

---

## *INDICE*

<i>SUMARY</i>	<i>i</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>ii</i>

	<i>Página</i>
<i>I</i> <b>INTRODUCCION</b>	<i>1</i>
<i>II</i> <b>ANTECEDENTES</b>	<i>3</i>
<i>III</i> <b>JUSTIFICACION</b>	<i>6</i>
<i>IV</i> <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<i>7</i>
<i>V</i> <b>HIPOTESIS</b>	<i>8</i>
<i>VI</i> <b>OBJETIVOS</b>	<i>9</i>
5.1 <i>Objetivo General</i>	<i>9</i>
5.2 <i>Objetivos específicos</i>	<i>9</i>
<i>VII</i> <b>PREGUNTA CENTRAL</b>	<i>10</i>
<i>VIII</i> <b>MARCO CONCEPTUAL</b>	<i>10</i>
<i>IX</i> <b>SUBPREGUNTA</b>	<i>11</i>
<i>X</i> <b>METODOLOGIA</b>	<i>12</i>
<i>XI</i> <b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<i>19</i>
<i>XII</i> <b>CONCLUSIONES</b>	<i>56</i>
<i>XIII</i> <b>RECOMENDACIONES</b>	<i>57</i>
<i>XIV</i> <b>BIBLIOGRAFIA</b>	<i>58</i>
<i>XV</i> <b>ANEXOS</b>	<i>63</i>

<i>Figura.</i>	<b>9.1</b>	<b><i>Resultados de Ph en el río Rocha.</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.2</b>	<b><i>Resultados de Conductividad.</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.3</b>	<b><i>Resultados de temperatura del agua del río Rocha</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.4</b>	<b><i>Resultados de temperatura ambiental</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.5</b>	<b><i>Comparación de temperatura en muestreo 01</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.6</b>	<b><i>Comparación de temperatura muestreo 02</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.7</b>	<b><i>Resultados de Coliformes fecales</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.8</b>	<b><i>Resultados de DBO<sub>5</sub></i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.9</b>	<b><i>Resultados de Fosfatos.</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.10</b>	<b><i>Cambio de temperatura.</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.11</b>	<b><i>Nitratos</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.12</b>	<b><i>Oxígeno disuelto</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.13</b>	<b><i>Sólidos totales</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.14</b>	<b><i>Sólidos filtrables.</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.15</b>	<b><i>Sólidos suspendidos.</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.16</b>	<b><i>Nitrógeno amoniacal.</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.17</b>	<b><i>Turbidez</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.18</b>	<b><i>Indices de calidad para Coliformes fecales</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.19</b>	<b><i>Indices de calidad para DBO<sub>5</sub>.</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.20</b>	<b><i>Indices de calidad para fosfatos.</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.21</b>	<b><i>Indices de incremento de temperatura.</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.22</b>	<b><i>Indices de calidad para nitratos.</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.23</b>	<b><i>Indices de calidad para Oxígeno disuelto.</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.24</b>	<b><i>Indices de calidad para pH.</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.25</b>	<b><i>Indices de calidad para Sólidos totales</i></b>
<i>Figura.</i>	<b>9.26</b>	<b><i>Indices de calidad para Turbiedad.</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.27</b>	<b><i>Indices de calidad general para todo el río.</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.28</b>	<b><i>Indices de calidad promedio por estación de muestreo.</i></b>
<i>Figura</i>	<b>9.29</b>	<b><i>Sección transversal 01.</i></b>

---

<i>Figura</i>	<i>9.30</i>	<i>Sección transversal 02.</i>
<i>Figura</i>	<i>9.31</i>	<i>Sección transversal 03</i>
<i>Figura</i>	<i>9.32</i>	<i>Sección transversal 04</i>
<i>Figura</i>	<i>9.33</i>	<i>Sección transversal 05</i>

#### ***LISTA DE CUADROS***

<i>Cuadro</i>	<i>9.1</i>	<i>Información general del área de estudio y estaciones de muestreo.</i>
<i>Cuadro</i>	<i>9.2-9.3</i>	<i>Mediciones y registros “in situ” de parámetros de campo.</i>
<i>Cuadro</i>	<i>9.4</i>	<i>Resultados de análisis de laboratorio de aguas de UMSS.</i>
<i>Cuadro</i>	<i>9.5</i>	<i>Indices de calidad.</i>
<i>Cuadro</i>	<i>9.5</i>	<i>Características físicas del río Rocha en las estaciones de muestreo.</i>

#### ***LISTA DE TABLAS.***

<i>Tabla</i>	<i>9.1</i>	<i>Estadística descriptiva de los resultados para ambos eventos de muestreo.</i>
--------------	------------	--

---

## RESUMEN

*Se evaluó las condiciones de contaminación del Río Rocha mediante la caracterización de sus aspectos hidrológicos, físicos, químicos y biológicos y la determinación de los índices de calidad del agua. El área de estudio comprendió el sector fluvial desde Sacaba hasta Capinota. Se aplicó el perfil longitudinal Capman, (1996), el enfoque sinóptico Rickert, (1998) y la metodología de Canter, (1998) para estimar los índices de calidad de agua y el modelo Duflow para el análisis espacio-temporal.*

Las lugares de muestreo fueron elegidos de acuerdo a Maldonado et al (1998); Peredo (1999); Romero et al., (1998 y 2000) y previa observación teniendo en cuenta los cambios en las áreas del ecosistema, descargas de aguas residuales, fuentes puntuales y no puntuales de contaminación, contexto hidrológico, uso del recurso, accesibilidad física, investigación sinóptica (Rickert, 1998 y Alexander et al., 2001), temporalidad (EPA, 1998 y USGS, TWRI, book 9, 1998) etc. Se midió algunos parámetros “in situ” y el resto fueron analizados en el laboratorio del Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental de la Universidad San Simón Cochabamba. Las secciones transversales y la velocidad del flujo se midieron en las mismas estaciones, en el mismo tiempo. Coliformes fecales presentó el índice de calidad más bajo y el pH el más alto al igual que la temperatura, el Nitrato una calidad media y los demás presentaron una calidad Muy Mala. Todas las estaciones presentaron un índice de calidad Muy Mala, por tanto como sistema indicador dentro de un marco unificado y como instrumento que permite la identificación del deterioro o mejora de un cuerpo de agua, los índices de calidad de agua se constituyen en indicadores de contaminación apropiados para el Río Rocha.

En general, el gradiente de las características hidrológicas, físicas, químicas y biológicas registradas evidencian un serio deterioro ambiental del Río Rocha por contaminación. Se observó una fuerte tendencia al incremento de las concentraciones y cantidades de los diferentes parámetros en ambos eventos de muestreo a partir de la estación 02 hasta la 04 y una autorecuperación de algunos parámetros como el DO a partir de la estación 04 río abajo.

La evaluación espacio temporal mediante modelamiento con el Duflow Versión 3.4 no ha sido posible por inconvenientes en el ajuste del programa tanto en el sistema de flujo como el modelo de calidad.

---

---

## INTRODUCCION

Los recursos naturales constituyen la oferta ambiental y la fuente de aprovechamiento a partir de la cual, las poblaciones satisfacen sus necesidades vitales. Las sociedades utilizan los elementos del ambiente, recurren a ellos, y los transforman en recursos que son la base productiva y de desarrollo (Bernex y Montes, 1996; Martínez - Alier, 1997; Brack, 1998 y Azqueta y Sotelsek, 1999).

De todos los elementos que constituyen la oferta ambiental el recurso hídrico es de vital importancia. Como tal, el agua es esencial para toda forma de vida y aspectos de la misma, es un recurso escaso, vulnerable, estratégico e indivisible, sostiene el desarrollo y el ambiente (Liniger, 1998).

El estudio de los recursos es particularmente importante cuando se considera que, lo que consume un organismo afecta a lo que queda disponible para el resto de individuos (de la misma especie o especies diferentes) además, de la afección de éstos por las condiciones ambientales en que viven. (Begon 1995).

Con el aumento de la población y por tanto, del consumo exosomático de energía y materiales, así como de la sobrecarga que los cambios globales impondrán sobre la disponibilidad y la calidad del agua, los conflictos que surgen del uso global del recurso hídrico se incrementarán en los próximos años; es así que, de todos los temas de seguridad ambiental que enfrenten las naciones, el más importante será el adecuado manejo de este recurso (Vitousek, 1997 y Martínez - Alier, 1997).

La preocupación por los problemas de degradación ambiental, asociados al uso y manejo de los recursos naturales, no es nueva. Tampoco lo son los esfuerzos por controlar los impactos generados por ellos. No obstante, el control de estos problemas ha probado ser mucho más difícil de lo esperado. Dentro de este contexto global se pretende realizar una caracterización hidrológica, físico-química y biológica y espacio-temporal del status ambiental del recurso hídrico del río Rocha.

---

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las aguas de la cuenca río Rocha han sido y son usadas sin ninguna medida de manejo que garantice el mantenimiento de su calidad y de los procesos ecológicos que mantiene la dinámica fluvial natural (Maldonado,1998).

El río Rocha se ha convertido en una problemática ambiental debido a que por un lado es el receptor común de efluentes domésticos e industriales como por ejemplo curtiembres, fábrica de detergentes, aceites servicios de lavado y engrase de vehículos, hospitales y, principalmente en el curso inferior, sus aguas presentan una considerable cantidad de contaminantes de naturaleza orgánica e inorgánica, que al ser reutilizadas en el riego de cultivos como legumbres, hortalizas, maíz, etc constituye un riesgo para la salud de la comunidad. Por otro lado es necesario realizar estudios cada vez mas integrados de tal manera que permitan establecer un mejor entendimiento del ecosistema y conlleve a proponer mejores políticas y programas de minimización (control y recuperación del río Rocha).

Estas condiciones se traducen en un verdadero problema ambiental que, en época de estiaje cobra su máxima expresión. En este contexto ambiental del ecosistema Rocha, se determinó llevar a cabo una caracterización y evaluación considerando los componentes: hidrológicos, físico-químicos y biológicos (Chapman 1998).

Moulinier (1998) reconoce los deficientes esfuerzos y estudios en el recurso agua así como la insuficiente información generada alrededor de la caracterización, evaluación, monitoreo y falta de inventarios del sistema Rocha.

---

## **HIPOTESIS**

Los índices de calidad de agua propuestos por Canter (1998) se constituyen en indicadores de contaminación del Río Rocha.

---

## OBJETIVOS

### General:

- Contribuir al conocimiento y aplicación de nuevas herramientas para la evaluación del status ambiental hídrico del río Rocha, en base a la caracterización de sus componentes, estimación de los índices de calidad de sus aguas y su análisis espacial y temporal.

### Específicos:

- Determinar las características hidrológicas, físico-químicas y biológicas del río Rocha.
- Determinación de los índices de calidad de agua a través de los diferentes parámetros.
- Realizar un análisis espacio-temporal de los parámetros y aplicación de DUFLOW como herramienta en la evaluación espacio-temporal de los índices y estatus ambiental del río Rocha.

---

## METODOLOGIA

### A) **Determinación del área de estudio:**

1. **Ambito y escala geográfica;** La determinación del área de estudio estuvo basada en estudios previos y a la problemática ambiental que presenta el ecosistema Rocha la misma que, está comprendida entre las zonas de Sacaba y Capinota tramo fluvial de aproximadamente 52 Km. de longitud.(Ver Fig. anexo).
2. **Coordenadas limites UTM:** Latitud (808300, 8070000) **N**  
Longitud (780000, 800000) **E.**

La cuenca del valle central de Cochabamba se encuentra situada en el departamento del mismo nombre. Fisiográficamente se ubica dentro de zona de los valles mesotérmicos, implantada en un flanco del macizo montañoso central con una superficie de 1150 Km<sup>2</sup>, comprende en su parte norte y oeste los relieves montañosos formados por rocas paleozoicas y cretácicas. El río Rocha atraviesa la ciudad de Cochabamba y se constituye el principal río que drena las aguas del Valle Central de Cochabamba Renner, (2000).

**B) Perfil metodológico del muestreo:** para propósitos prácticos y simplificar el número de estaciones y/o puntos de muestreo y facilitar la representación de los datos se empleó el **perfil longitudinal** de muestreo (Chapman 1998).

**C) Enfoque metodológico: Levantamiento sinóptico,** este enfoque permite definir líneas básicas de referencia, condiciones, situación, cambios en un

---

tiempo relativamente corto (1-2 semanas), el número de estaciones económicamente factibles y una interpretación rápida, eficiente, puntual o focalizada para definir líneas base (Rickert, 1998 y Alexander et al, 2001).

#### **D) Determinación de sectores y puntos de muestreo:**

La determinación de los sectores y puntos de muestreo se basaron en dos criterios básicos:

- **Sectores o zonas y puntos de muestreo propuestos y/o considerados por Maldonado et al (1998); Romero et al (1998), Peredo (1999) y Romero et al (2000).**
- Verificación y reconocimiento de campo se realizó teniendo en cuenta los aspectos siguientes:

#### **Aspectos y condiciones considerados:**

- Cambios en las áreas y/o sectores en el ecosistema debido a procesos de ampliación de área urbana.
- Vertidos de aguas residuales y/o industriales.
- Fuentes puntuales de contaminación.
- Marco hidrológico y variaciones hidrológicas ( Aporte de caudales y/o confluencia de otros ríos).
- Uso del recurso hídrico.
- Accesibilidad física.
- Evaluación basada en interés puntual y temporal (encuesta intensiva y durante las estaciones de estiaje (EPA, 1998 y USGS,TWRI, book 9, 1998). Esta consideración considera la época de agudizamiento de la problemática de la contaminación del recurso agua.

Los aspectos señalados permitió determinar la cantidad necesaria y localidades óptimas para los eventos de muestreo y los recursos humanos a emplear.

**E) Selección de parámetros:** Basado en Canter (1998) y en Winograd (1995).

Los parámetros se seleccionaron de acuerdo a:

- Disponibilidad y calidad de los datos.
- La metodología a emplear.
- La aplicación y conexión con los problemas analizados.
- La cobertura geográfica.
- La importancia para el análisis.
- El juicio personal que permita interrelacionar los diferentes niveles y escalas utilizadas.

**Tabla 1. Parámetros seleccionados para determinación de índices de calidad de aguas del río Rocha de acuerdo a Canter (1998).**

Parámetro y/o Variables	Tipo de parámetro			
	Hidrológico	Físico	Químico	Biológico
Temperatura (°C)		X		
Turbidez (NTU)		X		
Sólidos totales (TS)		X		
OD oxígeno disuelto (mg/L)		X		
DBO5 (Demanda bioquímica de				X
Coliformes fecales				X
PH			X	
Nitrato			X	
Fosfato			X	
Ammonium			X	
Caudal y secciones transversales	X			

---

---

**F) Recolección de muestras, toma de datos y análisis:**

- **Espacio y temporalidad en la toma de las muestras:** Los lugares específicos, en donde se midieron y registraron los valores de los parámetros de “medición en campo” y, la recolección de las muestras de “análisis en laboratorio” fueron los mismos en los dos eventos de muestreo con un intervalo de tiempo de una semana aproximadamente.
- **Mediciones en campo.** En la tabla 2 se indican los parámetros que se determinaron en el campo debido a que sus valores cambian y/o pueden cambiar en el tiempo y a la posibilidad de ser expuestos a la atmósfera lo que podría hacer variar los valores, por lo que no fue necesario la recolección de muestras.
- **Determinación o análisis en el laboratorio:** este proceso- que comprendió desde la preparación del material, calibración de instrumentos de muestreo, la recolección de las muestras y su análisis se realizó con asistencia y por el personal del Laboratorio de Aguas de la UMSS y los parámetros analizados se indican n la tabla 2.

**Tabla 2.** Parámetros determinados en campo y laboratorio.

<b>Tipo de medición y/o determinación de los parámetros en estudio.</b>	
<b>Campo</b>	<b>Laboratorio</b>
Temperatura.	Coliformes fecales
Oxígeno disuelto (OD)	DBO <sub>5</sub>
PH	Fosfato

Conductividad	Nitratos
	Turbidez
	Sólidos totales
	Sólidos filtrables
	Sólidos suspendidos
	Nitrógeno amoniacal.

