

# Evaluación de la calidad de las aguas del río Rocha en la jurisdicción de SEMAPA en la provincia Cercado de Cochabamba-Bolivia

René Toledo Medrano, David Amurrio Derpic

Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana  
Av. General Galindo s/n, Cochabamba, Bolivia

## Resumen

Este estudio tuvo como fin determinar la calidad físico-química de la sección del río Rocha que atraviesa la ciudad de Cochabamba-Bolivia. Dicha calidad fue establecida determinando puntos de muestreo a lo largo del río, seguida de su correspondiente toma de muestras y posterior análisis de laboratorio. Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Alba Rancho de SEMAPA se procedió al análisis comparativo para determinar los parámetros que exceden los límites máximos permisibles establecidos por la ley 1333 de Medio Ambiente y sus posibles causas. Así mismo, se determinó de manera cualitativa el estado del río Rocha utilizando índices físico-químicos de calidad de aguas, tales como el índice de Prati y el Reglamento de Contaminación Hídrica. Los índices muestran un alto grado de contaminación y degradación del medio debido a la influencia que tienen las descargas de la red de alcantarillado sobre la calidad de las aguas del río Rocha.

Palabras clave: Río Rocha, contaminación hídrica, reglamento de contaminación hídrica, análisis físico-químicos, índice de Prati, calidad físico-química, Cochabamba, Bolivia

## 1 Introducción

El desarrollo de las civilizaciones está estrechamente relacionado con el agua. A medida que el hombre se volvió sedentario, buscó establecerse cerca de cuerpos de agua para satisfacer la necesidad de contar con este elemento para su consumo, el de su ganado y riego de sus cultivos. Independientemente de estos usos, dichos cursos, también fueron utilizados como receptores de los desechos producidos por estas poblaciones, y a medida que se desarrollaron económica, demográfica e industrialmente, la cantidad de residuos descargados se multiplicó, trayendo consigo una creciente contaminación [5].

Siguiendo una dinámica similar, las ciudades en Bolivia se asentaron a orillas de diversos ríos; tal es el caso de la ciudad de Cochabamba y el río Rocha. Desde épocas coloniales, las aguas del río Rocha fueron usadas para el riego de cultivos y para el consumo de las poblaciones asentadas en las cercanías[4].

El río Rocha, se origina en el río Maylanco en la provincia de Sacaba, atravesando las poblaciones de Cochabamba, Quillacollo, Vinto, Suticollo y Parotani hasta llegar a Capinota donde forma el río Grande o Caine al unirse al río Arque [12]. Su caudal es inestable y se caracteriza por su aspecto de arroyo durante la época de sequía y crecidas de corta duración en época de lluvias [1].

Hoy en día, el río Rocha se ha convertido en un foco contaminante. La principal causa para esta contaminación, es que este, es receptor de las aguas provenientes del alcantarillado de la ciudad de Cochabamba, a través de desfogues ubicados a lo largo de todo su curso en la provincia Cercado (figura 1). Las aguas de estos desfogues, no reciben tratamientos primarios antes de ser evacuadas y se mezclan aguas residuales domésticas con aguas residuales industriales, especialmente de curtiembres. Una de las razones para que este fenómeno ocurra, es el crecimiento desordenado que sufre la ciudad, lo cual provoca asentamientos humanos no planificados y carentes de servicios básicos como el suministro de agua potable y saneamiento ambiental [9].

