

Los cuerpos de agua poseen características físicas y una composición química que depende de la cantidad de lluvia, el área de drenaje, la erosión, solubilización e intemperización de los suelos, de la evaporación y sedimentación. Debido a los cambios climáticos existen ciclos diarios y estacionales que determinan la composición química de las aguas.

Por otra parte, los cuerpos de agua se encuentran sometidos a una tensión que se genera por su interacción con centros urbanos e industriales que afectan dicha composición fisicoquímica del agua.

La caracterización fisicoquímica consiste entonces en establecer a lo largo de un período de tiempo determinado que abarca cambios climáticos significativos, parámetros relevantes que permitan evaluar las condiciones del cuerpo de agua.

Estos parámetros han sido establecidos debido a que a través de los mismos puede determinarse el deterioro de la calidad del agua que en general se debe a (6):

- Vertidos incontrolados de aguas servidas urbanas e industriales y de las aguas urbanas de lluvia
- Prácticas agrícolas deficientes.
- Contaminación atmosférica.
- Acumulación de sustancias químicas en suelos y sedimentos.
- Exceso de bombeo de aguas subterráneas, que puede causar intrusión de agua de mar.
- Minería y otras industrias de extracción.

La presencia de contaminantes que son medidos a través de estos parámetros fisicoquímicos produce efectos adversos que en general son (6):

- Pérdida de los ecosistemas acuáticos.
- Riesgo de intoxicaciones crónicas en el hombre, asociadas a la contaminación química.
- Pérdida de la capacidad productiva en suelos irrigados, a causa de procesos de salinización.
- Pérdida de suelos por erosión.

Al considerar estos parámetros es necesario tomar en cuenta que no todos los problemas de la calidad del agua son consecuencia del impacto del hombre, muchos se producen debido a las características geoquímicas naturales, procesos naturales catastróficos eventuales, etc. Sin embargo, estas situaciones tienen un impacto menos significativo que el producido por el hombre.

Los parámetros de caracterización se orientan a los principales contaminantes para las aguas superficiales (6):

- Contaminantes orgánicos e inorgánicos procedentes de fuentes puntuales urbanas, industriales y áreas de ganadería.
- Nutrientes de origen difuso, en áreas agrícolas y urbanas.
- Contaminantes derivados de problemas de eutrofización.
- Acidificación.
- Filtraciones de vertederos de escombros (basureros).
- Filtraciones de embalses.

### **3.2. Parámetros de calidad del agua.**

La investigación de la calidad del agua está orientada a la determinación del impacto que las actividades humanas tienen sobre las propiedades de la misma. Es por eso que los parámetros que se evalúan son aquellos que indican el estado actual y las tendencias futuras que caben esperarse del cuerpo de agua.

#### **3.2.1. Parámetros de alteraciones físicas.**

A continuación se señalan las características fundamentales de los parámetros que se utilizan para determinar las alteraciones físicas de los cuerpos de agua.

##### **3.2.1.1. Color**

El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen.

Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación (1,

7 y 8). Por tanto este parámetro de forma aislada no puede ser interpretado, la forma correcta de evaluarlo es a través de la integración con los resultados de los indicadores de la calidad del agua.

#### **3.2.1.2. Olor**

Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o sustancias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones (1, 7 y 8).

#### **3.2.1.3. Temperatura**

El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. Las industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante (1, 7 y 8).

#### **3.2.1.4. Materiales en suspensión**

Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas) (1, 7 y 8). El material en suspensión puede tener un origen orgánico, debido a la descomposición parcial del material que está contenido en el cuerpo de agua o que llega al mismo por distintos procesos entre los cuales se encuentran los vertidos, la lixiviación, caída de hojas, etc. En todo caso, el material en suspensión limita la entrada de luz al cuerpo de agua con la consiguiente limitación de los procesos fotosintéticos.

### **3.2.1.5. Conductividad**

El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C (1, 7 y 8) y constituyen junto con la salinidad, indicadores de la cantidad de sales disueltas.

### **3.2.1.6. Sólidos disueltos totales**

El término sólidos hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos no filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0  $\mu\text{m}$  (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas.

El promedio de sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (Livingston, 1963). En el caso de los lagos, los valores de sólidos disueltos presentan una gran variación.

De acuerdo con Rawson (1951) y Hooper (1951) las concentraciones de sólidos disueltos totales guardan una correlación positiva con la productividad. Al mismo tiempo los sólidos disueltos afectan la penetración de luz en la columna de agua y la absorción selectiva de las diferentes longitudes de onda que integran el espectro visible (1, 7 y 8).

### **3.2.1.7. Sólidos filtrables en suspensión**

Son sólidos inorgánicos y orgánicos. Pueden ser arenas, grasa, aceite, alquitrán y trozos de restos de animales y vegetales. Sedimentan tarde o temprano. Pueden ser biodegradables lenta o rápidamente. Determinan la turbidez, reducen la penetración de la luz y afectan a la actividad fotosintética de las plantas. Conducen al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaeróbicas (1, 7 y 8).

### **3.2.1.8. Sólidos sedimentables**

Son los sólidos que están en suspensión pero que tienen una mayor velocidad de sedimentación debido a su mayor densidad (1, 7 y 8).

### **3.2.1.9. Sólidos totales**

Índice de toda la materia sólida presente en una muestra de agua (1, 7 y 8). En este indicador de la calidad del agua, se encuentran integrados todos los tipos de sólidos anteriormente descritos.

### **3.2.1.10. Potencial de óxido-reducción**

Es el cambio en el estado de oxidación de especies químicas. El agua natural tiene un potencial redox de alrededor de +500mV, condiciones en que la mayoría de nutrientes y metales son termodinámicamente estables porque se encuentran en estado oxidado (1, 7 y 8). Este parámetro puede interpretarse como la tendencia de las distintas sustancias químicas presentes en el cuerpo de agua a reaccionar hacia formas más oxidadas o reducidas.

## **3.2.2. Parámetros de alteraciones químicas del agua**

A continuación se señalan las características fundamentales de los parámetros que se utilizan para determinar las alteraciones físicas de los cuerpos de agua.

### **3.2.2.1. pH**

Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el  $\text{CO}_2$  disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el  $\text{CO}_2$  formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.

Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc. (1, 7 y 8).

#### **3.2.2.2. Oxígeno disuelto**

Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida (1, 7 y 8).

#### **3.2.2.3. Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La DBO<sub>5</sub> es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días después de incubarlo a 20 grados Celcius. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas y su interpretación con la cantidad de oxígeno disuelto permite establecer si el cuerpo de agua es capaz de mantener normalmente este estado de degradación o si se está evolucionando a condiciones reductivas con la consiguiente degradación de la calidad del agua (1, 7 y 8).

#### **3.2.2.4. Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en el laboratorio en un tiempo relativamente corto y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto; y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales (1, 7 y 8).

### **3.2.2.5. Nitrógeno total**

Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales en los cuerpos de agua. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kiejdahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado (1, 7 y 8).

### **3.2.2.6. Fósforo total**

El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida en los cuerpos de agua. Su exceso provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos, que son los que se cuantifican por análisis químico (1, 7 y 8).

### **3.2.2.7. Aniones: nitratos, nitritos, fosfatos y sulfatos.**

Estos aniones son indicadores de distintos tipos de contaminación. De tal manera los nitratos indican contaminación agrícola, los nitritos indican actividad bacteriológica, los fosfatos indican la presencia de residuos de detergentes y fertilizantes y los sulfatos indican acción bacteriológica anaerobia (1, 7 y 8).

### **3.2.2.8. Cationes: calcio, magnesio y amonio**

El calcio y el magnesio están relacionados con la dureza total del agua y es a través de este indicador de la calidad de agua que se interpreta su presencia la cual puede resultar positiva o negativa según el uso que se le dé al recurso o puede resultar relativa según la composición de los suelos, los sedimentos y las distintas

interacciones que tenga el cuerpo de agua. Por otra parte, el amonio indica contaminación con fertilizantes y heces (1, 7 y 8).

### 3.2.3. Investigación del recurso agua.

El problema del agua no es sólo de relevancia local. El mismo se extiende en toda la región iberoamericana, compartiendo características debido a similares niveles económicos, de desarrollo y de condiciones medioambientales.

La problemática del agua a este nivel regional tiene un origen complejo pero común que ha sido establecido dada la necesidad de tener un punto de partida para el aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos. Esto se ha evaluado en las Jornadas Iberoamericanas para los Enfoques Integrados de la Problemática del Agua coordinadas por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo en las cuales se estableció, citando textualmente dada su importancia:

“El agua es sin duda un factor estratégico para la generación de las riquezas necesarias para el desarrollo y su importancia para la vida la convierte en factor decisivo de la calidad de vida de los pueblos. Está involucrada en todas las actividades productivas y, por otra parte, las fuentes de captación de agua son también receptoras de efluentes que en muchos países no reciben tratamiento. De esta manera, se deteriora la calidad del agua con consecuencias directas en la salud humana.

El incremento de la población en Latinoamérica, acompañado de una notoria concentración de ésta en las zonas urbana, algunas de las cuales ya figuran entre las concentraciones de población y actividades económicas más grandes a nivel mundial, y el despoblamiento de zonas rurales; reflejan el movimiento migratorio del medio rural al urbano. Este crecimiento se ha realizado normalmente sin considerar la interacción que existe entre el medio urbano y las cuencas donde se asienta.

La problemática del agua integra el conocimiento de una diversidad de sistemas que no son usualmente considerados en forma simultánea. Los recursos hídricos son parte de sistemas funcionales, como las cuencas hidrográficas, y deben tenerse en cuenta las complejas interrelaciones entre los componentes físicos y bióticos.

La vinculación entre las diferentes disciplinas relacionadas con esta compleja temática, así como la articulación entre la investigación y la gestión, son necesidades evidentes para lograr un manejo integrado y sustentable del agua” (5).

### 3.3. El problema del agua en Guatemala

Es importante considerar que en Guatemala, y en general en América Latina, existe una compleja problemática del agua debida sobre todo a la demanda generada por las poblaciones en crecimiento y a la presión a la que se someten las fuentes naturales debido a los procesos de polución por parte de las comunidades, de las industrias especialmente la agropecuaria en el país; y los procesos naturales de contaminación.

La generación de conocimientos y metodologías que permitan lograr una gestión sustentable del agua son de vital importancia (4).

En Guatemala existen centros de investigación y desarrollo que abordan distintas temáticas de la problemática del agua; por ejemplo el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH, EMPAGUA, Laboratorios de investigación tales como la ERIS (Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria), el Laboratorio de investigación de la calidad del Agua, ambos en la Universidad de San Carlos. Sin embargo, se comparte con Iberoamérica en general, el problema de la fragmentación entre éstos y los organismos de planificación y gestión.

Sin embargo, el trabajo de investigación realizado es fundamental debido a que la única forma de establecer planes verdaderamente integrales para la gestión del agua y el manejo de los recursos hídricos es a través de datos parciales y totales sobre acuíferos y cursos hídricos (4).

La existencia de esta información y su adecuada interpretación permitirá establecer e insertar en el ámbito regional planes que se orienten a resolver los principales aspectos que generan la problemática del agua: limitada capacidad para administrar las aguas, estructuras orgánicas fragmentarias y procesos de planificación, gestión y conservación inadecuados de las aguas (4).

Uno de los problemas fundamentales que existen en Guatemala, es la ausencia de una legislación adecuada que se refiera a la problemática del agua, en cuanto a niveles de contaminación, vertidos domésticos e industriales y conservación. Esto hace que en general exista incoherencia en cuanto a las normas, las técnicas, los parámetros de caracterización; incidiendo negativamente en la planificación que tenga que ver con los recursos hídricos.

La investigación en cuanto a cuerpos de agua en Guatemala se ha orientado a la concentración de datos y salvo importantes excepciones, la información no llega a ser interpretada. Y tal como se estableció en las II Jornadas Iberoamericanas para los Enfoques Integrados de la Problemática del Agua, realizado en Cartagena de Indias,

Colombia en 2003 y de la cual Guatemala fue participante: “es necesario identificar la información, el tipo de formato de los datos y la precisión aceptable, para responder a las necesidades de la planificación a largo plazo de los recursos hídricos” (4).

### **3.4. El Canal de Chiquimulilla**

#### **3.4.1. Descripción del cuerpo de agua**

El canal de Chiquimulilla fue construido entre los años 1886 y 1895 con el objetivo principal de facilitar el transporte de los productos de la zona. Posteriormente el canal fue tomando importancia comercial, al establecerse la industria pesquera, la creación de la infraestructura necesaria para el establecimiento de otros tipos de industrias en sus márgenes. Por otra parte, tomó importancia como centro turístico. En el transcurso de los años el canal ha llegado a brindar un refugio seguro a las embarcaciones de la zona y a la población en general que se asienta a sus alrededores. Sin embargo, a pesar de la importancia comercial y turística del canal alcanzada a través de los años, no se le ha dado el mantenimiento debido, como dragado, limpieza, etc.; además, la falta de programas de saneamiento que incluyan una disposición adecuada de los desechos sólidos y líquidos.

#### **3.4.2. Regiones que abarca**

El Canal de Chiquimulilla se extiende en una longitud de aproximadamente 120 kilómetros entre los municipios de la Gomera, San José, Iztapa (Departamento de Escuintla), Taxisco, Guazacapán, Chiquimulilla (Departamento de Santa Rosa) (Ver Anexos 10.1.1., 10.1.2 y 10.1.3. ) y Moyuta (Departamento de Jutiapa). Se origina en el estero Sipacate al suroeste de Sipacate, extendiéndose casi paralelo y a distancia variable del litoral, hasta el caserío de Barra el Jiote al sur de la Aldea El Paraíso. Actualmente la mayor parte de su curso es navegable con embarcación de poco calado.

Lagunas y pantanos llenan los valles bajos entre la planicie y la primera loma; brechas, zanjones y ríos interconectan las lomas y los valles, y las bocabarras costeras conectan las lagunas con el mar. Las bocabarras no son estacionarias ni en ubicación, ni en dirección. Las existentes son:

del río Acomé  
del río Achiguate  
del Zanjón Chilate  
del Río María Linda  
del Jiote

A excepción de la del Zanjón Chilate, todas son naturales, aunque de una u otra manera han sido alteradas por el hombre. El Río Achiguate es el único que descarga directamente al mar.

### 3.4.3. Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico

La Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM) es un área protegida de gran importancia para Guatemala y para toda la región Centroamericana, por ser un humedal de amplia riqueza por la diversidad de especies animales y vegetales. (Ver Anexos 10.1.3 y 10.1.4)

Dentro de la RNUMM habitan las comunidades de Agua Dulce, La Avellana, La Curvina, El Pumpo y Monterrico; dicha Reserva fue declarada legalmente el 16 de diciembre de 1977 según Acuerdo Gubernativo.

La Reserva tiene una extensión de 2,800 hectáreas (28 Km<sup>2</sup>) y está ubicada al sudeste de la República sobre la franja costera del Pacífico entre los municipios de Taxisco y Chiquimulilla del departamento de Santa Rosa.

La RNUMM es una de las 99 áreas protegidas con que cuenta el país según el decreto 4-89 de la Ley de Áreas Protegidas; estas áreas representan el 27% del territorio de Guatemala y están bajo la responsabilidad del Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP-. La Reserva es administrada por el Centro de Estudios Conservacionistas de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala desde el año de 1979.

La Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico se caracteriza por ser un humedal, el cual consiste en extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua. En términos generales el humedal puede ser tanto de régimen natural o artificial (siendo en este caso artificial), permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.

Es entonces un humedal, de gran importancia ya que desempeña una función vital en cuanto a la distribución abundante de agua (cerca del 65% de su superficie total) el cual, se presenta en dos formas naturales: el ecosistema estuarino

denominado Canal de Chiquimulilla y el ecosistema costero-marino. Estos dos ecosistemas permiten la conservación, reproducción y sobrevivencia de distintas especies tanto animales como vegetales, algunas de las cuales se encuentran en peligro de extinción.

Debido a que las poblaciones aledañas interactúan con la reserva en el sentido de que sus recursos son parte de su economía, estas juegan un papel importante en las actividades que se orienten a la conservación. Estas poblaciones son las ya mencionadas, así como El Cebollito y las Quechas. Entre estas actividades económicas se encuentran la pesca, el uso del mangle, la agricultura y la prestación de servicios al turismo (2).

#### **3.4.4. Situación general y problemas identificados en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico**

La Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, está localizada en la Zona de Vida Bosque Seco Subtropical. Esta zona de vida abarca una faja angosta de 3 a 5 kilómetros de ancho en el Litoral del Pacífico, que va desde la frontera con México hasta las cercanías de Las Lisas, en el Canal de Chiquimulilla. Se caracteriza por la presencia de bosques de manglar y bosques secos.

En la RNUMM se reportan dos estaciones: la época seca que se presenta de noviembre a abril y la lluviosa que se inicia en mayo y finaliza en octubre. El promedio anual de lluvias llega a los 1,500 milímetros, con una temperatura promedio de más de 30°C.

La Reserva está ubicada entre los 0 a los 8 metros sobre el nivel del mar. La forma del terreno puede considerarse como regular, ya que su pendiente es en su mayoría plana y no sobrepasa del 5%.

Aproximadamente el 65% del área total está cubierto por la parte marítima (costero-marina) y por los cuerpos de agua que forman parte del ecosistema estuarino denominado Canal de Chiquimulilla con sus ramales y lagunas naturales que cambian su salinidad dependiendo de la acción de las mareas.

Los suelos de la Reserva están localizados dentro de las series de suelos siguientes:

Arena de Playa de Mar. Que consiste en una faja angosta de aproximadamente 300 metros de ancho de arena suelta de color oscuro. Esto suelos no son aptos para la agricultura, pero sí para la recreación.

Suelos de los Valles no diferenciados. Estos se producen de todos los materiales transportados y depositados por el agua. Su coloración varía desde negro a gris oscuro.

En la Reserva se encuentran por lo menos 5 formaciones vegetales: los manglares, el bosque seco, los tulares, los bosques en galería y la vegetación acuática. Las más abundantes son los manglares donde predomina el mangle rojo o colorado y el mangle blanco, así como los tulares.

La Vida Silvestre de la Reserva está representada por un sin número de especies. En el caso de los invertebrados (crustáceos y moluscos) los más comunes son el camarón (camarón de río y camarón blanco), jaibas, conchas, caracoles y cangrejos. Estudios preliminares de peces reportan por lo menos 26 especies, siendo los más comunes el bagre, cuatrojos, aleta, mojarra, guapote, pululo y otros.

Entre los reptiles destacan una pequeña población del caimán, iguana verde, iguana negra o jiota, así como la presencia de las tres especies de tortugas marinas: parlama blanca, parlama negra y baule, que utilizan las playas de la Costa del Pacífico para hacer sus nidos.

En cuanto a las aves, están representadas por más de 110 especies, tanto residentes como migratorias y con ello constituyen la fauna dominante, más atractiva y diversa de la Reserva. Dentro de las más representativas pueden mencionarse: golondrinas, carpinteros, garzas, pijijes, pelícanos, pijuy, zambullidores, gavilán, aguilillas, chorlitos, pericos, patoaguja, mosquerito, fragata, etc.

Los mamíferos, que en algún tiempo fueron abundantes, hoy en cambio se encuentran bastante amenazados, por lo que solamente son comunes el tacuacín, tacuacín blanco y mapaches.

En cuanto a los aspectos socioeconómicos que predominan en la Reserva es importante considerar que está habitada por cinco comunidades: Agua Dulce, La Avellana, La Curvina, El Pumpo y Monterrico. Se estima que hay alrededor de 7,500 habitantes, siendo la aldea Monterrico donde se concentra la mayor población.

Estas comunidades se han formado por migraciones donde predomina la raza mestiza, quienes desarrollan sus actividades alrededor del núcleo familiar compuesto por un promedio de 6 miembros.

Las principales actividades económicas (productivas y extractivas) de la población de la Reserva son:

Agricultura (maíz, ajonjolí, pashte, sandía, chile)

Aprovechamiento de frutales como el coco, jocote, jocote marañón, limón, mango sorgo, soya, tamarindo, yuca.

Extracción de mangle

Cacería de especies silvestres

Pesca

Transporte y comercio

Procesamiento de sal sin yodo

Prestación de servicios turísticos a los visitantes nacionales y extranjeros (comedores, hoteles, lanchas, taxis) que manifiesta una estrecha relación con el aprovechamiento de los recursos del área.

En cuanto al recurso agua es importante señalar que ninguna de las cinco comunidades dentro de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico cuenta con un sistema de distribución de agua potable entubada y clorada. El agua proviene de pozos artesanales de donde se extrae el agua con cubetas o con bombas de extracción eléctricas y manuales.

De igual forma, todas las poblaciones carecen de un sistema de aguas servidas y éstas son vertidas simplemente al patio, y en alguna forma (directa o indirecta) llegan a los cuerpos de agua utilizados para su subsistencia. Ello aumenta el riesgo de enfermedades (especialmente paludismo, dengue y parasitarias) en los pobladores.

En las comunidades de La Curvina y La Avellana hay algunas casas con letrinas, mientras que en Agua Dulce no hay. El Pumpe y Monterrico sí cuentan con letrinas, aunque la mayoría de ellas están en malas condiciones o mal ubicadas en cuanto a que no se encuentran a una distancia prudente de los lugares de habitación.

La mayoría de las casas de recreo, las cuales son habitadas temporalmente cuentan con fosas sépticas. Idealmente todas las viviendas deberían contar con fosas de filtración.

No existen sanitarios públicos disponibles y ellos es preocupante si se piensa en la afluencia de turismo al área. Por otro lado, no se cuenta con basureros públicos ni mucho menos un sistema de recolección de las basuras por lo que proliferan los basureros por todos lados.

En cuanto a los problemas derivados de la interacción entre la población y los recursos naturales es relevante la degradación de la parte alta de las cuencas y alteración del régimen hídrico que provoca erosión y consecuentemente cambios drásticos en el nivel y calidad de las aguas; causando inundaciones, secamientos y deposición de sedimentos.

Por otra parte existe un serio problema de contaminación debido a la falta de educación. Aparte de que no existe un sistema de recolección y tratamiento de basura. El uso de agroquímicos provoca la contaminación de las aguas. No existe un sistema de letrización por lo que los desechos llegan directa e indirectamente a los cuerpos de agua. Todo esto redundando en la propagación de enfermedades (2).

### **3.5. Estudios previos sobre la calidad del agua y relacionados con la conservación efectuados en el canal de Chiquimulilla**

El Canal de Chiquimulilla ha sido estudiado de una forma multidisciplinaria y cada investigación dentro de su campo, ha proveído información importante que puede utilizarse para la comprensión, análisis e interpretación de la información que se pretende obtener.

Los primeros estudios se efectuaron en el período de 1973 a 1976 por el Insivumeh (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología), y la sección de Investigación de Calidad de Agua del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas. Este estudio se proyectó hasta el 2002, sin embargo los resultados iniciales fueron los únicos que se publicaron. El estudio se tituló: Calidad del agua en la cuenca del río María Linda y características fisicoquímicas del agua de mar. El estudio ha sido de carácter exploratorio y se ha limitado a acumular información de los siguientes parámetros: Temperatura, conductividad, turbidez, color, magnesio, calcio, dureza de calcio, dureza total, carbonatos, bicarbonatos, alcalinidad total, cloruros, fosfatos, nitritos, nitratos, sulfatos, oxígeno disuelto, dióxido de carbono, pH, concentraciones de cromo, cobre, sodio y potasio.

La información se obtuvo de sólo dos estaciones de muestreo ubicadas en los extremos del río conocidas como Las Morenas y Las Guacamayas, con muestreos en verano e invierno. No se han contrastado los datos con ningún límite máximo permisible ni se han interpretado los resultados. Los datos de la estación Las Morenas, son relevantes puesto que la estación se ubica en la desembocadura del río María Linda en el Canal de Chiquimulilla.

En 1988, la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó una investigación denominada: "Control de la calidad del agua del Canal de Chiquimulilla como un cuerpo receptor y señalamiento de las principales fuentes de contaminación". La investigación estuvo a cargo de Ing. Carlos Armando Mora Arias e Ing. Vicente González Ch. Según el estudio no es posible dictaminar cual es la fuente de emisión responsable en mayor o menor grado de las características físicas, químicas y

bacteriológicas que presenta el agua del canal de Chiquimulilla. El estudio permite evaluar en una forma general cuales son los principales parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua del canal y señalar, desde este punto de vista, las causas potenciales responsables de la calidad de este cuerpo de agua.

Se establecieron las especificaciones prevalecientes de la calidad del agua del canal, aunque no el grado de deterioro o contaminación del mismo, puesto que no existe una evaluación técnica previa a este estudio con el propósito de tener una comparación.

El análisis de los resultados, muestra las características físicas, químicas y bacteriológicas predominantes en las dos épocas del año, así como de la influencia que tienen el agua del mar como el de lluvia sobre las condiciones prevalecientes en el agua del canal, y que permiten concluir que se presentan condiciones semejantes a las de un estuario, debido a la gran influencia del agua de mar en la época seca, que incrementan las concentraciones de sustancias, principalmente las sales, tales como los sulfatos, cloruros y otras; por el contrario el agua de lluvia tiene mayor influencia sobre las características presentes con lo que aumenta su poder de dilución, induciendo con esto a la disminución de la concentración de las sales, así como de otras sustancias presentes.

También en 1988, el Ing. Oswaldo Juárez desarrolló el Proyecto Canal de Chiquimulilla, a través del Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras públicas.

En este estudio se evaluó el color, turbidez, pH, temperatura, sólidos totales, sólidos en suspensión, conductividad eléctrica, dureza total, carbonatos, bicarbonatos, dureza carbón, dureza no carbón, alcalinidad total, calcio, hierro, fluoruros, nitritos, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto, DBO. Todos estos parámetros en 4 puntos de muestreo, ubicados entre Puerto de San José y Puerto Quetzal.

Entre las principales conclusiones se llegó a que el oxígeno disuelto, se ve afectado por los bajos niveles del agua y por las descargas de contaminantes domésticos, desechos sólidos y otros, siendo las descargas del agua de lavado de los tanques de la melaza de los ingenios azucareros, los que mayor efecto tiene en la disminución del contenido o concentración del oxígeno disuelto.

El nivel alto del agua en el Canal es producido por la influencia de las mareas, y esto aumenta los niveles de concentración de los cloruros y de los sulfatos, entre otros. Además contribuye al aumento del contenido de oxígeno disuelto.

En base a los resultados obtenidos en los análisis y exámenes del agua del Canal de Chiquimulilla, se considera que tienen mucha influencia contaminante en el agua del Canal, ya que no ha cambiado la forma en que se hacen las deposiciones del

agua de origen doméstico, el agua procedente del lavado de los depósitos de almacenamiento de melaza y combustible, los desechos de las procesadoras de pescado y los desperdicios sólidos producidos en las comunidades.

Estos estudios referidos exclusivamente a la calidad del agua tienen un predecesor común. Este estudio evaluaba en 1979 la importancia nacional del uso y manejo racional para la conservación del mangle (*Rhizophora mangle*) en el Litoral del Pacífico). Este estudio realizado por el ingeniero agrónomo Jose Victor Morales Calderón, constituye la primera referencia en la cual se basan los estudios subsiguientes ya mencionados.

En dicha investigación se concluyó que el manejo silvicultural del mangle va íntimamente ligado al manejo del bosque de mangle, por tanto deben incluirse también las técnicas para manejar adecuadamente el ecosistema completo, esto implica elaborar el estudio ecológico-forestal, basado en los componentes del medio ambiente entre el cual esta el agua.

En 2000, Morales de la Cruz efectuó el “Estudio de algunos factores que determinan la población y distribución del mangle en el área comprendida entre Puerto Viejo (Iztapa, Escuintla) y Zunzo (Taxisco, Santa Rosa)”. En esta investigación se realizó un estudio hidrológico y edáfico, se muestrearon cuerpos de agua con influencia directa sobre el manglar. El análisis de las muestras abarcó salinidad de cuerpos de agua y agua intersticial. De lo cual se concluyó que existe un gradiente de variación horizontal de la salinidad hacia adentro del canal de Chiquimulilla, lo que determina en gran medida, el intercambio de sales con el manglar. La salinidad la determinaron midiendo la conductividad.

#### IV. Justificación

Considerando que no existen estudios sobre la calidad fisicoquímica del agua del canal de Chiquimulilla, área de importancia que abarca la Reserva de Usos Múltiples de Monterrico, que los estudios efectuados sobre el agua del Canal, no están actualizados y debido a que el área constituye una zona de manejo en la cual se busca mantener un equilibrio entre la interacción población – recursos naturales; resulta de suma importancia la investigación de aquellos factores que pueden ser utilizados como índices de contaminación acuática, de manera que pueda documentarse la situación actual y señalar aquellas posibles fuentes de contaminación para que las autoridades competentes puedan gestionar las medidas adecuadas.

La documentación resulta necesaria, puesto que es evidente que en Guatemala, en general, se está produciendo un proceso de degradación de las cuencas con la consecuente alteración del régimen hídrico. Además de un proceso continuo de contaminación debido a la falta de un tratamiento adecuado de desechos sólidos, al uso de agroquímicos, a un sistema de letrinas deficiente y a la continua expansión de la frontera agrícola.

Por otra parte, la Reserva constituye un ecosistema característico que se conoce como humedal y que constituye el medio en el cual se desenvuelve una gran diversidad de flora y fauna, por lo que el continuo monitoreo de posibles fuentes de contaminación resulta esencial y a través de este proceso de investigación se pretende iniciar con la caracterización de dicho cuerpo de agua con lo cual se proporcionará información para futuras investigaciones.

Por su ubicación e hidrología particular, el Canal está sometido a fuertes demandas de agua, así como a vertidos directos no controlados de origen industrial, además de la actividad agropecuaria que se desarrolla en sus orillas. La ubicación de distintas poblaciones e industrias a lo largo del mismo, hace que la problemática del agua sea de un alto nivel de complejidad.

En esta situación particular, la importancia de la información, de los datos que se generen, es fundamental; debido a que el problema que generalmente se tiene para las propuestas para el manejo sostenible del agua y para una adecuada gestión de la misma, es la falta de datos base o su heterogeneidad. Es por eso que se consideran para esta investigación el análisis de parámetros fundamentales utilizados como referentes para aguas de origen natural. Por tanto el estudio realizado llenó los

vacíos existentes en cuanto a información, evaluó parámetros adecuados y suficientes para una completa caracterización, brindó información actualizada, ordenada e interpretada de acuerdo a la situación actual del Canal en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

## **V. Objetivos**

### **5.1. Objetivo General**

Determinar la calidad fisicoquímica del agua del Canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

### **5.2. Objetivos Específicos**

Determinar los niveles de pH, potencial de oxido-reducción, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, salinidad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza total, sulfatos, fósforo de ortofosfatos y total, nitrógeno de amonio, nitritos, nitratos y total; sólidos sedimentables, en suspensión filtrables, totales disueltos y totales; los cuales son parámetros fisicoquímicos que se utilizan como referencia para determinar la calidad del agua de fuentes naturales.

Establecer los niveles de contaminación a lo largo del Canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

Establecer los parámetros de la calidad del agua que sobrepasan los límites recomendados para aguas de fuentes naturales e interpretar los datos obtenidos en función de la información que se puede establecer a partir de dichos indicadores.

## **VI. Hipótesis**

Dada la naturaleza de la investigación, estudio descriptivo de parámetros múltiples, no se plantea hipótesis.

## VII. Materiales y métodos

### 7.1. Universo

El agua del Canal de Chiquimulilla, en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

### 7.2. Muestra

Cuatro litros de agua, colectada en cada uno de los quince puntos de muestreo establecidos en el Canal de Chiquimulilla en los 28 Km<sup>2</sup> que constituye la Reserva, para un total de 60 litros de agua por muestreo. Dos muestreos realizados en época seca y dos muestreos realizados en época lluviosa.