**G) Cálculo de los índices de calidad y su valoración cuantitativa:**

- Los índices se calcularán de acuerdo al índice de la calidad del agua (WQI) desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional (NSF) en 1970 y citado por Canter (1998); fórmula que es una función ponderada de agregación producto cuya expresión matemática es:

$$NSPWQL_m = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i}$$

Donde:

**WQI** Índice de calidad de agua

**n** Número de variables

**I** Subíndices

**W** Pesos de importancia asignados a las variables, los cuales se detallan en la tabla 3.

**Tabla 3** Pesos de importancia asignados para cada parámetro de acuerdo a Fundación de Sanidad Nacional (NSF) en 1970 y citado por Canter (1998).

Parámetro	Peso de importancia
DBO5	0.11
Coliformes fecales	0.16
Oxígeno disuelto	0.17
Fosfato	0.10
Nitrato	0.10
Temperatura	0.10
Turbidez	0.08
PH	0.11
Sólidos totales (TS)	0.07

**H) Descriptores de los índices:** los descriptores y los colores propuestos (Tabla 4) para la presentación del índice de calidad de agua en el ecosistema del río Rocha está basada en Ott (1978), (Citado por Canter, 1998).

**Tabla 4.** Descriptores de calidad y colores propuestos para presentar los índices de calidad de agua, WQI (Ott, 1978).

Calidad	Rango	Color
Excelente	91-100	Azul
Buena	71-90	Verde
Media	51-70	Amarillo
Mala	26-50	Naranja
Muy mala	0-25	Rojo

---

**I) Validación Estadística de los datos:** El análisis y validación de los resultados se efectuaron mediante la estadística descriptiva con un 95% probabilidad en las pruebas de significancia y utilizando el programa SPSS 10.

**J) Análisis espacio – temporal:** de los índices mediante el DMS (DUFLOW). La aplicación del modelo consistió en dos etapas:

a. Obtención de datos de campo:

- Estimación de caudales con el empleo de molinete modelo SEBA Hydrometrie F1 de 125 mm de diámetro y con asistencia de personal técnico del laboratorio de aguas y Saneamiento Ambiental de la UMSS.
- Mediciones de secciones transversales, las que se realizaron con un equipo estación total geodésico y con asistencia del personal técnico del CLAS.

b. Modelamiento en gabinete:

- Transferencia de datos desde el formato DBF de la estación total a archivos del Ilwis y luego a formato XLS de Excel.
- Obtención de secciones transversales ploteando los datos.
- Estimación de áreas de secciones transversales
- Ingreso de datos al modelo
- Modelación de flujo y calidad de agua.

---

## PREGUNTA CENTRAL

**¿Se constituyen como indicador de contaminación del río Rocha los índices de calidad de agua?**

### MARCO CONCEPTUAL.

El control ambiental puede servir para distinguir los cambios naturales de aquellos provocados directa o indirectamente por la contaminación u otros impactos, los cuales, pueden diferir en intensidad y calidad en el espacio y tiempo (Acharya, 1999). Spellerberg, (1991) citado por Canter (1998), define algunas razones que justifican la importancia del control ecológico como, por ejemplo, sirve de base en la gestión de los recursos biológicos para el desarrollo sostenible y la valoración de los recursos; ayuda a la gestión y conservación de los ecosistemas y comunidades y es un medio para avanzar en el conocimiento de la dinámica de los ecosistemas, entre otras.

Los indicadores ambientales son medidas de factores físicos, químicos o biológicos, bajo la hipótesis de que estas medidas son indicativas del sistema biofísico o socioeconómico. Se ha sugerido que los indicadores ambientales pueden utilizarse como herramientas para el seguimiento del estado del medio con relación al desarrollo sostenible o amenazas ambientales, niveles de calidad y sus cambios, la integración de los intereses ambientales en las políticas sectoriales y la integración de las consideraciones ambientales en las políticas económicas (Canter, 1998 y Department of Economic and Social Affairs. United Nations, 1999; Molden, 1997).

El desarrollo y empleo de los indicadores ambientales es una herramienta efectiva para las organizaciones que operan dentro de una cuenca, pues permite estimar y evaluar en que medida se están logrando las metas de calidad del ambiente y son importantes también porque son fuente de información para decisores, programas de

---

---

manejo, el público, etc Fellows (1996). La evaluación de la calidad de agua tiene como objetivo definir las condiciones del ambiente, el estado o situación, tendencias y cambios y los factores que afectan las condiciones naturales del recurso agua (Rickert,1998).

La evaluación es un proceso de enfoque múltiple que evalúa las características de los componentes del recurso en relación a su calidad natural, efectos humanos y usos previstos.

La escala considerada para el estudio es la Escala Local, es decir extensiones específicas de los ríos, que consiste en las relaciones definidas de causa efecto y descripciones de las condiciones específicas de calidad de agua.

**SUBPREGUNTA:**

**¿Como es la distribución espacio-temporal de los índices de calidad de agua a lo largo de curso del río Rocha?.**

---

## JUSTIFICACION

Aunque el río Rocha ha sido evaluado desde varios puntos de vista en los temas de contaminación, solo se ha realizado un estudio sobre índices de calidad en el cual se considera sólo cuatro parámetros: Oxígeno disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Nitratos (Romero 1998) y no se ha verificado alguno sobre la distribución espacio-temporal de parámetros de contaminación. Existen además, muy pocos estudios ambientales que permitan planificar el manejo de esta cuenca; la información existente es muy fragmentada y focalizada, es necesario un estudio integral técnico y ambiental que incluye hasta los ríos Caine y Grande y lo que es mas, no se ha realizado un seguimiento continuo sobre la calidad de las aguas de río Rocha (Maldonado 1998).

El presente trabajo por tanto, conducirá a establecer los índices de calidad de agua empleando nueve parámetros de calidad de aguas y permitirá determinar la distribución espacio-temporal de los mismos en el ecosistema del río Rocha. Pretende además, verificar la utilidad de nuevas herramientas –como el DUFLOW- para establecer el status ambiental del ecosistema río Rocha (Moulinier,1998).

---

## RESULTADOS Y DISCUSION

La calidad de las aguas varía en las tres dimensiones, las cuales son además modificadas por las condiciones de flujo, descargas y el tiempo; consecuentemente, la calidad del agua no puede ser medida solamente solo en una única localidad dentro del contexto limite del cuerpo de agua, sino que puede requerir una red de muestreo. Para propósitos prácticos como por ejemplo, para limitar el número de lugares de muestreo y facilitar la representación de los datos se decidió simplificar algunos aspectos del muestreo ideal tal como lo describe Chapman (1998) la simplificación fue la de establecer un perfil longitudinal, es decir, se determinaron cinco puntos de muestreo a lo largo del río de acuerdo Maldonado et al (1998); Romero et al (1998), Peredo (1999) y Romero et al (2000) bajo el criterio general de los impactos que se presentan en dichos puntos y la accesibilidad a los mismos.

De los aspectos hidrológicos, se tuvo en cuenta las variables que se requiere para el programa Duflow, y respecto a los parámetros fisico-químicos y biológicos se eligieron de acuerdo al modelo de índices de calidad que establece Canter (1998). También se registraron algunos parámetros y/o variables complementarios como la conductividad, sólidos filtrables y sólidos suspendidos. A efecto de interpretar los resultados se consideró también el evento de lluvia presentado dos días antes.

Los resultados obtenidos se presentan de acuerdo a la secuencia de los eventos de muestreos y al perfil longitudinal considerados, es decir, desde el punto mas alto aguas arriba (R-101), hasta el punto mas alejado, aguas abajo (R105). En el cuadro 9.1 se presenta información general del ámbito geográfico del ecosistema con las estaciones de muestreo y para los dos eventos muestrales con un intervalo de tiempo de 1.20 horas entre punto y/o estación de muestreo y 8 días entre cada evento muestral aproximadamente. En los cuadros 9.2 y 9.3 se presentan los resultados de las mediciones y registros efectuados “in situ” y, en el cuadro 9.4, los de los parámetros analizados en el

---

---

laboratorio del Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental de la Universidad Mayor de San Simón-UMSS y para ambos eventos muestrales. En el cuadro 9.5 se muestran los índices de calidad de agua para los nueve parámetros considerados de acuerdo a Canter (1998), en el cuadro 9.6 se presentan las características físicas registradas del río Rocha en cada estación de muestreo. En las Fig. del 9.1 al 9.28 se gráfica, individualmente, los resultados de los parámetros para ambos eventos haciendo una comparación- en algunos casos- de las concentraciones registradas con los límites permisibles establecidos en el DS 24176 y en otros, con lo medido en el año 2000 en un trabajo de campo del curso de maestría de ciencias ambientales de la UNSS luego, se presentan los índices de calidad concluyendo con la presentación de los índices generales de calidad en toda la área y para cada parámetro, finalmente, los índices de calidad para cada punto de muestreo de toda la área. Se presentan también, el análisis estadístico descriptivo, en el mismo orden indicado anteriormente; el análisis estadístico se realizó por parámetro inter-estación.

Los resultados del modelo Duflow se presentan en formato propio del modelo.

**Cuadro 9. 1 Información General del área y puntos de muestreo para los eventos muestrales 01 y 02.**

Evento 01 ID Estaciones	Departamento	Provincia	Distrito	Zona	Lugar	Fuente	Coordenadas		Altitud	Fecha	Hora	Observaciones
							Punto de muestreo		msnm			
R-101	Cochabamba	Chapare	Sacaba	Periurbna	Urbaniz. Vergel	Río Rocha	807527	8074438	2659	31/10/01	8:00	Posterior a descarga Copelme
R-102	Cochabamba	Cercado	Cercado	Urbana	Mesadilla	Río Rocha	804916	8077201	2634	31/10/01	8:30	Lavadero de vehículos
R-103	Cochabamba	Quillacollo	Colcapirhua	Rural	Sumumpaya	Río Rocha	795094	8072428	2574	31/10/01	11:00	Actividades de dragado
R-104	Cochabamba	Quillacollo	Quillacollo	Rural	Malaco	Río Rocha	786738	8073217	2576	31/10/01	12:00	*
R-105	Cochabamba	Capinota	Parotani	Rural	Moracollo	Río Rocha	783676	8055816	2498	31/10/01	13:40	Actividades de extracción de material del lecho del río

Evento 02 ID Estaciones	Departamento	Provincia	Distrito	Zona	Lugar	Fuente	Coordenadas		Altitud	Fecha	Hora	Observaciones
							Punto de muestreo		msnm			
R-201	Cochabamba	Chapare	Sacaba	Periurbna	Urbaniz. Vergel	Río Rocha	807527	8074438	2659	06/11/01	8:30	Posterior a descarga Copelme
R-202	Cochabamba	Cercado	Cercado	Urbana	Mesadilla	Río Rocha	804916	8077201	2634	06/11/01	9:00	Lavadero de vehículos
R-203	Cochabamba	Quillacollo	Colcapirhua	Rural	Sumumpaya	Río Rocha	795094	8072428	2574	06/11/01	10:30	Actividades de dragado
R-204	Cochabamba	Quillacollo	Quillacollo	Rural	Malaco	Río Rocha	786738	8073217	2576	06/11/01	12:00	*
R-205	Cochabamba	Capinota	Parotani	Rural	Moracollo	Río Rocha	783676	8055816	2498	06/11/01	14:00	Actividades de extracción de material del lecho del río

\* En el momento del desarrollo del evento muestral no se observó actividad antrópica importante.

**Cuadro 9.2 Mediciones y registros "in situ" de parámetros de campo en evento muestral 01.**

Muestreo 01	Localidad	Parámetros y/o variables					Apariencia
		pH	Conductividad**	OD	Temperatura agua	Temp. ambiente	
ID Puntos			υS/cm	mg/l	°C	°C	
R-101	Chacacollo	7,4	636	1,5	18	20,5	<b>Turbia</b>
R-102	Mesadilla	7,6	488	4	20	25	Turbia
R-103	Sumumpaya	7,8	1520	< 0.1	23	29	Color oscuro
R-104	Malaco	7,9	1310	< 0.1	25	26	Color plomo
R-105	Moracollo	7,9	1940	< 0.1	29	29	Turbia marron

ND: No dectado por el método

**Cuadro 9.3 Mediciones y registros "in situ" de parámetros de campo durante evento muestral 02.**

Muestreo 02	Localidad	Parámetros y/o variables					Apariencia
		Ph	Conductividad *	OD*	Temperatura agua	Temp. ambiente	
ID Puntos			υS/cm	mg/l	°C	°C	
R-201	Chacacollo	7,5	2000	0,27	21,5	28	<b>Color negro</b>
R-202	Mesadilla	7,8	633	1,56	24,5	32	Ligeramente turbia
R-203	Sumumpaya	8	1220	2,02	25	30	Plomo grisaseo
R-204	Malaco	8	1670	0,25	24,9	26	Gris y turbia
R-205	Moracollo	8,1	1500	2,44	21,8	23	Turbia marron

\* Registrado en campo con Oxigenómetro

ND : No determinado por el método.

\*\* **Parámetro medido en campo con el conductivímetro Marca EIJKELKAMP modelo A 4070. Factor de conductividad: 0.1 uS/cm , 100 mS/cm**

**Cuadro 9.4 Resultados de análisis de agua del río Rocha efectuado por el Laboratorio Regional de Control de calidad de Aguas - UMSS.**

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	EVENTOS DE MUESTREO									
			Evento 01					Evento 02				
			Estaciones de muestreo					Estaciones de muestreo				
			101	102	103	104	105	201	202	203	204	205
Coliformes fecales	UFC/100 ml	Membrana Filtrable	4,3E+06	5,00E+05	1,00E+06	2,30E+06	6,00E+06	4,30E+06	5,60E+05	1,20E+06	4,10E+06	1,00E+04
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	Incubación 5 días	126	18	91	110	0.0	447	19	28	87	74
Fosfatos	mg/L	Vanadio molibdeno Fósforo	12,75	9,6	10,75	15,85	12,65	1,56	2,98	11,17	15,38	9,63
Incremento Temperatura	°C	Cálculo	NR	2	3	2	4	NR	3	0,5	0,1	3,9
Nitratos	mg/L	Reducción de Cadmio	8,54	7,83	5,48	5,56	5,14	4,9	7,75	5,55	4,77	5,1
Oxígeno disuelto	mg/L	Iodométrico	1,50	4	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0,27	1,56	2,02	0,25	2,44
Nitrógeno amoniacal *	mg/L	Ion selectivo	1,9	2,24	14,68	8,91	0	3,93	3,76	9,46	15,31	2,39
pH	Unidades	Electroquímico	7,4	7,6	7,8	7,9	7,9	7,5	7,8	8	8	8,1
Sólidos totales	mg/L	Calcinación 105 °C	966	858	1040	910	1585	2305	448	1030	990	1220
Sólidos filtrables *	mg/L	Calcinación 105 °C	370	277	750	700	1160	1955	350	635	855	1010
Sólidos suspendidos *	mg/L	Cálculo	596	581	190	210	425	350	98	395	135	210
Turbiedad	NTU	Nefelométrico	800	700	210	150	37	490	110	160	125	210

\* Parámetros complementarios.  
 ND: no detectado por el método (<0.1 mgO<sub>2</sub>/l)

La numeración 101 a 105 y 201 a 205 en la fila de estaciones de muestreo, sólo es para diferenciar temporalmente las mismas.