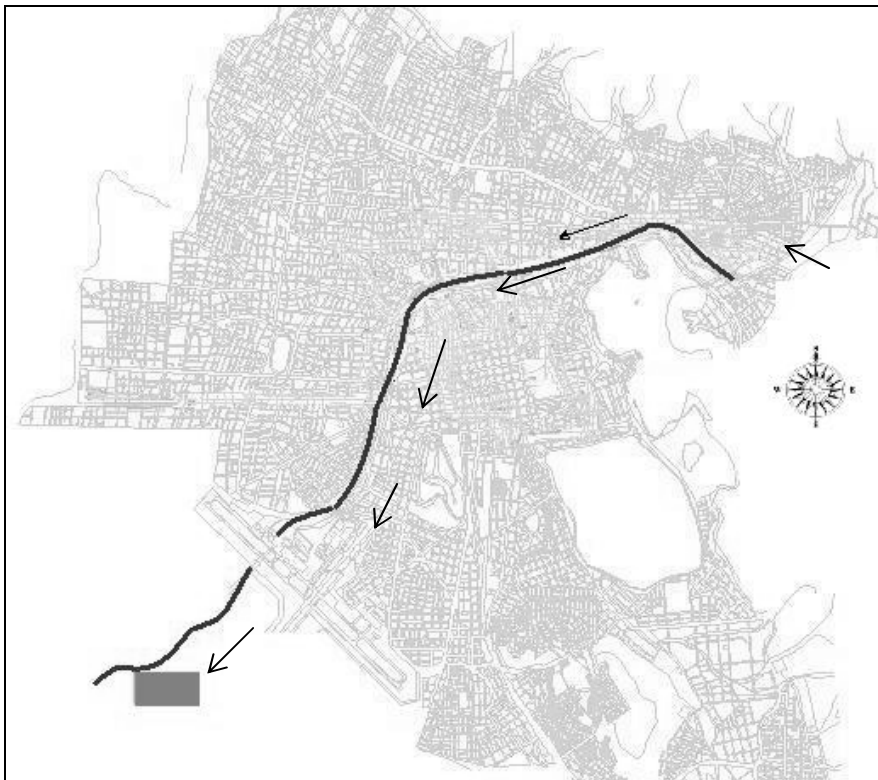


Figura 1: Trayecto de río Rocha en la provincia Cercado [6]

Dentro esta temática, si bien existen estudios generales sobre la calidad de la cuenca del río Rocha no se contaba con estudios específicos que establezcan la calidad de las aguas del río del mismo nombre en la provincia Cercado. Ante esta necesidad, en el año 2003, a iniciativa de SEMAPA y con el apoyo de la Universidad Católica Boliviana “San Pablo” se comenzó la evaluación de las aguas del río Rocha, por medio de análisis físicos-químicos en seis puntos de muestreo.

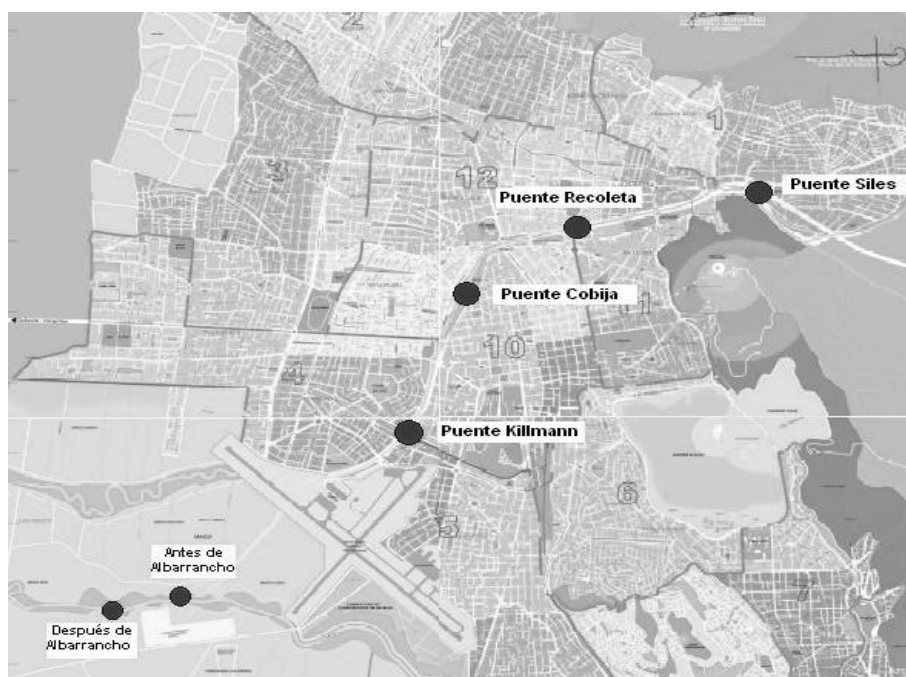
## 2 Evaluación físico-química de la calidad del agua

La determinación de la calidad del agua es realizada mediante una serie de análisis basados en métodos físico-químicos y biológicos. Los métodos físico-químicos permiten obtener información del estado de las muestras en el instante mismo en que fueron obtenidas pudiendo ser valores muy elevados o bajos [14]. Los métodos biológicos se fundamentan en el estudio de plantas y animales acuáticos, los cuales reaccionan ante los cambios físico-químicos del medio en el que se desenvuelven. Por lo tanto, este método determina el grado de alteración biológica que sufrió el cuerpo de agua [14].

Los análisis físico-químicos como los biológicos utilizan a ciertos parámetros para determinar la calidad de un cuerpo de agua. Los parámetros considerados dentro este estudio fueron: pH, conductividad, temperatura, Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Suspendidos (SS), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Biológica de Oxígeno (DQO), nitritos, nitratos, sulfuros, sulfatos y la dureza. En el caso de los parámetros biológicos sólo se consideró a los Coliformes Fecales (CF), además del caudal del río Rocha en los lugares donde se llevó a cabo el muestreo.

La selección de los puntos donde se realizó el muestreo, se basó en guías de monitoreo y análisis establecidos por Bartram y Ballance [2], las cuales sugieren un número de 6 puntos de muestreo en un río. Por lo cual, se seleccionaron e identificaron 6 puntos de muestreo a lo largo del río Rocha dentro de la jurisdicción de SEMAPA (Figura 2).