Los puntos establecidos fueron los siguientes:

<b><i>Punto de Muestreo</i></b>	<b><i>Latitud</i></b>	<b><i>Longitud</i></b>
<i>El Papaturro</i>	13° 54.260´	90° 25.995´
<i>Cuatro Caminos</i>	13° 53.994´	90° 26.191´
<i>Las Flores</i>	13° 53.395´	90° 26.000´
<i>Entrada al Bericuate</i>	13° 53.786´	90° 26.633´
<i>El Dragado</i>	13° 53.857´	90° 26.851´
<i>Entrada a Salinas Agua Dulce</i>	13° 53.987´	90° 27.082´
<i>Laguna San Marcos</i>	13° 54.161´	90° 27.200´
<i>La Avellana</i>	13° 55.035´	90° 55.035´
<i>El Repecho</i>	13° 54.380´	90° 28.219´
<i>Límite Oeste de la Reserva</i>	13° 54.506´	90° 30.021´
<i>El Tortuguero</i>	13° 54.987´	90° 29.337´
<i>Entrada a la Laguna Puente Grande</i>	13° 54.980´	90° 29.337´
<i>El Pumpo</i>	13° 53.850´	90° 29.752´
<i>San Pedro</i>	13° 54.980´	90° 29.337´
<i>Embarcadero Monterrico</i>	13° 54.339´	90° 28.587´

### 7.3. Materiales

#### 7.3.1. Equipo

Aparato de sistema de posicionamiento global GPS  
Aparato medidor de humedad y temperatura RadioShack  
Autoclave VWRbrand  
Balanza Analítica Mettler Toledo  
Bomba de vacío Sarvac  
Conductímetro WTW LF 320  
Conos Imhoff  
Desecadora  
Disco Secci  
Espectrofotómetro UV-Visible Hach DR/2010  
Estufas con agitación magnética VWRbrand  
Horno VWRbrand  
Oxímetro WTW Multiline P4  
Pipetas volumétricas automáticas  
Potenciómetro Hach Senslon1  
Termoreactor Merck TR 3010  
Vortex Thermolyne Maxi Max II

#### 7.3.2. Reactivos

Ácido ascórbico (grado analítico)  
Ácido clorhídrico concentrado  
Ácido sulfúrico concentrado  
Agua destilada  
Almidón  
Carbonato de calcio (grado analítico)  
Cloruro de amonio (grado analítico)  
Cloruro de bario (grado reactivo)  
Cloruro de sodio (grado analítico)  
Dicromato de potasio (grado analítico)  
Etilendiamintetraacetato de sodio (grado analítico)  
Fenol (grado analítico)

Ferroína (grado analítico)  
Fosfato diácido de potasio (grado analítico)  
Fosfato monoácido de potasio (grado analítico)  
Fosfato monoácido de sodio (grado analítico)  
Glicerol (grado analítico)  
Heptamolibdato de amonio (grado analítico)  
Hidróxido de sodio (grado analítico)  
Hipoclorito de sodio (comercial)  
Isopropanol  
Negro de ericromo T (grado analítico)  
Nitra Ver 5  
Nitri Ver 3  
Persulfato de potasio (grado analítico)  
Pirofosfato de sodio decahidratado (grado analítico)  
Sulfanilamida (grado analítico)  
Sulfato de sodio (grado analítico)  
Sulfato ferroso amónico (grado analítico)  
Sulfato de magnesio heptahidratado (grado analítico)  
Tartrato de antimonilpotasio (grado analítico)  
Tiosulfato de sodio (grado analítico)  
Yoduro de sodio (grado analítico)

### **7.3.3. Cristalería**

Agitador de vidrio  
Agitador magnético  
Balón aforado de 25, 50, 100 y 250 ml  
Beakers de 50, 100, 250, 500 ml y 1 L  
Botellas de vidrio de 250 ml  
Botellas plásticas de polietileno de 1 L  
Bureta de 50 ml  
Bulbos para pipeta  
Cápsulas de porcelana  
Equipo para reflujo  
Filtros de fibra de vidrio y filtros de plástico  
Goteros

Gradillas  
Matraces Erlenmeyer de 250 ml  
Pinza para bureta  
Pinza para cápsula de porcelana  
Pipetas volumétricas de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 50 y 100 ml  
Pipetas Pasteur  
Pizetas  
Probetas de 10, 50, 250 ml  
Puntas de pipeta volumétrica  
Termómetro  
Tubos con tapón de rosca de 50 ml.  
Tubos de ensayo de 25 y 50 ml

#### **7.4. Método**

##### **7.4.1. Diseño de la investigación**

Investigación descriptiva de 19 parámetros de la calidad fisicoquímica del agua, con mediciones efectuadas en época seca y lluviosa; realizando 2 muestreos en cada una de las épocas. En cada muestreo se muestrearon 15 puntos.

##### **7.4.2. Recopilación de información previa**

Se recopiló información obtenida de estudios exploratorios previos. Básicamente la información de los estudios efectuados por el INSIVUMEH como referencia para la selección de la metodología según los límites de detección y el intervalo de cuantificación para la determinación de parámetros específicos.

##### **7.4.3. Muestreo**

Las muestras fueron tomadas en el Canal de Chiquimulilla en el área que abarca la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico. El número de muestras está de acuerdo a la recomendación de la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) del Gobierno de los Estados Unidos de América según la cual, un estudio de parámetros cuantificables en concentración con una desviación estándar global de 0.5 mg/L, un

nivel de incertidumbre de +/- 0.23 mg/L y un nivel de confianza del 95% debe recolectarse 15 muestras según la expresión:

$$N \geq (ts/U)^2$$

donde:

N = número de muestras,

t = prueba t de Student para un nivel de confiabilidad dado,

s = desviación estándar global, y

U = nivel aceptable de incertidumbre.

El cálculo del número de muestras se puede consultar en la Figura 1060:1, página 1-23, *Standard Methods*, 1995 (1).

La selección de los puntos de muestreo se efectuó según una visita de reconocimiento y se escogieron de acuerdo a sus características hidrográficas y geográficas, por la proximidad de fuentes puntuales de contaminación como industrias, comunidades, afluentes.

Se efectuaron 4 muestreos, 2 en época seca y 2 en época lluviosa. En cada punto de muestreo se tomaron 4 litros de agua, según la recomendación de la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) del gobierno de los Estados Unidos de América deben tomarse como mínimo 2 litros y la cantidad debe aumentarse según los análisis a efectuar, en este caso el análisis de sólidos hizo justificable este aumento.

La recomendación de la cantidad de muestra se puede consultar en las páginas 1-18 a 1-23, *Standard Methods*, 1995 (1).

Los análisis in situ realizados fueron los siguientes: pH, temperatura, potencial de oxido-reducción, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales disueltos y salinidad.

Los análisis en el laboratorio se realizaron con las siguientes precauciones:

<b>Determinación</b>	<b>Preservación</b>	<b>Almacenamiento máximo recomendado o tiempo dentro del cual debe efectuarse el análisis</b>
DBO	Refrigerar	48 h
DQO	Analizar lo más pronto posible, o	28 d

	agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar	
Dureza	Agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses
Fosfato y fósforo total	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h
Metales, general	Filtrar, agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses
Nitrógeno:		
Amoniaco	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar	28 d
Nitrato	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato + nitrito	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2, refrigerar	28 d
Nitrito	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h
Total	Refrigerar; agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	28 d
Sólidos	Refrigerar	2-7 d
Sulfato	Refrigerar	28 d

Fuente: 1

g) Los resultados obtenidos se compararon con la norma recomendada por la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) del gobierno de los Estados Unidos de América (9) para aguas de fuentes naturales y de esta manera se pudieron establecer los puntos que presentaron mayor contaminación y en conjunto, la calidad fisicoquímica del agua del Canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico. De cualquier manera, dadas las condiciones propias del canal en la reserva, y los fines para los cuales para los que se utiliza, los resultados se interpretaron de manera que se obtuvo una línea base de la situación de la calidad fisicoquímica del agua.

#### 7.4.4. Procedimiento

##### 7.4.4.1. Toma de muestra

Las muestras de agua se recolectaron siguiendo el siguiente procedimiento:

- Cada botella se lavó en el laboratorio utilizando detergente no iónico libre de fosfatos, ácido clorhídrico al 3% y agua destilada para eliminar todo tipo de contaminante, se dejó secar y permaneció cerrada hasta el momento del muestreo.
- Cada botella se acondicionó previamente con tres lavados con el agua del punto de muestreo, se procuró no alterar los sedimentos en cada lavado.
- Se llenó la botella sumergiendo contra corriente, sin dejar burbujas de aire, exceptuando una botella que se acidifica con 1 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- Se tapó cada botella con su respectivo tapón de seguridad y su tapón de rosca.
- Se almacenó cada botella a 4 grados Celcius y se transporta para su análisis en el laboratorio.

#### **Mediciones que se efectúan utilizando un electrodo o elemento asociado a un electrodo in situ.**

- Enjuague el electrodo y las partes que lo rodean con agua destilada utilizando una pizeta.
- Sumerja el electrodo en el agua. Asegúrese de que todo el electrodo está hundido, pero no lo haga más allá de lo estrictamente necesario. Usualmente se recomienda sumergirlo treinta (30) centímetros de profundidad.
- Deje que el valor de la pantalla se estabilice.
- Una vez que la cifra se haya estabilizado, lea el valor obtenido y regístrelo en la Hoja de Datos.
- Enjuague el electrodo con agua destilada, tápelo y apague el instrumento.

#### **7.4.4.2. Métodos en el laboratorio**

##### **A) Determinación de Dureza**

- Colocar 5 ml de la muestra de agua en un matraz erlenmeyer de 250 ml
- Agregar 5 gotas de buffer PH 10
- Añadir 3 gotas de negro de ericromo T
- Titular con EDTA (sal disódica) 0.01 N
- Observe el viraje del indicador de color púrpura a azul

*Cálculos*

$$\text{meq/l Ca}^{+2} \text{ y Mg}^{+2} = \frac{V \times N \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

Dónde :

V = ml gastados de EDTA

N = Normalidad del EDTA

*Precisión*

Este método tiene un error relativo de 1.9% y una desviación estándar relativa de 9.2 %, tal como se determinó en un estudio interlaboratorios.

**B) Determinación de demanda bioquímica de oxígeno DBO<sub>5</sub>**

Preparación del agua de dilución. Colocar la cantidad de agua necesaria en una botella y agregar por cada litro, 1 mL de cada una de las siguientes soluciones: tampón fosfato, MgSO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, y FeCl<sub>3</sub>.

Llevar el agua de dilución a una temperatura de 20°C antes de su uso; saturarla con oxígeno disuelto (OD) por agitación en una botella parcialmente llena, por burbujeo de aire filtrado libre de materia orgánica, o guardarla en botellas lo suficientemente grandes con tapón de algodón, para permitir su saturación. Emplear material de vidrio bien limpio para proteger la calidad del agua.

Pretratamiento de la muestra.

Muestras con alcalinidad cáustica o acidez.

Neutralizar las muestras a pH entre 6,5 y 7,5 con una solución de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) o hidróxido de sodio (NaOH) de concentración tal que la cantidad de reactivo no diluya la muestra en más de 0,5%. La menor dilución de muestra no debe afectar el pH dado por el agua de dilución inoculada.

Muestras sobresaturadas con oxígeno disuelto (OD).

En muestras procedentes de aguas muy frías o de aguas en que la producción primaria es alta, los valores de OD a 20 grados Celcius suelen ser mayores de 9 mg de OD/L. Para prevenir pérdidas de oxígeno durante la incubación, llevar la temperatura de la muestra a 20 grados Celcius en una botella parcialmente llena, mientras se sacude fuertemente o se burbujea aire comprimido filtrado y limpio.

Ajuste de temperatura de la muestra.

Llevar las muestras a 20 +/- 1 grados Celcius antes de hacer las diluciones.

Técnica de dilución.

Los resultados más acertados se obtienen con diluciones de muestra en las que los valores de OD residual son por lo menos 1 mg/L y un consumo de OD de por lo menos 2 mg/L después de los 5 días de incubación. La experiencia con muestras de diferente origen permiten optimizar el número de diluciones requeridas; la correlación de la DQO con la DBO puede constituir una guía efectiva para la selección de las diluciones más convenientes. Si no se dispone de esta metodología, se pueden emplear las diluciones de 0,0 a 1,0 % para efluentes líquidos industriales, 1 a 5 % para efluentes industriales no tratados y decantados, 5 a 25 % para efluentes con tratamiento secundario o biológico, y 25 a 100 % para corrientes contaminadas.

Diluciones preparadas directamente en botellas DBO.

Con una pipeta de boca ancha agregar el volumen de muestra deseado a diferentes botellas para DBO de volumen conocido. Agregar, a cada botella o al agua de dilución, las cantidades apropiadas de semilla; llenar las botellas con suficiente agua de dilución, inoculada si es necesario, de tal manera que al insertar el tapón se desplace todo el aire, sin dejar burbujas. Para diluciones mayores de 1:100 hacer una dilución preliminar en una probeta antes de hacer la dilución final. Si se emplea el método de electrodo de

membrana para la medición de OD, preparar solamente una botella de DBO por cada dilución; determinar el OD inicial en esta botella y reemplazar cualquier contenido desplazado con agua de dilución para llenar la botella. Tapar herméticamente, con sello de agua, e incubar por 5 días a 20 grados Celsius. Enjuagar el electrodo de OD entre cada una de las determinaciones para prevenir la contaminación cruzada de las muestras.

Determinación del OD inicial.

Si la muestra contiene sustancias que reaccionan fácilmente con el OD, es necesario determinar el OD antes de llenar la botella de DBO con la muestra diluida. Si el consumo de OD inicial es insignificante, el período entre la preparación de la dilución y la medida del OD inicial no es crítico. Emplear el oxímetro para determinar el OD inicial en todas las muestras diluidas.

Incubación.

Incubar a 20 +/- 1 grados Celsius las botellas que contienen las diluciones.

Determinación del OD final.

Determinar el OD en las muestras diluidas después de 5 días de incubación utilizando un oxímetro.

*Cálculos*

$DBO_5 = (O_2 \text{ disuelto inicial} - O_2 \text{ disuelto final}) / \text{factor de dilución}$

### **C) Determinación de la Demanda Química de Oxígeno**

Tratamiento de muestras con DQO > 50 mg O<sub>2</sub>/L: Colocar 50,0 mL de muestra en un balón de reflujo de 500-mL (para muestras con DQO > 900 mg O<sub>2</sub>/L, usar una porción más pequeña de muestra y diluirla a 50,0 mL); agregar 1 g de HgSO<sub>4</sub>, en presencia de

perlas de vidrio para controlar la ebullición, y muy lentamente agregar 5,0 mL del reactivo de ácido sulfúrico, mientras se agita para disolver el  $\text{HgSO}_4$ . Enfriar y agitar para evitar la posible pérdida de materiales volátiles; agregar 25 mL de solución de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,0417 M y mezclar. Acoplar el balón al condensador y abrir el flujo de agua refrigerante; agregar el remanente del reactivo de ácido sulfúrico (70 mL) a través del extremo superior del condensador. Continuar la agitación mientras se agrega el reactivo de ácido sulfúrico. PRECAUCIÓN: *Agitar muy bien la mezcla de reflujo antes de suministrar calor para prevenir el sobrecalentamiento en el fondo del balón y la formación de espuma.*

Cubrir el extremo superior del condensador con un vaso pequeño para prevenir la entrada de materiales extraños a la mezcla y dejar en reflujo durante 2 h. Enfriar y enjuagar el condensador desde la parte superior con agua destilada; desconectar el condensador y diluir la muestra al doble de su volumen con agua destilada. Enfriar hasta temperatura ambiente y valorar el exceso de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  con sulfato ferroso amónico en presencia de 0,10 a 0,15 mL (2 o 3 gotas) de indicador de ferroina; aunque la cantidad de ferroina no es crítica, usar el mismo volumen para todas las titulaciones. Tomar como punto final de la titulación el primer cambio nítido de color azul-verdoso a café-rojizo; el color azul-verdoso puede reaparecer. El cambio de color no es tan marcado como en la titulación del blanco de reactivos debido a la mayor concentración de ácido en la muestra. De la misma manera, someter a reflujo y titular un blanco que contenga los reactivos y un volumen de agua destilada igual al volumen de muestra.

Procedimiento alternativo para muestras con DQO-bajo: Seguir el procedimiento anterior, con dos excepciones: (i) usar  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  estándar 0,00417 M, y (ii) titular con FAS 0,025 M. Tener cuidado extremo, ya que cualquier traza de materia orgánica en la ceistalería o deposiciones desde la atmósfera pueden causar errores. Si se requiere un mayor aumento de la sensibilidad, es necesario concentrar un mayor volumen de muestra antes de la digestión por reflujo, de la siguiente manera: Agregar todos los reactivos a la muestra y reducir el volumen total a 150 mL mediante ebullición en el balón de reflujo abierto a la atmósfera (sin acoplar el condensador). Calcular la cantidad de  $\text{HgSO}_4$  a ser adicionada (antes de la concentración por ebullición), basada en una relación de peso  $\text{HgSO}_4:\text{Cl}^-$  de 10:1, según la cantidad de  $\text{Cl}^-$  presente en el volumen de muestra original. Hacer un blanco de reactivos mediante el mismo procedimiento. Esta técnica tiene la ventaja de concentrar la muestra sin pérdidas significativas de materiales volátiles fácilmente digestibles; los materiales volátiles difíciles de digerir, tales como ácidos volátiles, se pierden pero se consigue una mejoría frente a métodos de concentración por evaporación ordinarios.

Determinación de la solución estándar. Evaluar la técnica y la calidad de reactivos

realizando la prueba con una solución estándar de ftalato ácido de potasio.

### *Cálculos*

DQO como mg de O<sub>2</sub>/lt = (A-B) x M x 8000/mL de Muestra

donde:

A = mL FAS usados para el blanco

B = mL FAS usados para la muestra, y

M = molaridad del FAS

## **D) Determinación de fósforo de orto fosfatos y fósforo total**

### **Determinación de fósforo de orto fosfatos**

- Pesar 0.0221 g de fosfato diácido de potasio p.a. de 99.5 % de pureza y aforar a 100 ml. (50.047 ug P/ml). Diluir 1:10 y luego 2-10:100.
  
- Preparar los siguientes reactivos:
  - A) 14.0 ml de ácido sulfúrico concentrado aforados con agua a 100 ml.
  - B) 0.0274 g de tartrato de antimonil-potasio en 10 ml de agua destilada.
  - C) 1.00 g de heptamolibdato de amonio en 25 ml de agua destilada.
  - D) 0.88 g de ácido ascórbico en 50 ml de agua destilada
  
- Prepare el reactivo mezclando en el siguiente orden y con agitación: 80 ml de A, 8 ml de B, 24 ml de C y 48 ml de D.
- Agregar 2.0 ml de esta mezcla a 10 ml de muestra filtrada y estándares.
- Leer a 880 nm.

### **Determinación de fósforo total**

- Pesar 0.0360 g de pirofosfato de sodio decahidratado p.a. de 100% de pureza y aforar a 100 ml (50.0150 ug P/ml). Diluir 1:10 y luego 2-10:100.
- Colocar 30 ml de muestra, patrones y blancos en tubos de ensayo con tapón de rosca de 50 ml. Agregar 0.06 g de persulfato y digerir en autoclave durante 0.5 horas a 121°C y 1 atm. de presión.
- Enfriar a temperatura ambiente.
- Repetir los pasos 2 a 5 de la determinación de fósforo de orto fosfatos.

### **E) Determinación de nitrógeno de nitritos**

Método de diazotización para concentraciones de 0 a 0.300 mg/L. utilizando sobres de Nitri Ver 3, reactivo en polvo para nitritos.

- En el espectrofotómetro se ingresa el programa almacenado para nitrógeno de nitrito en bajo rango. El número del programa es 371 y se coloca la longitud de onda a 507 nm.
- Luego se introduce el blanco en la celda de 10 ml en el compartimiento de celda. Se cierra el compartimiento y se efectúa la lectura del blanco.
- A continuación se llena la celda con 10 ml de la muestra.
- Se agrega el contenido de un sobre Nitri Ver 3 y se agita vigorosamente la celda para disolver el polvo.
- Se coloca el "timer" para que un período de reacción de 20 minutos transcurra.
- Se introduce la celda con la muestra en el compartimiento de celda. Se cierra el compartimiento y se efectúa la medición.
- Pueden obtenerse mediciones de nitrógeno de nitritos, como nitrito de sodio y como nitritos.

## **F) Determinación de nitrógeno de nitratos**

Método de reducción con cadmio utilizando Nitra Ver 5, reactivo en polvo para determinación de nitrato para concentraciones de 0 a 30.0 mg/L.

- En el espectrofotómetro se ingresa el programa almacenado para nitrógeno de nitrato para alto rango. El número del programa es 355 y se coloca la longitud de onda a 500 nm.
- Luego se introduce el blanco en la celda de 25 ml en el compartimiento de celda. Se cierra el compartimiento y se efectúa la lectura del blanco.
- A continuación se llena la celda con 25 ml de la muestra.
- Se agrega el contenido de un sobre Nitra Ver 5 y se agita vigorosamente la celda para disolver el polvo.
- Se coloca el "timer" para que un período de reacción de 5 minutos transcurra.
- Se introduce la celda con la muestra en el compartimiento de celda. Se cierra el compartimiento y se efectúa la medición.
- Pueden obtenerse mediciones de nitrógeno de nitratos y como nitratos.

## **G) Determinación de nitrógeno total**

- Pesar 0.0626 g de sulfanilamida p.a. de 99% de pureza y aforar a 100 ml. Esto es equivalente a 100.8152 ug N/ml.
- Diluir 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 ml / 100 para preparar la curva de calibración.
- Preparar los siguientes reactivos para la digestión:
- 3.00 g de persulfato de potasio

- 2.00 g de hidróxido de sodio, aforar a 100.0 ml
- En un tubo con tapón de rosca colocar 30 ml de muestra o patrones. Agregar 5.10 ml de hidróxido de sodio y 0.3756 g de persulfato. Digerir en autoclave a 15 psi durante 45 minutos
- Efectuar las lecturas por medio del análisis de nitratos.

#### **H) Determinación de nitrógeno de amonio**

- Pesar 0.0383 g de cloruro de amonio p.a. de 99.8% de pureza y aforar a 100 ml. Esta solución es 100.0880 ug N/ml. Diluya 10:100 y luego 2-10:100.
- Pesar 0.025 g de sulfato de manganeso y disolver en 50 ml de agua destilada.
- Disolver 10.0 ml de hipoclorito de sodio en 40 ml de agua y ajustar a pH 7.5.
- Disolver 12.0 g de fenol en 100 ml de agua y disolver en ella 3.0 g de hidróxido de sodio.
- Mediante agitación constante y en el menor tiempo posible añadir 10 ml de muestra filtrada 2 gotas de sulfato de manganeso, 0.5 ml de hipoclorito y 0.5 ml de fenóxido de sodio. Lea a 630 nm. Es estable por 24 horas.

#### **I) Determinación de sulfatos**

Blanco

Preparar un blanco con agua destilada y reactivos y ajustar la absorbancia a un valor de 0

## Muestra

Colocar 10 ml de la muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 50 ml.

Añadir 1 ml de la solución ácida acondicionadora.

Mezclar bien

Agregar 0.5 g de  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Agitar durante 1 minuto.

Transferir la muestra a una celda de 1 cm del espectrofotómetro y leer la absorbancia a una longitud de onda de 420 nm dentro de los 2 minutos siguientes.

## Cálculos

De la curva de calibración: Obtenga las ppm de  $\text{SO}_4^{=}$ , de acuerdo con la lectura de absorbancia de la muestra.

En caso de utilizar diluciones, se multiplica por el factor de dilución correspondiente.

$$\text{Meq./l de SO}_4 = \frac{(\text{ppm})(\text{dilución})}{\text{PE del SO}_4}$$

PE : Peso equivalente del ión sulfato = 48.0 g

## Precisión

En estudios efectuados entre laboratorios y utilizando una muestra sintética, se encontró una desviación estándar relativa de 9 % y un error relativo de 1.9 %

## J) Determinación de sólidos suspendidos y filtrables

### Determinación de sólidos suspendidos no filtrables

#### Preparación de Filtros

- Los filtros deben ser de fibra de vidrio y deben estar guardados en desecadora previo a su uso.
- Agarrar con mucho cuidado los filtros de fibra de vidrio, utilizando para ello una pinza plástica o de acero inoxidable (no con los dedos). Estos filtros son muy frágiles por lo que se pueden romper.
- Identificar cada uno de los filtros en el borde del filtro, previo a ser pesados, con la numeración adecuada para cada muestreo.
- Pesar los filtros en balanza analítica.
- Anotar el peso.
- Preparar el sistema de filtración, el cual consiste en botella de 250 ml, filtros plástico de rosca. Conectar el sistema al vacío utilizando las mangueras de corosil.

#### Filtrado de muestras

- Las muestras deben estar preservadas a 4°C. Antes de ser medidas y filtradas deben llevarse a temperatura ambiente.
- Agitar la botella que contiene la muestra por lo menos durante 3 minutos para homogenizarla bien.
- Medir 100 ml y pasarlos por el sistema de filtración.
- Sacar el filtro del sistema de filtración con mucho cuidado, utilizando para ello la pinza plástica o una pinza de acero inoxidable.

- Colocar el filtro de fibra de vidrio en dos vidrios de reloj y colocarlo en una desecadora.
- Los filtros se pueden secar a 80°C.
- Cuando los filtros estén perfectamente secos, se pesan en balanza analítica.
- Anotar el peso del filtro más la muestra.

### **Análisis de sólidos filtrables**

#### Preparación de cápsulas de porcelana

- Identificar la cápsula de porcelana a ser utilizada. Puede utilizarse marcador para identificarla.
- Llevar a peso constante la cápsula de porcelana a utilizar. Esto puede hacerse colocando la cápsula de porcelana dentro de un horno de microondas y calentando por 5 minutos. Luego de calentar la cápsula ya no puede ser tocada con las manos.
- Sacar la cápsula de porcelana del horno de microondas utilizando para ello una pinza.
- Colocar la cápsula de porcelana dentro de una desecadora para esperar que se enfríe y pueda ser pesada en balanza analítica.
- Pesar la cápsula de porcelana en balanza analítica.
- Anotar el peso.
- Verter los 100 ml de agua que fue filtrada en filtro de fibra de vidrio dentro de la cápsula de porcelana, la cápsula no puede ser tomada con la mano, ya que está tarada (pesada).
- Agarrar la cápsula de porcelana con una pinza y colocarla dentro de un horno. Llevar a 85°C y dejar por 24 horas para que el agua se evapore. Si el tiempo no ha sido suficiente se deja la cápsula dentro del horno a la misma temperatura, hasta que esté completamente seca.
- Sacar la cápsula del horno utilizando para ello una pinza (no debe ser tomada con la mano, ya que la grasa que se pueda tener en los dedos altera el peso de la cápsula) y colocarla dentro de una desecadora. Dejar enfriar, permitir que llegue a peso constante y pesar en balanza analítica.
- Anotar el peso y calcular por diferencia.

## K) Determinación de sólidos totales

### Preparación de cápsula de porcelana

- Identificar la cápsula de porcelana a ser utilizada. Puede utilizarse marcador para identificarla.
- Llevar a peso constante la cápsula de porcelana a utilizar. Esto puede hacerse colocando la cápsula de porcelana dentro de un horno de microondas y calentando por 5 minutos. Luego de calentar la cápsula ya no puede ser tocada con las manos.
- Sacar la cápsula de porcelana del horno de microondas utilizando para ello una pinza.
- Colocar la cápsula de porcelana dentro de una desecadora para esperar que se enfríe y pueda ser pesada en balanza analítica.
- Pesar la cápsula de porcelana en balanza analítica.
- Anotar el peso.

### Medición de la muestra

Las muestras de agua deben estar preservada a 4°C. Antes de ser medidas deben llevarse a temperatura ambiente.

- Agitar la botella que contiene la muestra por lo menos durante 3 minutos para homogenizarla bien.
- Medir 100 ml de la muestra de agua.
- Verter los 100 ml de agua dentro de la cápsula de porcelana, la cápsula no puede ser tomada con la mano, ya que está tarada (pesada).
- Agarrar la cápsula de porcelana con una pinza y colocarla dentro de un horno. Llevar a 85°C y dejar por 24 horas para que el agua se evapore. Si el tiempo no ha sido suficiente se deja la cápsula dentro del horno a la misma temperatura, hasta que esté completamente seca.
- Sacar la cápsula del horno utilizando para ello una pinza (no debe ser tomada con la mano, ya que la grasa que se pueda tener en los dedos altera el peso de la cápsula) y colocarla dentro de una desecadora. Dejar enfriar, permitir que llegue a peso constante y pesar en balanza analítica.

- Anotar el peso y calcular por diferencia.

#### **L ) Determinación de sólidos sedimentables**

- Colocar el cono Imhoff en su soporte respectivo.
- Agitar la botella que contiene la muestra por lo menos durante 3 minutos para homogenizarla bien.
- Verter un litro en el cono Imhoff.
- Dejar reposar.
- Transcurridos 20 minutos, raspar las paredes internas del cono con una varilla de vidrio.
- Transcurrida 1 hora, tomar la medición de los sólidos sedimentables en ml/L de muestra.

#### **7.5. Análisis Estadístico**

Debido a la naturaleza descriptiva de la investigación a realizar, se utilizó como parámetro descriptivo: el rango dentro del cual se encontraron las mediciones de cada indicador de la calidad del agua por muestreo; como medida de tendencia central se utilizará la media de cada indicador por muestreo; y como medida de desviación para cada indicador en cada muestreo la desviación estándar. Los resultados obtenidos se presentaron en tablas cada una con sus respectivos descriptores estadísticos mencionados anteriormente y se graficaron para un mejor entendimiento de los resultados.

### VIII. Resultados

#### Tabla de Resultados no. 1

#### Determinación del valor de pH

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
1	El Papaturro	6.80	7.43	5.92	7.02
2	Cuatro Caminos	7.09	6.97	6.60	7.09
3	Las Flores	7.06	7.14	6.66	7.14
4	Entrada al Bericuate	7.00	7.23	6.73	7.03
5	Dragado	7.34	7.81	6.70	7.17
6	Entrada Salinas Agua Dulce	7.75	7.41	6.76	7.18
7	Laguna San Marcos	7.44	7.32	6.76	7.26
8	La Avellana	7.34	7.19	6.55	7.26
9	El Repecho	7.56	7.56	6.65	7.20
10	Límite Oeste de la Reserva	7.98	7.93	6.69	7.26
11	El Tortuguero	7.80	7.84	6.73	7.45
12	Entrada Laguna Puente Grand	7.99	8.12	6.76	7.48
13	El Pumpo	7.96	8.11	6.80	7.35
14	San Pedro	7.73	7.70	6.68	7.31
15	Embarcadero de Monterrico	7.39	7.51	6.73	7.25

<b>Promedio</b>	<b>7.48</b>	<b>7.55</b>	<b>6.65</b>	<b>7.23</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>0.38</i>	<i>0.36</i>	<i>0.21</i>	<i>0.13</i>
<b>Máximo</b>	7.99	8.12	6.80	7.48
<b>Mínimo</b>	6.80	6.97	5.92	7.02
<b>Rango</b>	1.19	1.15	0.88	0.46

Fuente: Datos Experimentales

<b>Tabla de Resultados no. 2</b>					
<b>Determinación del valor del Potencial de Oxido-Reducción</b>					
	<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>mV</i>	<i>mV</i>	<i>mV</i>	<i>mV</i>
1	El Papaturro	-1.0	-35.0	58.0	-12.0
2	Cuatro Caminos	-13.0	-6.0	17.0	-18.0
3	Las Flores	-11.0	-16.0	13.0	-14.0
4	Entrada al Bericuate	-8.0	-21.0	10.0	-13.0
5	Dragado	-28.0	-26.0	10.0	-14.0
6	Entrada Salinas Agua Dulce	-53.0	-32.0	8.0	-18.0
7	Laguna San Marcos	-33.0	-26.0	8.0	-15.0
8	La Avellana	-28.0	-19.0	20.0	-15.0
9	El Repecho	-42.0	-42.0	14.0	-11.3
10	Límite Oeste de la Reserva	-56.0	-64.0	12.0	-14.8
11	El Tortuguero	-67.0	-58.0	10.0	-26.7
12	Entrada Laguna Puente Grande	-66.0	-76.0	9.0	-24.0
13	El Pumpo	-67.0	-75.0	6.0	-26.6
14	San Pedro	-52.0	-49.0	14.0	-18.5
15	Embarcadero de Monterrico	-31.0	-38.0	9.0	-14.7
	<b>Promedio</b>	<b>-37.1</b>	<b>-38.9</b>	<b>14.5</b>	<b>-17.0</b>
	<b>Desviación Estándar</b>	<b>22.5</b>	<b>21.6</b>	<b>12.6</b>	<b>5.0</b>
	<b>Máximo</b>	<b>-1.0</b>	<b>-6.0</b>	<b>58.0</b>	<b>-11.3</b>
	<b>Mínimo</b>	<b>-67.0</b>	<b>-76.0</b>	<b>6.0</b>	<b>-26.7</b>
	<b>Rango</b>	<b>66.0</b>	<b>70.0</b>	<b>52.0</b>	<b>15.4</b>

Fuente: Datos Experimentales

### Tabla de Resultados no. 3

#### Determinación del valor Temperatura

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>
1	El Papaturro	30.9	31.4	27.9	26.0
2	Cuatro Caminos	29.8	30.4	28.5	25.3
3	Las Flores	30.2	30.9	29.7	26.0
4	Entrada al Bericuate	29.8	31.1	29.9	25.5
5	Dragado	31.0	32.0	30.2	25.4
6	Entrada Salinas Agua Dulce	34.5	33.1	29.5	25.5
7	Laguna San Marcos	32.6	31.5	30.8	25.6
8	La Avellana	32.7	33.2	31.2	28.0
9	El Repecho	32.6	32.3	31.5	25.6
10	Límite Oeste de la Reserva	32.5	32.9	30.7	28.7
11	El Tortuguero	33.0	33.2	32.4	30.2
12	Entrada Laguna Puente Grande	33.4	34.3	32.5	25.0
13	El Pumpo	32.2	33.3	31.2	25.2
14	San Pedro	32.5	32.4	31.0	26.8
15	Embarcadero de Monterrico	32.1	32.2	29.1	26.0

<b>Promedio</b>	<b>32.0</b>	<b>32.3</b>	<b>30.4</b>	<b>26.3</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>1.4</b>	<b>1.1</b>	<b>1.3</b>	<b>1.5</b>
<b>Máximo</b>	<b>34.5</b>	<b>34.3</b>	<b>32.5</b>	<b>30.2</b>
<b>Mínimo</b>	<b>29.8</b>	<b>30.4</b>	<b>27.9</b>	<b>25.0</b>
<b>Rango</b>	<b>4.7</b>	<b>3.9</b>	<b>4.6</b>	<b>5.2</b>