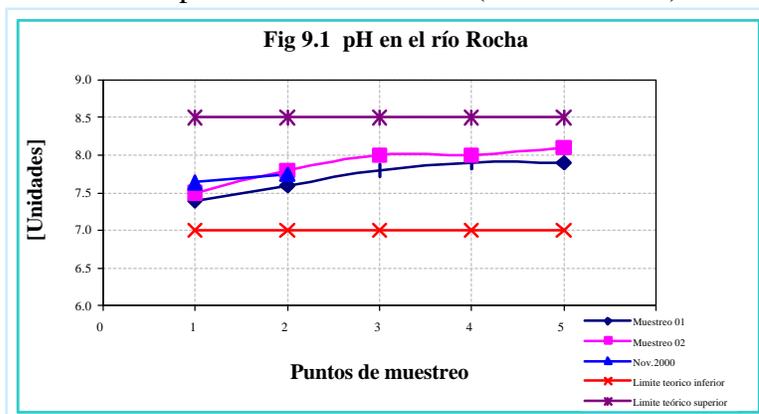
**Cuadro 9.5** Índices de calidad de agua del río Rocha para los 9 parámetros considerados de acuerdo a Canter (1998).

PARAMETRO	INDICES DE CALIDAD DEL AGUA: RIO ROCHA										
	Evento 01					Evento 02					Indice
	Estaciones de muestreo					Estaciones de muestreo					Promedio
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	por parámetro
Coliformes fecales	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	10.00	2.8
DBO <sub>5</sub>	5.00	14.00	5.00	5.00	100.00	5.00	13.00	6.00	5.00	5.00	16.3
Fosfatos	2.00	7.00	2.00	2.00	2.00	31.00	21.00	2.00	2.00	7.00	7.8
Incremento Temperatura	ND	85.00	81.00	85	77.00	ND	81.00	91.00	93.00	77.00	83.8
Nitratos	54.00	56.00	63.00	62.00	64.00	66.00	56.00	62.00	66.00	65.00	61.4
Oxígeno disuelto	8.00	20.00	ND	ND	2.80	3.00	9.00	11.00	3.00	13.00	9.6
pH	93.00	92.00	90.00	87.00	87.00	93.00	90.00	84.00	84.00	80.00	88.0
Sólidos totales	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	40.00	20.00	20.00	20.00	22.0
Turbiedad	5.00	5.00	5.00	5.00	47.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	9.2
Indice promedio por estacion y evento muestral	23.625	33.44	33.50	33.50	49.88	28.13	35.22	31.44	31.11	31.33	

ND: Diferencial de temperatura no estimada

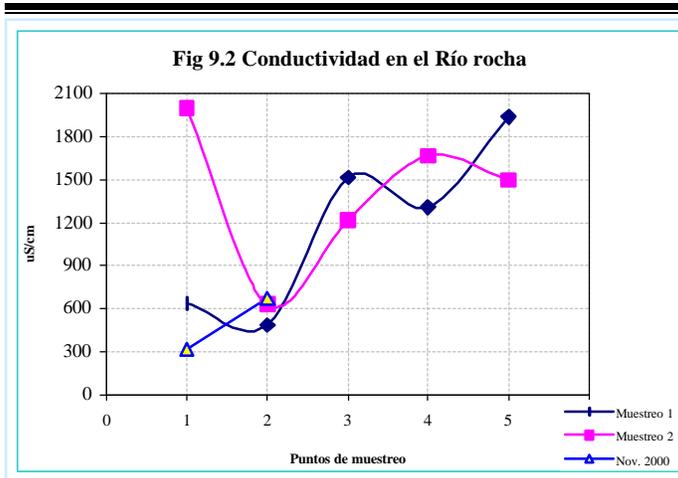
<b>TABLA 9.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA AMBOS EVENTOS DE MUESTREO</b>						
<b>Parámetros</b>	<b>N</b>	<b>Rango</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desv. estandar</b>	<b>Varianza</b>	<b>Error estándar</b>
<i>Coliformes fecales 01</i>	5.00	5500000.00	2820000.00	2305862.09470	5317000000000.000	81.768
<i>Coliformes fecales 02</i>	5.00	4290000.00	2034000.00	2022864.30590	4091980000000.000	99.453
<i>Conductividad 01</i>	5.00	1452.00	1178.80	609.28090	371223.200	51.687
<i>Conductividad 02</i>	5.00	1367.00	1404.60	515.62660	265870.800	36.710
<i>DBO5 01</i>	5.00	126.00	69.00	56.51550	3194.000	81.907
<i>DBO5 02</i>	5.00	428.00	131.00	179.02090	32048.500	136.657
<i>Fosfato 01</i>	5.00	6.25	12.32	2.37790	5.655	19.301
<i>Fosfato 02</i>	5.00	13.82	8.14	5.78230	33.435	71.001
<i>Intercambio de temperatura 01</i>	4.00	2.00	2.75	0.00010	0.001	0.003
<i>Intercambio de temperatura 02</i>	4.00	3.80	1.88	1.86260	3.469	99.339
<i>Nitrógeno amoniacal 01</i>	5.00	14.68	5.55	6.11820	37.432	110.317
<i>Nitrógeno amoniacal 02</i>	5.00	12.92	6.97	5.39160	29.069	77.354
<i>Nitrato 01</i>	5.00	3.40	6.51	1.55750	2.426	23.925
<i>Nitrato 02</i>	5.00	2.98	5.61	1.23010	1.513	21.911
<i>Oxígeno Disuelto 01</i>	2.00	2.50	2.75	1.76780	3.125	64.284
<i>Oxígeno Disuelto 02</i>	5.00	2.19	1.31	1.00610	1.012	76.919
<i>Fosfato 01</i>	5.00	0.50	7.72	0.00002	0.047	0.000
<i>Fosfato 02</i>	5.00	0.60	7.88	0.00002	0.057	0.000
<i>Sólidos filtrables 01</i>	5.00	883.00	651.40	350.04260	122529.800	53.737
<i>Sólidos filtrables 02</i>	5.00	1605.00	961.00	608.53720	370317.500	63.323
<i>Sólidos suspendidos 01</i>	5.00	406.00	400.40	194.93670	38000.300	48.685
<i>Sólidos suspendidos 02</i>	5.00	297.00	237.60	130.56150	17046.300	54.950
<i>Sólidos totales 01</i>	5.00	727.00	1071.80	294.73240	86867.200	27.499
<i>Sólidos totales 02</i>	5.00	1857.00	1198.60	681.89430	464979.800	56.891
<i>Temperatura del agua 01</i>	5.00	11.00	23.00	4.30120	18.500	18.701
<i>Temperatura del agua 02</i>	5.00	3.50	23.54	1.73870	3.023	7.386
<i>Temperatura ambiental 01</i>	5.00	8.50	25.90	3.50710	12.300	13.541
<i>Temperatura ambiental 02</i>	5.00	9.00	27.80	3.49280	12.200	12.564
<i>Turbiedad 01</i>	5.00	763.00	379.40	345.77710	119561.800	91.138
<i>Turbiedad 02</i>	5.00	380.00	219.00	156.30100	24430.000	71.370
<i>Valid N (listwise)</i>	1.00					

La tendencia observada, en ambos eventos de muestreo, es un incremento del pH desde un estado neutral hacia uno alcalino y los valores estuvieron dentro del rango teóricamente permisible de 6.5 a 8.5 (Michaud 2001). El estado alcalino fue similar a los



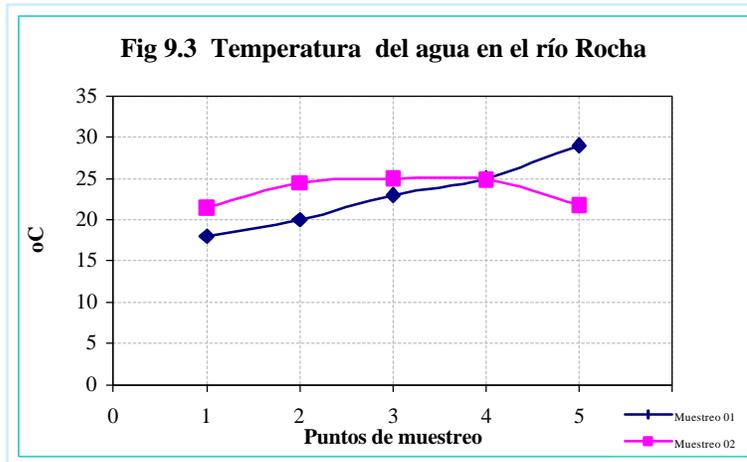
verificados por Romero (1998 y 2000) para la misma época de estiaje. Las variaciones de pH van desde las naturales, por ejemplo la geología de la cuenca - que en el caso del río Rocha comprende

depósitos cuaternarios fluvial y lacustre (Renner, 2000) condiciones que norman las concentraciones de PH del río; también varía en relación al origen de las aguas, al clima, cambios diarios, etc hasta las antropogénicas, de éstas últimas, la descarga de efluentes municipales e industriales son de gran importancia mas aun si dichos efluentes- que son vertidos al río Rocha y que en época de estiaje constituyen el flujo base entre las zonas de Muyurina y Vinto (Renner, 2000), no son tratados o lo son inadecuadamente. La característica alcalina de las aguas del río, al menos en los últimos tres años, podría estar influenciando en la solubilidad y disponibilidad de los componentes químicos como los nutrientes (Nitrógeno, carbono y fósforo) así como la de los metales pesados y determinar la forma y cantidad en que éstos se presenten en el agua y determinar si la vida acuática puede hacer uso de estos nutrientes, pues en estas condiciones alcalinas, los metales pesados serían menos tóxicos o no lo serían puesto que estos metales son mas solubles y están mas biodisponibles a pH ácido (Michaud, 2001). Una de las causas para este estado alcalino de las aguas es la polución ya que esta puede incrementar- a largo plazo- el pH. Bajo este contexto la capacidad buffer del pH estaría limitada y su impacto sobre el río sería mayor. También lo registrado se debe, en parte, a la relación positiva entre la temperatura y el pH sin embargo, esto también puede ser afectado por incremento de la actividad biológica, la pérdida de CO<sub>2</sub>, sulfuro de hidrógeno, amonio, a la precipitación mineral –por ejemplo la formación de carbonato de calcio- etc.



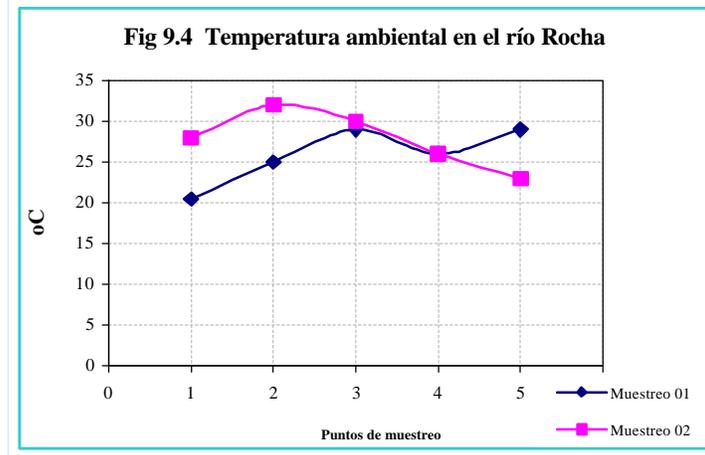
La mayor conductividad registrada se presentó en la primera estación del segundo evento muestral y, los menores valores, se obtuvieron en la segunda estación en la cual además, se evidencia una aproximación con los valores registrados en el año 2000 en el

mismo mes. La tendencia observada es un incremento aguas abajo a partir de la segunda estación que corresponde a Mesadilla, este comportamiento es similar a los registrados por Romero (1998 y 2000) principalmente en las estaciones de muestreo 3 y 4 que corresponden a los valores mas altos registrados. El evento de lluvia registrado dos días antes ha podido contribuir a tener una mayor conductividad en la estación 01 por procesos de arrastre de sólidos, dilución y por aumento del caudal que se presentaron en



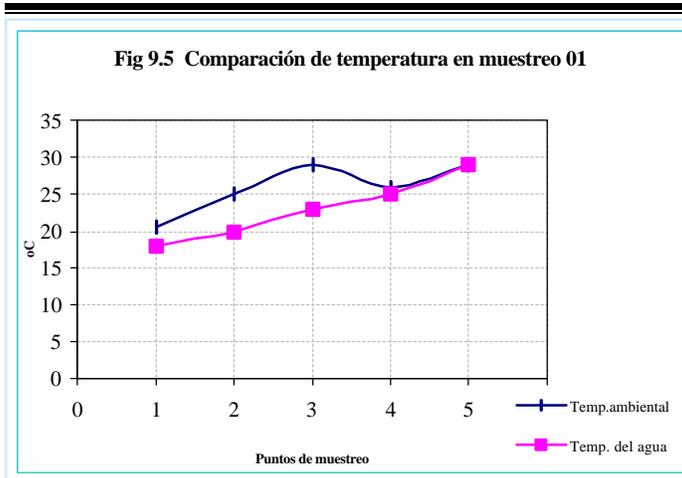
la parte alta de la cuenca (comunicación personal del asesor).El factor temperatura se incrementa en ambos eventos, coincidiendo en la estación 4. En el evento 02 la temperatura disminuye en la estación 5 y, si

observamos el cuadro 9.12, el OD también se incrementa en ésta estación lo que se estima la relación positiva que existe entre éstos parámetros. En el sector de la última estación se presenta un desnivel de 70 mts aproximadamente, respecto a la estación 4, la cual facilita condiciones de turbulencia por tanto de una autorecuperación.



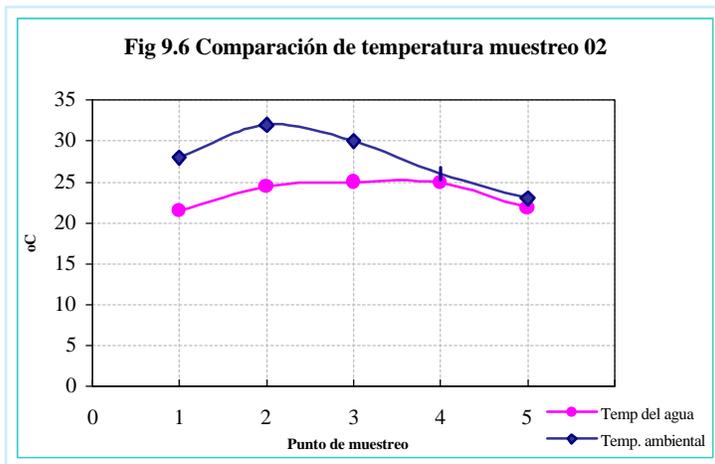
*La temperatura ambiental se incrementó hasta la estación 3 debido al natural ascenso del sol en el día y las condiciones estacionales propias del período de estiaje, sin embargo, se observó un incremento de la misma en la estación 5 en el evento 01.*

En el evento 2 se registró un descenso gradual y mas o menos uniforme a partir de la estación 2. Bajo las condiciones presentadas entre las estaciones 01 y 03 se puede inferir una influencia de éste factor en la deplección de la solubilidad del oxígeno debido al incremento de la productividad Sawyer, (1978).