Los puntos seleccionados se ubicaron en: puente Siles (punto 1), puente Recolecta (punto 2), puente Cobija (punto 3), puente Killmann (punto 4), al ingreso a la Planta de Tratamiento de Alba Rancho (punto 5) y finalmente la salida de la Planta de Tratamiento de Alba Rancho (punto 6). Todos los puntos elegidos, fueron seleccionados cumpliendo con los aspectos sugeridos y mencionados en la metodología de Bartram y Ballance [2], como ser: accesibilidad física a la zona, vertido de aguas domésticas e industriales a la zona, uso del recurso hídrico y fuentes puntuales de contaminación.



**Figura 2:** Ubicación de los puntos de muestreo a lo largo del río Rocha [7]

Una vez que las muestras fueron extraídas, en cada punto de muestreo, se llevó a cabo el análisis *in-situ* de los parámetros que así lo requerían y los restantes fueron trasladados al Laboratorio de la Planta de Tratamiento de Alba Rancho, donde fueron analizados. Con los resultados obtenidos en laboratorio, se compararon los valores de los parámetros medidos con los establecidos por el Reglamento Boliviano de Contaminación Hídrica (RBCH) y se establecieron aquellos que exceden los valores estipulados en dicho reglamento (Tabla 1).

**Tabla 1.** Límites permisibles de los parámetros medidos [8]

Parámetro	Límite Permissible	Unidades
pH	6.5 a 8.5	
Temperatura (*)	±5	°C
Sólidos totales	1000	mg l <sup>-1</sup>
Sólidos suspendidos	60	mg l <sup>-1</sup>
Dureza	400	mg CaCO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>
DBO <sub>5</sub>	80	mg l <sup>-1</sup>
DQO	250	mg l <sup>-1</sup>
Sulfuros	1	mg S <sup>-2</sup> l <sup>-1</sup>
Sulfato	300	mg SO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>

Nitritos	< 1	mg NO <sub>2</sub> l <sup>-1</sup>
Nitratos	20	mg NO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>
Coliformes fecales	1000	NMP 100 ml <sup>-1</sup>

(\*) Rango de variabilidad con relación a la temperatura media del cuerpo receptor

De manera complementaria, se determinó la carga orgánica existente en los diferentes puntos de muestreo mediante la ecuación 1 [10].

$$C = [DQO] \times Q \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

[DQO]= Concentración de DQO expresado en kg l<sup>-1</sup>

Q= Caudal (l d<sup>-1</sup>)

C= Carga orgánica, expresada en kg d<sup>-1</sup>

La concentración utilizada en la ecuación 1, corresponde a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) debido a que dicha concentración suele ser usada para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que pueden ser o no biodegradables. Una vez determinada la carga orgánica, se estableció la fracción biodegradable de la materia orgánica presente en los puntos de muestreo. Para realizar este estudio, se utilizó la siguiente ecuación [13]:

$$F_b = \frac{DBO / DQO}{0,65} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

F<sub>b</sub>= Factor de biodegradabilidad

La biodegradabilidad se determina a partir del F<sub>b</sub>, donde un valor de 1 es equivalente a que el 100% de la materia orgánica presente es biodegradable.

### 3 Clasificación de agua de acuerdo a su grado de contaminación.

El agua puede ser clasificada según su grado de contaminación, una vez que se ha determinado su calidad, por medio de diversas metodologías. Estas metodologías, pueden estar basadas en variables biológicas cuya presencia o ausencia puede provocar alteraciones al medio acuático o basarse en parámetros físico-químicos y utilizar fórmulas o expresiones matemáticas que interpreten dichos cambios o alteraciones [11].

La clasificación y evaluación de la contaminación de aguas en ríos por métodos físico-químicos, tiene como ventajas la determinación de la causa contaminante y permite realizar un seguimiento de control de calidad de las aguas a cambios temporales y espaciales [11]. Por otra parte, entre las principales desventajas podemos citar, a

factores técnicos, económicos y al hecho de que estos métodos requieren de muestras recogidas instantáneamente, es decir, no detectan variaciones ni contaminaciones puntuales en el tiempo [11].

Entre los métodos más utilizados para clasificar los cuerpos de agua, de acuerdo a su grado de contaminación, se puede mencionar: el índice de Prati, Chemical Index, LISEC, NSF (Fundación de Sanidad Nacional), etc. [11]. Este estudio utilizó el método de índice de Prati.