Fuente: Datos Experimentales

## Tabla de Resultados no. 4

### Determinación del valor de Conductividad

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>uS/cm</i>	<i>uS/cm</i>	<i>uS/cm</i>	<i>uS/cm</i>
1	El Papaturro	31.0	0.5	361.0	160.4
2	Cuatro Caminos	32.7	90.4	1878.0	150.7
3	Las Flores	90.0	88.9	1566.0	146.7
4	Entrada al Bericute	90.6	88.7	1455.0	142.5
5	Dragado	88.9	87.3	1563.0	135.7
6	Entrada Salinas Agua Dulce	82.9	85.3	1065.0	128.0
7	Laguna San Marcos	85.7	88.1	1060.0	140.8
8	La Avellana	85.6	85.2	4.0	18.9
9	El Repecho	32.2	86.8	700.0	146.7
10	Límite Oeste de la Reserva	23.7	85.7	380.0	124.7
11	El Tortuguero	85.1	85.1	487.0	169.4
12	Entrada Laguna Puente Grande	28.9	83.6	729.0	152.3
13	El Pumpo	16.8	85.2	519.0	315.0
14	San Pedro	86.2	86.4	485.0	139.4
15	Embarcadero de Monterrico	86.2	42.2	829.0	240.0

<b>Promedio</b>	<b>63.1</b>	<b>78.0</b>	<b>872.1</b>	<b>154.1</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>30.3</b>	<b>24.4</b>	<b>542.1</b>	<b>62.3</b>
<b>Máximo</b>	<b>90.6</b>	<b>90.4</b>	<b>1878.0</b>	<b>315.0</b>
<b>Mínimo</b>	<b>16.8</b>	<b>0.5</b>	<b>4.0</b>	<b>18.9</b>
<b>Rango</b>	<b>73.8</b>	<b>89.9</b>	<b>1874.0</b>	<b>296.1</b>

Fuente: Datos Experimentales

## Tabla de Resultados no. 5

### Determinación del valor de Salinidad

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>0/00</i>	<i>0/00</i>	<i>0/00</i>	<i>0/00</i>
1	El Papaturre	0.0	0.0	0.2	0.0
2	Cuatro Caminos	20.6	0.0	0.9	0.0
3	Las Flores	0.0	0.0	0.8	0.0
4	Entrada al Bericuate	0.0	0.0	0.7	0.0
5	Dragado	0.0	0.0	0.8	0.0
6	Entrada Salinas Agua Dulce	0.0	0.0	0.5	0.0
7	Laguna San Marcos	0.0	0.0	0.5	0.0
8	La Avellana	0.0	0.0	2.1	0.0
9	El Repecho	0.0	0.0	0.4	0.0
10	Límite Oeste de la Reserva	14.8	0.0	0.2	0.0
11	El Tortuguero	0.0	0.0	0.2	0.0
12	Entrada Laguna Puente Grande	17.9	0.0	0.4	0.0
13	El Pumpo	10.0	0.0	0.2	0.0
14	San Pedro	0.0	0.0	0.2	0.0
15	Embarcadero de Monterrico	0.0	27.3	0.4	0.0

<b>Promedio</b>	<b>4.2</b>	<b>1.8</b>	<b>0.6</b>	<b>0.0</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>7.5</b>	<b>7.0</b>	<b>0.5</b>	<b>0.0</b>
<b>Máximo</b>	<b>20.6</b>	<b>27.3</b>	<b>2.1</b>	<b>0.0</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.0</b>
<b>Rango</b>	<b>20.6</b>	<b>27.3</b>	<b>1.9</b>	<b>0.0</b>

Fuente: Datos Experimentales

## Tabla de Resultados no. 6

### Determinación del valor de Sólidos Totales Disueltos in Situ

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>
1	El Papaturreo	29.0	0.0	175.7	157.0
2	Cuatro Caminos	30.0	86.0	934.0	148.0
3	Las Flores	90.0	85.0	778.0	143.0
4	Entrada al Bericute	91.0	86.0	718.0	139.0
5	Dragado	89.0	84.0	797.0	133.0
6	Entrada Salinas Agua Dulce	83.0	82.0	525.0	126.0
7	Laguna San Marcos	83.0	85.0	516.0	137.0
8	La Avellana	83.0	82.0	2.1	17.0
9	El Repecho	82.0	84.0	348.0	142.0
10	Límite Oeste de la Reserva	21.0	83.0	183.8	122.0
11	El Tortuguero	82.0	83.0	235.0	164.0
12	Entrada Laguna Puente Grande	27.0	81.0	358.0	148.0
13	El Pumpo	14.0	82.0	251.0	101.0
14	San Pedro	84.0	83.0	234.0	137.0
15	Embarcadero de Monterrico	83.0	40.0	407.0	232.0

<b>Promedio</b>	<b>64.7</b>	<b>75.1</b>	<b>430.8</b>	<b>136.4</b>
<b>Desviación Estándar</b>	30.0	23.6	272.4	43.5
<b>Máximo</b>	91.0	86.0	934.0	232.0
<b>Mínimo</b>	14.0	0.0	2.1	17.0
<b>Rango</b>	77.0	86.0	931.9	215.0

Fuente: Datos Experimentales

## Tabla de Resultados no. 7

### Determinación del valor de Oxígeno Disuelto

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>mg/L O<sub>2</sub></i>	<i>mg/L O<sub>2</sub></i>	<i>mg/L O<sub>2</sub></i>	<i>mg/L O<sub>2</sub></i>
1	El Papaturre	2.94	7.09	0.00	2.05
2	Cuatro Caminos	2.63	0.38	0.02	2.33
3	Las Flores	3.08	2.20	0.25	2.45
4	Entrada al Bericute	1.32	3.43	0.05	2.35
5	Dragado	6.10	3.80	0.92	2.60
6	Entrada Salinas Agua Dulce	7.86	5.22	0.36	2.50
7	Laguna San Marcos	3.64	3.55	1.09	2.30
8	La Avellana	1.84	0.00	2.21	2.40
9	El Repecho	6.39	7.69	2.38	2.90
10	Límite Oeste de la Reserva	5.75	10.52	2.29	3.30
11	El Tortuguero	6.12	8.13	3.20	8.30
12	Entrada Laguna Puente Grande	6.62	11.51	3.22	2.80
13	El Pumpo	5.48	7.09	1.83	1.70
14	San Pedro	6.81	7.60	2.77	4.80
15	Embarcadero de Monterrico	0.00	3.89	1.37	2.80

<b>Promedio</b>	<b>4.44</b>	<b>5.47</b>	<b>1.46</b>	<b>3.04</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>2.37</b>	<b>3.42</b>	<b>1.18</b>	<b>1.61</b>
<b>Máximo</b>	<b>7.86</b>	<b>11.51</b>	<b>3.22</b>	<b>8.30</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1.70</b>
<b>Rango</b>	<b>7.86</b>	<b>11.51</b>	<b>3.22</b>	<b>6.60</b>

Fuente: Datos Experimentales

## Tabla de Resultados no. 8

### Determinación del valor del Porcentaje de Oxígeno Disuelto

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
1	El Papaturro	36.10	95.40	0.00	27.50
2	Cuatro Caminos	34.00	4.40	0.00	29.70
3	Las Flores	40.80	28.70	3.30	29.80
4	Entrada al Bericute	17.50	44.20	0.60	29.70
5	Dragado	78.60	50.40	11.60	30.00
6	Entrada Salinas Agua Dulce	103.80	69.00	4.30	29.90
7	Laguna San Marcos	8.80	47.70	13.00	29.70
8	La Avellana	13.50	0.00	31.10	30.40
9	El Repecho	88.80	105.00	33.50	37.90
10	Límite Oeste de la Reserva	78.40	145.50	30.20	43.60
11	El Tortuguero	89.10	116.00	34.10	111.70
12	Entrada Laguna Puente Grande	95.30	162.90	44.20	32.00
13	El Pumpo	74.20	99.20	24.80	23.70
14	San Pedro	92.40	97.20	37.90	54.60
15	Embarcadero de Monterrico	0.00	57.70	16.10	36.30

<b>Promedio</b>	<b>56.75</b>	<b>74.89</b>	<b>18.98</b>	<b>38.43</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>36.28</b>	<b>47.93</b>	<b>15.49</b>	<b>21.63</b>
<b>Máximo</b>	<b>103.80</b>	<b>162.90</b>	<b>44.20</b>	<b>111.70</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>23.70</b>
<b>Rango</b>	<b>103.80</b>	<b>162.90</b>	<b>44.20</b>	<b>88.00</b>

Fuente: Datos Experimentales

## Tabla de Resultados no. 9

### Determinación del valor de Visibilidad

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
1	El Papaturreo	0.27	0.32	0.28	0.75
2	Cuatro Caminos	0.54	0.84	0.54	0.80
3	Las Flores	0.83	0.85	0.83	0.85
4	Entrada al Bericute	0.48	0.79	0.48	0.63
5	Dragado	0.52	0.63	0.52	0.68
6	Entrada Salinas Agua Dulce	0.16	0.48	0.16	0.50
7	Laguna San Marcos	0.29	0.65	0.30	0.65
8	La Avellana	0.16	0.46	0.16	0.49
9	El Repecho	0.24	0.78	0.24	0.62
10	Límite Oeste de la Reserva	0.37	0.57	0.37	0.56
11	El Tortuguero	0.39	0.40	0.39	0.55
12	Entrada Laguna Puente Grande	0.21	0.51	0.22	0.53
13	El Pumpo	0.22	0.23	0.22	0.73
14	San Pedro	0.37	0.46	0.37	0.49
15	Embarcadero de Monterrico	0.19	0.74	0.19	0.61

<b>Promedio</b>	<b>0.35</b>	<b>0.58</b>	<b>0.35</b>	<b>0.63</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>0.18</i>	<i>0.19</i>	<i>0.18</i>	<i>0.11</i>
<b>Máximo</b>	0.83	0.85	0.83	0.85
<b>Mínimo</b>	0.16	0.23	0.16	0.49
<b>Rango</b>	0.67	0.62	0.67	0.36

Fuente: Datos Experimentales

## Tabla de Resultados no. 10

### Determinación del valor de Profundidad

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
1	El Papaturro	0.63	0.62	1.24	1.30
2	Cuatro Caminos	1.29	1.10	2.10	1.84
3	Las Flores	1.31	1.24	3.22	2.50
4	Entrada al Bericute	0.72	0.79	1.48	1.60
5	Dragado	1.04	1.26	1.78	1.75
6	Entrada Salinas Agua Dulce	0.28	0.48	1.06	1.10
7	Laguna San Marcos	0.55	0.65	1.34	2.50
8	La Avellana	0.31	0.46	1.76	0.76
9	El Repecho	0.65	0.78	1.58	1.38
10	Límite Oeste de la Reserva	1.28	1.10	2.18	1.89
11	El Tortuguero	0.79	1.01	1.81	1.51
12	Entrada Laguna Puente Grande	0.33	0.51	1.20	1.32
13	El Pumpo	0.75	0.71	1.62	1.30
14	San Pedro	0.64	0.56	1.86	1.49
15	Embarcadero de Monterrico	0.58	0.74	1.40	1.10

<b>Promedio</b>	<b>0.74</b>	<b>0.80</b>	<b>1.71</b>	<b>1.56</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>0.35</i>	<i>0.27</i>	<i>0.53</i>	<i>0.48</i>
<b>Máximo</b>	1.31	1.26	3.22	2.50
<b>Mínimo</b>	0.28	0.46	1.06	0.76
<b>Rango</b>	1.03	0.80	2.16	1.74

Fuente: Datos Experimentales

### Tabla de Resultados no. 11

#### Determinación del valor de la Demanda Química de Oxígeno

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<b>mg O<sub>2</sub>/L</b>	<b>mg O<sub>2</sub>/L</b>	<b>mg O<sub>2</sub>/L</b>	<b>mg O<sub>2</sub>/L</b>
1	El Papaturro	20	1539	81	161
2	Cuatro Caminos	41	597	90	99
3	Las Flores	25	439	86	91
4	Entrada al Bericuate	43	616	82	93
5	Dragado	27	734	86	95
6	Entrada Salinas Agua Dulce	118	651	76	126
7	Laguna San Marcos	15	616	71	77
8	La Avellana	40	917	111	211
9	El Repecho	27	544	70	150
10	Límite Oeste de la Reserva	30	601	67	81
11	El Tortuguero	30	787	70	85
12	Entrada Laguna Puente Grande	28	623	73	88
13	El Pumpo	42	635	80	139
14	San Pedro	29	565	71	180
15	Embarcadero de Monterrico	64	705	74	241

<b>Promedio</b>	<b>39</b>	<b>705</b>	<b>79</b>	<b>128</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>25</b>	<b>256</b>	<b>11</b>	<b>51</b>
<b>Máximo</b>	<b>118</b>	<b>1539</b>	<b>111</b>	<b>241</b>
<b>Mínimo</b>	<b>15</b>	<b>439</b>	<b>67</b>	<b>77</b>
<b>Rango</b>	<b>103</b>	<b>1100</b>	<b>44</b>	<b>164</b>

Fuente: Datos Experimentales

## Tabla de Resultados no. 12

### Determinación del valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<b>mg O<sub>2</sub>/L</b>	<b>mg O<sub>2</sub>/L</b>	<b>mg O<sub>2</sub>/L</b>	<b>mg O<sub>2</sub>/L</b>
1	El Papaturreo	2.80	23.20	1.59	36.30
2	Cuatro Caminos	2.80	22.10	1.35	33.90
3	Las Flores	1.90	18.70	1.11	35.90
4	Entrada al Bericuate	4.90	21.20	1.28	35.80
5	Dragado	3.10	21.10	1.44	35.90
6	Entrada Salinas Agua Dulce	8.10	24.90	1.44	34.00
7	Laguna San Marcos	5.00	20.60	1.64	33.70
8	La Avellana	6.40	23.20	1.64	35.10
9	El Repecho	5.50	21.80	1.11	36.20
10	Límite Oeste de la Reserva	2.80	20.50	1.28	37.20
11	El Tortuguero	5.20	20.90	1.28	36.80
12	Entrada Laguna Puente Grande	5.00	21.70	1.11	36.80
13	El Pumpo	8.30	24.80	1.64	35.90
14	San Pedro	5.30	21.90	1.64	36.30
15	Embarcadero de Monterrico	7.20	23.50	1.44	37.90

<b>Promedio</b>	<b>4.95</b>	<b>22.01</b>	<b>1.40</b>	<b>35.85</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>1.99</b>	<b>1.68</b>	<b>0.20</b>	<b>1.22</b>
<b>Máximo</b>	<b>8.30</b>	<b>24.90</b>	<b>1.64</b>	<b>37.90</b>
<b>Mínimo</b>	<b>1.90</b>	<b>18.70</b>	<b>1.11</b>	<b>33.70</b>
<b>Rango</b>	<b>6.40</b>	<b>6.20</b>	<b>0.53</b>	<b>4.20</b>

Fuente: Datos Experimentales

### Tabla de Resultados no. 13

#### Determinación del valor de el Fósforo de Orto-fosfatos

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<b>mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L</b>			
1	El Papaturro	0.36	1.25	0.22	1.40
2	Cuatro Caminos	0.03	0.91	0.28	1.03
3	Las Flores	0.12	0.78	0.23	0.77
4	Entrada al Bericuate	0.05	0.64	0.24	0.66
5	Dragado	0.13	0.53	0.18	0.49
6	Entrada Salinas Agua Dulce	0.05	0.68	0.26	0.76
7	Laguna San Marcos	0.16	0.77	0.28	0.77
8	La Avellana	0.06	0.47	0.19	0.78
9	El Repecho	0.03	0.52	0.29	1.03
10	Límite Oeste de la Reserva	0.12	0.64	0.35	0.94
11	El Tortuguero	0.05	0.86	0.33	0.79
12	Entrada Laguna Puente Grande	0.13	0.50	0.32	0.43
13	El Pumpo	0.05	3.99	0.31	2.96
14	San Pedro	0.16	0.65	0.37	1.30
15	Embarcadero de Monterrico	0.16	0.69	0.25	1.18

<b>Promedio</b>	<b>0.11</b>	<b>0.93</b>	<b>0.27</b>	<b>1.02</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>0.08</i>	<i>0.87</i>	<i>0.06</i>	<i>0.60</i>
<b>Máximo</b>	0.36	3.99	0.37	2.96
<b>Mínimo</b>	0.03	0.47	0.18	0.43
<b>Rango</b>	0.33	3.52	0.19	2.53

Fuente: Datos Experimentales

### Tabla de Resultados no. 14

#### Determinación del valor de el Fósforo Total

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<b>mg P/L</b>	<b>mg P/L</b>	<b>mg P/L</b>	<b>mg P/L</b>
1	El Papaturro	1.59	3.35	1.23	2.45
2	Cuatro Caminos	0.06	1.40	0.35	1.12
3	Las Flores	0.45	1.20	0.25	0.84
4	Entrada al Bericuate	0.18	0.85	0.28	0.97
5	Dragado	0.17	0.59	0.23	0.78
6	Entrada Salinas Agua Dulce	0.08	0.74	0.38	0.94
7	Laguna San Marcos	0.23	0.80	0.35	0.85
8	La Avellana	0.85	2.45	0.97	2.34
9	El Repecho	0.60	2.04	0.86	1.65
10	Límite Oeste de la Reserva	0.19	0.80	0.56	1.04
11	El Tortuguero	0.12	0.96	0.46	0.94
12	Entrada Laguna Puente Grande	0.19	0.58	0.38	0.69
13	El Pumpo	2.80	4.05	1.34	3.36
14	San Pedro	0.19	1.50	0.65	1.78
15	Embarcadero de Monterrico	1.02	3.00	0.87	1.57

<b>Promedio</b>	<b>0.58</b>	<b>1.62</b>	<b>0.61</b>	<b>1.42</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>0.75</i>	<i>1.11</i>	<i>0.36</i>	<i>0.77</i>
<b>Máximo</b>	2.80	4.05	1.34	3.36
<b>Mínimo</b>	0.06	0.58	0.23	0.69
<b>Rango</b>	2.74	3.47	1.11	2.67

Fuente: Datos Experimentales

### Tabla de Resultados no. 15

#### Determinación del valor de el Nitrógeno de Amonio

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

No.	Punto de muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
		<i>mg de N de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> /L</i>			
1	El Papaturro	0.06	0.07	0.05	0.12
2	Cuatro Caminos	0.09	0.08	0.08	0.07
3	Las Flores	0.03	0.04	0.03	0.06
4	Entrada al Bericuate	0.05	0.05	0.07	0.05
5	Dragado	0.06	0.08	0.05	0.07
6	Entrada Salinas Agua Dulce	0.04	0.06	0.05	0.08
7	Laguna San Marcos	0.04	0.07	0.07	0.06
8	La Avellana	0.07	0.08	0.06	0.07
9	El Repecho	0.07	0.09	0.05	0.06
10	Límite Oeste de la Reserva	0.08	0.10	0.05	0.09
11	El Tortuguero	0.06	0.12	0.04	0.10
12	Entrada Laguna Puente Grande	0.08	0.10	0.05	0.08
13	El Pumpo	0.04	0.06	0.04	0.08
14	San Pedro	0.04	0.06	0.05	0.07
15	Embarcadero de Monterrico	0.04	0.05	0.07	0.07

<b>Promedio</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>0.05</b>	<b>0.08</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>0.02</i>	<i>0.02</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>
<b>Máximo</b>	0.09	0.12	0.08	0.12
<b>Mínimo</b>	0.03	0.04	0.03	0.05
<b>Rango</b>	0.06	0.08	0.05	0.07

Fuente: Datos Experimentales

### Tabla de Resultados no. 16

#### Determinación del valor de el Nitrógeno de Nitritos

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<b>mg N de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L</b>			
1	El Papaturro	0.014	0.013	0.075	0.010
2	Cuatro Caminos	0.005	0.004	0.053	0.005
3	Las Flores	0.002	0.003	0.045	0.008
4	Entrada al Bericuate	0.003	0.004	0.042	0.004
5	Dragado	0.005	0.004	0.046	0.006
6	Entrada Salinas Agua Dulce	0.007	0.004	0.043	0.005
7	Laguna San Marcos	0.007	0.003	0.035	0.008
8	La Avellana	0.021	0.035	0.058	0.010
9	El Repecho	0.009	0.004	0.034	0.006
10	Límite Oeste de la Reserva	0.007	0.006	0.041	0.004
11	El Tortuguero	0.010	0.005	0.030	0.008
12	Entrada Laguna Puente Grande	0.010	0.005	0.021	0.004
13	El Pumpo	0.019	0.019	0.040	0.002
14	San Pedro	0.009	0.005	0.054	0.004
15	Embarcadero de Monterrico	0.013	0.006	0.028	0.004

<b>Promedio</b>	<b>0.009</b>	<b>0.008</b>	<b>0.043</b>	<b>0.006</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>0.005</i>	<i>0.009</i>	<i>0.013</i>	<i>0.002</i>
<b>Máximo</b>	0.021	0.035	0.075	0.010
<b>Mínimo</b>	0.002	0.003	0.021	0.002
<b>Rango</b>	0.019	0.032	0.053	0.008

Fuente: Datos Experimentales

### Tabla de Resultados no. 17

#### Determinación del valor de el Nitrógeno de Nitratos

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>mg de N de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L</i>			
1	El Papaturro	2.8	1.2	1.9	2.2
2	Cuatro Caminos	2.1	0.3	1.5	1.8
3	Las Flores	1.8	0.3	2.3	1.2
4	Entrada al Bericuate	2.3	0.4	0.9	0.8
5	Dragado	1.9	0.5	1.0	0.9
6	Entrada Salinas Agua Dulce	2.4	0.7	0.8	0.5
7	Laguna San Marcos	1.9	0.4	1.0	1.0
8	La Avellana	3.7	3.2	1.7	1.3
9	El Repecho	2.1	0.9	0.8	0.8
10	Límite Oeste de la Reserva	1.3	0.7	1.5	1.4
11	El Tortuguero	1.6	1.1	1.2	1.1
12	Entrada Laguna Puente Grande	1.6	1.1	0.9	0.9
13	El Pumpo	3.4	2.9	1.6	1.6
14	San Pedro	1.7	0.5	1.7	1.5
15	Embarcadero de Monterrico	3.4	0.9	0.9	0.9

<b>Promedio</b>	<b>2.3</b>	<b>1.0</b>	<b>1.3</b>	<b>1.2</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>0.7</i>	<i>0.9</i>	<i>0.5</i>	<i>0.5</i>
<b>Máximo</b>	3.7	3.2	2.3	2.2
<b>Mínimo</b>	1.3	0.3	0.8	0.5
<b>Rango</b>	2.5	3.0	1.5	1.7

Fuente: Datos Experimentales

### Tabla de Resultados no. 18

#### Determinación del valor de el Nitrógeno Total

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>mg N/L</i>	<i>mg N/L</i>	<i>mg N/L</i>	<i>mg N/L</i>
1	El Papaturro	4.0	6.0	2.4	4.6
2	Cuatro Caminos	3.5	4.0	2.1	4.4
3	Las Flores	3.2	4.7	2.8	4.5
4	Entrada al Bericuete	2.8	5.8	1.7	4.8
5	Dragado	3.4	2.5	1.9	4.5
6	Entrada Salinas Agua Dulce	2.6	5.4	1.9	5.6
7	Laguna San Marcos	2.6	1.0	1.9	3.5
8	La Avellana	4.2	4.1	2.8	4.6
9	El Repecho	2.9	6.1	2.0	5.0
10	Límite Oeste de la Reserva	1.6	6.0	2.3	5.7
11	El Tortuguero	1.9	3.2	1.8	4.6
12	Entrada Laguna Puente Grande	2.6	5.8	2.0	7.0
13	El Pumpo	4.7	3.5	2.1	6.9
14	San Pedro	4.2	1.3	2.0	4.6
15	Embarcadero de Monterrico	4.0	1.6	2.1	4.8

<b>Promedio</b>	<b>3.2</b>	<b>4.1</b>	<b>2.1</b>	<b>5.0</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>0.9</i>	<i>1.8</i>	<i>0.3</i>	<i>0.9</i>
<b>Máximo</b>	4.7	6.1	2.8	7.0
<b>Mínimo</b>	1.6	1.0	1.7	3.5
<b>Rango</b>	3.1	5.1	1.1	3.5

Fuente: Datos Experimentales

<b>Tabla de Resultados no. 19</b>					
<b>Determinación del valor de los Sólidos Totales</b>					
	<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>
1	El Papaturre	22,296.0	30,656.0	173.0	28,534.0
2	Cuatro Caminos	24,703.0	28,841.0	986.0	26,345.0
3	Las Flores	25,260.0	28,005.0	944.0	27,498.0
4	Entrada al Bericuate	24,803.0	29,343.0	784.0	28,364.0
5	Dragado	23,108.0	30,302.0	585.0	27,452.0
6	Entrada Salinas Agua Dulce	25,997.0	28,579.0	585.0	26,365.0
7	Laguna San Marcos	22,947.0	28,335.0	554.0	25,321.0
8	La Avellana	21,051.0	35,003.0	2,511.0	32,654.0
9	El Repecho	22,661.0	29,206.0	380.0	24,042.0
10	Límite Oeste de la Reserva	17,015.0	31,347.0	276.0	25,312.0
11	El Tortuguero	21,718.0	30,327.0	298.0	28,652.0
12	Entrada Laguna Puente Grande	21,398.0	30,592.0	418.0	26,789.0
13	El Pumpo	11,207.0	29,187.0	311.0	26,345.0
14	San Pedro	25,430.0	28,259.0	297.0	27,354.0
15	Embarcadero de Monterrico	21,582.0	30,735.0	481.0	28,532.0
	<b>Promedio</b>	<b>22,078.4</b>	<b>29,914.5</b>	<b>638.9</b>	<b>27,303.9</b>
	<b>Desviación Estándar</b>	<b>3,769.7</b>	<b>1,755.0</b>	<b>572.1</b>	<b>2,003.1</b>
	<b>Máximo</b>	<b>25,997.0</b>	<b>35,003.0</b>	<b>2,511.0</b>	<b>32,654.0</b>
	<b>Mínimo</b>	<b>11,207.0</b>	<b>28,005.0</b>	<b>173.0</b>	<b>24,042.0</b>
	<b>Rango</b>	<b>14,790.0</b>	<b>6,998.0</b>	<b>2,338.0</b>	<b>8,612.0</b>

Fuente: Datos Experimentales

## Tabla de Resultados no. 20

### Determinación del valor de los Sólidos Suspendidos Filtrables

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>
1	El Papaturo	435.0	626.0	25.0	532.0
2	Cuatro Caminos	397.0	473.0	35.0	374.0
3	Las Flores	380.0	498.0	36.0	435.0
4	Entrada al Bericnete	376.0	472.0	22.0	424.0
5	Dragado	403.0	597.0	34.0	476.0
6	Entrada Salinas Agua Dulce	385.0	469.0	28.0	439.0
7	Laguna San Marcos	385.0	495.0	23.0	482.0
8	La Avellana	483.0	582.0	58.0	514.0
9	El Repecho	438.0	572.0	34.0	502.0
10	Límite Oeste de la Reserva	385.0	538.0	37.0	485.0
11	El Tortuguero	364.0	527.0	34.0	492.0
12	Entrada Laguna Puente Grande	354.0	439.0	31.0	376.0
13	El Pumpo	498.0	647.0	58.0	597.0
14	San Pedro	361.0	584.0	32.0	475.0
15	Embarcadero de Monterrico	319.0	502.0	50.0	469.0

<b>Promedio</b>	<b>397.5</b>	<b>534.7</b>	<b>35.8</b>	<b>471.5</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>48.0</i>	<i>63.3</i>	<i>11.2</i>	<i>57.4</i>
<b>Máximo</b>	498.0	647.0	58.0	597.0
<b>Mínimo</b>	319.0	439.0	22.0	374.0
<b>Rango</b>	179.0	208.0	36.0	223.0

Fuente: Datos Experimentales

## Tabla de Resultados no. 21

### Determinación del valor de los Sólidos Disueltos Totales

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>
1	El Papaturro	21,861.0	30,030.0	148.0	28,002.0
2	Cuatro Caminos	24,306.0	28,368.0	951.0	25,971.0
3	Las Flores	24,880.0	27,507.0	908.0	27,063.0
4	Entrada al Bericute	24,427.0	28,871.0	762.0	27,940.0
5	Dragado	22,705.0	29,705.0	551.0	26,976.0
6	Entrada Salinas Agua Dulce	25,612.0	28,110.0	557.0	25,926.0
7	Laguna San Marcos	22,562.0	27,840.0	531.0	24,839.0
8	La Avellana	20,568.0	34,441.0	2,453.0	32,140.0
9	El Repecho	22,223.0	28,634.0	346.0	23,540.0
10	Límite Oeste de la Reserva	16,630.0	30,809.0	239.0	24,827.0
11	El Tortuguero	21,354.0	29,800.0	264.0	28,160.0
12	Entrada Laguna Puente Grande	21,044.0	30,153.0	387.0	26,413.0
13	El Pumpo	10,709.0	28,540.0	253.0	25,748.0
14	San Pedro	25,069.0	27,675.0	265.0	26,879.0
15	Embarcadero de Monterrico	21,263.0	30,233.0	431.0	28,063.0

<b>Promedio</b>	<b>21680.9</b>	<b>29381.1</b>	<b>603.1</b>	<b>26832.5</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>3794.5</i>	<i>1745.0</i>	<i>567.3</i>	<i>1997.7</i>
<b>Máximo</b>	25612.0	34441.0	2453.0	32140.0
<b>Mínimo</b>	10709.0	27507.0	148.0	23540.0
<b>Rango</b>	14903.0	6934.0	2305.0	8600.0

Fuente: Datos Experimentales

## Tabla de Resultados no. 22

### Determinación del valor de los Sólidos Sedimentables Totales

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

<b>No.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>
		<i>ml/L</i>	<i>ml/L</i>	<i>ml/L</i>	<i>ml/L</i>
1	El Papaturro	menor a 0.1	0.3	menor a 0.1	menor a 0.1
2	Cuatro Caminos	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
3	Las Flores	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
4	Entrada al Bericnete	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
5	Dragado	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
6	Entrada Salinas Agua Dulce	2.5	0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
7	Laguna San Marcos	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
8	La Avellana	menor a 0.1	0.3	menor a 0.1	menor a 0.1
9	El Repecho	0.7	0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
10	Límite Oeste de la Reserva	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
11	El Tortuguero	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
12	Entrada Laguna Puente Grande	0.9	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
13	El Pumpo	0.2	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
14	San Pedro	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1
15	Embarcadero de Monterrico	0.1	menor a 0.1	menor a 0.1	menor a 0.1

Fuente: Datos Experimentales

### Tabla de Resultados no. 23

#### Determinación del valor de Dureza Total

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

No.	Punto de muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
		mg CaCO <sub>3</sub> /L			
1	El Papaturro	175.4	200.2	93.4	182.5
2	Cuatro Caminos	164.8	253.7	86.4	183.2
3	Las Flores	153.7	238.6	85.3	150.2
4	Entrada al Bericuate	185.3	235.4	92.9	204.2
5	Dragado	172.8	215.2	74.3	193.4
6	Entrada Salinas Agua Dulce	198.3	264.7	100.3	249.2
7	Laguna San Marcos	149.0	225.3	81.0	149.2
8	La Avellana	184.8	227.5	99.4	184.2
9	El Repecho	182.6	229.4	96.4	193.0
10	Límite Oeste de la Reserva	173.8	193.2	72.0	200.4
11	El Tortuguero	145.9	200.2	71.4	198.3
12	Entrada Laguna Puente Grande	137.5	218.3	68.4	235.3
13	El Pumpo	178.3	236.3	84.2	204.3
14	San Pedro	194.6	229.4	81.3	206.8
15	Embarcadero de Monterrico	184.3	220.9	89.4	167.4

<b>Promedio</b>	<b>172.1</b>	<b>225.9</b>	<b>85.1</b>	<b>193.4</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<i>18.2</i>	<i>19.4</i>	<i>10.4</i>	<i>26.9</i>
<b>Máximo</b>	198.3	264.7	100.3	249.2
<b>Mínimo</b>	137.5	193.2	68.4	149.2
<b>Rango</b>	60.8	71.5	31.9	100.0

Fuente: Datos Experimentales

### Tabla de Resultados no. 24

#### Determinación del valor de Sulfatos

<i>Fecha:</i>	05/03/2005	23/04/2005	23/07/2005	19/11/2005
---------------	------------	------------	------------	------------

No.	Punto de muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
		mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L			
1	El Papaturro	28.3	32.7	22.6	34.2
2	Cuatro Caminos	25.3	30.5	17.4	32.1
3	Las Flores	21.7	30.8	18.2	30.2
4	Entrada al Bericuate	20.3	29.5	16.4	29.4
5	Dragado	24.5	28.4	16.9	28.4
6	Entrada Salinas Agua Dulce	32.4	49.2	25.6	35.2
7	Laguna San Marcos	21.0	26.5	13.7	27.4
8	La Avellana	38.4	40.2	24.3	39.9
9	El Repecho	35.4	36.4	24.0	38.5
10	Límite Oeste de la Reserva	24.3	34.2	18.2	32.6
11	El Tortuguero	21.8	31.3	15.7	36.4
12	Entrada Laguna Puente Grande	28.4	32.4	18.4	30.5
13	El Pumpo	32.6	40.0	24.5	39.5
14	San Pedro	30.2	38.1	23.1	37.5
15	Embarcadero de Monterrico	34.8	43.0	25.6	40.0

<b>Promedio</b>	<b>28.0</b>	<b>34.9</b>	<b>20.3</b>	<b>34.1</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>5.8</b>	<b>6.2</b>	<b>4.0</b>	<b>4.4</b>
<b>Máximo</b>	<b>38.4</b>	<b>49.2</b>	<b>25.6</b>	<b>40.0</b>
<b>Mínimo</b>	<b>20.3</b>	<b>26.5</b>	<b>13.7</b>	<b>27.4</b>
<b>Rango</b>	<b>18.1</b>	<b>22.7</b>	<b>11.9</b>	<b>12.6</b>

Fuente: Datos Experimentales

## IX. Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos deben evaluarse en función de las condiciones que prevalecieron durante cada muestreo y en cada uno de los sitios en los cuales se desarrollo el mismo.