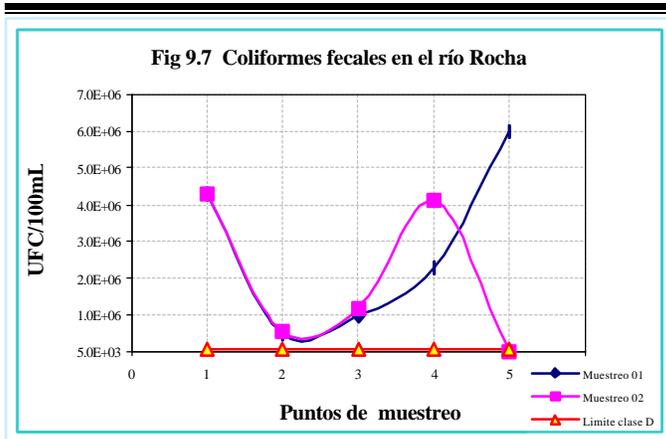
Excepto en la estación 5 y, sólo para el evento 01, la temperatura ambiental fue mayor, observándose un incremento hasta la estación 3 y luego la diferencia de temperatura entre ambas disminuyó. Sin embargo, en términos generales se observó un aumento sostenido tanto para

la temperatura del agua como la ambiental. La Fig. 9.5 muestra que una de las causas de variación estacional de la temperatura del agua es la temperatura ambiental sin embargo, existen otros aspectos físicos de un río que causan variación. Por ejemplo, los ríos tributarios alteran la temperatura al ir mezclando sus aguas con las del río principal, la velocidad es otro factor pues una partícula de agua en corrientes más rápidas estará



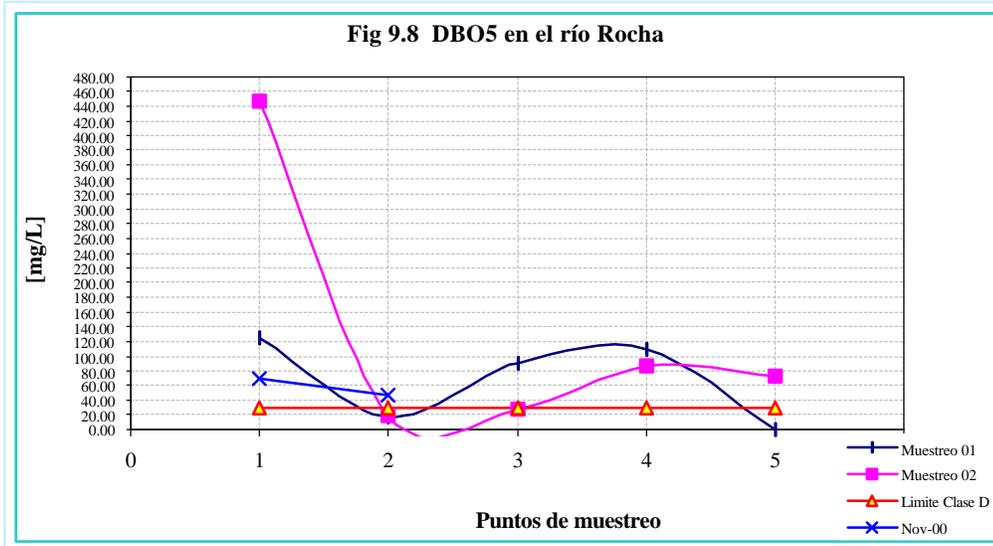
expuesta la luz por periodos mas cortos de tiempo que en una corriente más lenta por tanto el agua tenderá a ser mas fría. La cobertura de orilla es otro factor que contribuye a reducir el impacto de las altas temperaturas al igual que la profundidad y ancho de la

sección del canal (Michaud, 2001). La estación 4 fue la que presentó mayor cobertura y probablemente haya influido en la disminución de la misma. En la Fig 9.6 la temperatura ambiental fue, para todos los casos superior, disminuyendo ésta diferencia a medida que se aproximaba a la ultima estación de muestreo. La diferencia temporal entre ambos eventos explicaría también el comportamiento observado.

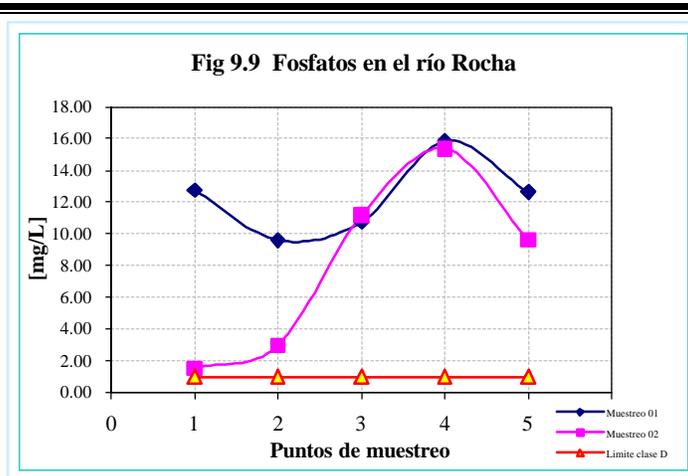


Las concentraciones de Coliformes fecales no es fácil de predecir puesto que dependen de condiciones específicas para su desarrollo y éstas cambian rápidamente (Michaud, 2001). Sin embargo, las concentraciones de las comunidades bacterianas

obtenidas en ésta experiencia fueron muy altos en particular en el evento 01. Aunque se encontró un descenso entre la estación 01 y 02 en ambos eventos y entre la estación 4 y 5 del evento 02 sin embargo, para ambos casos y en general, los resultados sobrepasan los límites establecidos-inclusive para el tipo de agua D- en el reglamento de la ley del medio ambiente en materia de contaminación hídrica (1995). El incremento de Coliformes es debido principalmente a los efluentes establecidos entre las estaciones 02 y 04, sectores que se encuentran bajo la influencia del la población (Romero 2000) otra actividad aportadora de Coliformes es la producción ganadera establecidas en el ámbito de la zonas de muestreo 3 y 4 además, de haberse observado condiciones de manejo inadecuado de éstas unidades productivas. Las condiciones de oxígeno y temperatura encontrados hacen que, las comunidades bacterianas, sean favorecidas y limitadas respectivamente. También la disponibilidad de fosfato estaría influenciando favorablemente en el crecimiento puesto que la tendencia en las cantidades de fosfato, fue similar para las mismas estaciones. También se debe tener en cuenta que en este sector se vierten los efluentes de las ciudades como el cercado de Cochabamba, las ciudades de Colcapihrua, Quillacollo, Vinto y Parotani principalmente. Mas aún que no se conocen las características de tratamiento- si es que lo hubiere- de las aguas residuales puesto que estas son vertidas al río Rocha luego de ser almacenadas en las lagunas de oxidación. Otro factor que actúa desfavorablemente contra las comunidades bacterianas es la luz con su inherente propiedad de desinfectante mediante los rayos ultravioleta especialmente en esta época en donde las altas temperaturas han caracterizado un clima caluroso, sin embargo, éste no es un factor importante desde el punto de vista cuantitativo.



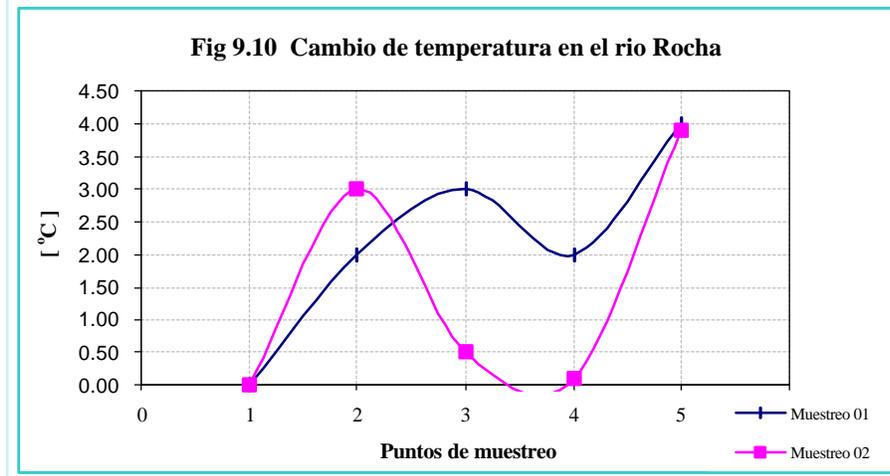
El factor DBO<sub>5</sub> es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica biodegradable y es definido como la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar, por las bacterias aeróbicas, la materia orgánica presente hasta una forma inorgánica estable Sawyer, (1978). Las cantidades elevadas de carga orgánica causan el aumento de las poblaciones bacterianas, la disminución del oxígeno NCSU (2001) por ende la deplección de los procesos oxidativos. Sin embargo, los procesos de dispersión debido al incremento del caudal -por un evento de lluvia- y la turbulencia puede presentarse mayores posibilidades de autorecuperación del río a partir de la estación 04 hasta la 05 ya que los niveles de materia orgánica disminuyen a medida que se alejan del punto de descarga y/o aporte NCSU (2001) comportamiento que se observó a partir de la estación 04 para ambos eventos. Tal como se observa en el gráfico, excepto para la estación 2 y para ambos eventos de muestreo y en la última estación del evento 01, en las restantes estaciones los valores encontrados sobrepasan los límites permisibles para el tipo de agua D establecidos en el reglamento de aguas (1995). En el evento 01 se observó mayores valores. Inclusive sobre pasan a lo registrado en Noviembre del 2000 (curso de maestría UMSS 200).



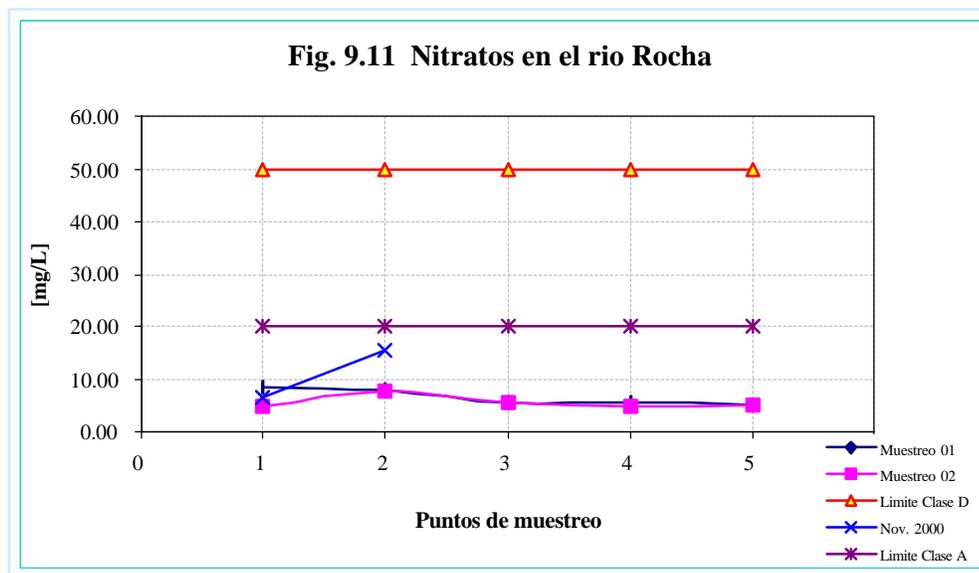
Las principales fuentes de nutrientes en aguas superficiales pueden ser divididas en naturales y antropogénicas (Michaud,2001) Para el caso de estudio nos referiremos a la última puesto que asumimos que la contribución es mínima.

La actividad agrícola y pecuaria

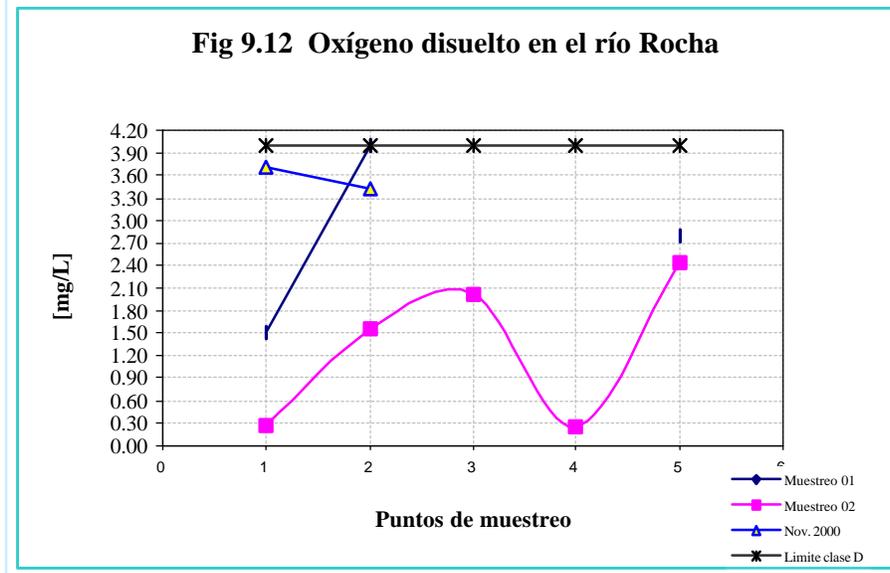
son las que se viene desarrollando en los sectores 3 y 4, por tanto, estarían aportando con nutrientes al el río evidenciándose un incremento en su concentración. El aumento en las concentraciones se presentaron entre las estaciones 2 a la 4. La disminución se registró entre las estaciones 1 y 2 para el evento 01 (donde se registró un evento de lluvia de 40 mm) y las estaciones 4 y 5 para ambos eventos. En el evento 01 se registró los mayores valores respecto al evento 02 que puede ser debido al arrastre de contaminantes, sólidos y escorrentía después del evento registrado anterior al muestreo. Otra de las razones importantes, para estos valores aumentados es, la descarga de efluentes con significativas cantidades de fosfatos cuya fuente está en los detergentes y productos de limpieza afines provenientes de las ciudades. Hasta cierto límite el fósforo es esencial para el crecimiento y productividad en el río (Lory 1999), pero, pasados éstos- tal como se observó en el estudio- puede inducir a un sobrecrecimiento y sobreproductividad del río disminuyendo la calidad de sus aguas y la recuperación de su calidad toma tiempo. El sobrecrecimiento podría estar siendo favorable para los Coliformes fecales, aunque, no se evaluaron otros grupos de organismos. El ingreso y /o aporte depende también del uso de la tierra por ejemplo en la época de siembra la cantidad y manejo de fertilizantes que se emplea, aunque aparentemente en el sector agrícola que comprendió las estaciones 3 y 4, el uso de fertilizantes es mínimo puesto que los cultivos lo riegan con aguas servidas. La descomposición de masa vegetal y animal es otro factor que contribuye con el ingreso de nutrientes a los ríos (Michaud 2001 y Meode ,1995).



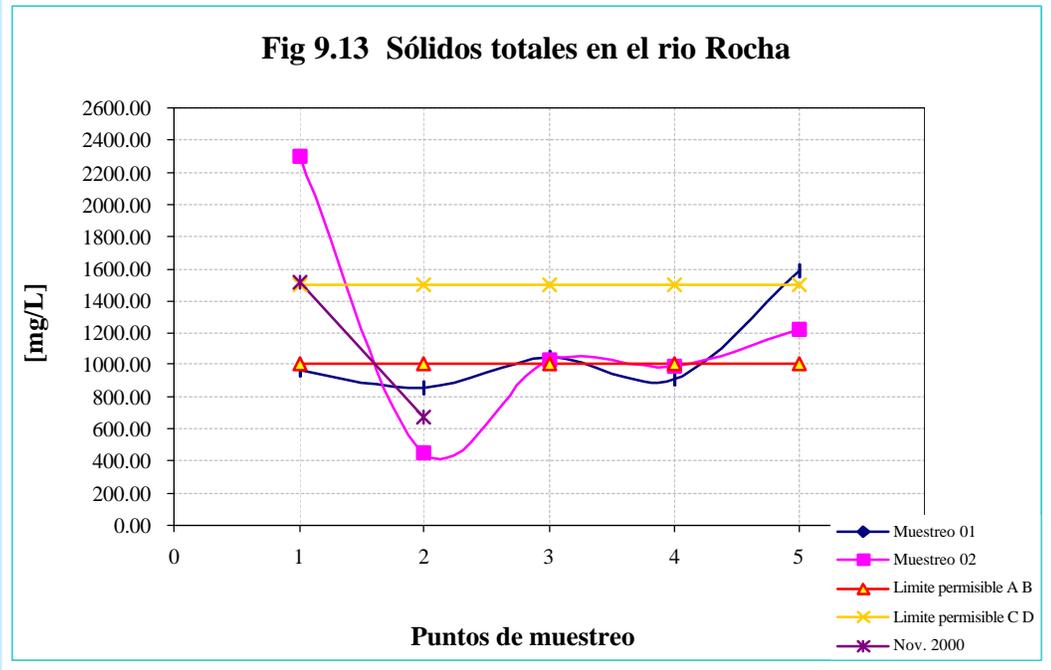
Para esta variable se observó importantes variaciones entre las estaciones 2 a 4. Siendo la mayor variación -entre los eventos- en la estación 3 seguida de la estación 4. En la estación 5 se presentó el mínimo incremento de temperatura y en la 3 la máxima. Sin embargo, la menor fluctuación se presentó en el evento 01, éste comportamiento se traducirá en un elevado índice de calidad para el cambio de temperatura.