### 3.1 Índice de Prati

El índice de Prati, uno de los métodos más utilizados, ha sido adaptado para ser usado en nuestro medio en estudios anteriores de la Cuenca del río Rocha con buenos resultados, el cual considera cuatro parámetros para determinar el grado de calidad de las aguas. Por este motivo, además de ser muy práctico, este índice es muy aplicable y representativo para nuestra ciudad [11]. El índice Prati para la contaminación hídrica es expresado en la siguiente ecuación [12]:

$$PI = \frac{1}{m} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

m = número de muestras.

n = número de parámetros.

X<sub>ij</sub> = unidad de contaminación

Los parámetros utilizados en la ecuación 3 son: Oxígeno disuelto, DBO, DQO y los Nitratos, sus valores son transformados a unidades de contaminación mediante el grupos de ecuaciones 4-9 presentadas en la tabla 2. A partir de los resultados obtenidos con las ecuaciones del índice de Prati, las aguas son clasificadas haciendo uso de la tabla 3.

**Tabla 2.** Ecuaciones utilizadas para la determinación del índice de Prati [12]

Parámetros	Unidad	Ecuación	Nº Ec.
		x= unidad de contaminación y= valor del parámetro obtenido en laboratorio	
Nitratos	mg l <sup>-1</sup>	$x = 2^{2\log(\frac{y}{4})}$	4
DBO <sub>5</sub>	mg l <sup>-1</sup>	$x = \frac{y}{1.5}$	5
DQO	mg l <sup>-1</sup>	$x = 0.1y$	6

O <sub>2</sub> (%) saturación			
0-50%	mg l <sup>-1</sup>	$x = 4.2 - 0.437 * (\frac{100-y}{5}) + 0.042(\frac{100-y}{5})^2$	7
50-100%	mg l <sup>-1</sup>	$x = 0.08(100 - y)$	8
>100%	mg l <sup>-1</sup>	$x = 0.08(y - 100)$	9

**Tabla 3.** Clasificación del agua de acuerdo con el índice de Prati [12]

Clase	PI	Calidad del agua	Color
1	0-1	No contaminada	Azul
2	1-2	Poco contaminada	Verde
3	2-4	Moderadamente contaminada	Amarillo
4	4-8	Contaminada	Anaranjado
5	8-16	Muy contaminada	Rojo
6	>16	Altamente contaminada	Negro

### 3.2 Reglamento Boliviano de Contaminación Hídrica (RBCH)

De la misma forma, existe un método de clasificación de aguas en Bolivia estipulado por el RBCH de la ley 1333 de Medio Ambiente, basada en su aptitud de uso y de acuerdo a políticas ambientales vigentes en Bolivia [8].

La clasificación se basa en las siguientes características:

- *Clase A:* Aguas naturales de máxima calidad, aptas para el consumo humano sin recibir un tratamiento previo o, si es necesario, una simple desinfección bacteriológica [8].
- *Clase B:* Aguas de utilidad general, se requiere de tratamiento físico y desinfección bacteriológica para su consumo [8].
- *Clase C:* Aguas de utilidad general, para su consumo se necesita desinfección bacteriológica y tratamientos físico-químicos [8].
- *Clase D:* Aguas de calidad mínima, usada para consumo humano en casos de mucha necesidad pues para su habilitación se requiere de presedimentación, debido al alto contenido de sólidos suspendidos, un tratamiento físico-químico completo y por último una desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales [8].

Para determinar a qué clase corresponde la muestra se comparan los valores obtenidos de cada parámetro analizado con la tabla 4.

**Tabla 4.** Clasificación del agua de acuerdo con el RBCH [8]

Parámetros	Unidad	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
pH		6 a 8.5	6 a 9	6 a 9	6 a 9
DBO	mg l <sup>-1</sup>	<2	<5	<20	<30
DQO	mg l <sup>-1</sup>	<5	<10	<40	<60
S.S.		Ausentes	Ausentes	Ausentes	< malla 1 mm <sup>2</sup>
Nitritos	mg l <sup>-1</sup>	<1	1	1	1
Nitratos	mg l <sup>-1</sup>	20	50	50	50
Sulfatos	mg l <sup>-1</sup>	300	400	400	400
Sulfuros	mg l <sup>-1</sup>	0.1	0.1	0.5	1.0
O.D.	mg l <sup>-1</sup>	>80%	71-80%	61-70%	0-60%
Coliformes fecales*	NMP 100ml <sup>-1</sup>	<50 y <5	<1000 y <200	<5000 y <1000	<50000 y <5000

## 4 Resultados y discusión

La interpretación de los resultados obtenidos fue realizada en dos etapas. Un análisis comparativo de datos y una clasificación de acuerdo con la calidad de las aguas del río Rocha. En el análisis comparativo, como se mencionó anteriormente, se compararon los valores de los parámetros medidos con los establecidos por el RBCH y se determinaron cuales de estos parámetros excedían los valores estipulados en dicho reglamento.