El primer muestreo se efectuó en época seca, cuando la temperatura y el porcentaje de humedad empiezan a aumentar significativamente con respecto a los valores que se registran hacia Diciembre, Enero y Febrero.

El segundo muestreo se efectuó también en época seca pero cuando las temperaturas y porcentaje de humedad alcanza los valores máximos, esto es a finales del mes de Abril. Es importante señalar el efecto que estos factores tuvieron sobre las condiciones del canal puesto que se produce una disminución significativa del nivel del agua y un proceso de reconcentración de las especies disueltas y suspendidas en el mismo.

El tercer muestreo se desarrolló hacia finales de julio, cuando ya se encontraba avanzada la temporada de lluvias y ya había ocurrido bastante precipitación con el consiguiente aumento en el nivel del agua del canal, con un efecto de dilución en el material disuelto y suspendido.

El cuarto muestreo se programó para el fin de la temporada lluviosa, y esto coincidió con el paso del huracán Stan en el territorio nacional, por lo cual continuamente se hace referencia al efecto que este fenómeno natural tuvo sobre cada uno de los parámetros determinados y cuyos resultados pueden utilizarse para evaluar los efectos que los fenómenos naturales de este tipo tienen sobre un cuerpo de agua y su estado fisicoquímico con las características estuarinas del canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

En cuanto a los puntos de muestreo y con el fin de favorecer una adecuada interpretación de los resultados se listan algunos aspectos relevantes. Puede mencionarse que en El Papaturre, en La Avellana, en El Repecho, en El Pumpo, en San Pedro y en el Embarcadero de Monterrico se encuentran ubicadas poblaciones a la orilla del canal y en todas hay un fuerte flujo de embarcaciones de poco calado que funcionan utilizando motores de gasolina. Esto no impide que la vegetación en estos puntos sea exuberante puesto que usualmente la población se encuentra en una de las orillas y el opuesto se encuentra cubierto por vegetación que era en su caso bosque de mangle, tul, carrizo o ninfa.

Los puntos ubicados en Cuatro Caminos, Las Flores, la Entrada al Bericute, el Dragado, la entrada a las Salinas Agua Dulce, la Laguna San Marcos, el Límite Oeste

de la Reserva, el Tortuguero y la Entrada a la Laguna Puente Grande son sitios ricos en vegetación, y donde no hay poblaciones en las orillas.

Los bosques de mangle abarcan los puntos de el Papaturre, Cuatro Caminos, Las Flores, la entrada al Bericuate, la Entrada a las salinas Agua Dulce, la Laguna San Marcos, la Avellana, el Repecho, San Pedro y el embarcadero de Monterrico. Los restantes puntos se caracterizan por una vegetación en la que predomina el carrizo, el tul y la ninfa.

El único punto en el cual se desarrolla una actividad ganadera y agrícola evidente es en el Límite Oeste de la Reserva.

Se ejercen a lo largo del canal en toda la reserva, la pesca, el transporte en embarcaciones propulsadas por motores de gasolina, el corte no controlado de mangle, el lavado de ropa, descarga de aguas servidas de origen doméstico, derrames de combustible y descarga de basura en el agua del canal.

En general, la región que abarca la Reserva en el Canal de Chiquimulilla, posee características estuarinas, con descargas e infiltraciones de agua de mar.

### **Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH de las aguas superficiales de los cuerpos de agua debe encontrarse en el intervalo de 6.0 a 8.5 en unidades de pH. Como puede observarse en la tabla de resultados no.1, los promedios obtenidos en los 4 muestreos se encuentran dentro de dicho intervalo. En ningún muestreo se registró un valor extremo próximo al límite superior. Sin embargo en el tercer muestreo, en el Papaturre se obtuvo un valor extremo de 5.92. Durante este muestreo la tendencia general es a una disminución en los valores con respecto a los otros muestreos. Esta tendencia a una disminución de los valores es generalizada para la mayoría de los parámetros medidos debido sobre todo a la precipitación característica de la temporada lluviosa, en medio de la cual se realizó dicho tercer muestreo.

Es importante señalar que el pH de el agua se encuentra en relación directa con el equilibrio carbónico y la actividad de los microorganismos acuáticos. La actividad fotosintética disminuye la cantidad de dióxido de carbono y la respiración de organismos heterotróficos aumentan su contenido, con lo cual poco a poco se compensa el efecto sobre el pH. La disminución en el valor de pH en este caso se debe posiblemente a la cantidad de materia orgánica disuelta en forma de ácidos orgánicos derivados de los compuestos húmicos. Estos compuestos tienen una gran variedad de estructuras que poseen una gran variedad de complejos ligandos que tienen distintos valores de pKa y esto explica las variaciones de los valores dentro de

cada uno de los muestreos en regiones que son ricas en materia orgánica en descomposición tales como Cuatro Caminos, Las Flores, la entrada al Bericúete, el Límite de la Reserva, el Tortuguero y la Laguna Puente Grande. Sin embargo estas variaciones no resultan tan marcadas como puede verse en los valores promedios medidos y en las desviaciones estándar en cada muestreo, las cuales se encuentran en las décimas de las unidades de pH, así como los rangos tan pequeños dentro de los cuales se encontraron las mediciones, los cuales oscilan entre 0.46 y 1.19 unidades de pH. Esta poca variación se debe a que los ácidos orgánicos en general tienen una alta capacidad amortiguadora para ácidos fuertes y pueden reducir las fluctuaciones de pH que pudieran provenir de ácidos fuertes de aguas servidas o provenientes de la precipitación ácida que pudiera ocurrir.

En los puntos de muestreo en los cuales la actividad antropogénica es mas marcada: El Papaturo, La Avellana, E Repecho, El Pumpo, San Pedro y el Embarcadero de Monterrico, las variaciones de pH se deben sobre todo a los posibles vertidos de aguas servidas de carácter doméstico sobre todo. Este tipo de agua se caracteriza generalmente por tener pH algunas décimas inferior a los del agua potable de procedencia. En el Papaturo, es probable que además de este tipo de vertido, lo haya de tipo industrial, debido a que en las orillas se realizan actividades de reparación de embarcaciones, despacho de combustible, y actividades relacionadas con la navegación en botes de poco calado. Por otra parte, el embarcadero de el Papaturo es un punto de partida para grupos turísticos que visitan la reserva.

Los valores mas ácidos se obtuvieron en los muestreos 3 y 4, los cuales se efectuaron en época lluviosa, posiblemente por la precipitación de ácidos fuertes como lluvia ácida y por la escorrentía que lleva hacia el agua del canal, sales y ácidos que generan equilibrios que contribuyen al aumento de los iones hidronio.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha establecido como normativa que los valores de pH deben encontrarse en un rango entre 6.5 y 9. Como puede observarse en promedio, los valores obtenidos se encuentran dentro de este rango en todos los muestreos y en particular solo el ya mencionado en el Papaturo del tercer muestreo no entra dentro del rango de la normativa.

### **Potencial de Oxido-reducción**

En términos generales, esta medición efectuada mostró la capacidad global que tiene el agua del canal de proceder por si misma a la oxidación o reducción de sustancias. En los resultados obtenidos mostrados en la tabla no. 2 puede observarse que en general en época seca, los valores del potencial son

significativamente bajos, con un promedio de valores de  $-37.1$  y  $-38.9$  mV. Como comparación, Marín (2003) reporta que aguas de fosas sépticas y otras sometidas a putrefacciones y ambientes reductores presentan valores inferiores a  $-40$  mV. Es evidente que muchos resultados obtenidos se encuentran debajo de este valor o próximo al mismo puesto que se registraron mínimos de  $-67.0$  y  $-76.0$  mV y en general el resto de los puntos de muestreo se encuentran en una zona de transición entre medio aireado y anaerobio.

Sin embargo en la tabla de resultados no.8 puede observarse que la cantidad de oxígeno no es significativamente baja puesto que en general se encuentra por arriba del 50% del posible oxígeno disuelto en un estado de saturación. Esto, que podría resultar en una posible contradicción, puede entenderse de la siguiente manera. Puede observarse en la tabla de resultados no. 10 que los valores de profundidad son relativamente pequeños, con promedios de 74 y 80 centímetros en ambos muestreos, esto implica que el sedimento se encuentra muy próximo al agua superficial. El sedimento es probable que se encuentre rico en compuestos en estado reducido, poca cantidad de oxígeno y rico en sulfuro, amoníaco y materia orgánica difícilmente solubilizable, lo cual es característico de cuerpos de agua con abundante vegetación en las orillas. El oxígeno continuamente entra al agua por un proceso de aireación superficial que facilita su disolución y lleva a cabo un proceso de oxidación continuo, pero debido al poco caudal que es característico de el canal, los procesos oxidativos no compensan los procesos reductivos y en general prevalecen estas condiciones.

En época lluviosa se observaron valores altos de potencial de oxido-reducción, puesto que la precipitación favorece la disolución de oxígeno por aireación superficial y por adición de el oxígeno que se disuelve en las finas gotas de lluvia. Además los valores de profundidad aumentan y los sedimentos se encuentran mas alejados del agua superficial, por lo cual se midieron las condiciones oxidativas de dichas aguas superficiales. Es importante observar como en la mitad de dicha estación, muestreo no.3, los valores inclusive son positivos, lo que muestra lo drástico del cambio en las condiciones que predominan en el agua del canal de la reserva. En el muestreo 4 se ve una disminución al terminar la época lluviosa pero es consecuente con el paso del huracán Stan, el cual tuvo un efecto directo sobre el agua en cuanto al aumento del nivel por escorrentía, con el consiguiente arrastre de grandes cantidades de material orgánico en descomposición hacia el agua del canal.

Es necesario considerar las limitaciones que se tienen al medir el potencial por métodos electroquímicos. Wetzel (2001) señala que la mejor manera para evaluar el potencial es en condiciones de equilibrio en las cuales los sistemas prevalecientes de

oxidación y reducción son reversibles. Sin embargo los equilibrios de oxido-reducción que se encuentran en cualquier sistema acuático no son tales, debido a la lentitud de la mayoría de reacciones que se llevan a cabo cuando no hay presencia de un catalizador bioquímico. Además hay una continua adición de energía fotosintética que distorsiona la tendencia de los sistemas a alcanzar el equilibrio. Por otra parte las mediciones electroquímicas dependen de la naturaleza y la tasa de reacciones que ocurren en la superficie del electrodo y estas son impredecibles en el trabajo de campo.

Por tanto los resultados obtenidos reflejan únicamente las condiciones que prevalecen y no pueden utilizarse para predecir las reacciones que ocurrirán debido al traslape de los potenciales de oxido-reducción de una gran cantidad de reacciones.

La Environmental Protection Agency (EPA) no tiene normado este parámetro.

## **Temperatura**

En la caracterización que se efectuó con este estudio, es importante considerar que la temperatura es un factor determinante en muchos sentidos. Se obtuvieron en general temperaturas promedio de 32 grados en época seca y de 26 a 30 grados en época lluviosa. Esto es importante porque la temperatura es el principal factor a tomar en cuenta al realizar las mediciones in situ y al tomar la muestra, puesto que puede determinar la composición de la misma en cuanto a la materia disuelta, no disuelta y su naturaleza química debido a que define las reacciones que pueden ocurrir.

En todo caso es importante señalar que en los puntos de muestreo, las condiciones de temperatura fueron bastante altas puesto que se registraron los valores antes mencionados y que pueden observarse en la tabla de resultados no. 3. Esto afecta la solubilidad de sales y gases en el agua y, en general, a todas sus propiedades, tanto químicas como al comportamiento microbiológico que redundan en la presencia o ausencia de sustancias nutrientes tales como los fosfatos y los nitratos.

Los valores de temperatura que se obtuvieron se encuentran ligadas a la irradiación recibida y en la interpretación de los resultados obtenidos no puede obviarse que las condiciones de análisis no son las mismas que las que se toman en la muestra y el proceso de refrigeración no es totalmente inocuo a la naturaleza química de las especies contenidas en la muestra.

En general no se observaron variaciones sobre las tendencias en los valores de temperatura. En este caso no existieron variaciones debido a cambios de altura, debido a que todos los puntos se encuentran a nivel del mar. Los cambios

estacionales se encuentran bien marcados al existir una variación de casi 6 grados centígrados.

La temperatura en cuerpos de agua como este, es reflejo del contenido de calor que depende del balance instantáneo entre la entrada, almacenamiento y salida de este. Wetzel (2001) recalca en el hecho de que la temperatura dependerá de las entradas de calor que incluyen radiación solar de onda corta y radiación de onda larga que tiene origen atmosférico y forestal proveniente de la condensación y la precipitación, junto con el calor que se genera en los encuentros de afluentes. Las salidas se dan por la reflexión de la radiación solar, atmosférica, forestal, y por evaporación. En el canal, si bien predominan las zonas de sombra en las orillas del afluente, el centro usualmente se encuentra expuesto directamente a la radiación.

Es importante considerar también que la temperatura del agua varía en relación con la temperatura del aire y esto se refleja en la coincidencia de los valores obtenidos con la estación en la cual se efectuó la medición.

No puede descartarse de ninguna manera el hecho de que la temperatura fluctúa diariamente, ni tampoco que la temperatura medida dependió de el momento en el cual se tomó la muestra.

La Environmental Protection Agency (EPA) tiene normado que la temperatura de los cuerpos de agua con características estuarinas debe estar en un rango de 29.4 a 32.2 °C y es un rango que es dependiente de la ubicación del cuerpo de agua. Como puede verse en época seca avanzada se tiene un promedio que es superior al límite máximo y en época lluviosa avanzada se obtiene un promedio que es inferior al límite mínimo establecido. Sin embargo estas condiciones se ven atenuadas por la ubicación tropical-ecuatorial que tiene el agua del canal en la Reserva, y mientras estas temperaturas mantengan en condiciones adecuadas al ecosistema, no podrá hablarse de condiciones fuera de lo normal.

## **Conductividad**

Los valores de conductividad obtenidos son reflejo de los electrolitos que tiene disueltos el agua del canal. La conductividad está estrechamente relacionada con el terreno que atraviesa y la posibilidad de disolución de rocas y materiales, de el tipo de sales presentes, de el tiempo de disolución, temperatura, pH y en general de todas las condiciones que en general pueden afectar la solubilidad.

Los valores obtenidos no pueden interpretarse aisladamente, puesto que como ya se mencionó están en función de otros parámetros medidos.

El primer factor a considerar es la temperatura, la cual fue relativamente alta en el momento de efectuar la medición, lo que favorece una mayor solubilización. Luego es necesario considerar que el sistema es estuarino y que sufre infiltraciones de agua de mar, ya sean descargas directas o infiltraciones producidas por el aumento de las mareas.

En sistemas tales como el del canal en el área de la Reserva, es difícil establecer la relación que usualmente se observa entre la conductividad y otros parámetros tales como los sólidos disueltos totales debido a la gran cantidad de materia orgánica suspendida presente en el agua. Es importante considerar que este factor limita la medición, en cuanto a que los compuestos orgánicos de origen húmico usualmente poseen ligandos acomplejantes, los cuales interactúan con los electrolitos y no permiten establecer la cantidad real de los mismos a través de la medición. Por tanto los valores obtenidos reflejan la cantidad de electrolitos totales disponibles, los cuales no se encuentran acomplejados.

Los valores mas altos se obtuvieron en época lluviosa con promedios de 872 y 154 uS/cm en el tercer y cuarto muestreos respectivamente. En el tercer muestreo se obtuvieron valores por arriba de los 1000 uS/cm en Cuatro Caminos, Las Flores, en la Entrada al Bericute, en el Dragado, en la entrada a las Salinas, en la Laguna San Marcos. Estos valores están estrechamente relacionados con la precipitación puesto que la misma favorece la disolución de minerales, especialmente si la naturaleza de dicha precipitación es ácida y luego la escorrentía favorece el enriquecimiento del agua. Los valores que se obtuvieron en el muestreo número 4, el cual se efectuó dos semanas después del paso del huracán Stan, son mayores que los obtenidos en época seca, sin embargo hay una disminución significativa con respecto al muestreo a mitad de época lluviosa. Esto pudiera parecer incompatible con los datos que en general se obtuvieron en las mediciones de otros parámetros, en los cuales hay un aumento significativo en la cantidad de especies químicas. Sin embargo no debe obviarse que también hay un aumento de la materia orgánica descargada en el canal y por tanto en el momento de muestreo existía gran cantidad de material húmico acomplejando los minerales que también fueron descargados.

En la temporada seca se obtuvieron valores mas bajos pero significativos puesto que los promedios de 63.1 y 78.0 uS/cm reflejan una cantidad alta de sales disueltas. En este período los valores se mantuvieron relativamente constantes puesto que en ambos muestreos se obtuvieron máximos de 90 uS/cm y mínimos de 16 y 0.5 uS/cm.

Ocasionalmente se obtuvieron valores extremos que no concuerdan con el resto de valores medidos en el muestreo, como el valor del Papaturro en el segundo

muestreo y el de la Avellana en el tercer muestreo. En todo caso es importante mencionar que las mediciones in situ están limitadas por las condiciones que rodeen a la sonda en el momento de introducirla en el cuerpo de agua.

La Environmental Protection Agency (EPA) no ha establecido ninguna normativa con respecto a este parámetro.

## **Salinidad**

La salinidad se midió debido a las características estuarinas del canal en la Reserva. Para la caracterización fisicoquímica es esencial puesto que el contenido de sal determina que tipo de organismos se encuentran en él.

Por otra parte, las infiltraciones de agua de mar producen aumentos esporádicos en los niveles de salinidad puesto que las mismas no se producen de manera regular ni continua y dependen en gran medida de los sistemas de mareas que predominen.

Los valores mas altos de salinidad se obtuvieron en época seca, valores significativos en Cuatro Caminos, en el Límite de la Reserva, en la Laguna Puente Grande y en el Pumpo durante el primer muestreo y en Monterrico en el segundo muestreo. Es interesante mencionar que en el primer muestreo los valores se obtuvieron en regiones no tan afectadas por la actividad antropogénica mientras que las causas que pudieron favorecer el aumento de salinidad en el embarcadero de Monterrico, aparte de las infiltraciones marinas, son exclusivamente debido a la actividad humana en las orillas.

Sin embargo se obtuvieron valores mas constantes durante el muestreo en época lluviosa, pero significativamente no se obtuvieron registros luego de el huracán Stan. En ambos casos el aumento de los niveles de agua podrían hacer esperar una mayor cantidad de infiltraciones y por tanto un aumento de los valores. Sin embargo en esta situación la tendencia es a desembocar hacia el mar, los volúmenes excedentes y no se produce un ingreso neto de sales. Sin embargo el agua de escorrentía que favorece la solubilización y descarga en el canal favoreció este aumento de valores de salinidad. En el caso del último muestreo, es probable que la cantidad de materia orgánica descargada, acomplejara los iones excedentes, además el exceso de precipitación aumenta el proceso de disolución y por lo tanto los valores de concentración disminuyen.

En este parámetro y dado que los valores obtenidos en muchos puntos de muestreo fueron de 0 por mil, las medidas de tendencia central y desviación pierden la relevancia que poseen al verse afectadas por valores extremos.

La Environmental Protection Agency (EPA) se ha pronunciado en cuanto a normar este parámetro pero en su relación con los sólidos disueltos totales.

### **Sólidos Disueltos Totales in situ**

La medición efectuada de este parámetro está en relación directa con la medición de conductividad. Esto debido a que se efectuó con la misma sonda y el conductímetro efectúa una aproximación de los sólidos disueltos totales a partir del valor obtenido de conductividad. La relación que usualmente se establece es de linealidad, utilizando un factor de corrección interno que varía entre 0.5 y 0.9.

Sin embargo el análisis de los resultados y al observar los resultados de las tablas no. 6 y no 21, se observa una diferencia altamente significativa. La diferencia obtenida en ambos casos refleja la cantidad de material de naturaleza orgánica presente en el agua. Como ya se mencionó reiteradas veces el efecto que tiene el material húmico es de acomplejar los electrolitos libres y afectar estas mediciones.

Sin embargo estas mediciones no se invalidan por las condiciones de muestreo, sino por el contrario, la interpretación adecuada de los mismos permite obtener conclusiones importantes.

En este caso hay una gran cantidad de ácidos húmicos disueltos, y las diferencias entre los resultados de las mediciones in situ y en el laboratorio reflejan el efecto de estas sustancias en el medio del cual se tomaron las muestras.

En todo caso los valores medidos in situ de sólidos disueltos totales siguen la misma tendencia de los valores de conductividad. En los cuales los datos mas altos se registraron en el tercer muestreo, a mediados de la temporada lluviosa. Luego hay una disminución en la concentración en el cuarto muestreo, que se efectuó posterior al paso del huracán Stan y en el cual hubo descarga de material mineral y orgánico por escorrentía y un exceso de precipitación que tuvo un efecto directo de dilución sobre las sustancias presentes y las depositadas en el cuerpo de agua.

Los valores mas bajos se obtuvieron en época seca con valores promedio de 64.7 y 75.1 mg/L. Es probable que un aumento de la temperatura, condiciones reductivas predominantes, favorezcan un aumento en el proceso de descomposición de la materia orgánica y favorezca la liberación de compuestos húmicos que acomplejan con mayor eficiencia los electrolitos libres, impidiendo su detección a través de la sonda.

Nuevamente se observa un comportamiento uniforme en los puntos de muestreo con algunos valores extremos como en el Pumpo en el primer muestreo o en

el Papaturro en el segundo muestreo que afectan los valores promedio y la desviación. Sin embargo se encuentran sujetos a las condiciones de muestreo.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha establecido como límite máximo una concentración de 250 mg/L pero con referencia al agua de consumo. En los resultados puede observarse que en invierno efectivamente se sobrepasa significativamente este valor por lo cual si los pobladores de las orillas del canal utilizan el agua para beber se exponen a los efectos de un agua altamente mineralizada. Para efectos de conservación o de caracterización de ecosistemas estuarinos, la EPA no se ha pronunciado al respecto.

### **Oxígeno Disuelto**

La relevancia que tiene el oxígeno en los cuerpos de agua es innegable, sobre todo por su estrecha relación con la capacidad de los mismos para sostener la vida de los organismos que dentro de ellos habitan ya que se relaciona directamente con el metabolismo de todos los organismos aeróbicos.

La cantidad de oxígeno que se presente en un momento determinado en el agua del canal dependerá de el resultado de la interacción de dos procesos definidos: primero está el suministro de oxígeno proveniente de la atmósfera y de los procesos fotosintéticos que en el agua se lleven a cabo con la consecuente distribución del mismo. El otro proceso que contrarresta al primero es el consumo del mismo por parte de la biota aeróbica que habita en el agua y las reacciones químicas que se llevan a cabo.

Sin embargo, al evaluar la presencia del gas es importante considerar otros factores que afectarían la solubilidad de cualquier gas tales como la temperatura, la cual como se mencionó tiende a mantenerse alta; la salinidad, que en general no es significativa fuera de época lluviosa; otros no medidos como la presión, la tensión de vapor; y de otras constantes tales como el coeficiente de solubilidad.

Un aspecto importante a tomar en cuenta ante los resultados obtenidos es que la tendencia general de las aguas superficiales es a estar bien oxigenadas, Marín (2003) señala que inclusive se presentan sobresaturadas, debido al intercambio gaseoso atmósfera-agua, esto aunado a los procesos fotosintéticos. Este último factor es importante puesto que la oxigenación es mas profusa en el día que en la noche cuando cesa la fotosíntesis pero los procesos de respiración no se detienen. La medición se efectuó en todo caso en el día. Según esto se esperaría tener valor altos de oxígeno disuelto pero en las tablas de resultados no. 7 y no.8 puede observarse que esto no ocurre así.

Sin embargo las condiciones tampoco son anóxicas puesto que se tienen promedios de 4.44 y 5.47 mg/L de oxígeno disuelto en época seca y de 1.46 y 3.04 en época lluviosa, lo cual corresponde a porcentajes de saturación de 56, 74, 19 y 38% respectivamente.

Es importante señalar que la profundidad que se midió en el canal y que puede observarse en la tabla no. 10 no permite la dinámica característica del oxígeno en cuerpos de agua de cierta profundidad, sin embargo no es un factor a descartar, puesto que los valores promedio tan pequeños permiten una más fácil interacción entre el oxígeno que se disuelve y las sustancias químicas que forman parte del sedimento y se consume con mayor facilidad, que si solo tuviera interacción con el material disuelto en el agua superficial.

En época seca se obtuvieron valores mas altos e inclusive se registraron valores de saturación sobre todo en aquellos lugares en los cuales la actividad antropogénica es menor y es en época lluviosa precisamente que se registran valores mínimos, inclusive de 0 %, en regiones muy próximas a zonas pobladas.

En época lluviosa existe la descarga directa al canal por escorrentía, con lo cual aumenta el contenido en material disuelto y suspendido que incrementa la demanda de oxígeno para procesos oxidativos. Es por esto que aunque el canal se oxigene continuamente, la demanda supera la disolución del gas y se registran los valores bajos que se midieron.

Por otra parte, en época seca, la descarga es menor y el equilibrio entre el aprovisionamiento de oxígeno y se consumo favorece la permanencia por mayor tiempo de este gas en el medio.

Es interesante notar que en lugares como la Avellana y Monterrico donde la actividad humana es significativa y el tráfico de embarcación de poco calado es alto; se registraron valores de 0% aún en temporada cuando en otros puntos de muestreo se registraron valores de saturación. Estos valores reflejan el impacto que dicha actividad esta teniendo sobre el ecosistema y directamente sobre un parámetro que es esencial para el mantenimiento de los procesos metabólicos básicos, los cuales si se interrumpen podrían desembocar en la degradación del ambiente en general.

El impacto que tuvo el paso del huracán Stan sobre este parámetro no fue tan significativo pues se produjo un aumento en la cantidad de oxígeno en el momento de muestrear, pese a las fuertes lluvias en días anteriores. Esto demuestra la capacidad del canal en cuanto a la recuperación frente a situaciones de fuerte presión externa, a través de sus procesos ecológicos-fisicoquímicos normales puesto que las descargas elevadas que se experimentaron no afectaron significativamente los elementos

esenciales tales como la cantidad de oxígeno, y esto se logró a través de la compensación en el proceso de demanda-consumo de oxígeno disuelto.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha señalado que la cantidad que rige como normativa para el oxígeno disuelto depende de las especies que se desarrollen en el cuerpo de agua. Pero en términos generales ha establecido un valor mínimo de 3.0 mg/L. Puede observarse que en época lluviosa se registraron valores promedio por debajo o muy cerca de este valor, hecho significativo puesto que aunado con las condiciones reductoras predominantes hay una fuerte tendencia a la degradación del ecosistema en el canal.

### **Visibilidad y Profundidad**

La visibilidad es un parámetro que se midió para establecer el nivel de turbidez imperante en el agua del canal. Esto debido a que el material en suspensión puede tener un efecto directo sobre el equilibrio que mantiene el medio acuático. Un exceso de este material impide la fotosíntesis, favorece la disminución de la cantidad de oxígeno disuelto y provoca un aumento en la demanda del mismo. En este sentido se favorece un medio reductor que bajo determinadas circunstancias puede terminar en la evolución de un cuerpo de agua con bajo caudal, como lo es el canal en la Reserva, a una región pantanosa.

La visibilidad en medio con una alta cantidad de nutrientes, compuestos de nitrógeno y fósforo, como se constatará mas adelante, puede utilizarse también como un indicador del proceso de eutrofización puesto que en general en cuerpos de agua altamente eutrofizados, la visibilidad está limitada por la presencia de material orgánico en suspensión.

Como se puede ver en las tablas no. 14 y no. 18 la cantidad de fósforo y nitrógeno total son altamente significativas, y esto junto a una fuerte demanda de oxígeno y la tendencia en algunos puntos de muestreo a medios reductores, permite establecer una fuerte tendencia hacia un estado eutrófico.

A partir de esto, los resultados que se presentan en la tabla no. 9 de resultados y en relación con los datos presentados en la tabla no. 10 de profundidad permiten establecer que en general en época seca se tiene poca profundidad pero elevada visibilidad, favoreciendo procesos fotosintéticos que redundan en una cantidad significativa de oxígeno disuelto a pesar que la tendencia general es hacia un medio reductor. Esto se explica en el hecho de que existe material oxidable, en estado reducido que consume constantemente el oxígeno que se produce.

En época lluviosa por el contrario, se tiene un aumento en la profundidad, de aproximadamente de medio a un metro pero con una disminución de la visibilidad. Esto se debe a un aumento del agua de escorrentía que trae consigo buena cantidad de material que pasa a estar en suspensión, entre el que se incluye arena, limo, material orgánico que pasa a estado coloidal y en caso de precipitaciones torrenciales como las ocurridas previo al cuarto muestreo, el aporte se incrementa y es significativo puesto que el terreno circundante sufre una mayor erosión. Con esto hay un aumento de volumen tanto de agua como de material en suspensión.

Esta situación junto con el estado general de eutrofización que se presenta en general en determinadas condiciones y tiempos del año, aunadas como ya se mencionó al bajo caudal que existe en la región del canal dentro de la reserva puede inducir a un estado eutrófico permanente que resulte en la degeneración del ecosistema.

La Environmental Protection Agency (EPA) no se ha pronunciado en cuanto a normar estos parámetros.

### **Demanda Química de Oxígeno**

Esta determinación da una medida de la cantidad de materia oxidable presente en la muestra de agua tanto orgánica como inorgánica. La gran cantidad de material vegetal que es depositado en el curso del canal en esta zona constituye una fuente importante de este material, sin embargo salvo en la Entrada de las Salinas de Agua Dulce en el primer muestreo en época seca y en Cuatro Caminos en el tercer muestreo, los valores mas altos se encontraron en zonas de alta actividad antropogénica, estos fueron el Papaturo, la Avellana, Monterrico en el segundo muestreo; La Avellana y el Pumpo en el tercer muestreo y el Papaturo, La Avellana, El Repecho, El Pumpo, San Pedro y Monterrico en el cuarto muestreo. Esto es altamente significativo considerando que en estos lugares hay vertidos incontrolados evidentes, hay un elevado tráfico de embarcaciones de poco calado con motor que implica un vertido significativo rico en hidrocarburos y la actividad turística tiene un impacto directo.

En cuanto a los valores mas altos se encontraron en la temporada seca, esto por la reconcentración que tienen las sustancias al disminuir el nivel del agua; luego hay una disminución en temporada lluviosa pero no llegando a valores tan bajos como los que se reportaron al inicio de temporada seca, esto probablemente debido a un aumento del nivel de agua que implica un proceso de dilución pero con aporte continuo de material depositado por el agua de escorrentía. Luego del paso del

huracán Stan hay un nuevo aumento en la cantidad de material oxidable a pesar de que se esperaría un proceso de dilución por la precipitación torrencial. Sin embargo en este caso la contribución del material que se depositó en el canal por el aumento del nivel que inundó los alrededores, tuvo como efecto un aumento neto en la cantidad de material oxidable.

En términos generales se registraron valores elevados de demanda química de oxígeno sobre todo por la interacción que tiene el agua del canal con la vegetación de la orilla y sobre todo con los bosques de mangle y los tulares que constituyen ecosistemas característicos en los cuales el agua es receptora final de la biomasa que se genera en los mismos.

Es interesante observar que la cantidad de oxígeno disuelto corresponde en cierta medida con la demanda química de oxígeno, y en promedios en los muestreos donde hubo una fuerte demanda en promedio hay mayor cantidad del gas disuelto, lo que expresa la capacidad del ecosistema en general de compensar los desbalances que ocurren y que se hacen evidentes sobre todo en la medición que se tuvo en el cuarto muestreo, posterior al paso del huracán Stan, en el cual aumenta la demanda pero se presentan valores altos de oxígeno.

Según los resultados obtenidos en el potencial de oxido-reducción, imperan condiciones de transición y en ciertos sitios condiciones reductoras que son compatibles con esta demanda de oxígeno elevada. Pero una aireación adecuada del agua superficial favorece la presencia del gas y compensa el desbalance para mantener condiciones favorables.

Esto muestra nuevamente cierta tendencia que tiene el agua del canal para mantener un equilibrio a través de los múltiples procesos químicos y biológicos que en conjunto tienden a mantener el ecosistema en condiciones propicias.

La Environmental Protection Agency (EPA) no ha establecido norma alguna para la medición de este parámetro.

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

Esta medición tiene un fundamento más biológico que químico, debido a que se refiere a la cantidad de oxígeno que la biota presente en la muestra de agua requiere para consumir la materia orgánica presente en un intervalo de cinco días, potenciando su acción a través de la adición de nutrientes.

Desde el punto de vista químico debe interpretarse como la cantidad de material orgánico y de nutrientes inorgánicos presentes en la muestra que se oxidan

en condiciones favorables y que depende de la mayor o menor cantidad de este tipo de material depositado en el agua del canal.

A lo largo de los muestreos, los datos altos se reportaron tanto en regiones habitadas como en aquellas que no lo son, para esto hay que considerar que todo el canal esta rodeado de vegetación inclusive en las regiones habitadas puesto que las poblaciones usualmente se ubican en una orilla y la otra usualmente esta cubierta de tulares, o de bosques de mangle. Con lo cual siempre habrá deposición de material vegetal, además del material orgánico de origen antropogénico que se añade en dichas regiones habitadas. De cualquier manera los valores máximos se encontraron en regiones habitadas en las que se destacó el Pumpo, El Papaturo, Monterrico y la Avellana en todos los muestreos.