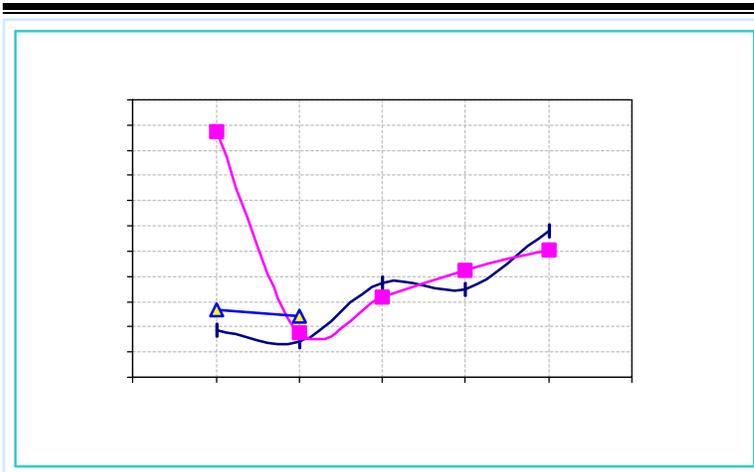
La concentración de nitratos en ningún caso registró valores mayores de 10 mg/l. En contraste, los valores encontrados en el mes de noviembre del 2000 presentó, en la segunda estación de muestreo, una mayor concentración. En relación a los límites permisibles establecidos y, para ambos eventos de muestreo, estos fueron menores. Los valores no mostraron diferencias importantes salvo una ligera en la estación 01. La fuente de Nitrato está asociado al uso de los fertilizantes y a la actividad ganadera y se podría asumir, por las bajas concentraciones registradas, éstas actividades no estarían aportando con Nitrato o que los procesos y/o medios que lo transportan desde éstas fuentes hacia el cuerpo receptor, en este caso el río Rocha o acuíferos, no están presentes o no están dadas las condiciones, por ejemplo un evento de lluvia, la cual por las propiedades de su alta solubilidad y fácil desprendimiento del suelo, el Nitrato es fácilmente conducido a los cuerpos receptores naturales. La actividad biológica, principalmente primaria, al parecer tampoco se constituye en un factor de deplección del Nitrato por las condiciones y cantidades mínimas de oxígeno que se observaron y presentaron.



En la estación 01, que es después de descargas de aguas industriales, residuales, y domésticas, la concentración del OD tanto en el evento 01 como en el 02 son bajas presentándose un estado anóxico. Hasta la estación 02 se nota un ligero incremento de la concentración de OD ello puede ser debido a los procesos de fotosíntesis que se presentan. En el evento 01, que se caracteriza por haber sido llevado a cabo después de un evento de 40 mm de lluvia que arrastró gran parte de sedimentos y residuos acumulados en el lecho del río y que en el momento del muestreo aún presentaba las características del período de lluvia (agua de lluvia con elevado contenidos de sólidos suspendidos) se observa una disminución brusca del OD y que se mantiene hasta la última estación de muestreo. El evento 02, que se caracteriza por tener agua más claras, con menor contenido de sólidos disueltos, se observa, se observa una disminución de la concentración de OD en la estación 04 situada después de la descarga de aguas servidas domésticas de la ciudad de Quillacollo, pero que después se incrementado por la mezcla de agua del río Rocha con aguas frescas de menor grado de contaminación, incremento de su caudal y mayor proceso de fotosíntesis permitiendo una mejoría de la calidad de agua del río.(Romero 2001, comunicación personal).

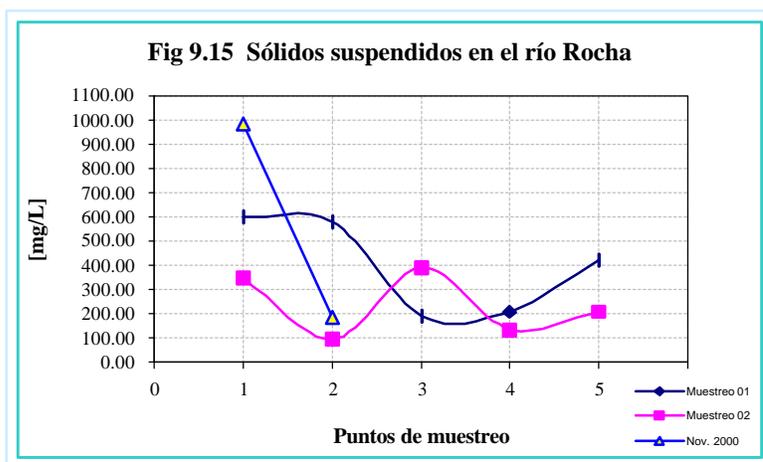


En general, las cantidades de los sólidos totales presentaron valores relativamente aproximados a los límites permisibles de la clase de aguas AB. En la primera estación el evento muestral 02 presentó el mayor valor, sobrepasando el límite permisible del tipo C y D de aguas probablemente se debió a una descarga industrial hecha por Copelme ya que la estación queda a poca distancia de esta fábrica. En la última estación, en ambos eventos, los valores fueron mayores y, únicamente en el evento 01 se registró una concentración ligeramente mayor que los límites permisibles establecidos. Respecto a lo registrado en el 2000 (curso de maestría UMSS 200) se presentó valores intermedios tanto en la primera como en la segunda estación. Estos tipos de pruebas por su carácter de empíricos y sencillez no permiten discriminar la amplia variedad y mas aún la cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos presentes. Para este caso que nos ocupa la descripción que nos concierne es genérico y sólo se tratará de encontrar alguna relación con la turbiedad.



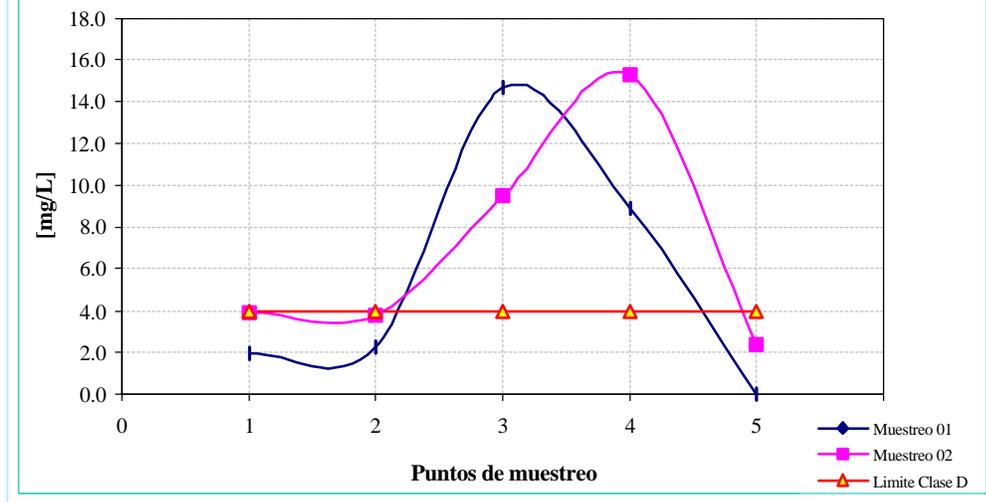
Las cantidades de sólidos registrados presentaron una fluctuación ascendente a partir de la segunda estación de muestreo. El mayor valor se encontró en la estación 01 del segundo evento y se asumiría a alguna descarga efectuada

por Copelme antes de la recolección de las muestras, es necesario acotar que este alto valor es coincidente con lo encontrado para sólidos totales del mismo evento. Los valores hallados en el 2000 (curso de maestría UMSS 200), presentan cantidades intermedias entre las estaciones 01 y 02 en ambos eventos de muestreo.



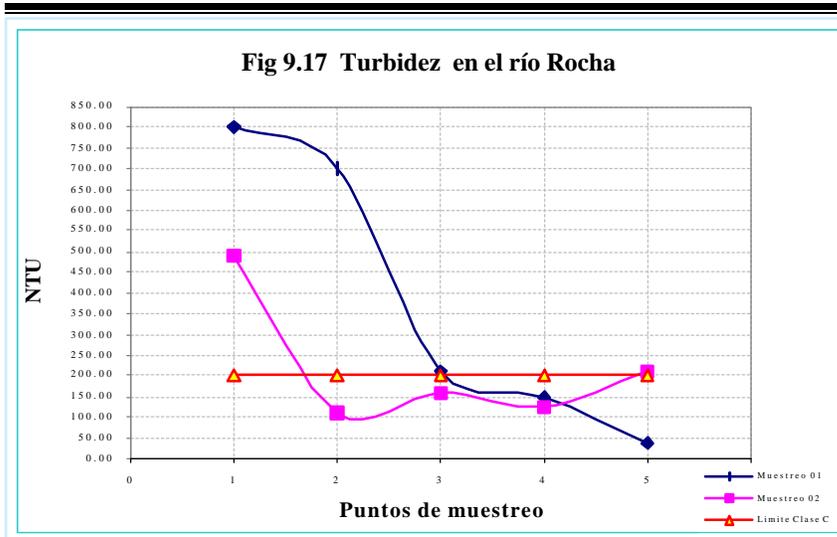
Las cantidades de sólidos suspendidos son mayores en el evento muestral 01 excepto en la estación 3 en donde en el evento 01 se registró el mayor valor. Respecto a lo encontrado en el 2000 éste presentó el mayor en la estación 01 y en la estación 2 un valor intermedio. En los tres casos se observó que se inició con valores altos de sólidos.

**Fig 9.16 Nitrógeno Amoniacal en el río Rocha**



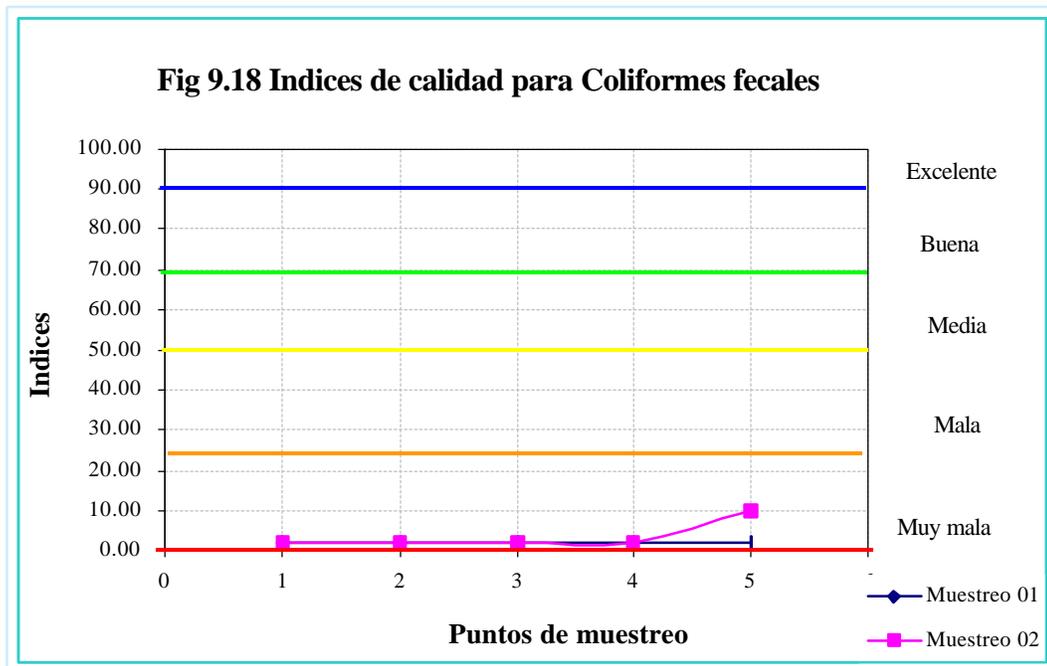
El amonio es una especie química que se encuentra en equilibrio en el agua en las formas de ( $\text{NH}_3$  no ionizado y  $\text{NH}_4^+$  ionizado) EPA (1985) citado por Frank (2000) y las pruebas generalmente miden el amonio total.

La toxicidad del amonio es atribuida a la forma no ionizada ( $\text{NH}_3$ ) y, de manera general, la cantidad y su toxicidad aumenta a pH altos sin embargo, su efectos tóxicos pueden presentarse a pH bajos y a menos cantidades; la temperatura también influye pero es menos dependiente (Frank ,2000). Bajo esta apreciación conceptual y, en relación al aumento registrado entre la estación 02 y 04, a la tendencia alcalina del pH, la temperatura así como los altos valores encontrados que sobrepasan los limites permisibles para el tipo de agua D establecido en el reglamento de contaminación hídrica (1995) podemos asumir, que el amonio puede ser tóxico. La relación contraria sería que más amonio total puede ser tolerado según la disminuyan la temperatura y el pH lo cual, para las condiciones dadas, no fue así. Las mayores concentraciones se encuentran después del vertimiento de aguas residuales domésticas (con bajo contenido de OD) de las comunidades de Cochabamba y Quillacollo sobre todo los de Sumumpaya, Colcapirhua y Quillacollo.

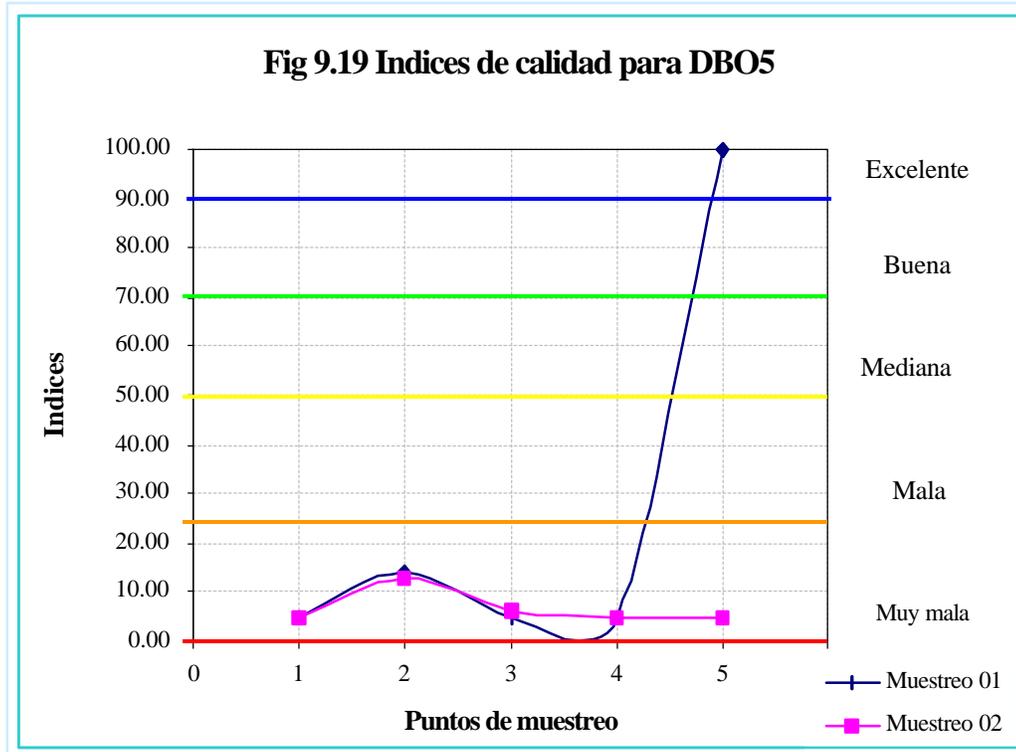


La turbiedad o turbidez es la materia o material en suspensión que interfiere con el paso de la luz a través del agua (Sawyer 1978). Las causas para una gran variedad de

materiales suspendidos son, entre otras, el grado de turbulencia del cuerpo de agua, por ejemplo los ríos bajo condiciones de inundación, la turbidez que se presenta será debido a la dispersión relativamente burda. La agricultura y otras operaciones antrópicas que remueven el suelo, contribuyen igualmente a la turbiedad del agua, las aguas residuales domésticas e industriales, ya sea tratadas o no, pueden incrementar la turbiedad principalmente la primera, sin embargo, los materiales orgánicos se constituyen en fuente de alimento para las bacterias y otros microorganismos- impacto benéfico hasta ciertos límites- cuyo crecimiento puede producir también el incremento de la turbiedad por tanto, se puede decir, de acuerdo a lo expuesto, que los materiales que causan turbiedad pueden variar desde sustancias inorgánicas puras hasta aquellas de naturaleza orgánicas. La escorrentía es otra fuente de material, pero teniendo en cuenta las condiciones estacionales su aporte es mínimo o nula significando, que las cantidades elevadas registradas en las primeras dos estaciones (Fig.9.18), en ambos eventos de muestreo, se debe a las operaciones y/o actividades antrópicas llevadas a cabo en el sector como es la agricultura, el lavado de carros, etc (Romero 1998). En la última estación, se observó resultados antagónicos, es decir que mientras en el evento 01 se mostró un incremento en el 02 se presentó una deplección concordantes con las características climáticas dadas puntualmente entre ambos eventos. En general, las cantidades y/o valores para la turbiedad estuvieron ligeramente por debajo del límite permisible correspondiente al tipo de agua D. Aunque desde el punto de vista teórico los límites no deben pasar de los 1000 NTU (Chapman, 1998).