Por otra parte, para la clasificación de acuerdo con la calidad del agua, se hizo uso del índice de Prati. En base a los resultados obtenidos a través de este índice, se clasificó cada tramo comprendido entre los puntos de muestreo conforme con lo establecido en la tabla 3. Así mismo y de manera complementaria, se realizó la clasificación de las aguas de río Rocha de acuerdo con las cuatro clases de agua, por aptitud de uso, que el RBCH establece.

### 4.1 Resultados del análisis comparativo

Inicialmente se planteó realizar los análisis del estudio durante seis meses, es decir, de mayo a octubre, este objetivo no pudo ser completado debido a imprevistos, teniendo una duración de solamente cuatro meses, de junio a septiembre del año 2003. Sin embargo, el caudal del río Rocha fue medido durante los seis meses planeados para el estudio. En base a estos resultados y a la similitud encontrada en los caudales de los 6 meses, se puede afirmar que los valores obtenidos de los análisis durante los cuatro meses de estudio, son representativos de la época de estiaje.



Si bien en el análisis comparativo se compararon los parámetros medidos con los valores límites estipulados en el RBCH, es importante mencionar que existieron parámetros que no pudieron ser analizados comparativamente, ya que no tienen límites establecidos y solamente son usados como valores que muestran la fluctuación de dicho parámetro en el cuerpo de agua estudiado, estos parámetros son la temperatura, el caudal y la conductividad eléctrica.

### **Junio**

Entre los parámetros que exceden los límites establecidos por el RBCH en el mes de junio (Tabla 5) tenemos:

Sulfuros, que excedieron el límite de  $1 \text{ mg l}^{-1}$  en los puntos de muestreo ubicados antes y después de la planta de tratamiento de Alba Rancho. Una de sus posibles causas es la descomposición de la materia orgánica presente en el río.

Dureza, con valores de  $427.2 \text{ mg l}^{-1}$  y  $498.4 \text{ mg l}^{-1}$  antes y después de Alba Rancho respectivamente, exceden los  $400 \text{ mg l}^{-1}$  establecidos como límite para este parámetro.

DBO y DQO, exceden los límites establecidos por el RCH antes y después de la planta de Alba Rancho, debido al incremento de materia orgánica en el río a causa de la convergencia del río Rocha con el río Tamborada, el cual aporta con aguas residuales domésticas de la zona Sud de la ciudad de Cochabamba.

OD, que presenta un valor no detectable en el puente Killmann, antes y después de Alba Rancho, posiblemente a causa del incremento de la materia orgánica en el río, aumentando la actividad microbial para su descomposición y por ende el consumo de oxígeno.

Sólidos suspendidos, con valores de  $65 \text{ mg l}^{-1}$  en el puente Siles;  $85 \text{ mg l}^{-1}$  en el puente Killmann,  $913 \text{ mg l}^{-1}$  antes de Alba Rancho y  $391.1 \text{ mg l}^{-1}$  en la salida de Alba Rancho exceden el límite máximo de  $60 \text{ mg l}^{-1}$ . En el caso de los puentes mencionados, la elevada cantidad de sólidos suspendidos puede deberse a la remoción de lodos que se produce por el uso de bombas de agua que son utilizadas en lavados clandestinos de movilidades. En cambio los valores en la entrada y salida de Alba Rancho pueden ser consecuencia de la unión de los ríos Rocha y Tamborada, en la sección conocida como la “serpiente negra”.

La conductividad eléctrica del río en este punto muestra valores que van desde los  $480 \mu\text{ho cm}^{-1}$  hasta  $856 \mu\text{ho cm}^{-1}$ , conductividad propia de un cuerpo de agua dulce dentro el rango considerado sin contaminación.

**Tabla 5.** Resultados obtenidos en el mes de Junio

Parámetro	Unidad	Límite	Siles	Recoleta	Cobija	Killmann	Antes	Después
							Alba Rancho	Alba Rancho
Sulfuros	mg l <sup>-1</sup>	1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10,10	2,50
Sulfatos	mg l <sup>-1</sup>	300	67,00	58,90	49,40	64,10	72,20	92,00
Nitritos	mg l <sup>-1</sup>	<1	0,16	0,40	0,40	0,39	0,02	0,03
Nitratos	mg l <sup>-1</sup>	20	0,16	0,20	0,14	0,14	0,30	0,30
Dureza total	mg l <sup>-1</sup>	400	157,40	177,10	157,40	169,20	427,20	498,40
OD	mg l <sup>-1</sup>		5,78	9,68	8,51	N.D.	N.D.	N.D.
DBO <sub>5</sub>	mg l <sup>-1</sup>	80	37,70	28,70	27,60	27,60	468,30	143,10
DQO	mg l <sup>-1</sup>	250	72,20	46,70	57,30	63,70	982,20	391,10
SS	mg l <sup>-1</sup>	60	65,00	48,00	39,00	85,00	913,00	117,80
CF	NMP 100 ml <sup>-1</sup>	1000	*	*	*	*	*	*
pH	-	6,5 a 8,5	7,71	8,46	8,28	8,20	7,40	7,30
T°	°C	±5	18,00	23,70	23,60	22,70	*	*.
Conductividad	μho cm <sup>-1</sup>		768,00	642,00	480,00	674,00	712,00	856,00
Caudal	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>		0,041	0,03	0,091	0,123	*	*
Carga orgánica	kg d <sup>-1</sup>		255,76	121,05	450,52	676,95	*	*