En temporada seca los valores tienden a aumentar conforme avanza la misma. Llegando a valores máximos a finales del mes de abril para luego disminuir significativamente en temporada lluviosa como se pudo determinar en el tercer muestreo en julio. Esta disminución puede entenderse por un acusado proceso de dilución, sin embargo no debe de obviarse el factor biológico que en su metabolismo se ve afectado por una disminución de la temperatura, de pH y de la cantidad de oxígeno disuelto, factores que ya se mencionaron y que son determinantes en este caso.

En el caso del cuarto muestreo, se hace evidente que el paso del huracán Stan aumentó estos valores significativamente. Desde el punto de vista químico se hace evidente un aumento en la cantidad de materia orgánica debido a las inundaciones que se produjeron por la precipitación torrencial con lo cual se produce una descarga elevada neta sobre el agua del canal. Este material va siendo degradado por la biota presente, y a pesar de esto y un aumento en el volumen del agua en el canal, las cantidades son tan elevadas que se determinaron los valores máximos sobre todo el estudio.

Esta medición reflejó de mejor manera el impacto que tienen los fenómenos naturales eventuales sobre el canal, y esta tendencia es generalizada en toda el área de muestreo puesto que se registraron valores dentro de un rango pequeño con una desviación estándar significativamente menor a los datos reportados en época seca.

A pesar de esto, el canal no registró cambios excesivos en los datos de concentración correspondientes a otros parámetros de la calidad o de los nutrientes, por lo cual se demuestra nuevamente la capacidad de recuperación que el mismo manifiesta debido a la interacción de procesos fisicoquímicos y microbiológicos.

La Environmental Protection Agency (EPA) no ha establecido una normativa para los valores obtenidos de la medición de este parámetro.

## **Nutrientes**

### **Fósforo**

El fósforo es un elemento que en los sistemas acuáticos se considera esencial para el mantenimiento de la vida, Marín (2003) recalca su importancia en el complejo ciclo bioquímico en el cual está involucrado tanto en estados inorgánicos como orgánicos y en los cuales las transformaciones se verifican sobre todo gracias al metabolismo microbiano.

El fósforo en general debe considerarse como un factor limitante para el crecimiento del fitoplancton y de los organismos vegetales acuáticos en el agua del canal y un exceso del mismo produciría un aumento de el metabolismo y la cantidad de organismos, lo cual redundaría en el agotamiento del oxígeno disuelto y la producción de material orgánico que produce el fenómeno de eutrofización, lo cual para el medio acuático del canal es un riesgo latente puesto que como ya se mencionó existen las condiciones de limitadas cantidades de oxígeno disuelto y una alta cantidad de material vegetal que se deposita y es a partir de la evaluación de los compuestos del fósforo que se evaluará la cantidad de material orgánico que se produce a partir del mismo medio acuático.

### **Fósforo de Orto-fosfatos**

No existe una reglamentación para el valor máximo para el fósforo de orto-fosfatos en ningún listado de valores guía, sin embargo existen recomendaciones sobre el valor de fósforo total que debe contener agua destinada a la preservación, en las cuales se incluye el valor de el fósforo de orto-fosfatos. Este valor recomendado es de 0.025 mg/L de fósforo. Sin embargo Marín (2003) señala que los contenidos en fósforo total de aguas naturales no contaminadas son del orden de 0.100 mg/L a 1.0 mg/L aunque en esta última condición según Wetzel (2001), ya se tiene un estado eutrófico.

Como puede observarse en la tabla de resultados no. 13, todos los valores obtenidos se encuentran muy por arriba de este valor máximo recomendado, tanto en temporada lluviosa como en estación seca. Reportando valores altos en temporada seca donde la disminución del nivel de canal favoreció un proceso de reconcentración generalizada a todas las sustancias y que se hace evidente en la determinación de este nutriente. El aumento es gradual conforme avanza la época seca hasta un máximo al final de la misma.

Luego en época lluviosa se produce una disminución significativa pero manteniendo en promedio valores relativamente altos con respecto al valor recomendado. Para el muestreo efectuado posterior al paso del huracán se hace evidente un aumento de la cantidad de orto-fosfatos presentes en el agua como consecuencia de la alta precipitación que favoreció la disolución de rocas y minerales que los contienen, a la escorrentía que lava los suelos en los cuales se encuentra como residuo de actividad ganadera o agrícola y por los vertidos domésticos en los cuales se incluyen cantidades significativas de polifosfatos utilizados en los detergentes y que se intensifican como producto de las inundaciones de las poblaciones.

Es significativo el hecho de que las áreas que presentan valores de concentración más elevados son aquellas que se encuentran pobladas y donde usualmente se ubican lavaderos comunales. En este sentido en el primer muestreo El Papaturo, San Pedro y Monterrico resultaron con los valores mas elevados. En el segundo y tercer muestreo, nuevamente el Papaturo y el Pumpo. Y en el cuarto muestreo el Papaturo, el Repecho, el Pumpo, San Pedro y Monterrico.

También es interesante considerar que regiones no habitadas como Cuatro Caminos, la Laguna San Marcos, el Límite de la Reserva, el Tortuguero y la Laguna Puente Grande presentaron concentraciones elevadas a lo largo de los muestreos posiblemente por la contribución de la escorrentía que lleva el fósforo del suelo circundante a el agua del canal, siendo significativo en los últimos tres puntos en cuyas orillas se desarrollan actividades ganaderas y agrícolas de manera difusa, no así en el Límite de la Reserva.

Considerando que los valores obtenidos sobrepasan significativamente el valor recomendado pero se encuentran dentro de valores normales de aguas naturales no contaminadas y no llegan en ningún momento a alcanzar valores característicos de aguas residuales domésticas donde se obtienen valores de hasta 15 mg/L según Marín (2003), puede afirmarse que si bien no hay un estado de eutrofización evidente, durante determinados momentos del año se tiende a evolucionar al mismo y es en estas etapas donde los orto-fosfatos, los cuales son la única forma utilizable del fósforo inorgánico soluble produce un aumento de la cantidad de materia orgánica que produce el agua del canal por la explosión de presencia de fitoplancton y crecimiento de algas, con las consecuencias que ya se han mencionado.

La Environmental Protection Agency (EPA) no ha normado la cantidad de fósforo de ortofosfatos en aguas superficiales ni estuarinas pero señala que a partir de 0.05 mg/L se encuentra en un estado de eutrofización. Como se discutió y se observa, todos los valores promedio en todos los muestreos superan este valor.

## **Fósforo Total**

El valor recomendado y el normal para fósforo total ya se mencionaron con anterioridad y esta medición efectuada permite evaluar las cantidades totales de fósforo presentes, las cuales se encuentran en formas orgánicas e inorgánicas que debido a los complejos ciclos bioquímicos y fisicoquímicos en los que se involucra el fósforo tienen la potencialidad de convertirse en orto-fosfatos que representan la forma utilizable del mismo.

En la tabla de resultados no. 14 puede observarse que en términos generales las cantidades de fósforo total son bastante altas, sobrepasando en promedio el valor característico de aguas con alto grado de eutrofización de 1.0 mg/L en temporada seca, presentando una disminución significativa una vez entrada la temporada de lluvias y que sigue en descenso hasta el inicio de la temporada seca.

En el cuarto muestreo, donde se pone de manifiesto el efecto del huracán Stan, el agua del canal se encontró de manera generalizada en estado eutrófico con un promedio de 1.42 mg/L, con valores máximos de 3.36, 2.45, 2.34, 1.79, 1.57 mg/L en los lugares donde se encuentran poblaciones, (El Pumpo, el Papaturre, La Avellana, San Pedro y Monterrico, respectivamente) y con valores muy próximos a 1.0 mg/L en los otros puntos de muestreo. Evidentemente el efecto de la elevada precipitación en la disolución de minerales por las inundaciones y el lavado de el suelo por las escorrentías llevando una cantidad significativa de desechos al agua del canal, impactó severamente las condiciones del canal, llevándolo a un estado que si bien es menor al promedio en época seca, no es característica en la temporada lluviosa con lo cual se altera el estado general de evolución de las sustancias fosforadas en el ecosistema.

Sin embargo es preocupante el estado en que se encontró el agua del canal luego del cuarto muestreo puesto que un evento como el huracán Stan puede afectar de tal manera que impida la recuperación que es característica del canal para otros parámetros como ya se evaluó, pero que no es efectiva para un factor tan determinante como lo es el fósforo total y el estado de eutrofización que genera.

Es preocupante de igual manera observar que los lugares que se encuentran habitados presentan valores que corresponden a un medio fuertemente eutrofizado, tales como el Papaturre, la Avellana, El Pumpo y el embarcadero de Monterrico; que precisamente son las poblaciones donde mayor actividad hay. Esta medición hace evidente que existen vertidos de aguas domésticas y que son significativas por el hecho de que las orillas del canal están siendo utilizadas como lavaderos comunales.

La importancia de la escorrentía como fuente de aprovisionamiento de fósforo se observa en lugares no habitados tales como Cuatro Caminos, el cual presenta en temporada seca y luego del huracán, valores característicos de aguas eutróficas.

Los valores obtenidos reflejan que la contribución del medio acuático a la cantidad de material orgánico oxidable que se determinó en la demanda bioquímica de oxígeno, en la demanda química de oxígeno, en la medición de turbidez a través de la visibilidad y que se manifestó en el efecto de los sólidos presentes con las mediciones de conductividad; es altamente significativa y preocupa el hecho de que ya pueda establecerse en un momento dado un estado eutrófico generalizado para el agua del canal.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha normado como límite máximo un valor de 0.10 mg/L para aguas estuarinas, como puede observarse se obtuvieron valores promedio en todos los muestreos que superan dicho valor.

## **Nitrógeno**

El nitrógeno como tal debe considerarse como un elemento fundamental para el ecosistema estuarino que constituye el agua del canal en la Reserva. Es un componente esencial de cada organismo que se desarrolla en el mismo puesto que es un elemento biogénico que se encuentra sobre todo en las proteínas. En el agua del canal además se encuentra en tres estados inorgánicos importantes, estos son los nitratos, los nitritos y el amonio. De cualquier forma estas formas inorgánicas tienen su origen en toda la materia orgánica (entre la que se cuenta toda la que es vertida y que tiene su origen en la actividad antropogénica) y también en el material de naturaleza orgánica de origen vegetal que accede al medio acuático ya sea por deposición o por descomposición dentro del mismo. Otra fuente importante es el agua de escorrentía que se vierte en el canal, donde no solo se incluyen las formas anteriores, sino además el producto de la disolución de minerales que contribuye significativamente con la cantidad de nitratos que se vierten en el agua de el canal en la Reserva.

En cuanto a la actividad antropogénica es importante señalar que las formas que predominan en las aguas servidas domésticas son la urea y el amonio.

## **Nitrógeno de Amonio**

Es importante señalar que esta es la forma del nitrógeno con más bajo estado de oxidación y que constituye la forma predominante en medios reductivos, en algunos

aspectos similares a los que predominan en el canal. En condiciones en las que hay oxígeno, se produce la oxidación a nitritos por acción bacteriana.

La presencia de amonio en el canal, y considerando las condiciones que prevalecen en el mismo y en sus alrededores; se deben en un buen porcentaje al proceso de putrefacción que sufre la materia orgánica a la muerte de los organismos vivos. Es en este procesos la acción bacteriana se encarga de transformar el nitrógeno contenido en las proteínas en amonio.

Según Marín (2003) las aguas superficiales que están bien aireadas poseen valores característicos de nitrógeno de amonio que no superan los valores de 0.100 mg/L, mientras que aguas servidas de origen doméstico presentan concentraciones hasta de 50 mg/L.

Sin embargo es necesario considerar que las condiciones características del canal en las cuales la oxigenación en ciertos puntos tiende a ser relativamente baja y el ambiente reductor más acusado, se esperan concentraciones significativas de amonio.

Y tal situación ocurrió como puede observarse en la tabla de resultados no. 15, en los cuales pueden observarse valores uniformes a lo largo de los cuatro muestreos. En plena temporada seca hay un aumento ligero con respecto al inicio de temporada. Luego en época lluviosa hay una disminución debida al proceso de dilución, sin embargo es necesario considerar que el agua de lluvia puede presentar algunas trazas de amonio pero que en este caso no fueron significativas en comparación al volumen de agua precipitado. Por último en el cuarto muestreo hay un repunte de la cantidad de amonio en plena temporada lluviosa, luego del paso del huracán Stan, el cual favoreció una mayor descarga de material vegetal en el canal con un consecuente aumento de la tasa de putrefacción, el cual se hace evidente en el valor máximo que se registró.

En cuanto a los puntos específicos muestreados, puede verse en general, que los sitios ricos en vegetación y sin mucha influencia antropogénica son los que presentan valores mas altos de nitrógeno de amonio. En el primer muestreo, Cuatro Caminos, el límite de la Reserva y la Entrada a la Laguna Puente Grande. En el segundo muestreo, el Repecho, el Límite de la Reserva, el Tortuguero y la Entrada a la Laguna Puente Grande. En el tercer muestreo, Cuatro Caminos, la Entrada al Bericuate, la Laguna San Marco. Y en el cuarto muestreo, El límite oeste de la Reserva y el Tortuguero.

Como excepción en el tercer muestreo se obtuvieron datos significativos en el embarcadero de Monterrico y en el cuarto muestreo en el Papaturro. Estas poblaciones en promedio obtienen valores similares a lo largo de los muestreos pero

ubicando estos valores en comparación con los obtenidos en el resto de puntos en dichos muestreos resultan significativos. La presencia de amonio corresponde en estos casos a vertidos domésticos que son ricos en amonio y en el caso de el Papaturre en el cuarto muestreo, el efecto que la inundación del poblado durante el paso del huracán Stan es significativo puesto que se obtuvo un valor máximo para todo el estudio.

Existe la recomendación para aguas que se utilizan para efectos de conservación, en la cual se señala que el límite máximo permisible en nitrógeno de amonio debe ser de 0.02 mg/L. Como se observa, todos los valores obtenidos superan este valor, lo que es razonable debido al sistema estuarino rico en vegetación y biodiversidad dentro del cual la conservación de las especies depende de la interacción del medio acuático con los bosques de mangle, carrizo y tul que los rodean por lo cual, la comparación con respecto a este valor es relativa y no puede aseverarse un estado de contaminación.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha normado que el límite máximo en contenido de nitrógeno de amonio de las especies que contenga el cuerpo de agua. Ha señalado que a partir de valores de 0.083 mg/L se desarrollan condiciones no favorables para ciertos peces. Como se puede ver en los resultados obtenidos, en ningún momento se sobrepasa dicho límite y existe una aproximación significativa en el valor determinado luego del huracán Stan.

### **Nitrógeno de Nitritos**

Los nitritos son una especie poco estable químicamente puesto que constituyen un estadio intermedio entre el amonio y los nitratos en el proceso de oxido-reducción.

Dadas las condiciones características del canal, en la cual hay un medio reductor significativo pero una cantidad adecuada de oxígeno disuelto en el agua superficial, la interpretación de los resultados obtenidos debe circunscribirse a que su presencia suele indicar una contaminación de carácter fecal reciente. Cualquier otra interpretación debe hacerse considerando las características particulares del sitio de muestreo en cuestión.

Marín (2003) señala que en aguas superficiales bien oxigenadas, la concentración de nitrógeno de nitritos no supera 0.100 mg/L y como puede observarse en la tabla de resultados no. 16, en ningún momento a lo largo del estudio se superó este valor y sólo en el tercer muestreo en el Papaturre se obtuvo un valor próximo a este dato, el cual fue de 0.075 mg/L.

A lo largo del estudio, los valores mas altos se encontraron precisamente en regiones habitadas donde los vertidos de origen doméstico son la principal fuente para la obtención de valores altos. El Papaturre, La Avellana, El Pumpo, San Pedro y el embarcadero de Monterrico son estos sitios en los cuales, si bien es cierto que se obtuvo información de existencia de letrinas y fosas sépticas las cuales se encuentran alejadas del canal, no puede descartarse el vertido de aguas servidas por la proximidad del canal a dichas poblaciones.

Es importante señalar que los valores mas altos se obtuvieron en el tercer muestreo efectuado en plena temporada lluviosa y en el cual se obtuvieron los valores máximos para todos los puntos en comparación con los valores obtenidos a lo largo de todo el estudio. En este caso es importante relacionar los valores obtenidos con el oxígeno disuelto que se determinó en este mismo muestreo y los cuales fueron los mas bajos obtenidos. Esto explica el porque de estos valores, puesto que una menor presencia de oxígeno favorece la permanencia de el nitrógeno en forma de nitritos, evolucionando más lentamente a la forma de nitratos.

En el caso de este tercer muestreo, por los relativamente altos valores de nitrógeno de nitritos, se puede establecer que en el agua del canal se estaba llevando a cabo un proceso de conocido como nitrificación, en el cual se produce la conversión biológica paulatina de compuestos nitrogenados de un estado reducido a un estado mas oxidado. Este proceso transcurre a través de la conversión de amonio a nitritos teniendo como compuestos intermediarios la hidroxilamina y la oxima piruvica. La subsiguiente conversión hacia nitratos también es un proceso que ocurre por vía biológica a través de el genero conocido como *Nitrobacter*, el cual se caracteriza por ser menos tolerante a condiciones de temperatura, pH y presencia de oxígeno por lo cual a veces se produce una pequeña acumulación de nitrógeno de nitrito, tal y como ocurrió en este caso.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha establecido como recomendación un valor máximo de 1 mg/L de nitrógeno de nitritos. Como puede observarse, en ningún momento los valores obtenidos se aproximan a dicho valor máximo recomendado.

### **Nitrógeno de Nitratos**

La presencia de nitratos en el agua del canal puede explicarse de distintas formas, según las características particulares de cada punto de muestreo. El agua de escorrentía es una fuente importante de nitratos al depositar en el canal nitratos que provienen de la disolución de rocas y minerales, por otro lado también provienen del

lixiviado de tierras de cultivo en los cuales se utilizan abonos que los contienen. Es importante señalar que de acuerdo a la profusa vegetación que hay en las orillas y en el canal por los bosques de mangle, la descomposición de material vegetal es otra fuente importante de nitrógeno en forma de nitratos.

Según Marín (2003), las aguas naturales superficiales no suelen contener más de 10 mg/L de nitrógeno de nitratos y con frecuencia no sobrepasan de 1.0 mg/L. Existe la recomendación para aguas destinadas a conservación que sugieren un máximo de 10 mg/L de nitrógeno de nitratos.

Como se registra en la tabla de resultados no. 17, en el agua del canal en la Reserva, no existieron valores que alcanzaran los límites máximos establecidos, teniendo un valor máximo de 3.7 mg/L en el primer muestreo en la Avellana.

En todo caso, la contaminación directa con nitratos ocurre por el uso de fertilizantes nitrogenados. Sin embargo en las regiones donde se practica la agricultura intensamente, esto es hacia el Límite Oeste de la Reserva, sólo en invierno se registraron valores altos. Luego los lugares que registraron valores relativamente altos fueron lugares habitados entre los que se registran el Papaturre, La Avellana, El Pumpo, el Embarcadero de Monterrico, donde es probable que el vertido de sustancia nitrogenadas se haya efectuado a partir de otras sustancias que no eran nitratos pero que a través de un proceso oxidativo se transformaron en esta especie química.

En cuanto a otros puntos entre los cuales se registraron valores altos tales como Cuatro Caminos en el primer muestreo, Las Flores en el tercer muestreo, La entrada al Bericute en el primer muestreo, el Tortuguero y la entrada a la Laguna Puente Grande en el segundo muestreo; es probable que se deba precisamente a la descomposición de material vegetal y animal, ya que sobre todo la primera, es profusa en las orillas de estos lugares.

En cuanto a las temporadas muestreadas, al principio de la temporada seca se reportó el valor mas alto en verano, luego el nitrato disponible es utilizado por las algas y las hidrofitas superiores por un proceso que lo reduce a amonio utilizando molibdeno como catalizador. Sin embargo esta asimilación del nitrato no aumenta la concentración de amonio sino que el mismo es devuelto en forma de nitrógeno orgánico. Es precisamente en esta época cuando, el nivel del agua baja y la penetración de la luz es mayor cuando el nitrato mas se consume y esto puede observarse por una baja sensible en su concentración hacia final de la época seca en el segundo muestreo. En el tercer muestreo vuelve a observarse un aumento en la concentración del mismo. Para luego observar que tras el paso del huracán Stan no existió una variación significativa de la concentración del mismo. En este sentido se puede mencionar la deposición significativa de material orgánico en el agua del canal

que produjo el huracán y sería de esperar que el impacto fuera significativo, pero los valores altos reportados en otras especies nitrogenadas tales como el amonio, señalen que dicha materia orgánica se encontraba en pleno proceso de descomposición sin haber alcanzado aún los estadios inorgánicos de máxima oxidación.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha normado que la cantidad de nitrógeno de nitratos depende de las especies tanto animales, de macrofitas y de fitopláncton que contenga el cuerpo de agua en cuestión. Pero ha fijado como un límite máximo el valor de 10 mg/L. Como puede apreciarse en los resultados, los valores individuales y en promedio se encuentran por debajo de dicho límite máximo.

### **Nitrógeno Total**

Este valor es el reflejo de la actividad que se desarrolla dentro del cuerpo de agua, el cual incluye en un metabolismo biológico que es bastante complejo, distintas formas nitrogenadas con determinados estados de oxidación, procesos de oxidoreducción, y procesos fisicoquímicos-microbiológicos complejos que se interrelacionan entre si. Todo el nitrógeno que se encuentra en cada una de las etapas antes mencionadas tiene como destino final la forma de nitrato, la cual como ya se mencionó es asimilada por algas y macrohidrofitas como un nutriente esencial y puede establecerse como un factor clave del proceso de eutrofización.

Dada esta importancia se ha fijado una recomendación para aguas destinadas a conservación de especies la cual señala que los valores no deben superar los 10 mg/L en nitrógeno total y como puede observarse en la tabla de resultados no. 18, ningún valor en ningún muestreo alcanzó este nivel.

Al inicio de la temporada seca los valores mas altos se registraron en puntos ubicados en regiones de alta actividad antropogénica, El Papaturo, La Avellana, El Pumpo y el embarcadero de Monterrico. Al final de dicha temporada en general, los valores aumentaron en promedio en 1 mg/L, sin embargo en este caso se registraron valores altos también en regiones no habitadas como la Entrada al Bericuate, el Límite Oeste de la Reserva y la Entrada a la Laguna Puente Grande; en este caso la reconcentración que se produce por el descenso en el nivel del agua es probablemente el principal factor que incide. Posteriormente para el tercer muestreo que se desarrolló al inicio de la época lluviosa hay una disminución en la concentración, con un promedio de 2.1 mg/L y los valores mas altos vuelven a presentarse en el Papaturo y la Avellana debido al efecto del agua de escorrentía sobre todo que deposita tanto material orgánico como inorgánico rico en nitrógeno en el agua del canal.

Luego del impacto del huracán Stan en el cuarto muestreo pudo observarse un aumento significativo en la concentración del nitrógeno total en todos los puntos en general para elevar la concentración a un promedio de 5.0 mg/L. Este impacto es altamente significativo puesto que considerando el posible efecto que esto tiene sobre el estado de eutrofización del agua, podrían alcanzarse niveles de presencia de compuestos nitrogenados que favorezcan estas condiciones con una explosión en el crecimiento de algas y macrofitas, el consumo de oxígeno, con las consiguientes condiciones reductoras que podrían llegar a predominar, terminando con la degradación del ecosistema completo.

La Environmental Protection Agency (EPA) no posee una normativa para el nitrógeno total.

### **Sólidos Totales**

Los sólidos totales como tales son un indicador de la cantidad total de materia orgánica e inorgánica presente en las aguas superficiales de fuentes naturales. En aguas provenientes de fuentes naturales es usual encontrar valores de 300 a 400 mg/L. Sin embargo en general, todos los valores obtenidos se encuentran en valores de aproximadamente los 25,000 mg/L. A este nivel ya no resulta apropiado evaluar cada resultado en cuanto a si es significativamente alto con respecto a los otros o si la variación entre puntos de cada muestreo es significativa.

En términos generales los resultados obtenidos reflejan la gran cantidad de materia que está contenida en el agua del canal, y refuerza el hecho de que es un ecosistema altamente complejo puesto que las sustancias presentes se involucran en distintos procesos fisicoquímicos-microbiológicos que le dan las características particulares al agua del canal en la Reserva.

Sin embargo en cuanto a las épocas de muestreo, puede observarse en la tabla no. 19 de resultados que existe un aumento significativo de la concentración en época seca, que tiende a aumentar conforme avanza la estación. Luego en época lluviosa hay una disminución en la concentración debido a un proceso de dilución causado por la fuerte precipitación. El cambio es altamente significativo puesto que se produjo una disminución de 30,000 a 640 mg/L aproximadamente.

En el cuarto muestreo es significativo el valor registrado, puesto que el paso del huracán Stan favoreció un incremento significativo de material en el agua del canal, con valores característicos de época seca, a pesar de la fuerte precipitación que se produjo. Esto se debió principalmente a la contribución del agua de escorrentía y a las inundaciones que se produjeron de las orillas y las poblaciones, que redundó en una

deposición significativa de material tanto orgánico como mineral ya sea disuelto o suspendido.

La Environmental Protection Agency (EPA) no tiene establecida una norma para este parámetro.

### **Sólidos Suspendidos Filtrables**

Estos sólidos son de sumo interés para el mantenimiento del ecosistema que se desarrolla en el agua del canal en la Reserva. El principal efecto es sobre la actividad fotosintética puesto que si producen una disminución de un 10% de la misma, favorecen un proceso de degradación del medio acuático con la consiguiente disminución del oxígeno disuelto total que redundará en condiciones reductoras severas que deterioran el ecosistema.

La vida animal en el agua también se ve afectada puesto que hay determinadas especies que no pueden desarrollarse adecuadamente ante la presencia de gran cantidad de sólidos suspendidos.

En los muestreos efectuados puede observarse que los puntos con valores más altos se encuentran en lugares con mayor actividad antropogénica. El Papaturo, el Dragado, La Avellana, El Repecho, El Pumpo y el Embarcadero de Monterrico fueron en general los sitios que presentaron valores más altos a lo largo del estudio. Estos valores se deben a que una mayor actividad de personas favorece una mayor cantidad de vertidos y condiciones que favorecen los procesos de descomposición de material orgánico que favorece la presencia de una gran cantidad de partículas que no sedimentan y que favorecen un aumento en la turbidez del agua.

En cuanto al comportamiento estacional, se registran concentraciones elevadas en la época seca, por disminución de el nivel del agua y reconcentración de el material, alcanzándose los valores promedios más altos hacia finales de dicha temporada. Luego en invierno las altas precipitaciones favorecen un proceso de dilución puesto que las concentraciones bajaron en promedio de 535 mg/L a 36 mg/L. Luego del paso del huracán Stan se produjo un aumento significativo en la concentración, alcanzando un promedio 471.5 mg/L, el cual es un valor característico de la temporada seca. Esto se debió sobre todo a un aumento en el material total depositado por el agua de escorrentía y las inundaciones de los territorios y poblaciones de las orillas del canal con lo cual aumentó sobre todo el material vegetal que se descompuso y favoreció el aumento del material particulado en suspensión.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha establecido como normativa un valor de 80 mg/L como máximo para la concentración de sólidos suspendidos. Como

puede observarse en los resultados, en 3 de los cuatro muestreos se supero significativamente el valor normado. Esto indica un alto riesgo en cuanto a las condiciones del ecosistema acuático que constituye el canal en la Reserva.

### **Sólidos disueltos totales**

Esta determinación muestra la cantidad de material soluble que esta presente en el agua del canal. Usualmente valores altos se relacionan con un nivel de salinidad elevado. Pero como puede verse en las tablas de resultados no. 5 y 21. esto no ocurre en el agua del canal. Esto es significativo en el sentido de que en el canal hay una gran cantidad de vegetación que deposita material en el canal, este material se descompone en ácido húmicos con agentes acomplejantes significativos. Estos se encargan de atrapar a los iones y los enmascara al momento de hacer la medición. Los valores obtenidos deberían de corresponderse con valores elevados de salinidad pero no ocurre porque si bien hay grandes cantidades de material inorgánico disuelto, también hay gran cantidad de material orgánico disuelto.

Esto crea un balance delicado puesto que genera ciertas condiciones que son favorables para que determinadas especies de animales y vegetales se desarrollen adecuadamente y si se produjera un desbalance, los efectos podrían ser devastadores para el ecosistema.

Sin embargo el parámetro no puede distinguir entre el origen del material y la medición, al igual que en los sólidos totales, resulta ser de valores extremadamente altos, en los cuales no conviene evaluar uno por uno sino como tendencia en grupo.

En este sentido, el comportamiento es el mismo que tienen los sólidos totales puesto que un porcentaje muy alto de los sólidos totales está formado por los sólidos disueltos. En temporada seca se reportan valores altos de entre 21,680 y 29,380 mg/L aproximadamente, para luego tener un descenso de en promedio 603 mg/L en temporada lluviosa. Luego en el cuarto muestreo, se tiene un repunte debido a los efectos del huracán Stan, por las mismas razones mencionadas en la evaluación de los sólidos totales.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha establecido un máximo de 250 mg/L para agua de consumo, los valores obtenidos se encuentran muy por encima de este valor. Sin embargo es necesario señalar que este valor no esta normado para aguas de origen estuarino como la del canal en la Reserva.

## **Sólidos Sedimentables Totales**

Esta medición suele ser muy importante en cuerpos de agua con un caudal significativo, en el cual no existe el tiempo necesario para que mucho material sedimente espontáneamente y por el mismo efecto del alto caudal, se mantiene en suspensión por un período prolongado. Esto recae en un efecto directo sobre los procesos fotosintéticos que se producen en el cuerpo de agua.

Sin embargo, el canal se caracterizó por no tener un caudal significativo en ninguno de los muestreos y el agua es ocasionalmente perturbada por el fuerte tráfico de embarcaciones de poco calado que transitan por el mismo.

Como puede observarse en los registros de la tabla de resultados no. 22, en la mayoría de las mediciones se registraron valores no detectables menores a 0.1 ml/L.

Ocasionalmente en época seca se determinaron valores significativos que en sólo una ocasión (en el primer muestreo en la entrada a las salinas Agua Dulce) registró un valor mayor a 2.5 ml/L. Los otros valores registrados no superan 1 ml/L. Estos valores se asocian sobre todo con un nivel bajo de agua en el canal, por lo cual los sedimentos se perturban fácilmente con el tránsito de embarcaciones y mantienen en suspensión material particulado, el cual se detecta en el muestreo eventualmente, dado que no se pueden controlar las condiciones que imperan en un sitio de muestreo momentos antes de llegar al mismo.

La Environmental Protection Agency (EPA) no ha establecido una normativa en relación a este parámetro.

## **Dureza Total**

Esta medición como tal da una idea de la cantidad de calcio presente en el agua y siendo este el catión mayoritario en aguas de fuentes naturales, da una aproximación del grado de mineralización que tiene el agua. Se considera que un agua es dura cuando supera el valor de 120 mg CaCO<sub>3</sub>/L y por tanto está fuertemente mineralizada.

En la tabla de resultados no. 23 puede observarse que en temporada seca en promedio, se tienen aguas fuertemente mineralizadas con valores que al inicio de la temporada en promedio son de 172 mg/L y que conforme avanza la estación con la consecuente reconcentración por disminución del nivel del agua, alcanza valores de 226 mg/L. Luego se produce una disminución significativa de las concentraciones y un proceso evidente de desmineralización al iniciar el invierno donde se alcanzaron en promedio valores de 85 mg/L. En el cuarto muestreo y como consecuencia del paso

del huracán Stan se produjo un aumento significativo con lo cual se aumentó la concentración en promedio hasta 194 mg/L sobre todo debido a la lixiviación de el terreno adyacente con la disolución de rocas y minerales, y a las inundaciones que ocurrieron por la fuerte precipitación.

En cuanto a la discriminación de los valores dentro de los muestreos no se observa un comportamiento que pueda asociarse con condiciones tales como la presencia o ausencia de poblaciones, mayor o menor tránsito de embarcaciones, presencia o ausencia de lavaderos, etc. Esto se debe a que el depósito de calcio se debe sobre todo a la disolución de material mineral.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha establecido que un agua que se encuentre entre 150 a 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  es dura. En este caso y como ya se mencionó en el único momento en el cual no se encuentra bajo dicha condición es en época lluviosa normal.

## **Sulfatos**

Los sulfatos son indicadores sobre todo de contaminación de tipo industrial. Sin embargo se utilizan para caracterizar las condiciones fisicoquímicas de los cuerpos de agua y su relación con las cuencas hidrológicas en las que se ubican. Según Marín (2003) la concentración de sulfatos es variables y oscila entre 20 y 50 mg/L en cuerpos de agua natural y son estas precisamente las concentraciones dentro de las cuales se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla no. 24.

Estas concentraciones tienen su origen en la disolución de minerales que son arrastrados por escorrentías hacia el canal y también (y de manera significativa) por la oxidación de los sulfuros que son producto de la descomposición de material orgánico, el cual como se ha mencionado a lo largo de esta evaluación de los resultados es sumamente significativa en el agua del canal en la Reserva.

Dado al origen que tiene la cantidad de sulfatos que puedan determinarse en un punto de muestreo específico, es difícil establecer si las concentraciones se asocian con un factor específico o no. En todo caso es importante mencionar que en todos los muestreos La Avellana, El Pumpo y el embarcadero de Monterrico presentaron valores significativos en relación con los obtenidos en los demás puntos, teniendo estos tres sitios en común el hecho de que en ellos se ubican poblaciones en la orilla con fuerte tráfico de embarcaciones.