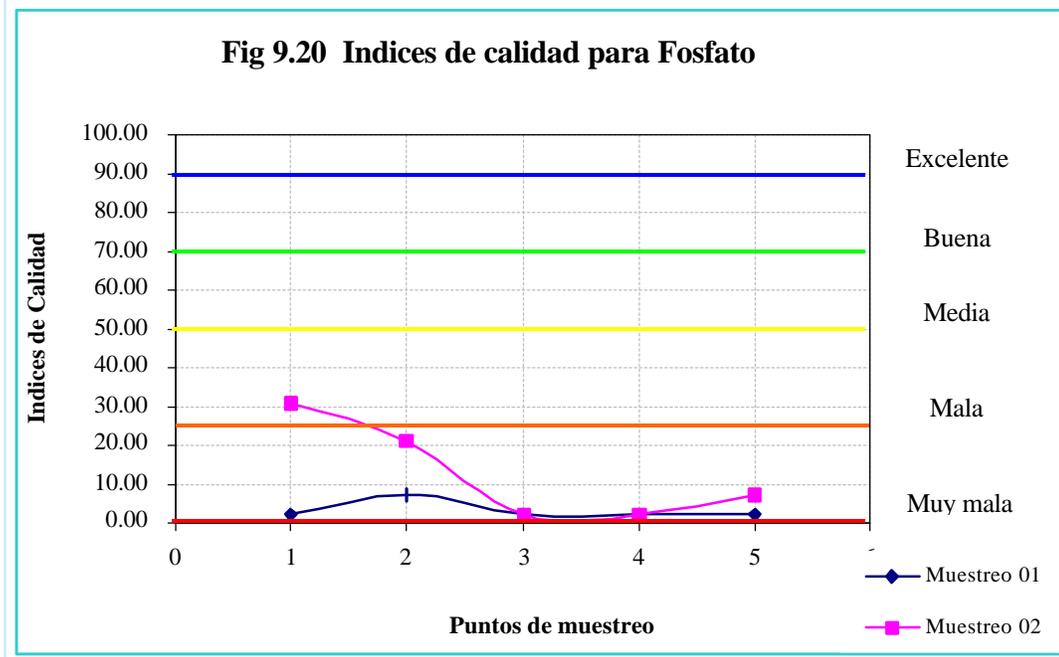


Respecto a los índices individuales de calidad para Coliformes fecales se clasificó dentro de la categoría Muy Mala. El resultado, en la última estación de muestreo, es concordante con lo encontrado en términos de concentraciones para la misma estación, puesto que en ésta se registró la menor cantidad de Coliformes es decir, a menores cantidades de Coliformes mayores índices de calidad y viceversa. De acuerdo a estos resultado se tiene un problema sanitario y de severa contaminación por Coliformes que conlleva a pensar la diversidad de patógenos que suelen acompañar a estas comunidades bacterianas como Salmonellas (Peredo, 1999) y parásitos (Giarda y Crystosporidium) además, del carácter químico variable de estas aguas residuales (Sawyer ,1998) provenientes de un deficiente o inexistente tratamiento de las aguas, . Mas aún si se tiene en cuenta que los factores que permiten la autorecuperación natural del agua, están limitados por las elevadas cantidades de carga orgánica que ingresan al río.



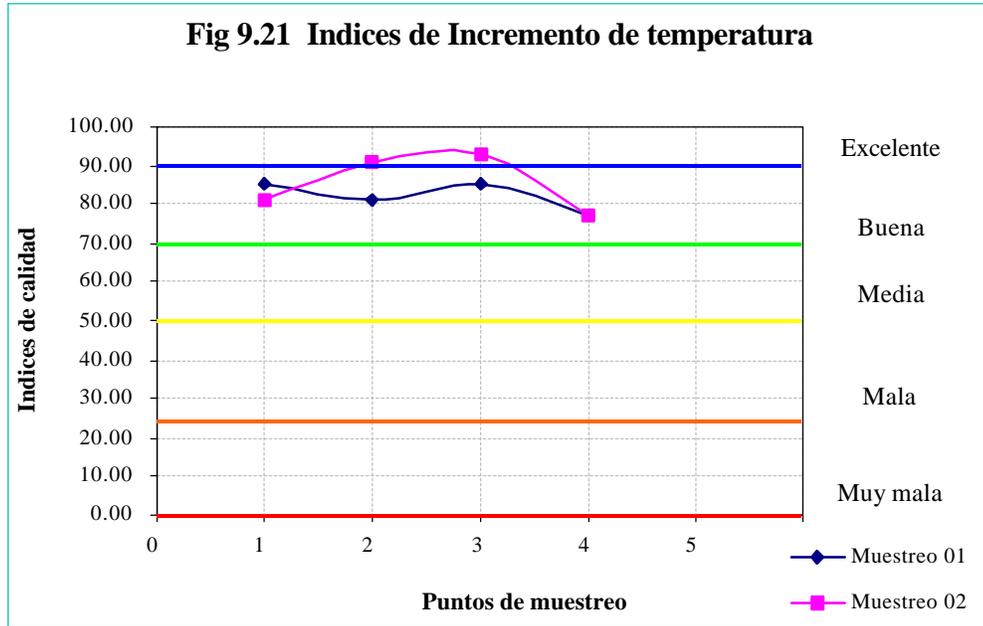
Los índices de calidad para el DBO<sub>5</sub> se clasificaron como muy malos sin embargo, para la última estación, del evento de muestreo 01 es de 100, es decir, presentó el máximo valor que lo categoriza como de excelente calidad.

La DBO<sub>5</sub> es el primer criterio para el control de la contaminación de ríos en donde la carga orgánica debe estar limitada a mantener niveles razonables y/o estándares oxígeno (Sawyer, 1978). También se infiere, en general, que la capacidad de purificación está limitada en el río Rocha por la elevada carga orgánica que recibe a lo largo de su recorrido y en forma permanente, demostrándose que para estabilizar la demanda de Oxígeno requerido por el río en las actuales circunstancias es necesario esfuerzos integrados que conlleven a minimizar, si fuera el caso eliminar, las fuentes de contaminación mediante tratamientos en sus fuentes de origen de la polución.



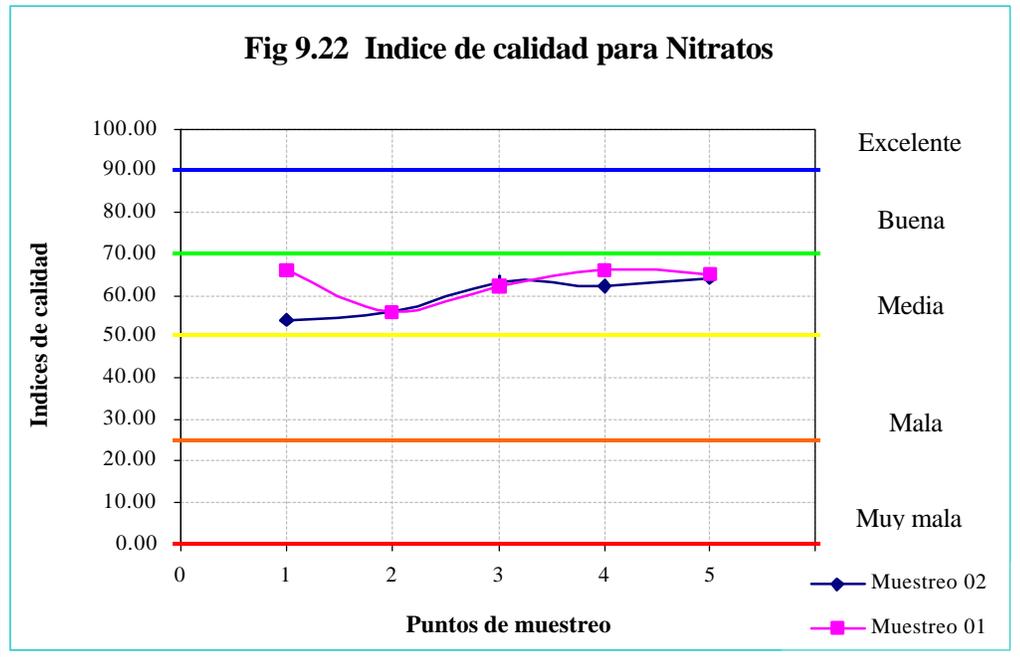
Excepto para la primera estación del evento muestral 01 las demás estaciones presentarán una categorización en el índice de calidad de muy mala. Siendo los índices más mínimos los de las estaciones 3 y 4 para ambos eventos de muestreo.

En relación a la significación de los índices se estima que la productividad biológica potencial del río está siendo afectada drásticamente a partir de la estación 2. Su importancia radica también en el impacto ya sea directo y/o indirecto sobre la biodiversidad puesto que aún existe diversidad biológica en el río Rocha sobre todo herpetofauna (Diario Opinión (2001)).

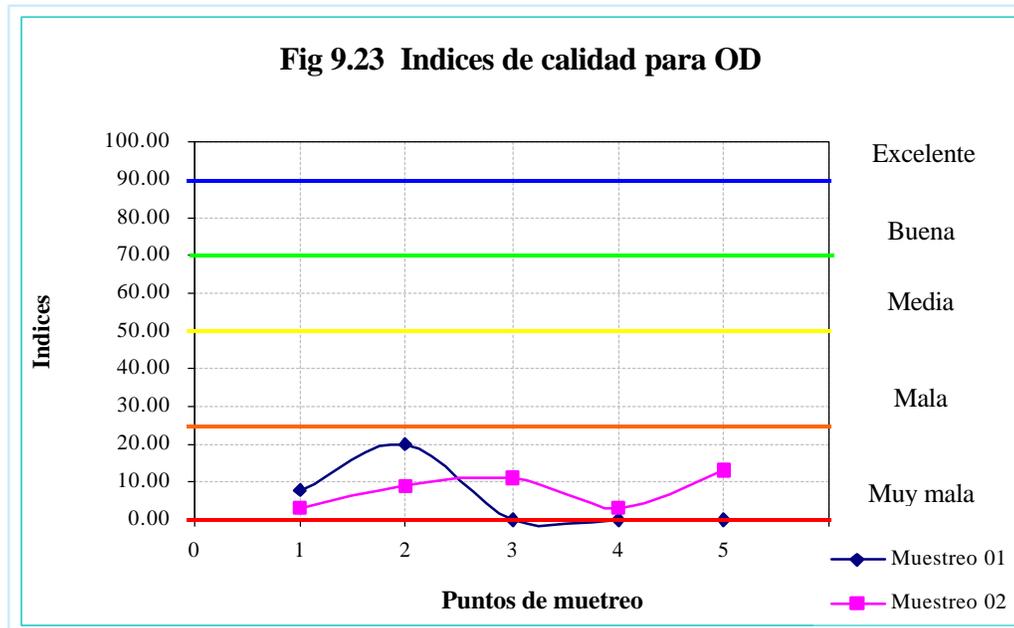


Los índices para el incremento de temperatura en general estuvieron en la categoría de Bueno a excelente, éste último caso para las últimas estaciones del evento 02.

En el evento 01 presentó un índice de bueno en todas las estaciones de muestreo. Es necesario indicar que el criterio asumido para establecer el diferencial de temperatura es el tiempo que tomó en acceder a la estación subsiguiente, intervalo que fue aproximadamente de 1.2 horas.

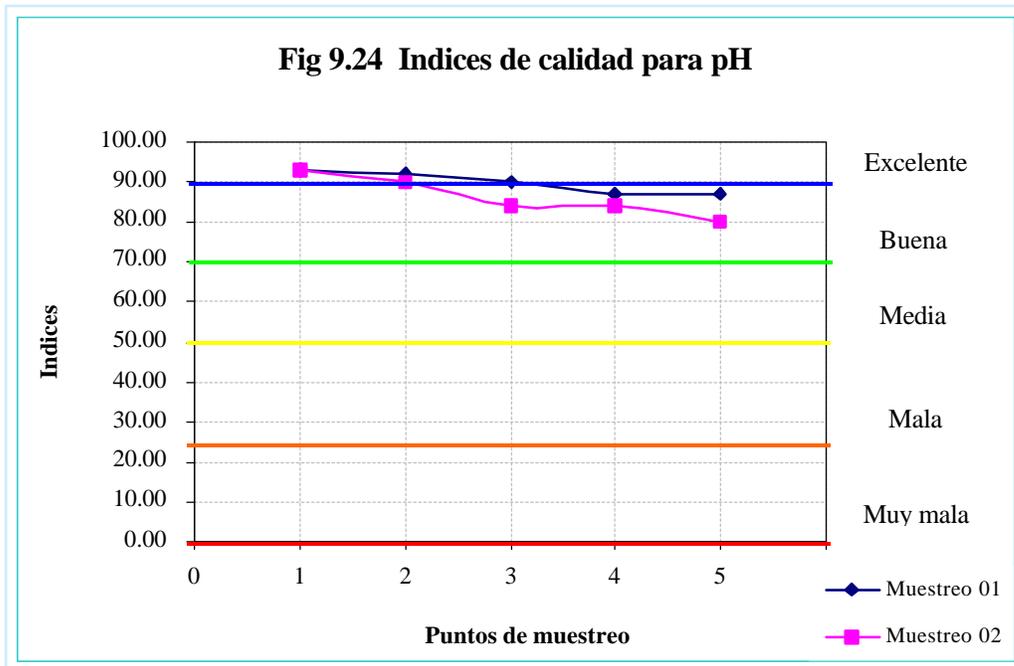


Este parámetro presentó una categorización de calidad Media. En ambos eventos de muestreo y para todas las estaciones. Este hecho puede significar que no existe un deterioro importante por este factor o que es mínimo.