\* Sin datos

N.D. No Detectable

### Julio

Durante este mes se estableció que existen muchos parámetros que exceden los límites máximos permisibles del RBCH. En el caso de los sulfuros, todos los puntos de muestreo presentan valores por encima del límite, encontrándose el mayor valor antes de la planta de Alba Rancho con 8.2 mg l<sup>-1</sup>.

La dureza presenta valores elevados en todo el trayecto pero no exceden el límite de 400 mg l<sup>-1</sup> a excepción del punto de muestreo ubicado antes de la planta de Alba Rancho en la llamada “serpiente negra”.

Se detecta una deficiencia y ausencia total de OD en el puente Siles, antes y después de Alba Rancho debido al aporte de efluentes domésticos. En el caso del puente Siles son descargas provenientes de las urbanizaciones asentadas a lo largo de la carretera a Sacaba y en los dos últimos puntos de muestreo es atribuible a las descargas domésticas

de la zona y al aporte de carga orgánica del río Tamborada. Vale resaltar que en el puente Killmann se registra un valor de 7.2 mg l<sup>-1</sup> en contraposición al mes anterior donde se obtuvo un valor de 0 mg l<sup>-1</sup>, la razón para esta variación es que durante este mes de julio el desfogue principal de dicha zona no tuvo descargas al río por razones desconocidas factor que tuvo incidencia en la calidad de dichas aguas.

La DBO y DQO en este mes presentan valores dentro lo establecido a excepción de los obtenidos antes de la planta de Alba Rancho que como se mencionó anteriormente recibe las descargas del río Tamborada que tienen un elevado contenido de materia orgánica.

**Tabla 6.** Resultados obtenidos en el mes de Julio

Parámetro	Unidad	Límite	Siles	Recoleta	Cobija	Killmann	Antes	Después
							Alba Rancho	Alba Rancho
Sulfuros	mg l <sup>-1</sup>	1	1,20	1,70	2,30	1,90	8,50	1,20
Sulfatos	mg l <sup>-1</sup>	300	67,00	64,10	49,40	67,70	67,00	85,40
Nitritos	mg l <sup>-1</sup>	<1	0,22	0,41	0,36	0,29	0,01	0,12
Nitratos	mg l <sup>-1</sup>	20	0,18	0,11	0,11	0,48	0,20	0,10
Dureza total	mg l <sup>-1</sup>	400	169,20	184,90	157,40	184,90	480,80	313,70
OD	mg l <sup>-1</sup>		3,90	9,00	8,80	7,20	N.D.	0,90
DBO <sub>5</sub>	mg l <sup>-1</sup>	80	32,20	20,20	35,00	33,10	542,80	49,10
DQO	mg l <sup>-1</sup>	250	157,20	50,90	29,70	67,90	1003,50	110,50
SS	mg l <sup>-1</sup>	60	68,50	36,40	35,70	36,40	991,00	57,60
CF	NMP 100 ml <sup>-1</sup>	1000	2,1 E+6	2,3 E+5	1,5 E+5	1,4 E+4	9,1 E+3	7,5 E+5
pH	-	6,5 a 8,5	7,96	8,25	7,50	6,65	7,50	7,50
T°	°C	±5	17,40	17,10	18,20	17,50	*	*
Conductividad	μho cm <sup>-1</sup>		965,00	835,00	607,00	770,00	1380,00	1413,00
Caudal	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>		0,037	0,028	0,085	0,096	*	*
Carga orgánica	kg d <sup>-1</sup>		488,15	123,14	218,12	563,19	*	*

\* Sin datos

N.D. No Detectable

Los sólidos suspendidos con valores de 68.5 mg l<sup>-1</sup> y 991 mg l<sup>-1</sup> en el puente Siles y antes de Alba Rancho respectivamente, son los dos puntos de muestreo que sobrepasan el límite de 60 mg l<sup>-1</sup> establecidos en el RCH, entre las posibles causas están el uso de bombas de agua en lavados clandestinos de autos y descargas de efluentes en las zonas mencionadas.