Un punto que resultó significativo y con condiciones opuestas a las anteriores fue la entrada a las Salinas Agua Dulce donde en todos los muestreos se determinaron valores significativamente altos en relación a los otros puntos.

En cuanto a la distribución estacional, el comportamiento es similar al de muchos parámetros determinados, obteniendo concentraciones significativas conforme avanza la temporada seca, de 28 y 35 mg/L, luego con una disminución en temporada lluviosa de hasta 20 mg/L en promedio y luego en el último muestreo y como consecuencia del paso del huracán un aumento hasta de 34 mg/L en promedio. Esto último como consecuencia del efecto de lixiviación y disolución de minerales favorecido por la fuerte precipitación.

La Environmental Protection Agency (EPA) no ha establecido una normativa con respecto a este parámetro.

## X. Conclusiones

- El valor de pH en el agua del canal en la región que comprende la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico; tiende a presentar pocas fluctuaciones debido a la capacidad amortiguadora característica de un medio con alta cantidad de sustancias húmicas, en este caso provenientes de la materia vegetal que se deposita en el canal.
- En el agua del canal en la región comprendida dentro de la Reserva, prevalecen condiciones reductoras en época seca, sin embargo cuando aumenta la cantidad de lluvia también aumenta la cantidad de oxígeno que se solubiliza en el agua superficial, que aunado a un aumento significativo del nivel del agua que aleja dicha agua superficial de los sedimentos con características reductoras, favorece la aparición de condiciones oxidativas.
- En época seca se registraron temperaturas elevadas, por encima o muy próximas a los valores máximos recomendados o normados. Esto, junto a un proceso de reconcentración por evaporación de el agua del canal, favorece una mayor solubilización del material orgánico e inorgánico, lo que impacta directamente sobre las concentraciones de sustancias que constituyen otros parámetros de la calidad del agua. Sin embargo en época lluviosa la temperatura tiende a disminuir por debajo del límite mínimo normado debido a que las condiciones de el agua del canal, con sus zonas de sombra características y de reflexión de la radiación incidente hacia el centro de el canal, favorecen la pérdida de calor y una disminución en el valor de temperatura, afectando la concentración de otras sustancias de manera inversa a lo que ocurre en temporada seca.
- La determinación de conductividad in situ estuvo restringida por la cantidad de material orgánico disuelto en el agua del canal, es por esta razón que la determinación se refiere en mayor grado a la cantidad de electrolitos disponibles en el momento del muestreo. Sin embargo la cantidad de los mismos es altamente significativa, lo cual indica una fuerte mineralización.
- La determinación de salinidad permitió registrar los valores característicos de dicho parámetro bajo determinadas condiciones regidas por la época del año en la cual se realizó cada uno de los muestreos. En época seca se registraron

valores significativos en puntos bien definidos, mientras que en época lluviosa, los valores significativos están distribuidos en todos los puntos a lo largo del canal en la región de la Reserva.

- La diferencia observada entre la cantidad de sólidos disueltos totales en el laboratorio y en la medición in situ, reflejan las condiciones que prevalecen en el agua del canal. Estas condiciones están determinadas por la gran cantidad de material orgánico de origen vegetal que se depositan en el canal y que son las responsables en gran medida de las características fisicoquímicas y microbiológicas en el lugar.
- La dinámica que presenta el oxígeno disuelto en el agua del canal es sumamente compleja, puesto que si bien predominan condiciones reductoras, la cantidad de oxígeno disuelto superficial es aproximadamente la mitad del valor de saturación, lo cual no es un valor significativamente bajo. En época lluviosa, se favorece la oxigenación del agua y hay un aumento en la demanda de oxígeno tal que las condiciones se vuelven oxidantes aunque la cantidad de oxígeno es mas baja debido a la fuerte demanda que impera a lo largo del canal en la región de la Reserva con lo cual se va consumiendo conforme se produce su disolución.
- Los niveles de visibilidad y profundidad obtenidos en las mediciones en el agua del canal permiten establecer que la relación entre ambos favorece una adecuada penetración de la luz en términos generales, lo cual favorece el proceso fotosintético de las macrofitas y las algas que crecen en el medio acuático del canal. No hay una limitación en cuanto al nivel de visibilidad que haga evidente niveles altos de turbidez.
- Los valores altos que se obtuvieron en la determinación de la demanda química de oxígeno reflejan las cantidades elevadas que hay de material oxidable tanto de origen orgánico como inorgánico y que como ya se mencionó condicionan las características fisicoquímicas de determinan el nivel de la calidad del agua en el canal. Estos valores se corresponden con los niveles relativamente bajos de oxígeno disuelto puesto que la demanda existente para dicho gas es elevada.

- Los valores obtenidos en la demanda bioquímica de oxígeno confirman el hecho de que existe una gran cantidad de material orgánico biodegradable que se deposita en el agua del canal. Los valores mas altos coinciden con la época seca, y una disminución consecuente se debe a un proceso de dilución del agua del canal en época lluviosa.
- Los valores obtenidos respecto al fósforo de orto-fosfatos refleja que en la estación seca el agua del canal se encuentra en un estado eutrófico respecto a esta sustancia que es la única forma asimilable de fósforo inorgánico. Sin embargo es importante señalar que estos valores altos, sufren una notable disminución hasta valores por debajo del límite que señala un estado eutrófico, por lo cual las fuertes precipitaciones contribuyen a una disminución de los niveles de nutrientes y recuperación del estado óptimo del medio acuático.
- Los valores de fósforo total, al igual que el fósforo de orto-fosfatos, presenta valores sumamente elevados sobre todo en temporada seca, y cuya concentración disminuye conforme avanza la época lluviosa. De tal manera que es una estación definida del año en el cual, se presentan características propias de un medio acuático altamente eutrofizado.
- Los valores de concentración para el nitrógeno de amonio sobrepasan la recomendación para el valor establecido con el fin de conservación de especies, pero no sobrepasan la normativa para aguas superficiales. Las cantidades medidas son razonables con las características del ecosistema estuarino del canal, el cual depende en gran medida de la interacción del medio acuático con la vegetación de las orillas, que en este caso es rico en bosque de mangle.
- Los resultados obtenidos muestran que en el agua del canal en la región comprendida por la Reserva no existe contaminación por nitritos. Sin embargo, sí se detectaron pequeñas cantidades que muestran que si hay vertido de aguas servidas de origen doméstico y que sobre todo en época lluviosa por las condiciones de oxígeno disuelto predominantes, tienden a permanecer en la forma de nitritos por un tiempo significativo.
- Si bien es cierto que las concentraciones de nitrógeno de nitratos no alcanza los valores característicos que señalan un estado de eutrofización, es

necesario considerar que se tienen valores significativos y que junto a la dinámica que ha podido establecerse con respecto a la cantidad de material orgánico presente, oxígeno disuelto disponible y otras especies como el fósforo de ortofosfatos; existen las condiciones que en determinadas épocas del año favorecen la existencia efectiva de un proceso de eutrofización aunque el ecosistema acuático tiende a recuperarse en la estación lluviosa.

- Los valores obtenidos de nitrógeno total son significativos puesto que si bien se encuentran por debajo del límite máximo establecido, representan la cantidad total de material orgánico e inorgánico con potencialidad para convertirse en nitratos que es la forma asimilable por parte de las algas y macrofitas. Esto puede redundar en un posible estado de eutrofización por mayor disponibilidad de nutrientes.
- En términos generales y debido a la gran cantidad de sólidos totales, suspendidos filtrables y disueltos totales que se determinaron, se puede concluir que el agua del canal en la región de la reserva contiene niveles altos de material orgánico disuelto y suspendido, así como material inorgánico que le dan al agua un fuerte carácter de mineralización.
- La cantidad de material suspendido es sumamente alta, si se mantienen dichos valores y se combinan con épocas secas con elevada cantidad de evaporación por aumento de la temperatura y épocas lluviosas poco copiosas, el efecto neto será una disminución en la productividad por la limitación del proceso fotosintético.
- Los valores obtenidos de sólidos sedimentables totales son significativos en época seca debido al bajo nivel del agua en el canal, lo cual favorece que el tráfico de embarcaciones propulsadas por motor altere fácilmente los sedimentos y una cantidad significativa de sólidos se mantengan en suspensión el tiempo suficiente como para alterar procesos como la absorción de luz en procesos tan importantes como el de fotosíntesis.
- El nivel de dureza total que presenta el agua del canal en la región comprendido por la Reserva, muestra que en época seca, dichas aguas se encuentran fuertemente mineralizadas, pero este estado tiende a disminuir en época lluviosa debido a las fuertes precipitaciones que favorecen un proceso

de dilución, a pesar de aumentar también el depósito de material mineral por escorrentía y mayor grado de solubilización.

- No se estableció una cantidad elevada de sulfatos en ninguno de los puntos de muestreo, ni en ningún muestreo efectuado.
- El impacto del huracán Stan en la calidad fisicoquímica del agua del canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico fue muy severo, sobre todo en los valores de potencial de oxido-reducción, en la demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, en los niveles de fósforo de ortofosfatos, de fósforo total, de nitrógeno de amonio, de nitrógeno total. Además de las cantidades de sólidos totales, sólidos suspendidos filtrables, sólidos disueltos totales y en los valores de dureza. En todos estos casos se alteraron las condiciones de tal manera que se obtuvieron valores característicos de época seca, en la cual el aumento de la concentración se debe a un proceso de reconcentración por evaporación. Sin embargo el huracán, a pesar de aumentar significativamente el nivel del agua, también aumento la deposición de material tanto orgánico como inorgánico por agua de escorrentía y por las inundaciones de las orillas, terrenos adyacentes y poblaciones.
- De acuerdo a los datos obtenidos a lo largo del estudio efectuado sobre el agua del canal en la región que comprende la Reserva, no puede hablarse de establecer los niveles de contaminación puesto que muchos de los valores obtenidos son característicos del medio acuático debido a las características propias del mismo. Sin embargo los datos obtenidos pueden considerarse como valores de línea base para futuras investigaciones, en las cuales ya se podrá establecer si efectivamente en el período de tiempo que transcurra entre este estudio y dichas investigaciones, ha ocurrido un proceso de contaminación. Por el momento puede establecerse que en términos generales, el agua del canal presenta condiciones de eutrofización en época seca, recuperándose en época lluviosa; y en general posee elevadas cantidades de material orgánico e inorgánico diluido y en suspensión, con tendencias a presentar estados reductivos con concentraciones bajas de oxígeno disuelto.

- En la discusión y evaluación de resultados, junto con las conclusiones previas; se alcanzó el objetivo propuesto de establecer los parámetros de la calidad del agua que sobrepasan los límites recomendados para aguas de fuentes naturales.

## XI. Recomendaciones

- Monitorear el agua del canal de Chiquimulilla en el área abarcada por la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico puesto que presenta valores significativos en determinados parámetros de la calidad del agua, que pueden afectar las actividades conservacionistas que se desarrollan en la misma.
- Evaluar otros parámetros de la calidad fisicoquímica del agua del canal de Chiquimulilla dentro de la reserva para establecer medidas que permitan comprender e interpretar mejor la situación actual y favorezcan una gestión adecuada. Estos podrían incluir hidrocarburos, metales, y análisis de sedimentos.
- Aumentar el control sobre los vertidos domésticos hacia el canal dentro de la Reserva.
- Monitorear continuamente el estado de los nutrientes y parámetros indicadores de eutrofización puesto que es evidente que el proceso está ocurriendo sobre todo en época seca.
- Establecer medidas de control de vertidos en las comunidades el Papaturo, la Avellana, Monterrico y el Pumpo.
- Socializar la información recabada en las comunidades el Papaturo, la Avellana, Monterrico y el Pumpo de manera que el estudio tenga un impacto directo en la mejora de la calidad fisicoquímica del agua dentro de la Reserva.

## XI. Referencias

1. APHA, AWWA and WPCF. 1995 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York. CRC Press.
2. CECON, CONAP, INAB-UICN-UE. 1999. Plan Maestro 2,000 – 2,005. Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico. Litografía JB, Guatemala. 3-65 pp.
3. MORA, C. Y V. GONZÁLEZ. 1988. Control de la calidad del agua del Canal de Chiquimulilla como un cuerpo receptor y señalamiento de las principales fuentes de contaminación. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 48 pp.
4. FERNÁNDEZ, A. 2003. Cooperación iberoamericana para un enfoque integrado en el aprovechamiento y gestión del agua: CYTED-XVII. En: Jornadas Iberoamericanas, Enfoques integrados de la problemática del agua. (2., 2003, Cartagena de Indias, Colombia). Ed. por Alicia Fernández. Cartagena de Indias, Colombia, Print and Service. 9-16 pp.
5. VILA, I. 2003. Caracterización de ecosistemas acuáticos. Interacciones sedimento- agua. En: Jornadas Iberoamericanas, Enfoques integrados de la problemática del agua. (2., 2003, Cartagena de Indias, Colombia). Ed. por Alicia Fernández. Cartagena de Indias, Colombia, Print and Service. 17-23 pp.
6. FERNÁNDEZ, A. 2003. Calidad de agua y contaminación química. En: Jornadas Iberoamericanas, Enfoques integrados de la problemática del agua. (2., 2003, Cartagena de Indias, Colombia). Ed. por Alicia Fernández. Cartagena de Indias, Colombia, Print and Service. 31-37.

7. MILLS, W. Et al. 1985. Water Quality Assesment: A screening procedure for toxic and conventional pollutants in surface and ground water. 1<sup>st</sup>. edition. Athens, Georgia, USA; EPA. 609 pp.
8. MANAHAN, S. 2000. Environmental Chemistry. 7th edition. USA; Lewis Publishers. 55-97 pp.
9. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1986. Gold Book of Quality Criteria for Water. Washington, USA; Office of Water Regulations and Standards. 477 pp.
10. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INSIVUMEH) Y SECCIÓN DE INVESTIGACIÓN DE CALIDAD DE AGUA DEL MINISTERIO DE COMUNICACIONES Y OBRAS PUBLICAS. 1976. Calidad del Agua en la cuenca del río Maria Linda y características fisicoquímicas del agua de mar. 1era edición. Guatemala, Guatemala. 159 pp.
11. MOSS, B. 1988. Ecology of fresh waters. Man and medium. 2<sup>nd</sup>. Edition. Boston, USA; Blackwell scientific publications. 393 pp.
12. CAPÓ, M. 2002. Principios de ecotoxicología. Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. 1era edición. Madrid, España; Mc Graw Hill. 234 pp.
13. ANGELIER, E. 2002. Ecología de las Aguas Corrientes. 1era. edición. Zaragoza, España; Editorial Acribia S.A. 218 pp.
14. COLE, G. 1888. Manual de Limnología. 3era edición. Montevideo, Uruguay; Editorial Hemisferio Sur. 405 pp.
15. MITSCH, W. Et al. 2000. Wetlands. 3rd. Edition. New York, USA; John Wiley and Sons. 920 pp.
16. ROBERTS, E. 2000. Water Quality Control Handbook. 1<sup>st</sup>. edition. New York, USA; McGraw Hill. G-145 pp.

17. MARÍN, R. 2003. Físicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos. Tratamiento y Control de Calidad de Aguas. 1era. Edición. Madrid, España; Ediciones Díaz de Santos, S.A. 311 pp.
  
18. WETZEL, R. 2001. Limnology, Lake and River Ecosystems. 3<sup>rd</sup>. edition. San Diego, USA; Elsevier Academic Press. 1006 pp.

## **XII. Anexos**

### **12.1 Mapas**

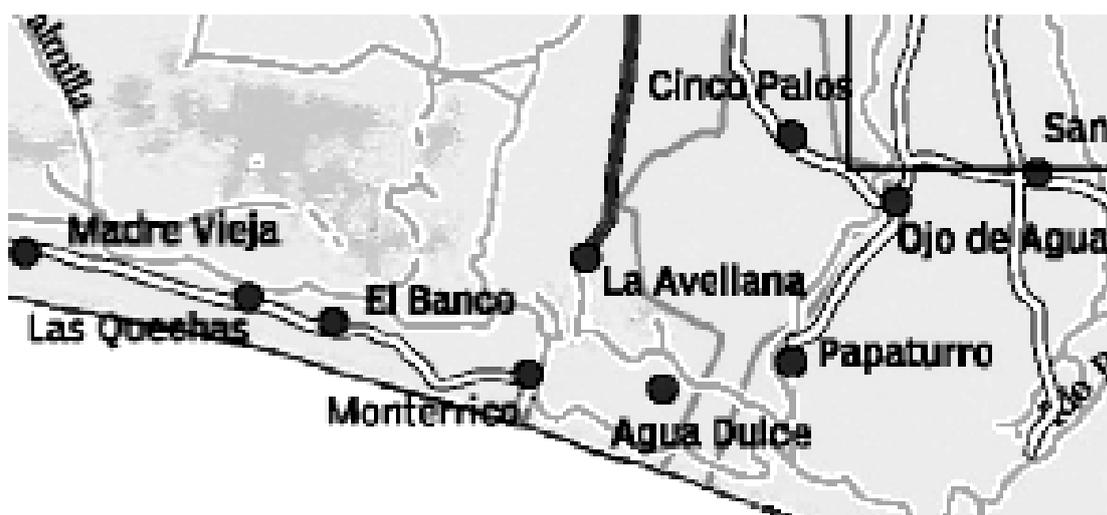
**Anexo 12.1.1. Ubicación del Canal de Chiquimulilla en el departamento de Santa Rosa, Guatemala.** (Fuente: Centro de Estudios Conservacionistas CECON).







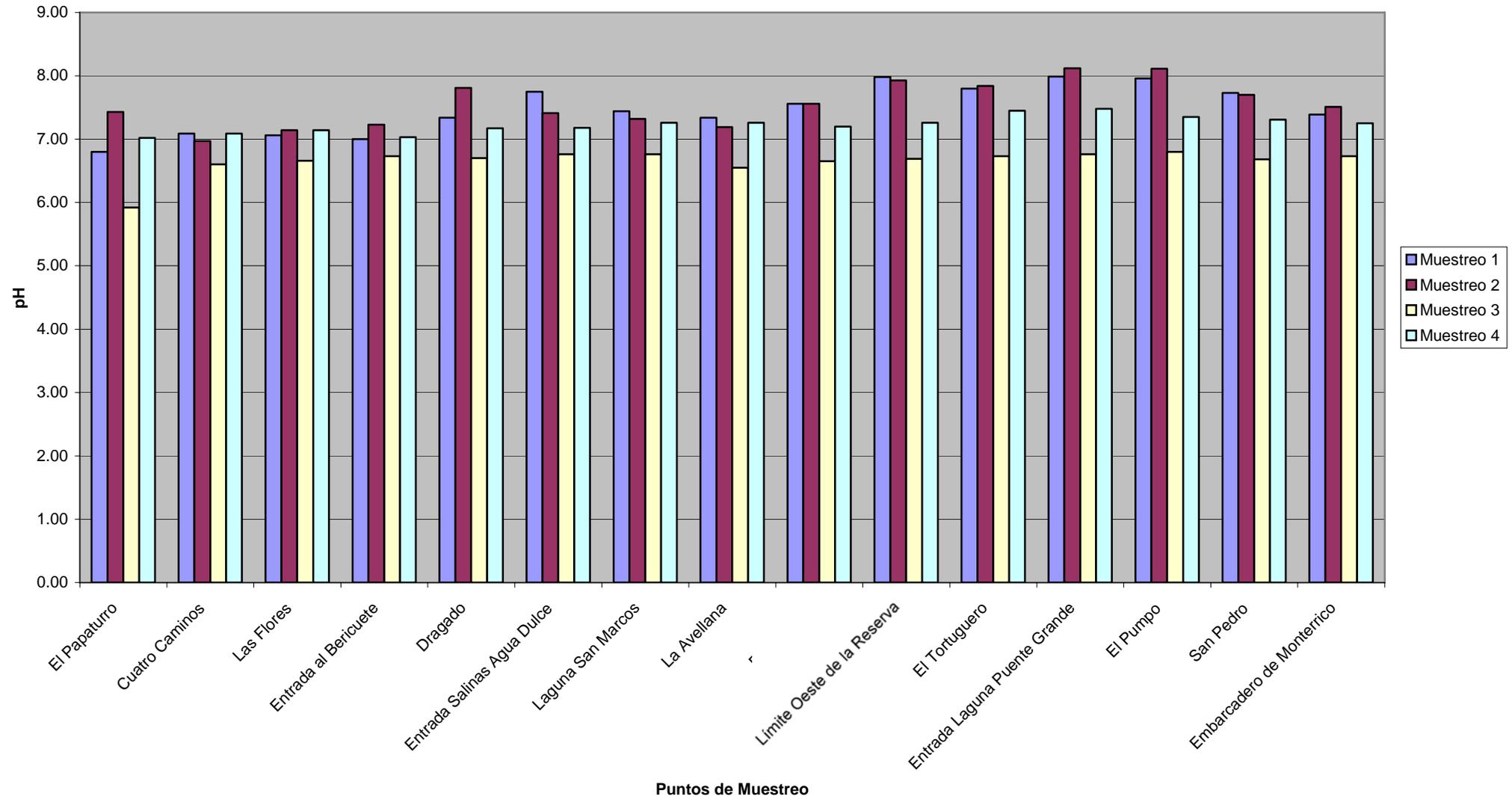
**Anexo 12.1.4. Mapa de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.**  
(Fuente: Prensa Libre)



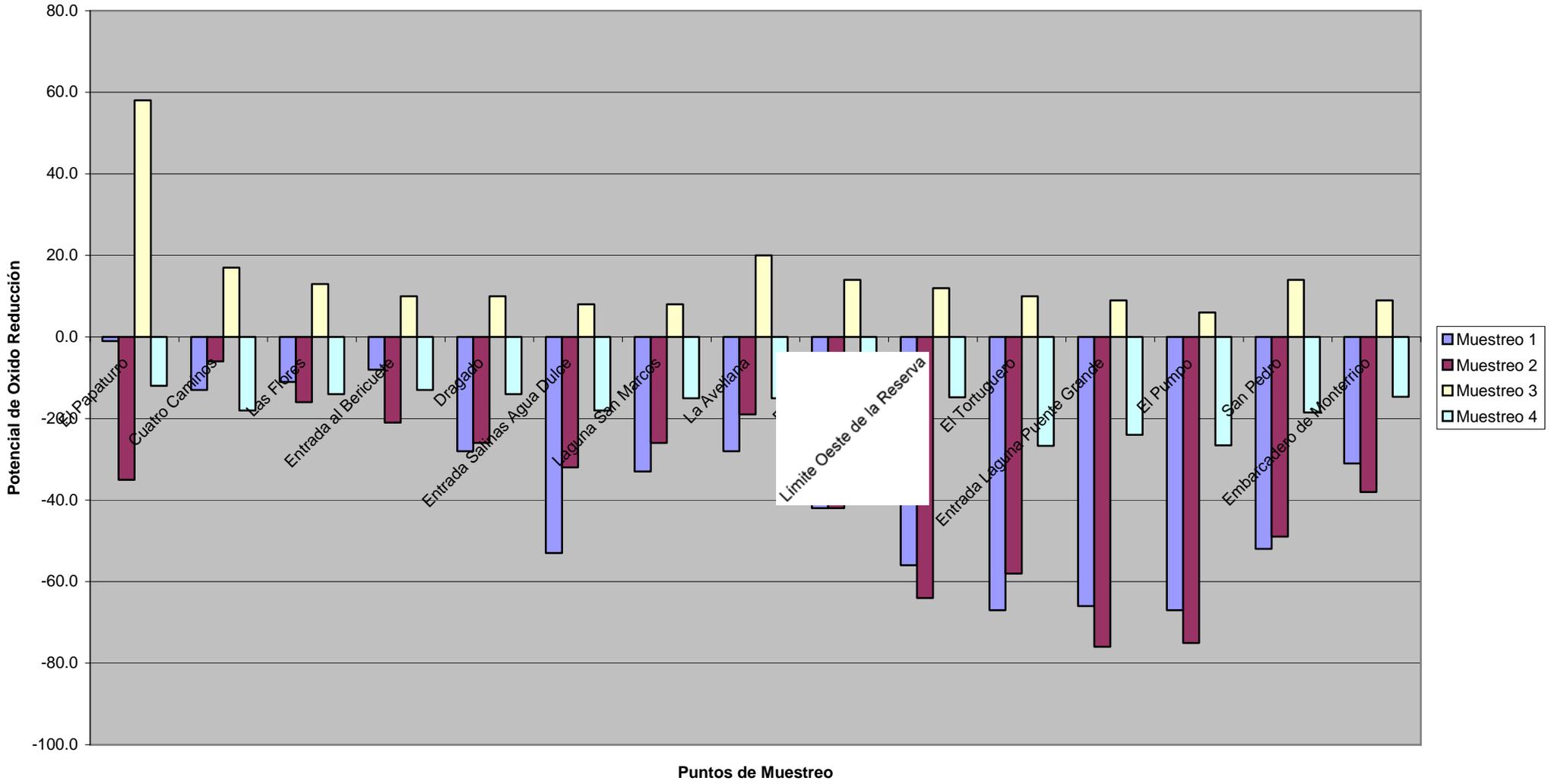
## 12.2. Gráficos de Resultados



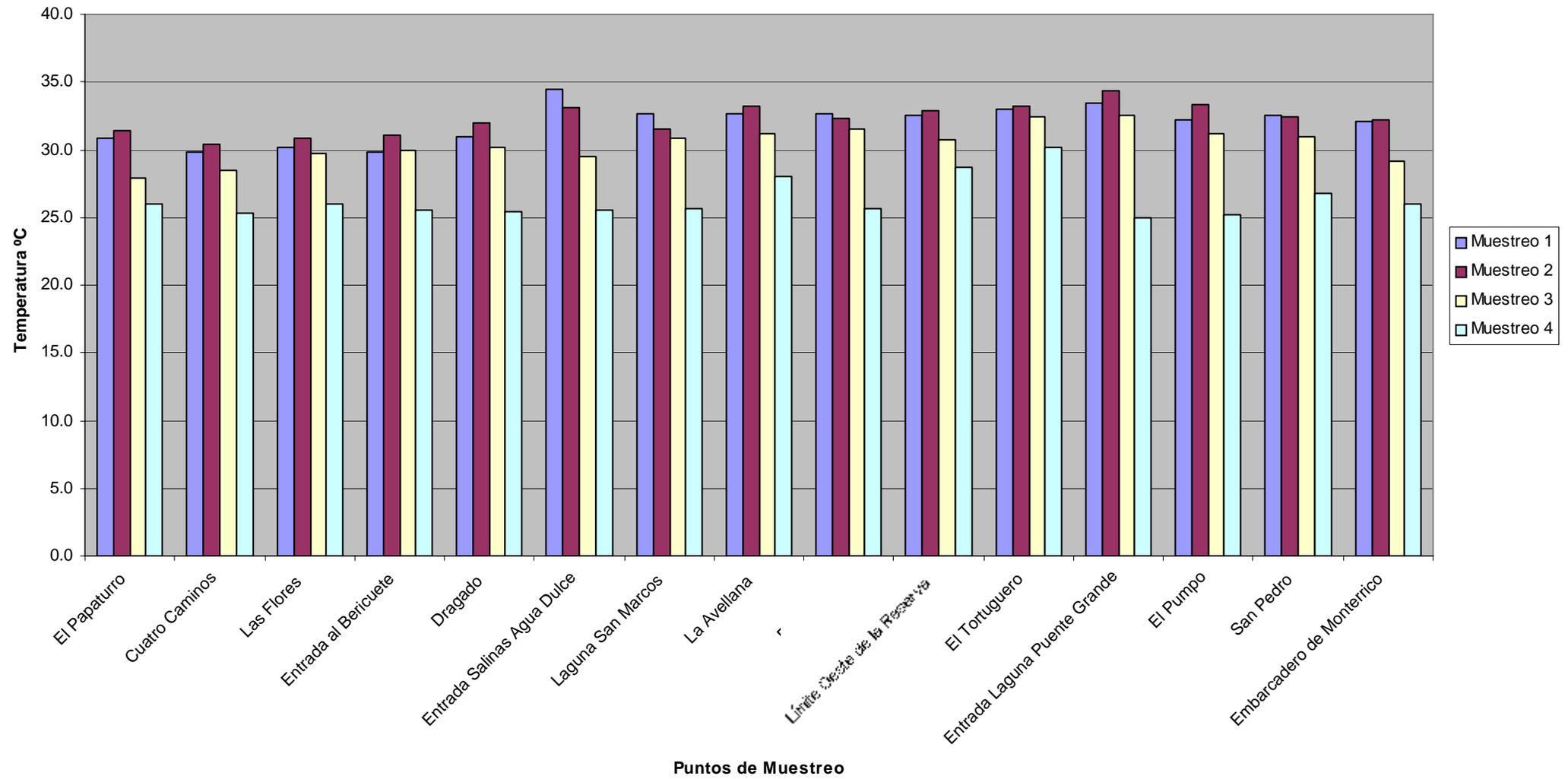
## 12.2.1. Determinación de pH



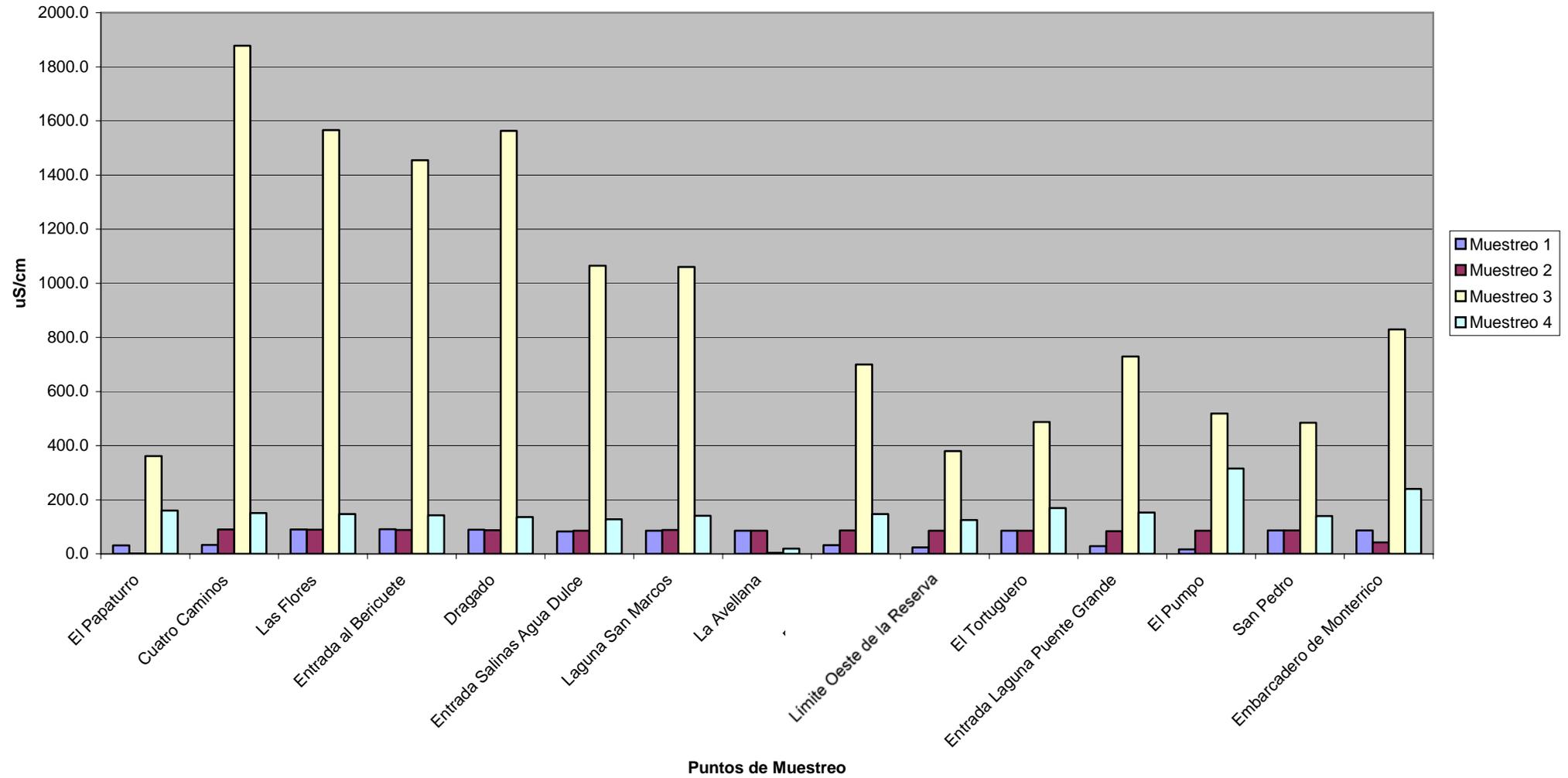
12.2.2. Determinación de Potencial de Óxido Reducción