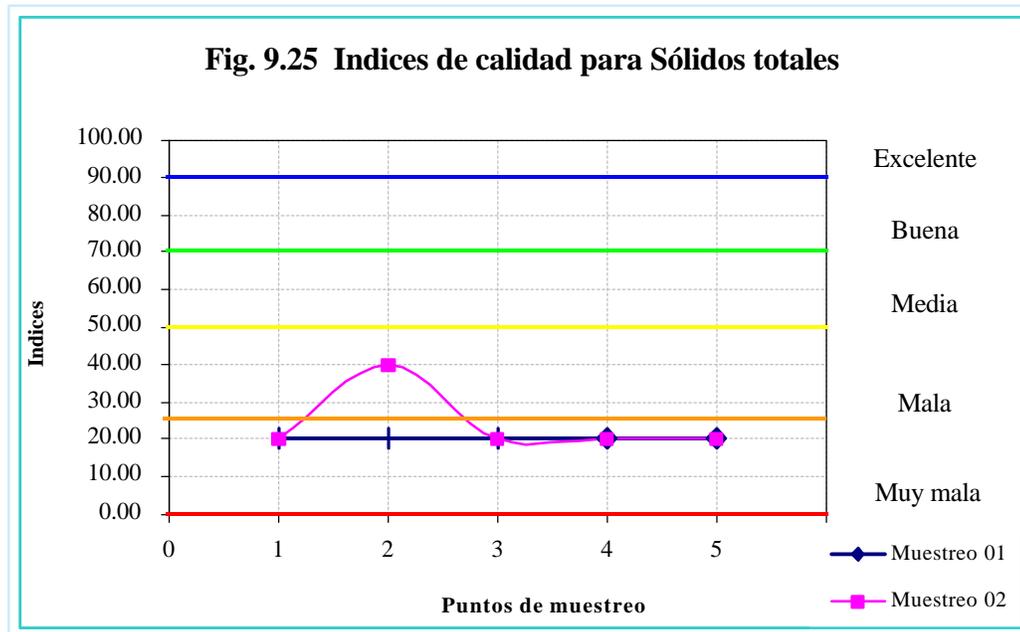
Los índices obtenidos para este parámetro clasifican al agua como de calidad muy mala tanto para ambos eventos como para todas las estaciones de muestreo.

Lo cual sugiere que el potencial biológico del río Rocha, por la deplección y disponibilidad mínimas de oxígeno, está en un serio proceso de deterioro por lo menos para esta época de estiaje. Esto, sumado a las demás condiciones desfavorables registradas se puede estimar una irreversible pérdida de algunas especies de flora y fauna.



Los índices de calidad para este parámetro categorizaron al agua como de calidad excelente para la primera estación en ambos eventos muestrales y, de calidad buena, a partir de la estaciones 2 presentando, una ligera disminución hacia la última estación.

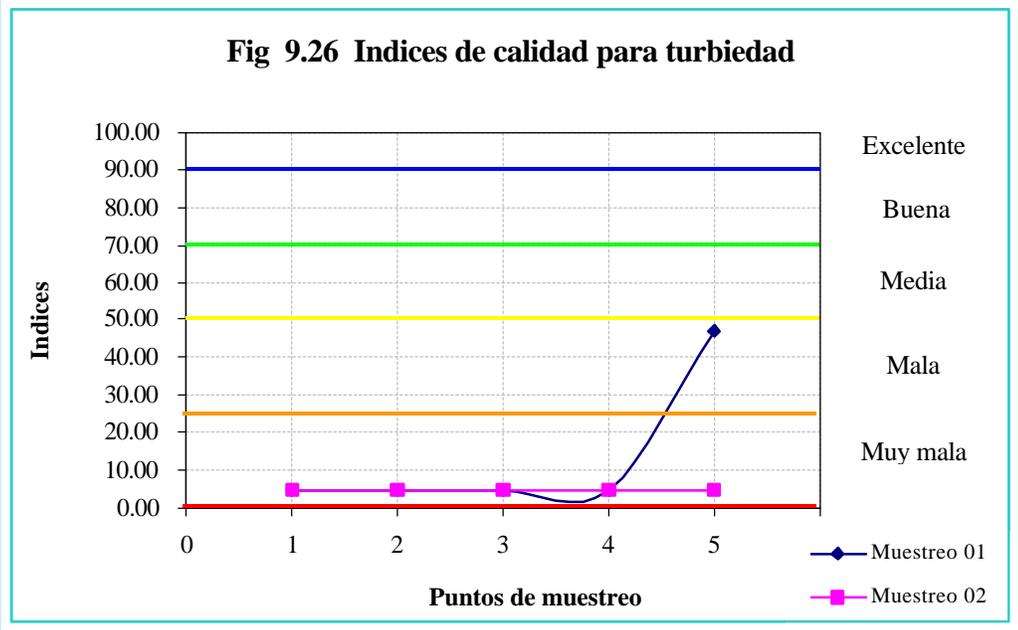
Contrariamente a los efectos que el incremento y /o variaciones de pH puede producir sobre los cuerpos de agua debido a la presencia de determinadas cantidades y tipo de contaminantes y en condiciones determinadas, los índices nos muestra una categorización opuesta. No obstante, su monitoreo es mas que necesario considerando su importancia dentro de los procesos dinámicos del ecosistema río Rocha.



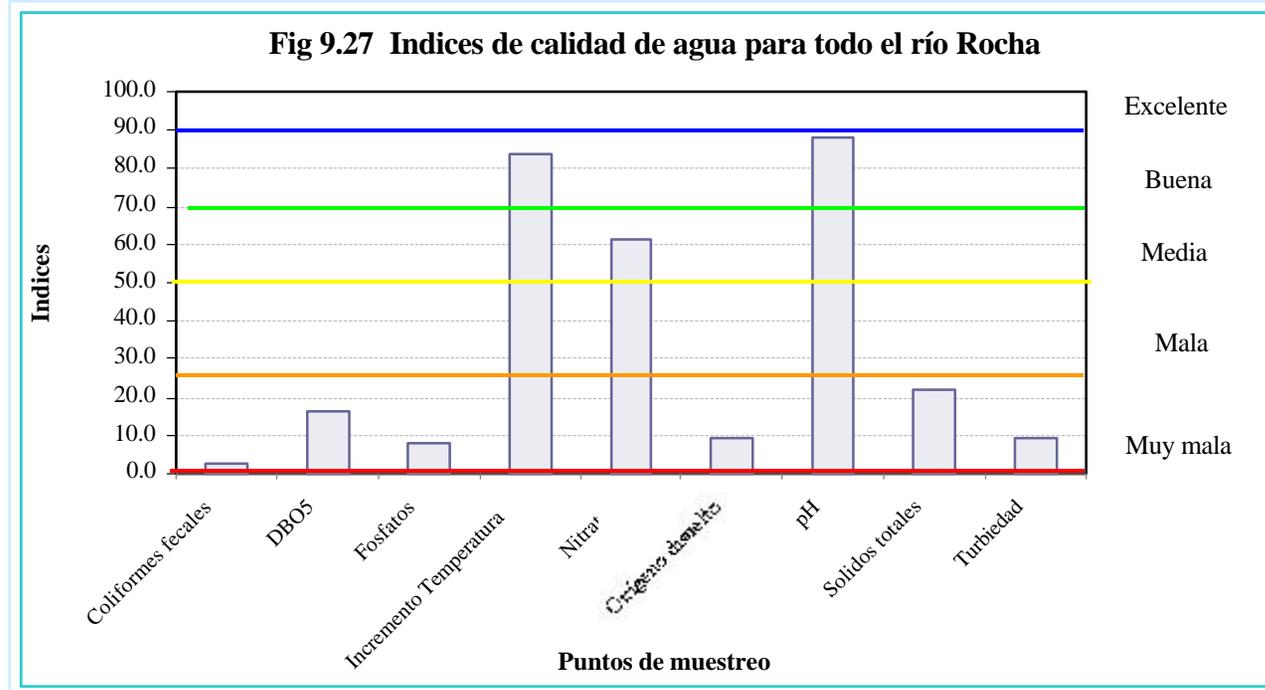
Los índices de calidad para este parámetro, excepto para la segunda estación (que presentó una calidad de mala) del evento muestral 2 fue categorizada como muy mala. Los índices tienen relativamente el mismo valor de índices.

La implicancia ambiental de los sólidos en los cuerpos de agua, en este caso un río, va desde el aspecto estético, hidráulico, tratamiento hasta de salud (Sawyer, 1978).

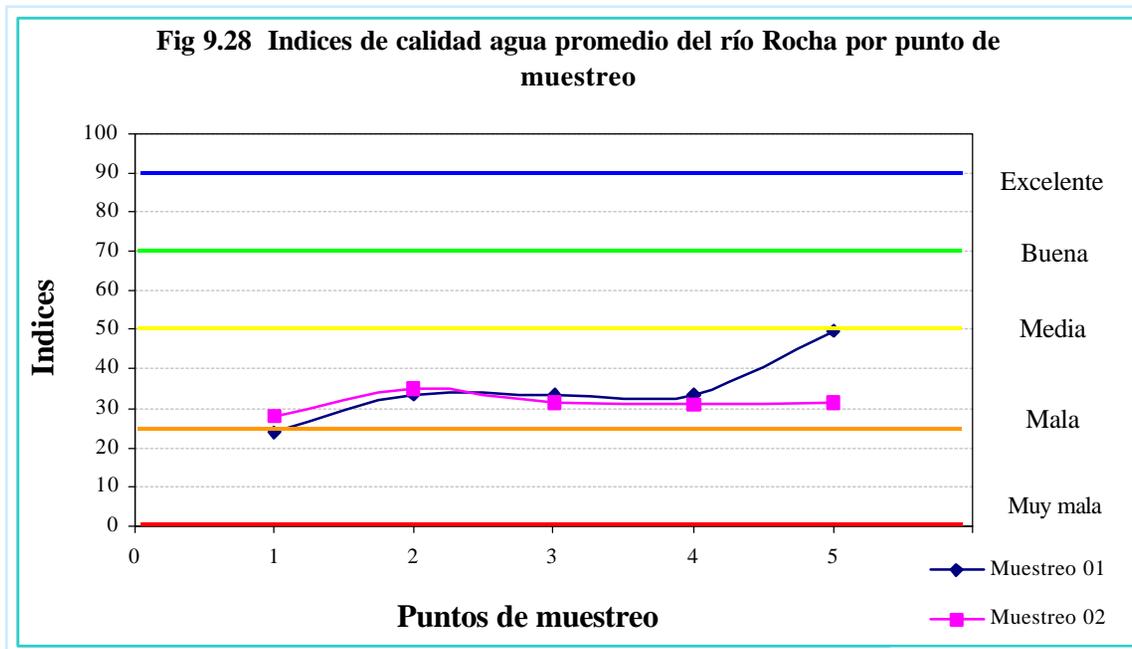
Sin embargo, y hasta ciertos límites, los sólidos pueden tener influencia favorable sobre los microorganismos constituyéndose en sustrato y alimento para su actividad biológica. Por ejemplo y atribuyéndolo como causa del incremento de los sólidos a las aguas residuales, muchos patógenos que forman parte de las comunidades microbianas, se adhieren a la superficie de las partículas y de esa manera protegen de condiciones adversas como por ejemplo de los desinfectantes.



Este parámetro presentó también una categorización de calidad muy mala, sin embargo, la última estación del evento de muestreo 01 fue de Mala.



Se presentan los índices de calidad de agua para todo el río Rocha. Sólo dos índices alcanzaron la categoría de calidad buena; la temperatura y el pH. El parámetro nitrato registro una categorización de calidad Media y los demás parámetros se clasificaron dentro de la categoría de calidad muy mala. Es de notar también, que la variable Coliformes fue la que presentó el índice más bajo.



Índices de calidad obtenidos para cada estación de muestreo. Para ambos eventos muestrales los índices obtenidos se clasificaron dentro de la categoría de calidad Mala. Sin embargo, para la última estación del evento 01 se registró una calidad entre mala y mediana.

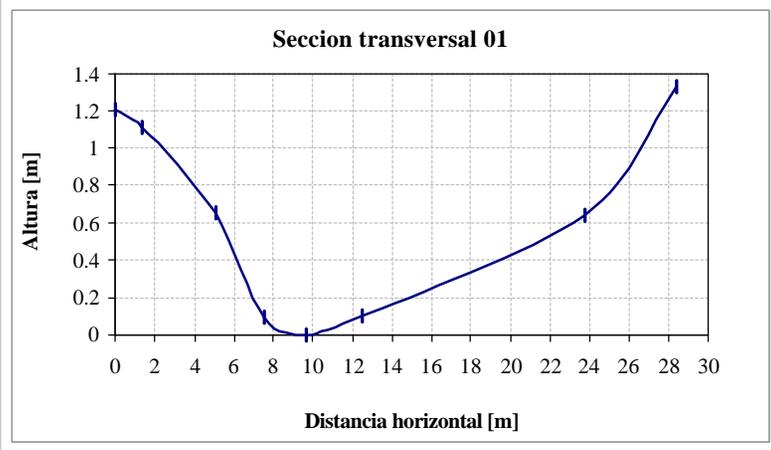


Figura 9.29. Sección transversal 01 que corresponde al sector de Chocacollo

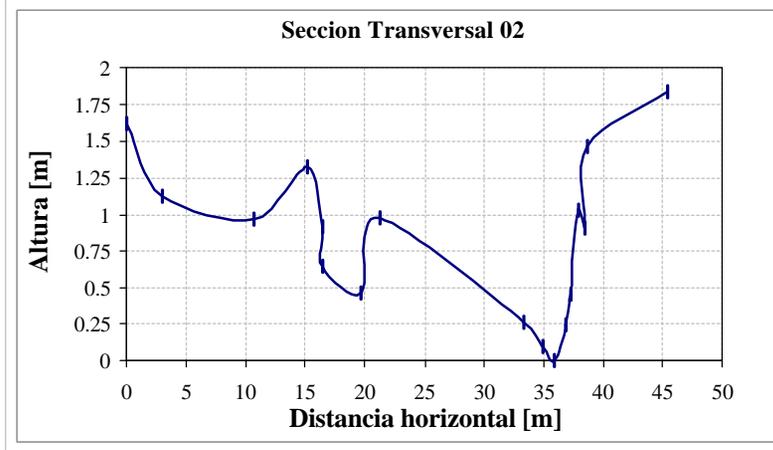


Figura 9.30 Sección transversal 02 que corresponde al sector de Mesadilla

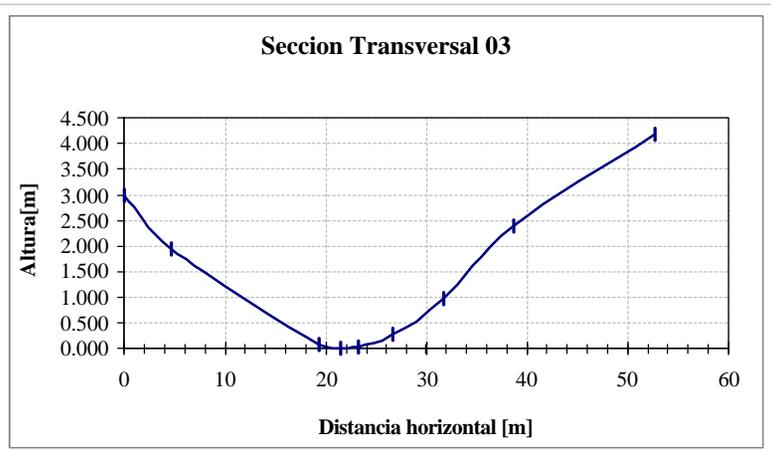


Figura 9.31 Sección transversal 03 que corresponde al sector de Sumumpaya y Maica

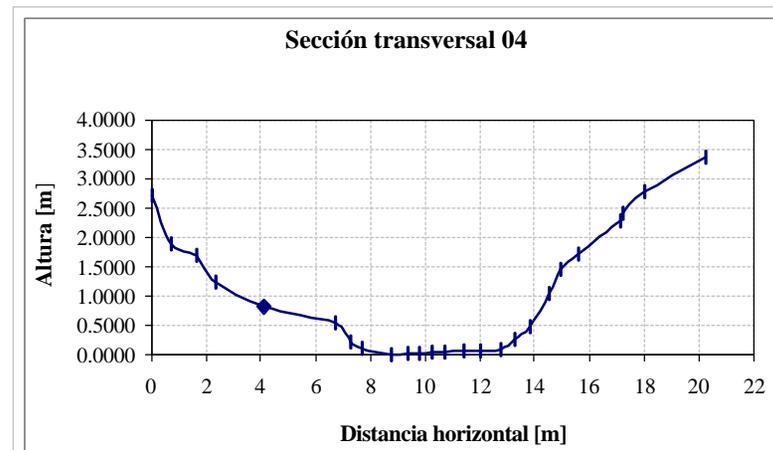
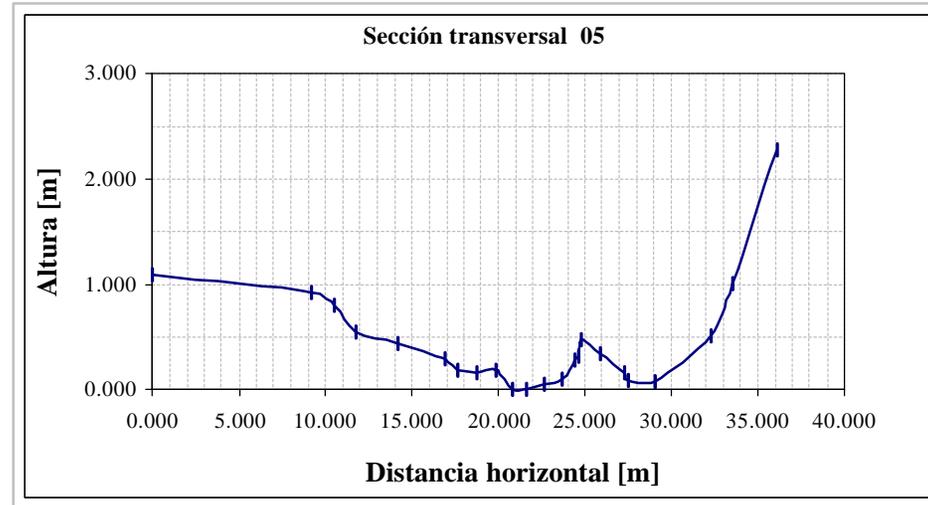


Figura 9.32 Sección transversal 04 que corresponde al sector Malaco en Vinto

Figura 9.33 Sección transversal 05 que corresponde al sector de Capinota.