En cuanto a la conductividad, existe una disminución desde el punto de ingreso a la jurisdicción de SEMAPA, el cual tiene un valor de 965 µho cm<sup>-1</sup>, hasta el puente Killmann cuyo valor llega a los 770 µho cm<sup>-1</sup>, estos valores son característicos de aguas dulces, siendo considerado dentro lo normal valores entre los 10 y 1000 µho cm<sup>-1</sup>. Sin embargo, la conductividad vuelve a elevarse hasta 1413 µho cm<sup>-1</sup> en el punto ubicado después de la Planta de Tratamiento de Alba Rancho, expresando contaminación en el curso del río y limitando su aptitud de uso, en especial para el riego. Esta elevación puede atribuirse a la polución del cuerpo de agua o a la influencia de los sedimentos presentes [3].

### Agosto

Los valores de los sulfuros registrados en el puente Siles, puente Killmann, antes y después de Alba Rancho exceden el máximo permisible de 1 mg l<sup>-1</sup> posiblemente debido a la descomposición de materia orgánica en dichas zonas.

Con 512.4 mg l<sup>-1</sup> antes de Alba Rancho y 476.1 mg l<sup>-1</sup> en la salida de dicha planta de tratamiento la dureza se encuentra fuera de lo permisible siendo un posible factor los aportes de efluentes domésticos e industriales que recibe el río Rocha en el tramo conocido como la “serpiente negra”. Estos mismos puntos de muestreo incluido el puente Killmann presentan elevados valores de DBO y DQO sobrepasando los límites de 80 y 250 mg l<sup>-1</sup> respectivamente. Entre los causales para esta situación continúa siendo la descarga de efluentes domésticos e industriales en el puente Killmann, en especial las descargas provenientes de curtiembres. En los dos últimos puntos los elevados valores son un reflejo de la elevada cantidad de materia orgánica aportada por el río Tamborada.

**Tabla 7.** Resultados obtenidos en el mes de Agosto

Parámetro	Unidad	Límite	Siles	Recoleta	Cobija	Killmann	Antes	Después
							Alba Rancho	Alba Rancho
Sulfuros	mg l <sup>-1</sup>	1	3,00	N.D.	N.D.	8,40	10,60	3,00
Sulfatos	mg l <sup>-1</sup>	300	80,50	58,20	49,40	87,60	46,70	60,00
Nitritos	mg l <sup>-1</sup>	<1	0,16	0,27	0,38	0	0,02	0,02
Nitratos	mg l <sup>-1</sup>	20	0,16	0,17	0,33	0,12	0,22	0,28
Dureza total	mg l <sup>-1</sup>	400	234,20	220,40	143,20	196,80	512,40	476,10
OD	mg l <sup>-1</sup>		6,30	13,10	8,70	N.D.	N.D.	N.D.

DBO <sub>5</sub>	mg l <sup>-1</sup>	80	32,00	40,00	18,00	180,00	432,80	87,40
DQO	mg l <sup>-1</sup>	250	46,70	131,70	57,30	503,80	987,60	344,40
SS	mg l <sup>-1</sup>	60	246,00	169,00	251,00	120,50	996,00	142,60
CF	NMP 100 ml <sup>-1</sup>	1000	2,9E+6	9,3 E+4	2,4 E+5	4,3 E+7	1,5 E+7	2,1 E+7
pH	-	6,5 a 8,5	7,76	8,16	7,89	6,35	7,50	7,50
T°	°C	±5	20,20	22,00	23,20	21,60	*	*
Conductividad	μho cm <sup>-1</sup>		784,00	978,00	722,00	1 502,00	2 310,00	2 550,00
Caudal	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>		0,011	0,009	0,063	0,078	*	*
Carga orgánica	kg d <sup>-1</sup>		44,38	102,41	311,90	3395,21	*	*

\* Sin datos

N.D. No Detectable

Los sólidos suspendidos, al igual que en meses anteriores, exceden el límite de 60 mg l<sup>-1</sup> en la totalidad de los puntos de muestreo pudiendo provocar la formación de depósitos de fango y por ende provocar condiciones anaerobias.

En cuanto a la conductividad, los primeros tres puntos de muestreo; puente Siles, Recoleta y Cobija; presentan valores similares y que corresponden a cuerpos de agua dulce no contaminados, es decir, entre 10 y 1000 μho cm<sup>-1</sup>. Sin embargo, los últimos tres puntos de muestreo; puente Killmann, entrada y salida de Alba Rancho, presentaron valores elevadísimos de 1502 μho cm<sup>-1</sup>, 2310 μho cm<sup>-1</sup> y 2550 μho cm<sup>-1</sup> respectivamente, indicando una clara contaminación en los puntos y limitando su futuro uso, ya sea agrícola, industrial o de consumo.

### Septiembre

Durante este mes, en cuanto a los sulfuros, presentan valores que exceden el máximo permisible de 1 mg l<sup>-1</sup> a excepción de los puentes de la Recoleta y Cobija que presentan una ausencia de sulfuros. Las concentraciones que superan el límite pueden provocar olor a huevos podridos inhabilitando dichas aguas para un posible consumo.