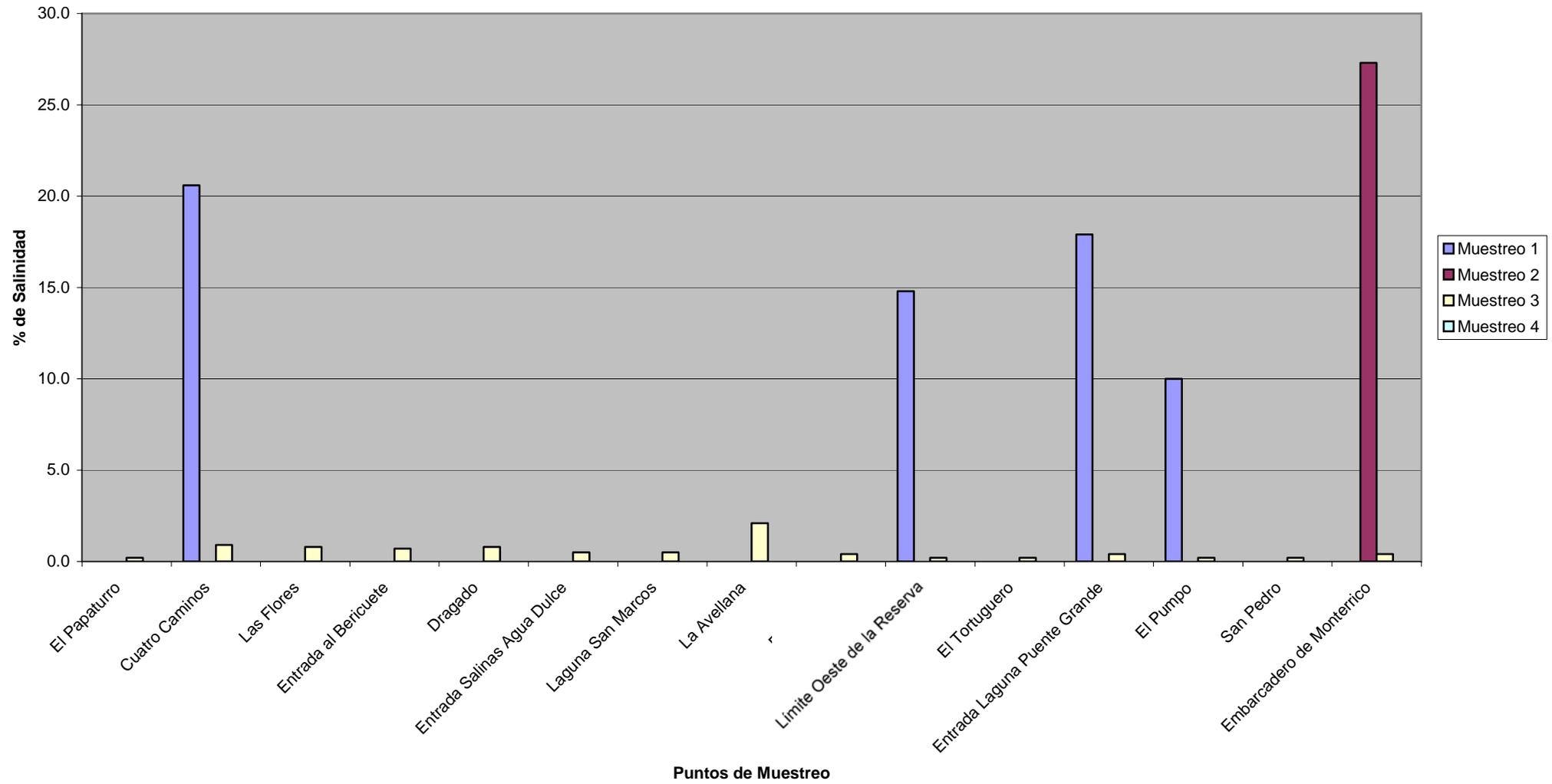
## 12.2.3. Determinación de Temperatura



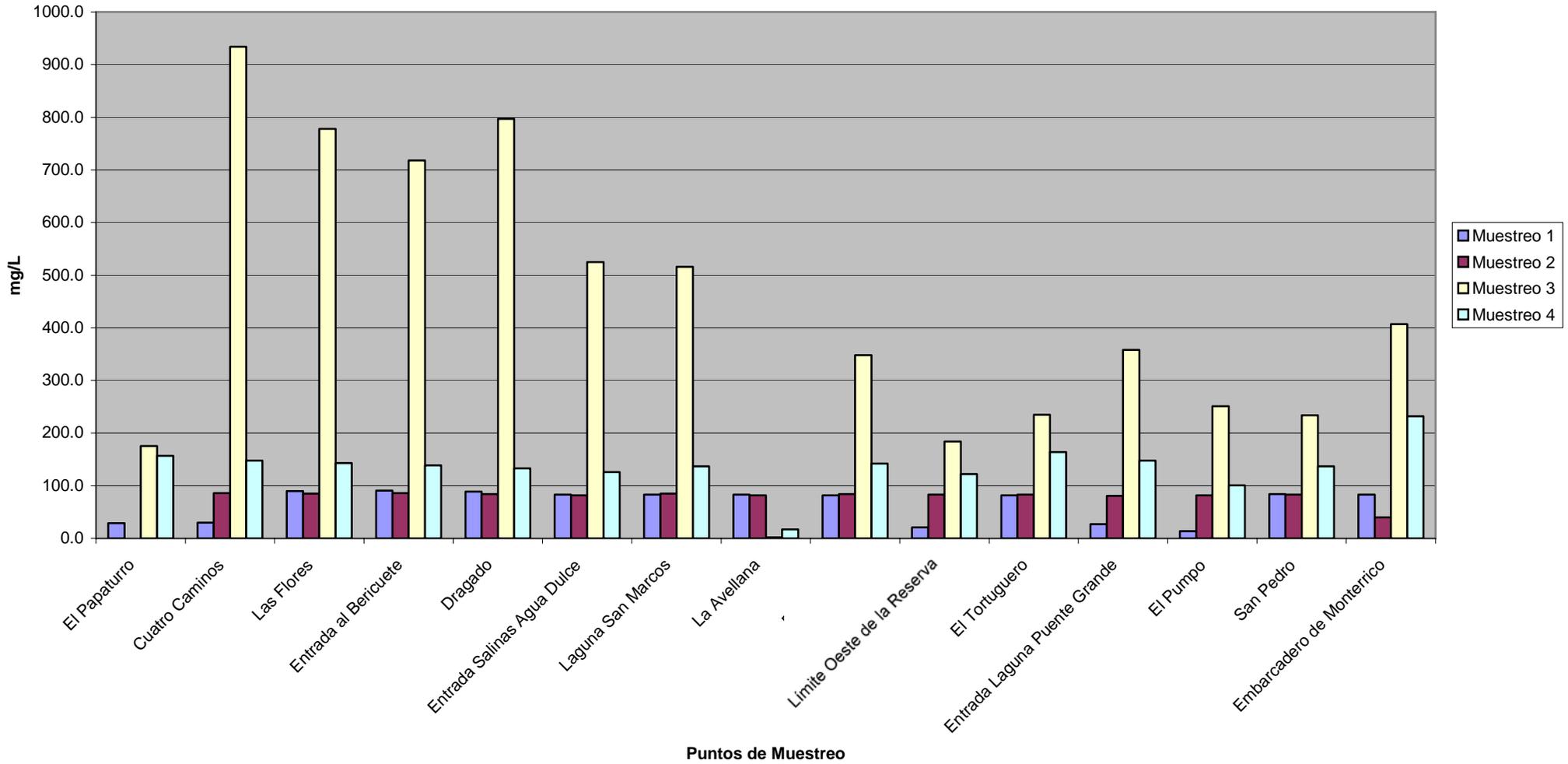
### 12.2.4. Determinación de Conductividad



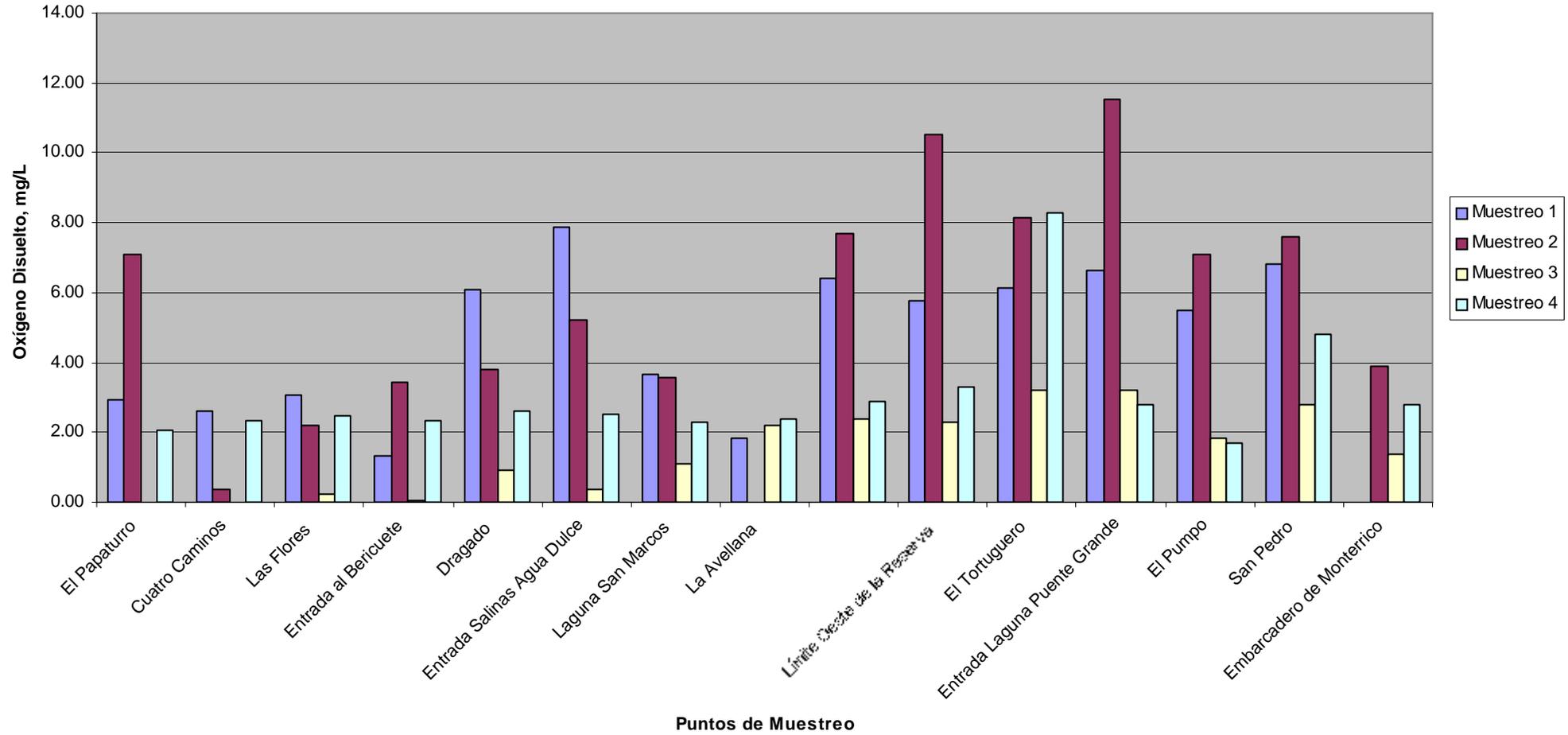
## 12.2.5. Determinación de Salinidad



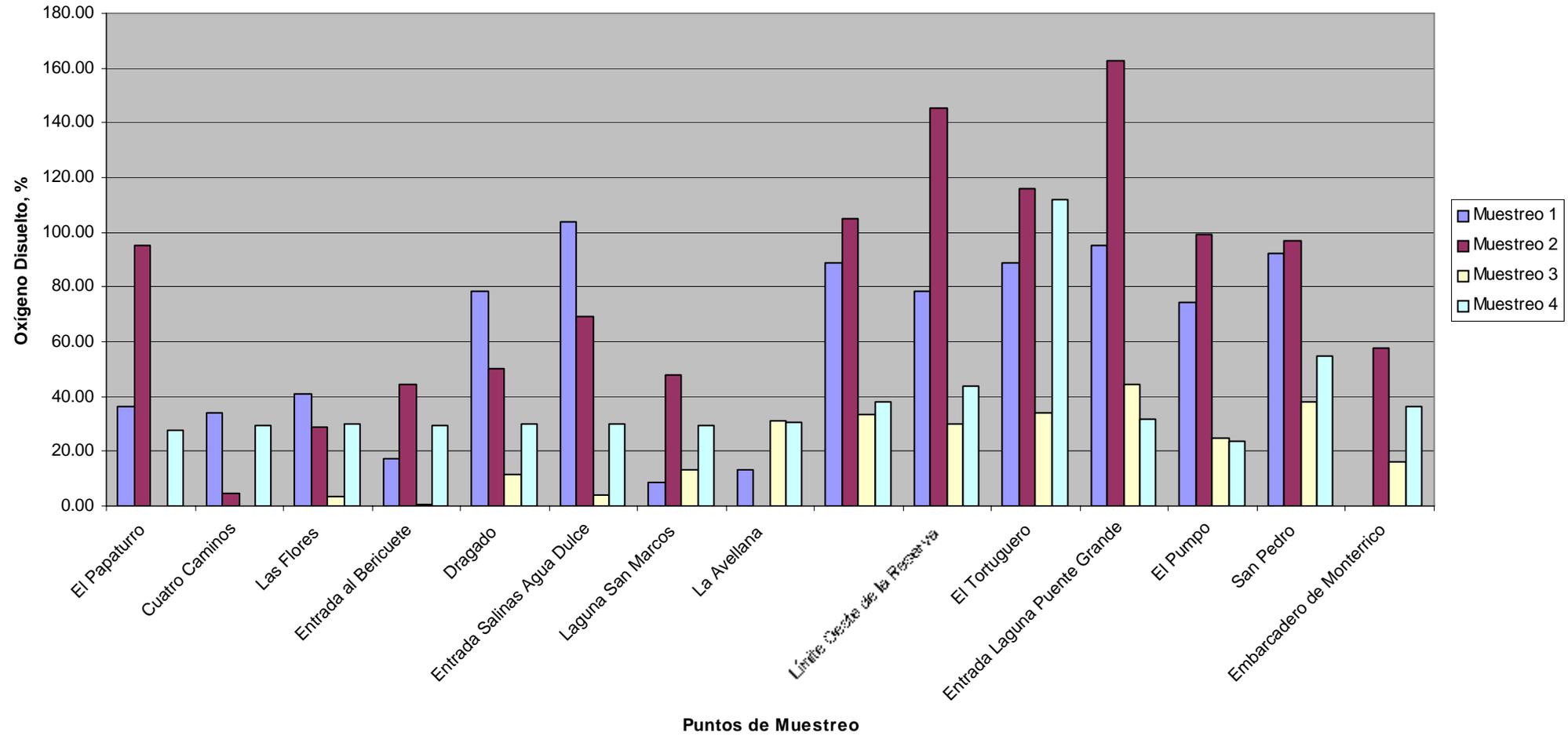
### 12.2.6. Determinación de Sólidos Disueltos Totales (TDS)



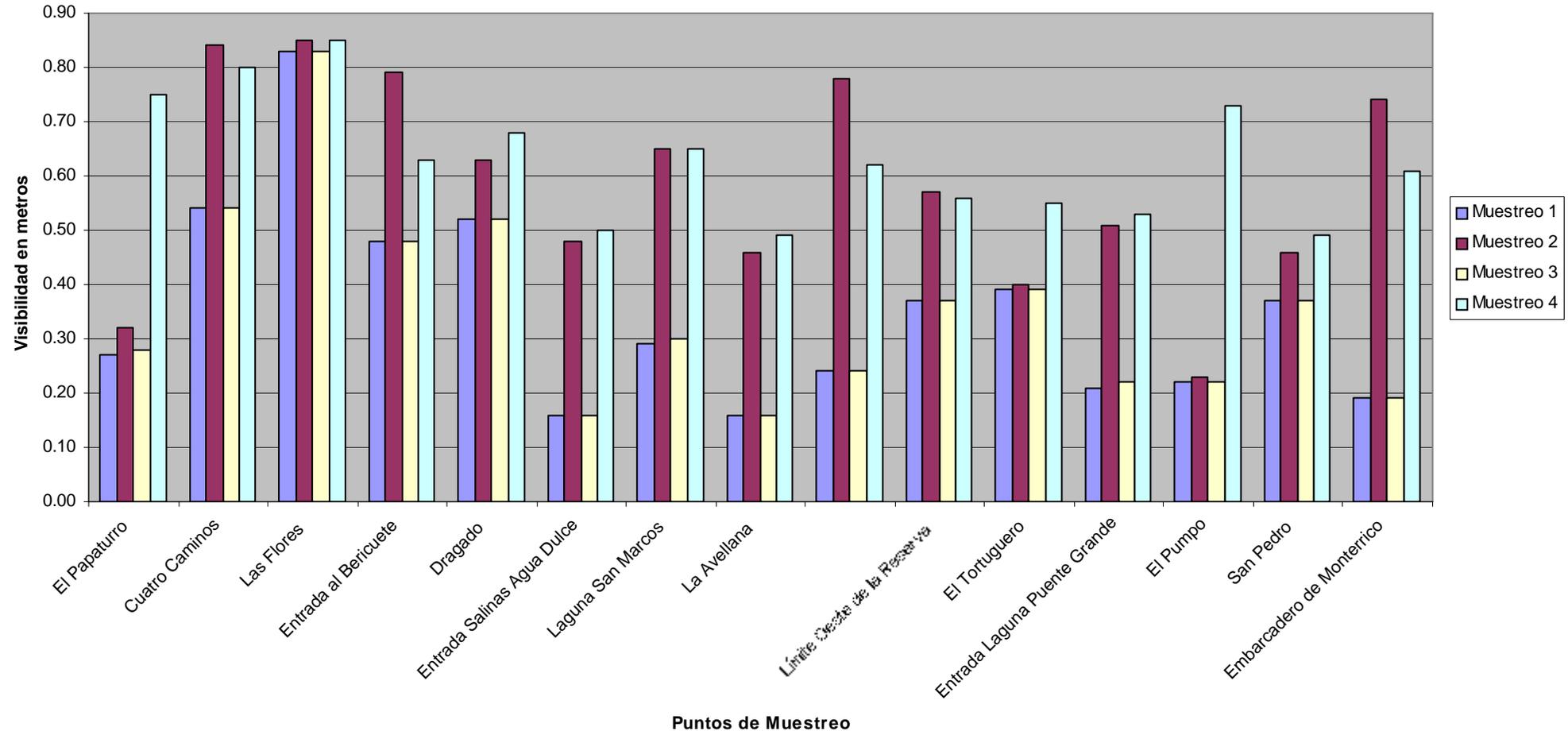
## 12.2.7. Determinación de Oxígeno Disuelto



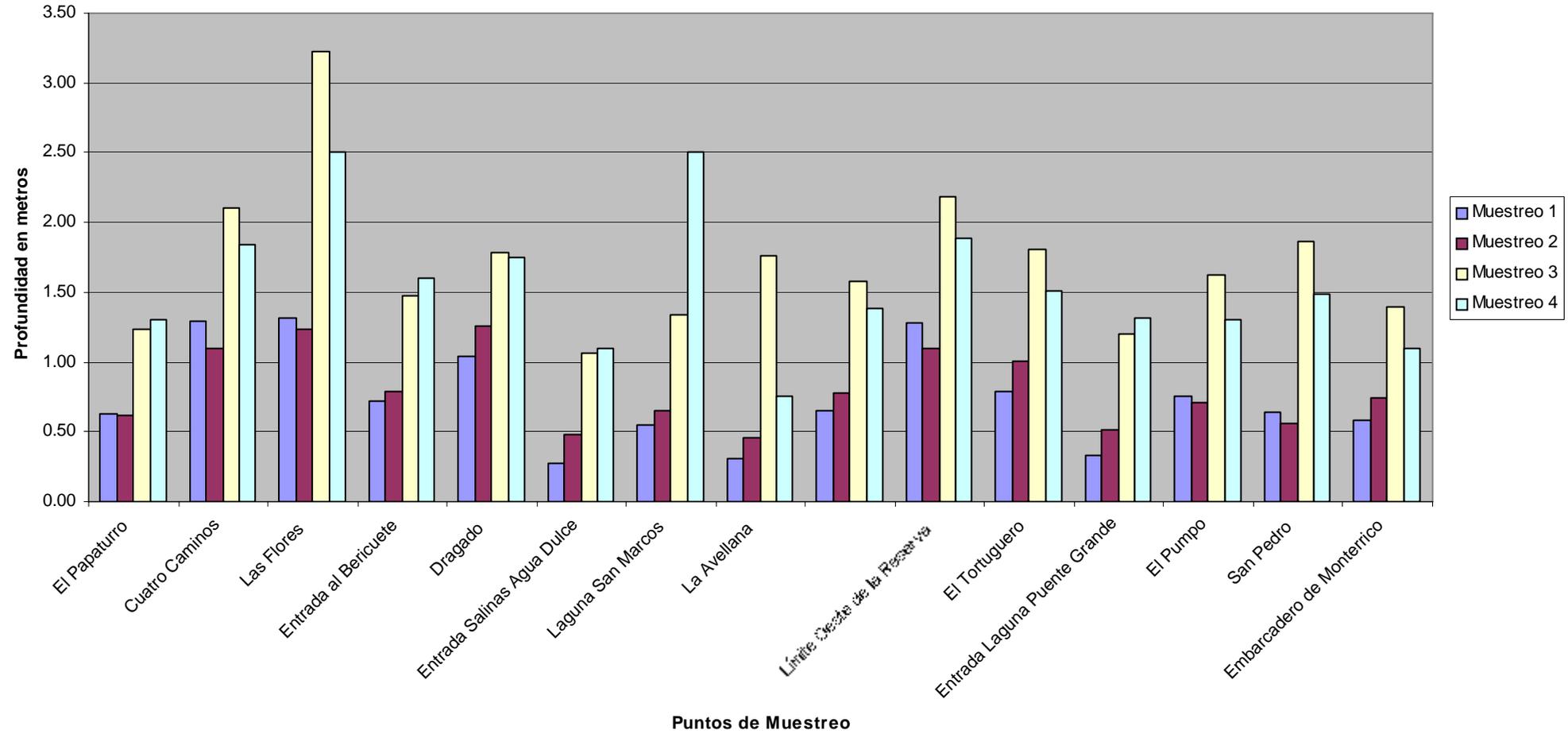
## 12.2.8. Determinación de Oxígeno Disuelto



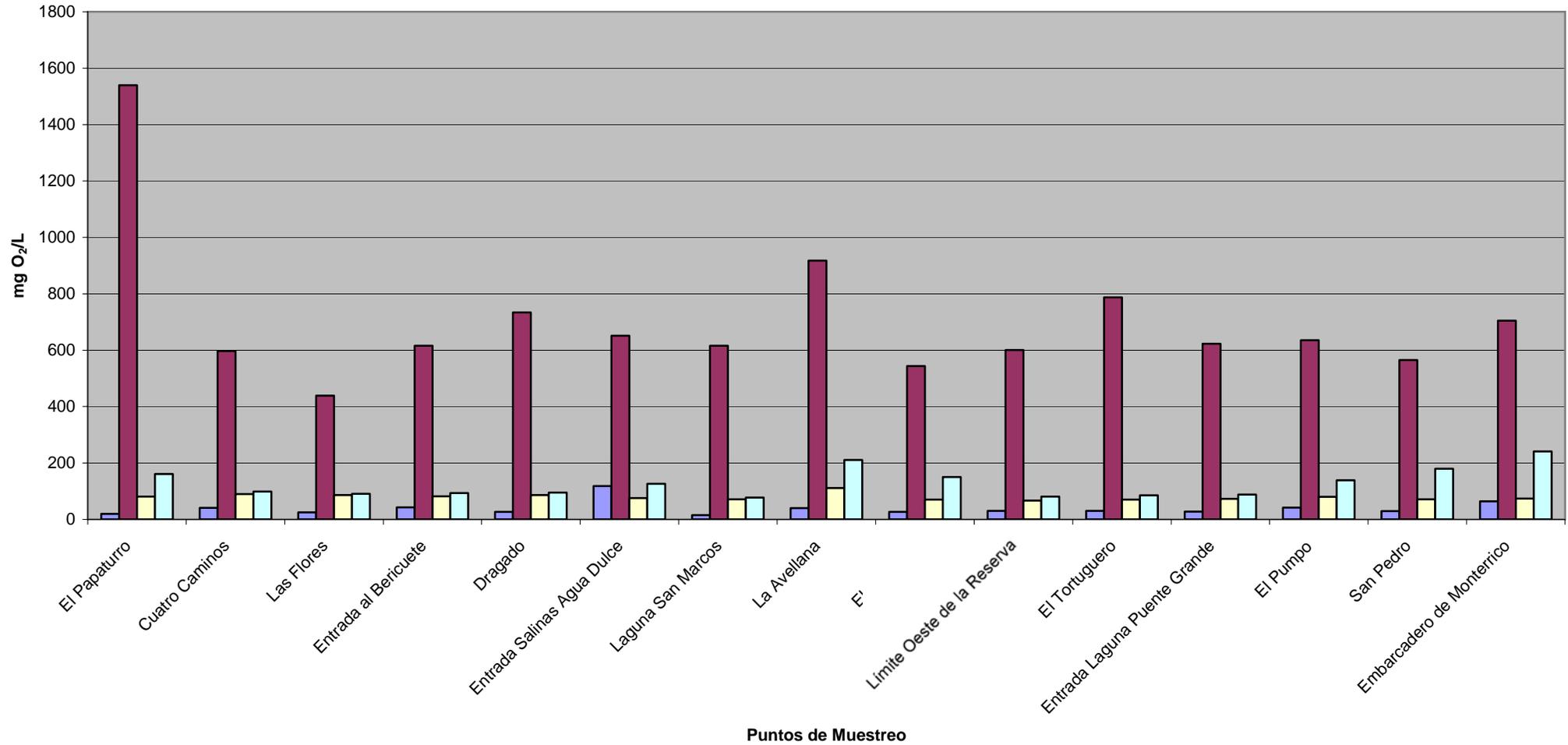
## 12.2.9. Determinación de Visibilidad



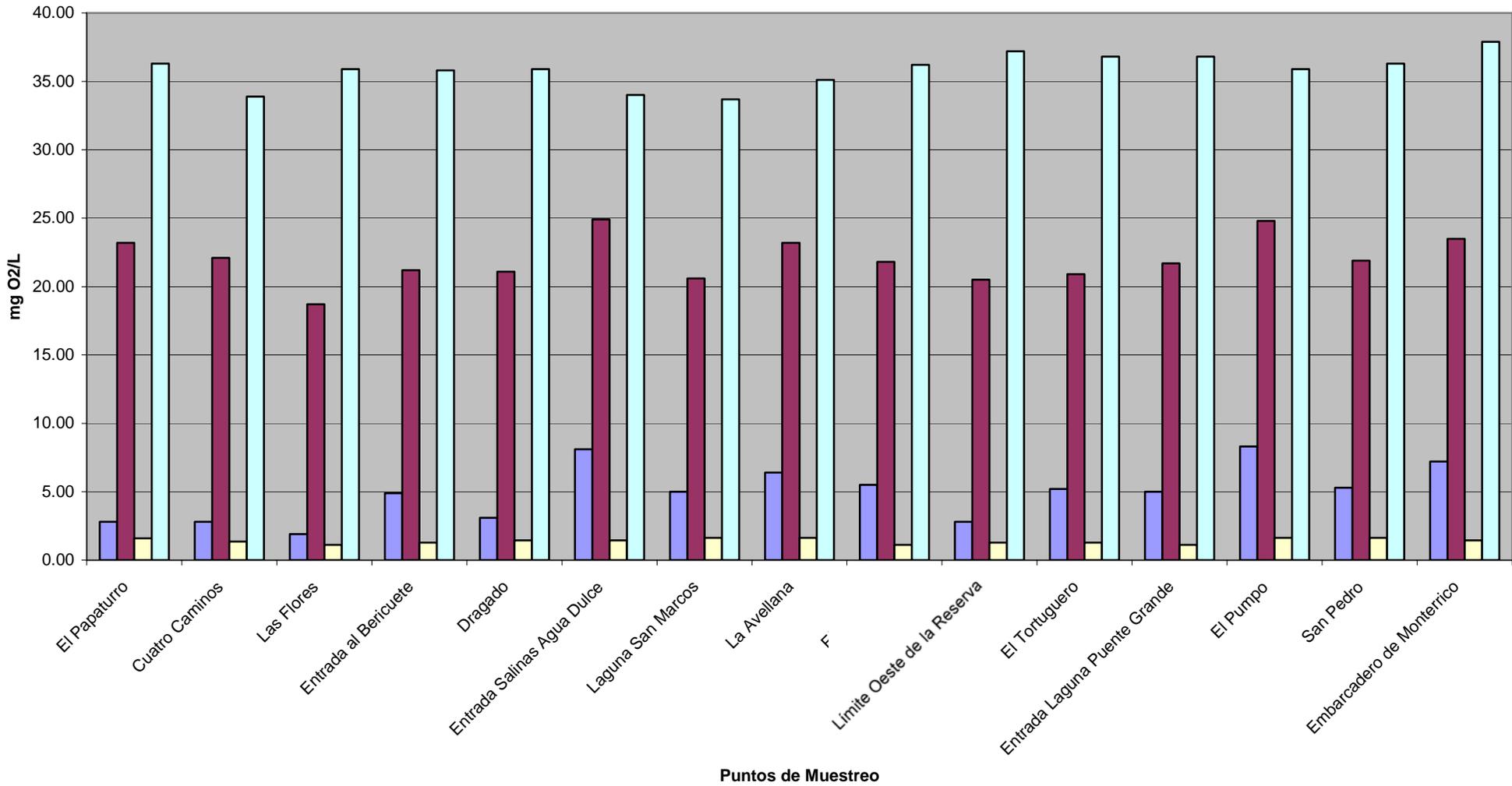
## 12.2.10. Determinación de Profundidad



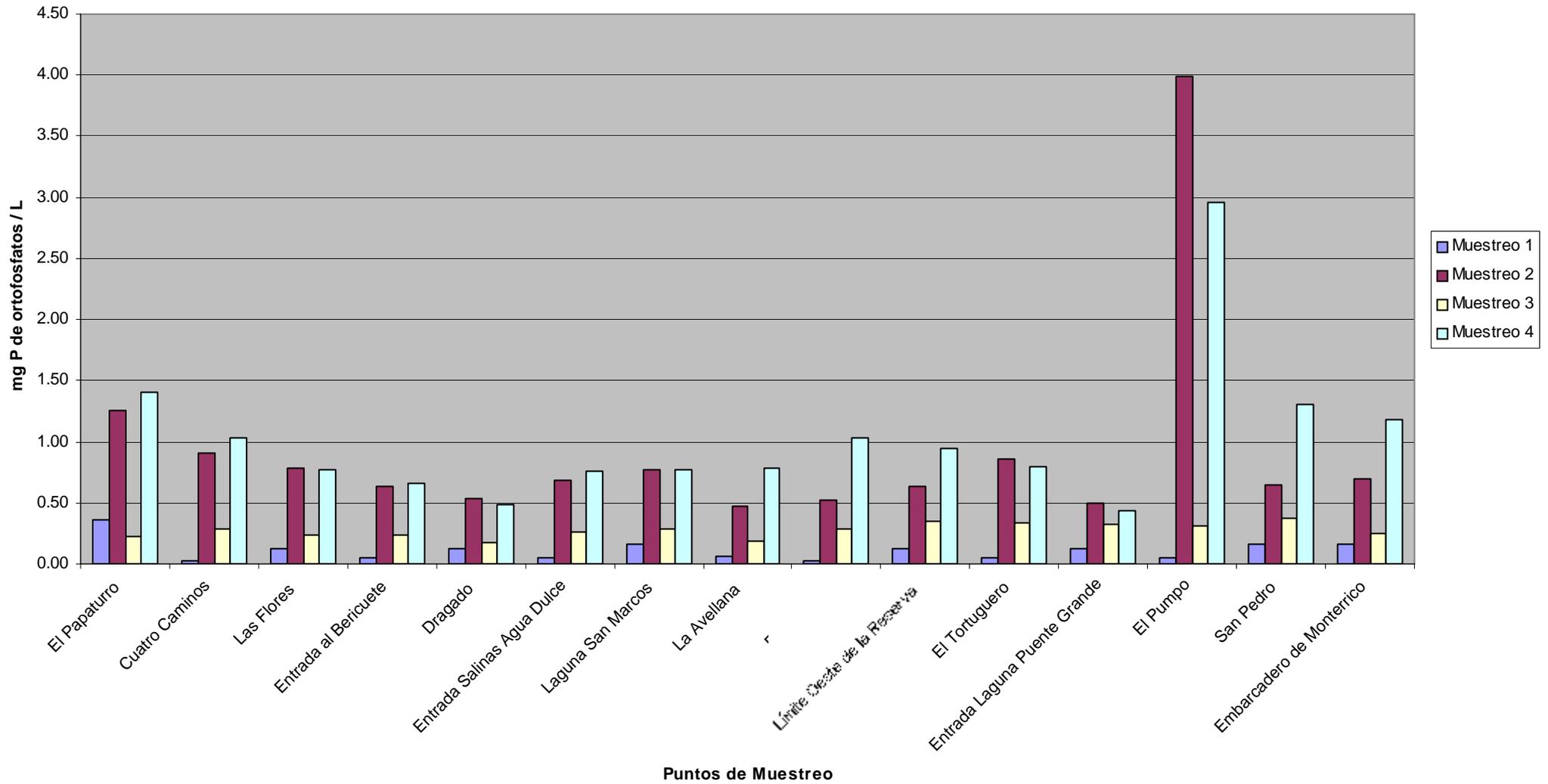
### 12.2.11. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno