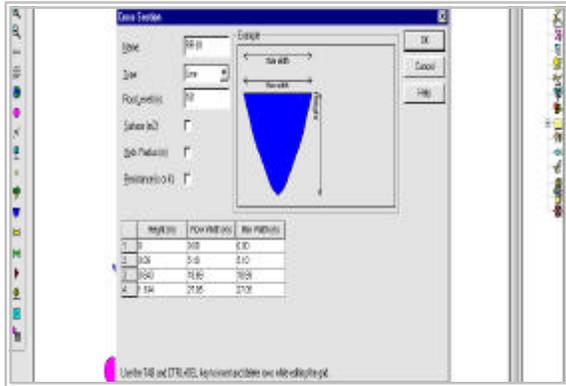


Fig. 9.34 Ventana de Cross section en el modelo Duflow presentando los datos de la sección transversal que corresponde a la estación de muestreo 01.

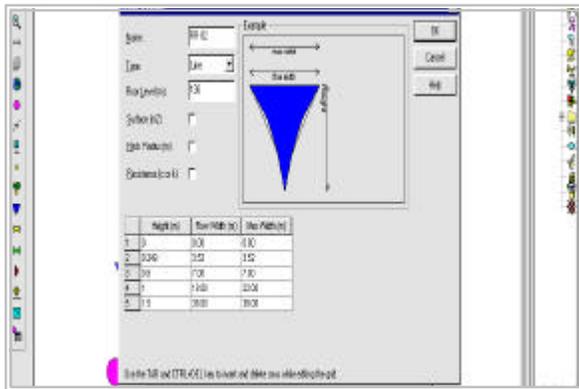


Fig. 9.35 Ventana de Cross section en el modelo Duflow presentando los datos de la sección transversal que corresponde a la estación de muestreo 02.

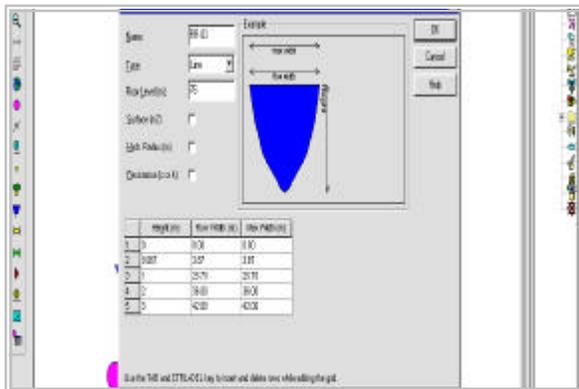


Fig. 9.36 Ventana de Cross section en el modelo Duflow presentando los datos de la sección transversal que corresponde a la estación de muestreo 03.

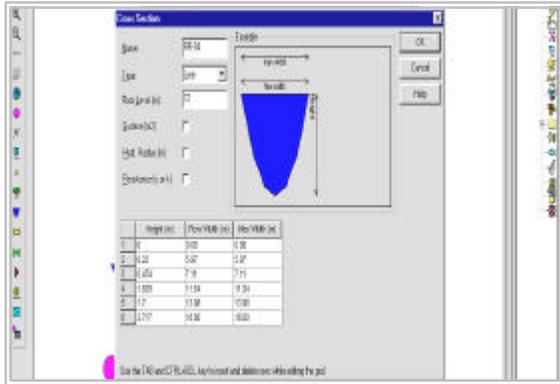


Fig. 9.37 Ventana de Cross section en el modelo Duflow presentando los datos de la sección transversal que corresponde a la estación de muestreo 04.

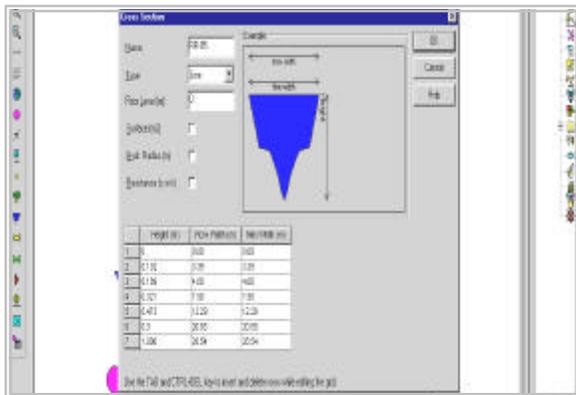


Fig. 9.38 Ventana de Cross section en el modelo Duflow presentando los datos de la sección transversal que corresponde a la estación de muestreo 05.

---

Estadísticamente, los parámetros que presentaron una mayor homogeneidad en los datos son el Fosfato que registró la mayor homogeneidad en los datos con un 0.0% de error entre eventos seguido de la temperatura ambiental cuyo error estándar difieren sólo en el 1% entre eventos, Nitratos presentó un 2% de diferencia de error y sólidos suspendidos un 6%. Los parámetros con mayor heterogeneidad fueron temperatura de agua con un 98 % de diferencia de error, DBO<sub>5</sub> con un 56% de error, Nitrato Amoniacal con el 33%, Sólidos Totales con el 29%, turbiedad 20%.

En el análisis de los resultados del muestreo 02 se consideró el evento de lluvia registrado de 20 mm dos días antes ya que este hecho influyó en dos factores importantes el aumento de la carga orgánica y un incremento en el proceso de dispersión en el río. para el mes de Noviembre el promedio de lluvia registrado fue de 45 mm.

Otro aspecto importante a considerar y que ha podido influir en los resultados es la velocidad del flujo que fluctuaron desde 0.10 hasta 0.3 m<sup>3</sup>/s (estimados a partir de la Tabla SEBA universal current meter F1 with propeller 125/300).y las cantidades de materia disuelta que en un cuerpo de agua lótico no están distribuidos uniformemente en la sección transversal en el momento de la recolección de las muestras y registros de los parámetros (Meode 1995) este último aspecto no se consideró por la implicancia económica que significaba tener más muestras.

El modelamiento espacio-temporal con el Duflow aún cuando se ingresaron todos los datos necesarios no fue posible obtener resultados probablemente debido a que no se iniciaron los ajustes pertinentes como son los boundary conditions. Sin embargo, en las Figs. 9.34 a 9.38 se presentan los datos ingresados para la sección transversal 01-05 de las estaciones de muestreo correspondientes.

---

## CONCLUSIONES

- Los índices de calidad de agua obtenidos a partir de los parámetros propuestos por Canter (1998) se constituyen en indicadores de contaminación para el río Rocha
- Para las características hidrológicas, fisico-químicas y biológicas se registraron valores que evidencian un claro deterioro del ecosistema río Rocha siendo el factor Coliformes fecales el de mayor significancia por las cantidades encontradas en las aguas de hasta 6000000 UFC/100mL valores, que sobrepasan los límites permisibles, inclusive para las aguas del tipo D de acuerdo al reglamento de la ley del medio ambiente para contaminación hídrica (1995).
- Espacialmente la tendencia observada, en cuanto a concentraciones y cantidades de los diferentes parámetros de calidad de aguas y para ambos eventos de muestreo, es a incrementarse a partir de la estación 2 que corresponde a la localidad de Mesadilla hasta la estación 4 en Vinto y la relativa autorecuperación en algunos parámetros como en Oxígeno disuelto a partir de éste punto. El análisis mediante el Duflow no fue posible por inconvenientes en el ajuste del programa.

---

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios mas integrados en los cuales se considere la dinámica de descargas de aguas entre los sectores Mesadilla y Vinto. Esta dinámica debe incluir el gradiente habitacional y los sistemas productivos establecidos a lo largo del ámbito de influencia del río Rocha.
- Realizar estudios sobre el proceso de autorecuperación del Río Rocha, tanto de los factores que lo favorecen como de aquellos que lo deterioran.

---

**ANEXO**



---

---

## **BIBLIOGRAFIA**

**ACHARYA, B.,**(1999). *A Spatial analysis of tree diversity in Nepal. Forest Biodiversity Assessment. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences ITC, P:O: Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands.*

**ALEXANDER, Richard B et al** (2001). *USGS, Digital Data Series DDS-37 (2001).U.S Geological Survey National Stream WQ monitoring Net Works (WQN).*

**ARNEZ, Edith M.** (1994). *Evaluación e interpretación de análisis de aguas de la ciudad y zonas periféricas de Cochabamba. Trabajo de grado para optar el título de Licenciada en Ciencias Químicas. UMSS, Cochabamba-Bolivia.*

**ASQUETA, D., Sotelsek, D.**(1999). *Ventajas comparativas y explotación de los recursos naturales. Revista de la Comisión Económica para la América Latina y el Caribe CEPAL, 115-133.*

**AYALA, L. R.**(1999). *Colonización del Río Rocha por organismos bentónicos. Tesis de grado para obtener el Título de licenciado en Biología. (Cochabamba – Bolivia).*

**BEGON, M., Harper, L.Y., Townsend, R. Colin.**(1995). *Ecología, Individuos, Poblaciones y Comunidades. Ediciones Omega., S.A., Barcelona, España.*

**BERNEX, De F. N., Montes, M. L.**(1996). *Una aproximación a la lectura del espacio. Cuenca del Río Sisa - Huallaga Central Bajo Mayo.*

---

---

**BRACK, A.** (1998). *Gestión urbana regional de inversiones: Región San Martín. El tratamiento de los ecosistemas amazónicos Seminario Taller Moyobamba, San Martín.*

**CERES 12.** (1999). *Cochabamba y su problemática urbana. Debate regional 12. Cochabamba Bolivia.*

**CANTER, L.W.**(1998). *Manual de Evaluación del Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. 2da. Edición. Editorial McGraw - Hill Interamericana de España, S.A.U.*

**CHAPMAN, D.** (1998). *Water quality assessment: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. E & FN SPON. 11 New fetter Lane, London EC4P 4EE.*

**DEPARTMENT** of ECONOMIC and SOCIAL AFFAIRS. United Nations. (1999). *Indicators Of Sustainable Development.*

**FRANK, N.** (2000). *Ammonia Toxicity to freshwater fish the effects of pH and temperature.*

**FELLOW, E., Mary Belefski y Sarah Lehman.** (1996). *Water quality goals and indicators . Draf February 15, 1996. US EPA, Washington, DC.*

*P*

**LINIGER, H y Rolf Weingartnes** (1998). *Montañas y recursos hídricos. Instituto de Geografía. Universidad de Berna, Suiza.*

**LORY, J.A.** (1999). *Agricultural Phosphorus and water quality. MU guide extension. University of Missouri. Columbia.*

**MALDONADO, M., Paul Van Damme y J Rojas.** (1998). *Contaminación y eutroficación en la Cuenca del Río Rocha (Cochabamba). Revista Boliviana de Ecología y Conservación ambiental. 3:3-9,1998.*

---

**MARTINEZ- ALIER, J.**(1997).*Conflictos de distribución ecológica. Revista Andina. Año 15. Nro. 1, Julio 1997.*

**MICHAUD, Jery P.** (2001). *Eurovisión – Environmental Consulting Service-Olynpia-Washington*  
[www.ecy.gov/programs/wq/plant/management/yourmanual/streams.html](http://www.ecy.gov/programs/wq/plant/management/yourmanual/streams.html).

**MOLDEN, D.** 1997.*Accounting for water use and productivity.System-Wide Initiative on Water Management, Paper 1. Colombo, Sri Lanka. International Water Management Institute.*

**MOULINIER, Y y Patrick Frenel** (1998). *Plan piloto de Gestión Integral del Río Rocha. Informe Programa. Municipalidad de Cochabamba.*

**NORTH CAROLINE STATE UNIVERSITY- NCSU.** (2001). *Water quality; Department of Biological and agricultural Engineering. Water, Soil and Hydro-Environmental Decision Support System.*

**OPINION, Diario.** (2001). *El agonizante Río Rocha todavía puede revivir. Cochabamba Bolivia.*

**PEREDO, P,S.**(1999). *Presencia de Salmonellas en aguas del río Rocha. Tesis de grado para obtener el diploma académico de licenciada en Biología- facultad de Ciencias y Tecnología UMSS. Cochabamba- Bolivia.*

**RENNER y Carlos Velasco,** (2000). *Geología e Hidrogeología del Valle Central de Cochabamba. Boletín de Servicio Nacional de Geología y Mineralogía Nro. 34, 2000.*

---

**REVOLLO, A J.** (1999). *Calidad de las aguas superficiales en el valle Alto y su interpretación según M.D.S.MA. Tesis maestría Profesional en “Levantamiento de Recursos Hídricos (Manejo y Conservación de Cuencas)”*.

**RICKERT, David.** (1998). *Evaluación de la calidad del agua para determinar la naturaleza y grado de contaminación del agua por la agricultura y actividades afines.*

**ROMERO, A ,M., Paul Van Damme y Edgar Goitía.** (1998). *Contaminación orgánica en el Río Rocha (Cochabamba, Bolivia). Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental. 3:11-23, 1998.*

**ROMERO, A ,M., Carlo Vendecasteele y Herman Cooreman.** (2000). *Metales (Cr, Pb y Zn) en sedimentos y Quiromónidos del río Rocha Revista Boliviana de Ecología y Conservación ambiental. 8:37-47, 1998.*

**SAWYER, Clair N; Perry Mc Carty.** (1978). *Chemistry for Environmental Engineering. 3th Edition. Mc Graw-Hill Publishing Company.*

**UBMSS.** (1975). *Algunos aspectos de la situación de salud y las condiciones bacteriológicas del agua de consumo. Proyecto de enseñanza de la medicina de la comunidad. Cochabamba – Bolivia.*

**VITOUSEK, P.M., Harold A. Mooney., Jane Lubchenco y Jerry M. Mellido.**(1997). *Human Domination of Earth's Systems. Science. Vol.277. 494-499.*

**WINOGRAD, M**(1995). *Indicadores Ambientales para Latino América y el Caribe. Hacia la sostenibilidad en el uso de tierras. Grupo de análisis de sistemas ecológicos (GASE). En colaboración con: IICA, GTZ, DEA, Instituto de recursos Mundiales –San José, CR.:IICA.1995.84 p.*