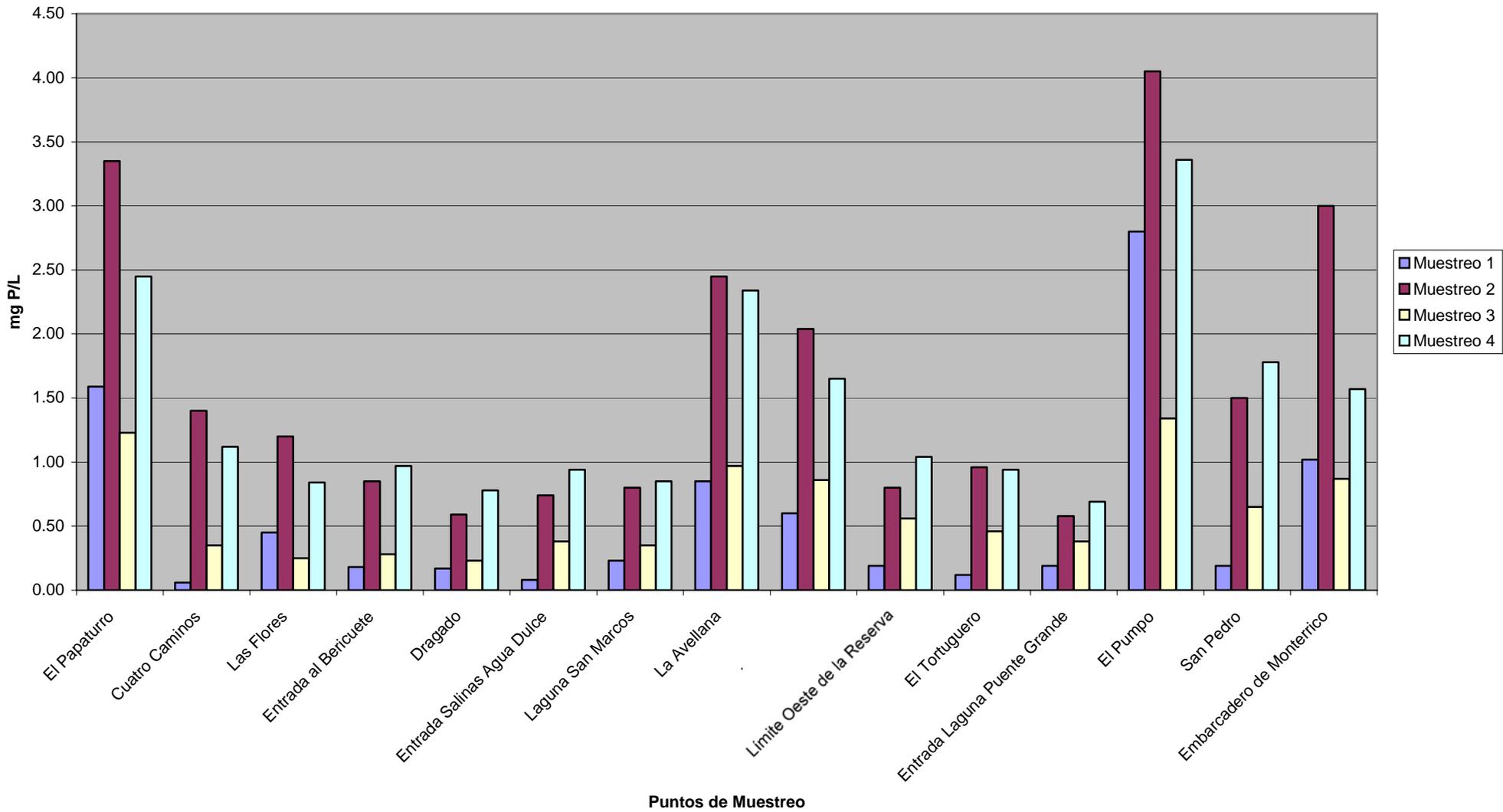
### 12.2.12. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno



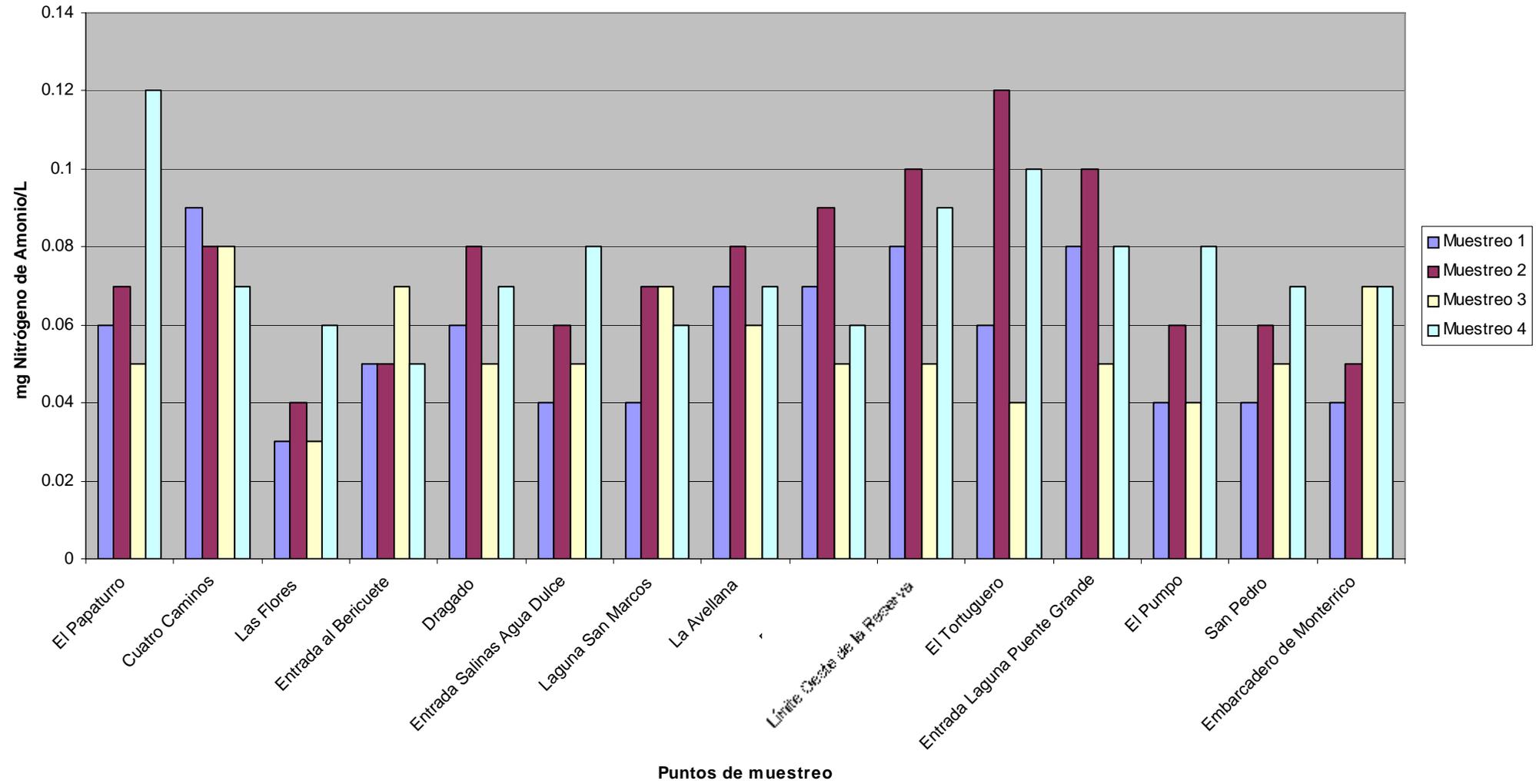
### 12.2.13. Determinación de el Fósforo de Ortofosfatos



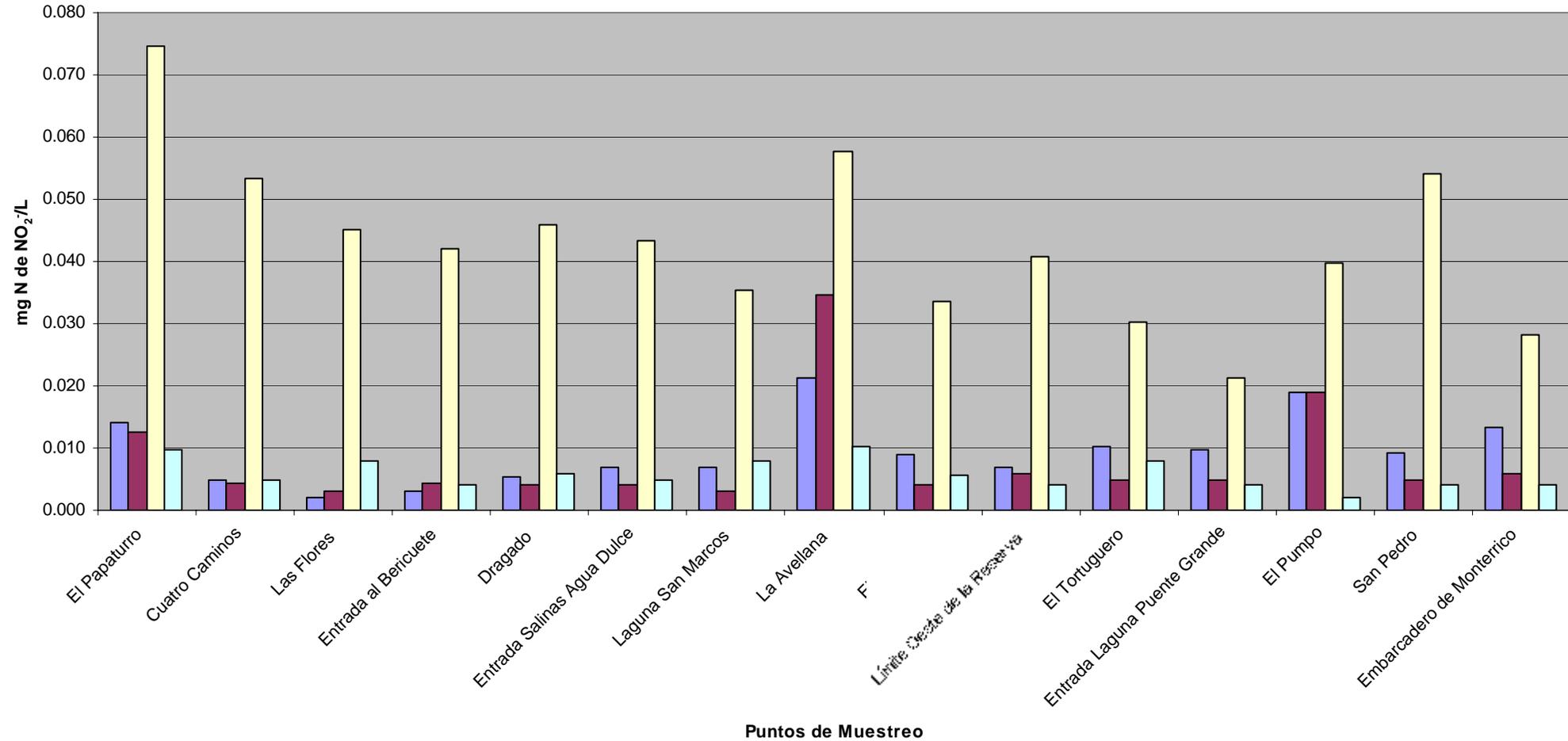
## 12.2.14. Determinación de el Fósforo Total



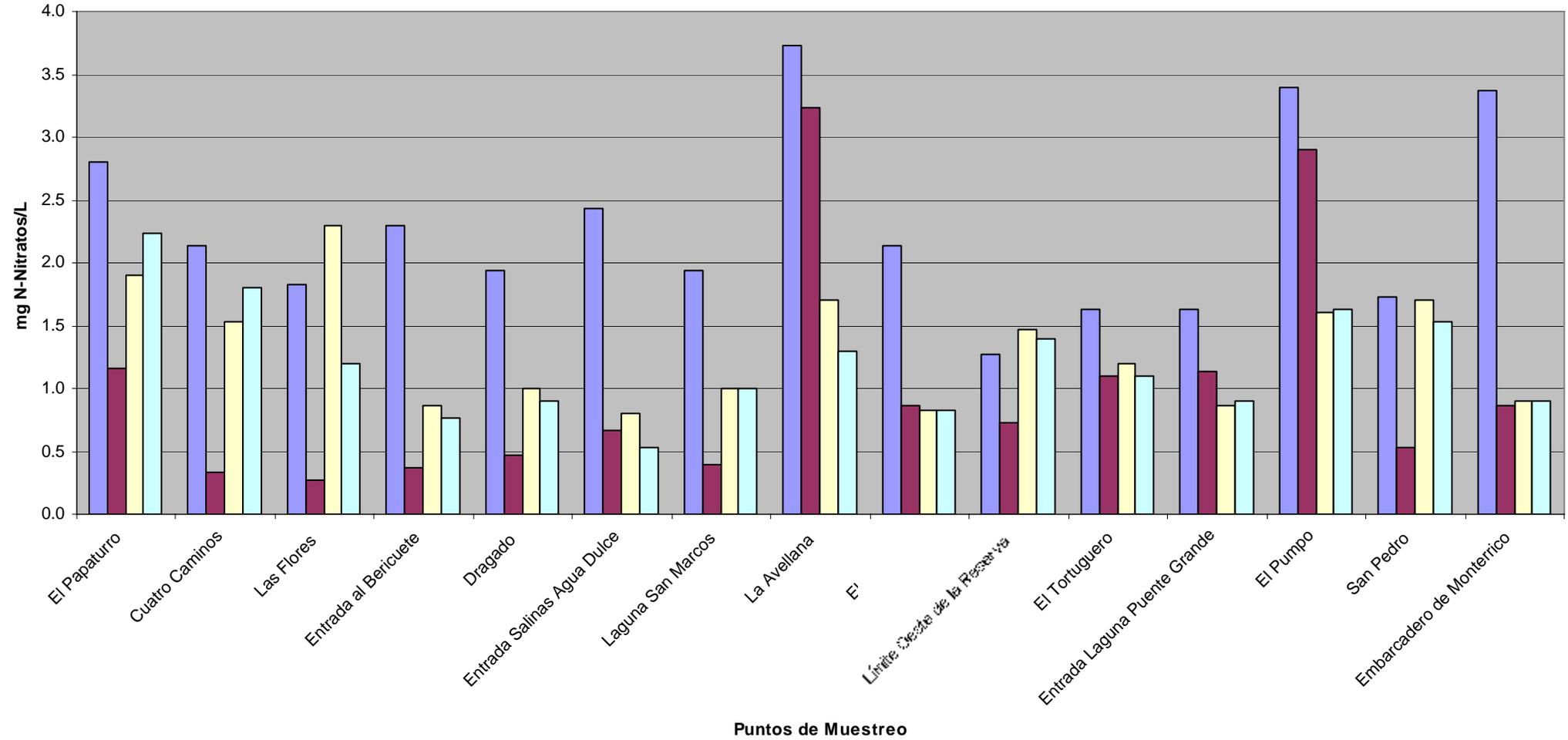
## 12.2.15. Determinación del Nitrógeno de Amonio



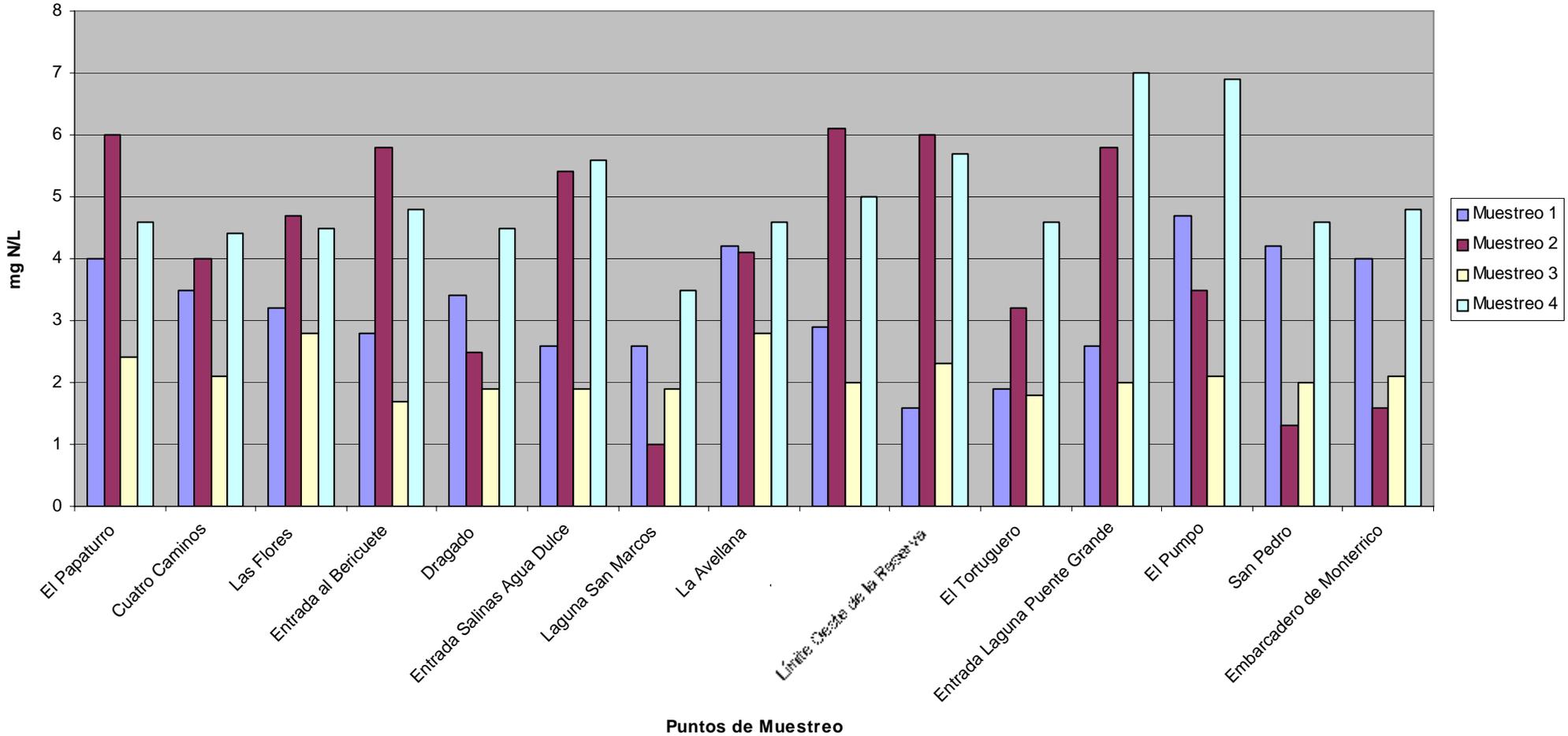
## 12.2.16. Determinación de el Nitrógeno de Nitritos



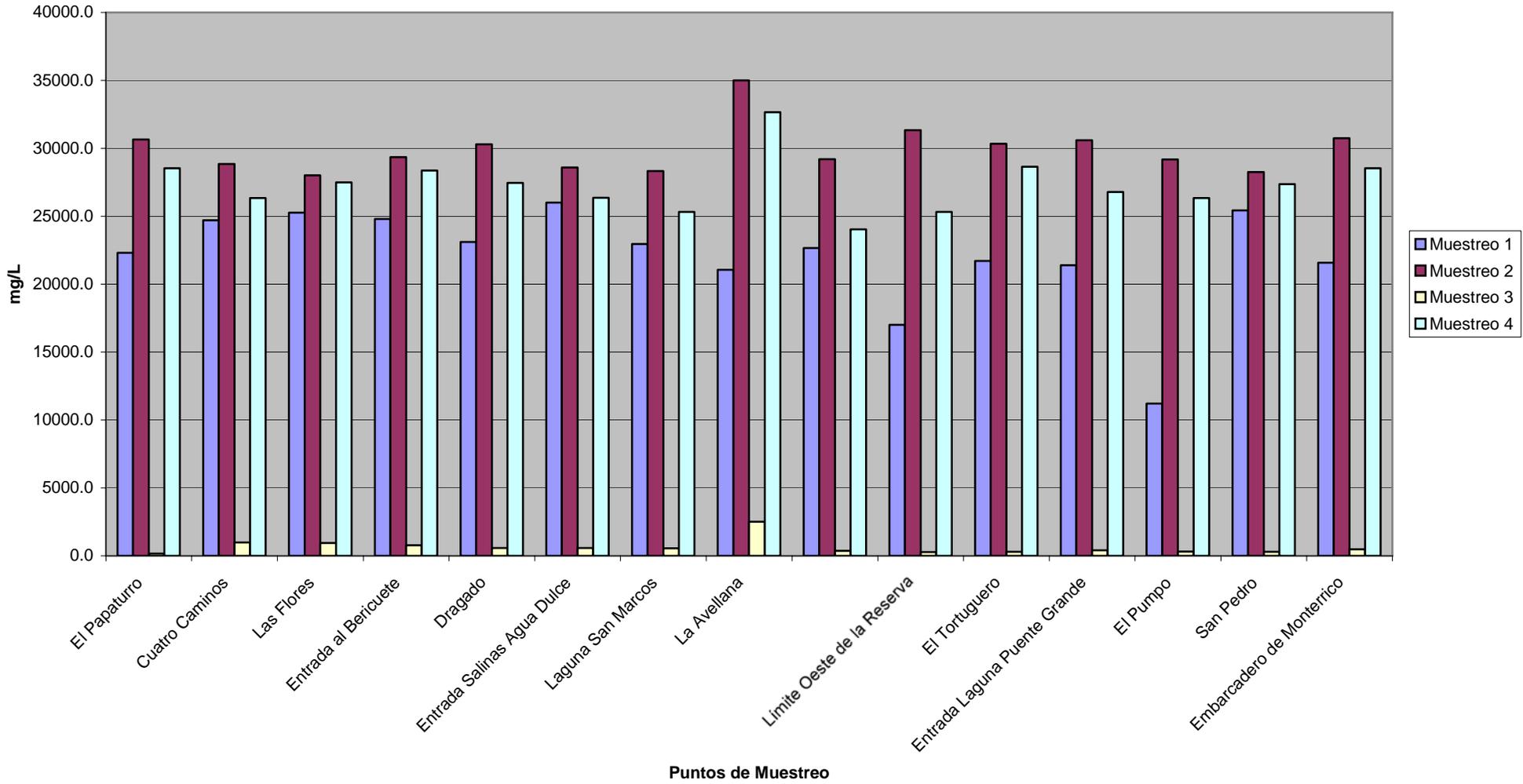
## 12.2.17. Determinación de Nitrógeno de Nitratos



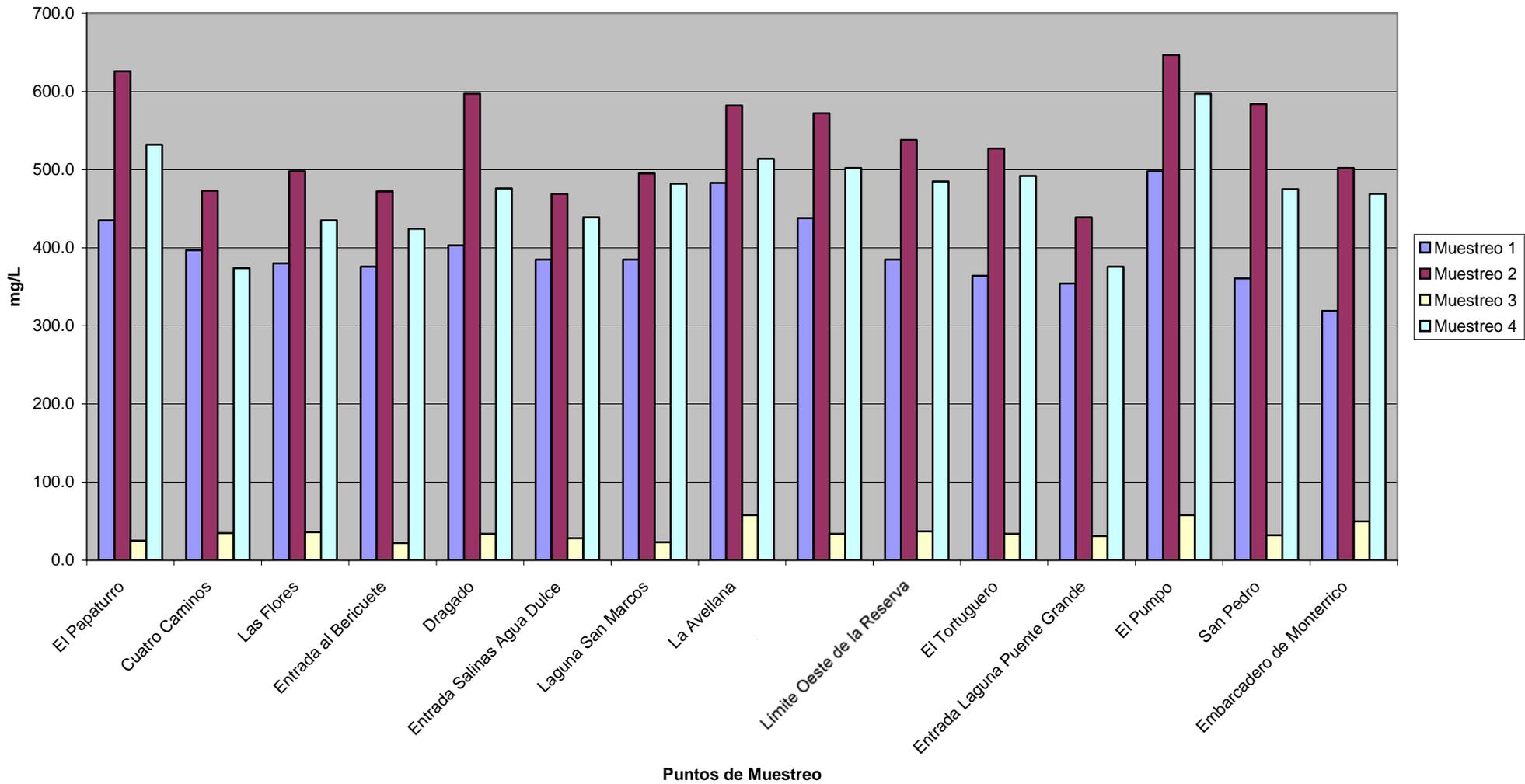
12.2.18. Determinación del Nitrógeno Total



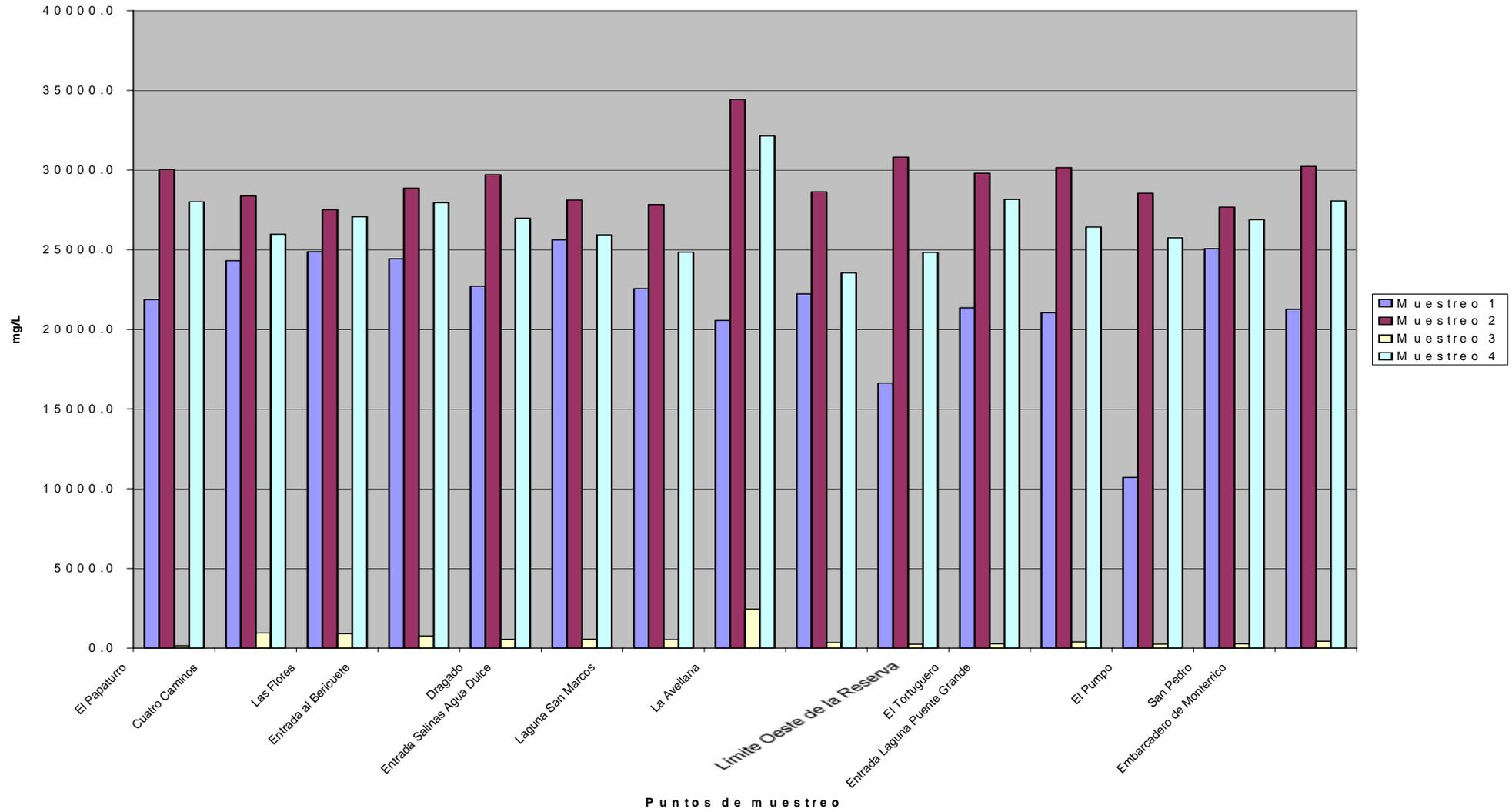
12.2.19. Determinación de los Sólidos Totales



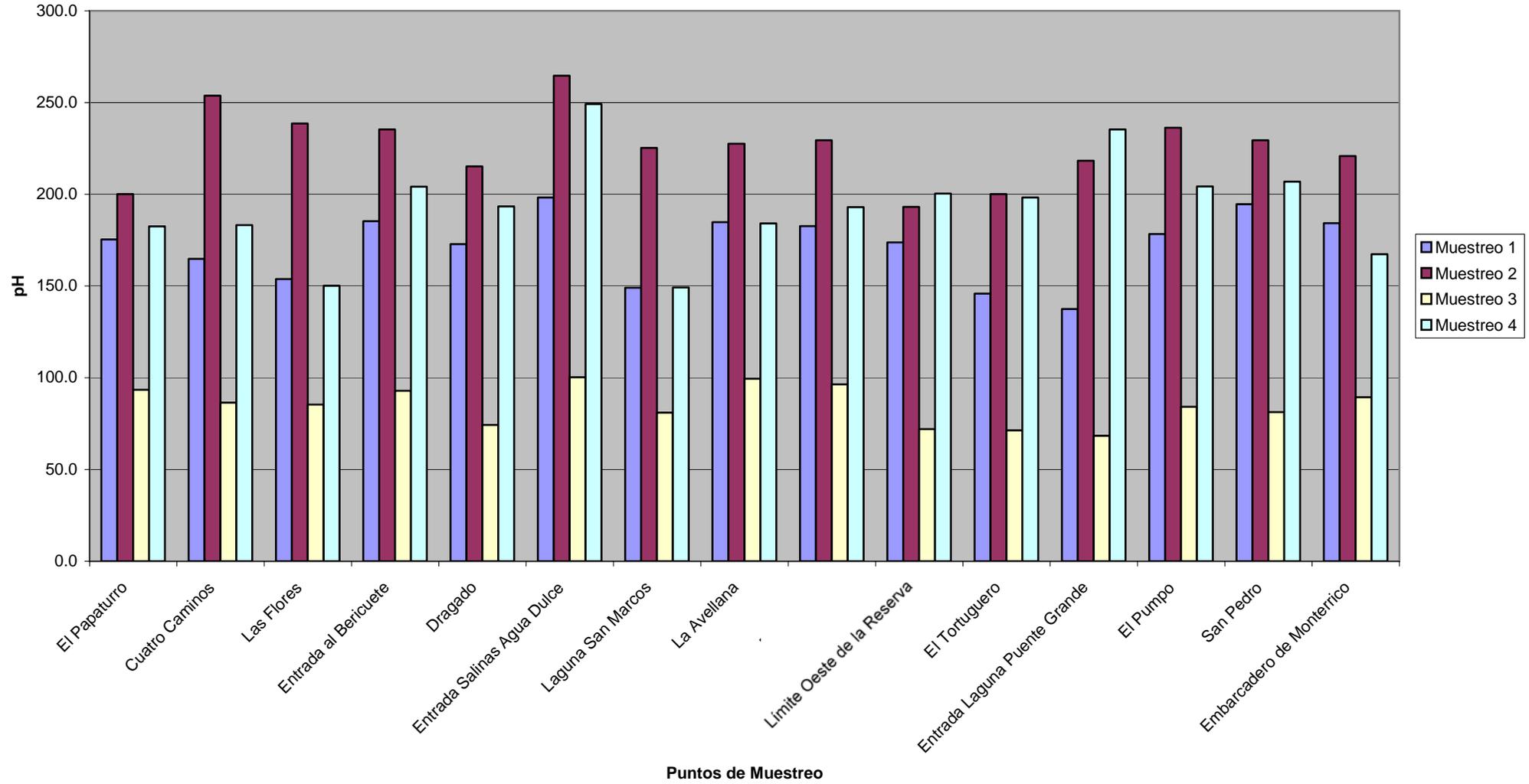
### 12.2.20. Determinación de Sólidos Suspendedos Filtrables



12.2.21 Determinación de los sólidos disueltos totales



12.2.22. Determinación de la Dureza Total



## 12.2.23. Determinación de los Sulfatos