La dureza en los puntos de muestreo ubicados antes y después de la planta de Alba Rancho presentan concentraciones superiores a lo establecido por el RCH como permisible a causa de las descargas de la zona conocida como la “serpiente negra”.

Se presenta una ausencia total de oxígeno disuelto en el puente Killmann, antes y después de la planta de tratamiento de Alba Rancho por la cantidad de materia orgánica descargada en estos puntos, provocando un aumento de la actividad microbiana para llevar a cabo su descomposición, por lo tanto, aumenta el consumo del oxígeno disuelto en el cuerpo de agua. Este aumento de materia orgánica también produce un incremento en las concentraciones de DBO y DQO de dichos puntos excediendo los límites máximos.

En los puntos ubicados antes y después de Alba Rancho, los dos puntos que presentan mayor cantidad de parámetros que exceden los límites permisibles, presentan concentraciones de sólidos suspendidos superiores al límite de 60 mg l<sup>-1</sup> pudiendo provocar condiciones anaerobias.

Respecto a la conductividad, todos los puntos de muestreo exceden los 1000 µho cm<sup>-1</sup>, que es considerado como el valor máximo en aguas no contaminadas [3], a excepción del puente Cobija que presenta 590 µho cm<sup>-1</sup>.

**Tabla 8.** Resultados obtenidos en el mes de Septiembre

Parámetro	Unidad	Límite	Siles	Recoleta	Cobija	Killmann	Antes	Después
							Alba Rancho	Alba Rancho
Sulfuros	mg l <sup>-1</sup>	1	5,40	N.D.	N.D.	7,80	10,90	3,90
Sulfatos	mg l <sup>-1</sup>	300	75,80	62,60	56,70	96,40	53,40	94,60
Nitritos	mg l <sup>-1</sup>	<1	0,04	0,41	0,41	N.D.	0,006	0,008
Nitratos	mg l <sup>-1</sup>	20	0,16	0,18	0,14	0,20	0,16	0,18
Dureza total	mg l <sup>-1</sup>	400	166,30	171,20	147,60	190,90	488,70	515,00
OD	mg l <sup>-1</sup>		7,10	9,40	8,30	N.D.	N.D.	N.D.
DBO <sub>5</sub>	mg l <sup>-1</sup>	80	35,00	26,00	16,00	106,70	497,50	122,70
DQO	mg l <sup>-1</sup>	250	142,40	131,70	46,70	259,30	1010,60	403,90
SS	mg l <sup>-1</sup>	60	43,00	49,70	30,30	58,20	932,40	74,00
CF	NMP 100 ml <sup>-1</sup>	1000	2,3 E+6	2,3 E+5	2,4 E+4	2,3 E+7	1,5 E+7	2,1 E+7
pH	-	6,5 a 8,5	7,85	8,33	8,11	6,52	7,50	7,50
T°	°C	±5	28,70	30,40	27,90	26,60	*	*
Conductividad	µho cm <sup>-1</sup>		1006,00	1043,00	590,00	1505,00	1740,00	1380,00
Caudal	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>		0,007	0,006	0,024	0,032	*	*
Carga orgánica	kg d <sup>-1</sup>		86,12	68,27	96,84	716,91	*	*

\* Sin datos

N.D. No Detectable

### Tendencias y generalidades de los resultados

La tendencia observada a lo largo del curso del río Rocha es que la concentración de los parámetros en el punto de ingreso a la provincia Cercado (Puente Siles) va disminuyendo hasta llegar al puente Cobija, debido a una posible autodepuración del medio y al incremento de caudal que se registran en estos puntos (Tablas 8-13), que provoca una dilución de las concentraciones existentes. A partir de este punto, las concentraciones se incrementan a pesar del aumento del caudal, debido a que los efluentes vertidos al curso del río son aguas residuales domésticas e industriales. Cabe resaltar que en los últimos dos puntos de muestreo (antes y después de la Planta de Alba Rancho) se presentan las concentraciones más altas de los parámetros estudiados a causa de la unión del río Rocha con el río Tamborada.

#### 4.2 Carga orgánica

La carga orgánica aportada al curso del río Rocha en el tramo estudiado está reflejada en la tabla 9. Junio se constituye en el mes con mayor aporte de carga orgánica durante el estudio posiblemente por tener el mayor caudal registrado en estos cuatro meses. Sin embargo, el mayor aporte de carga orgánica registrada se presenta en el mes de agosto en el puente Killmann, resultado de la elevada concentración de DQO en dicho punto a causa de los efluentes domésticos y sobre todo industriales de la zona.

**Tabla 9.** Carga orgánica aportada a lo largo del estudio en los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
	---kg d <sup>-1</sup> ---			
Puente Siles	255,76	488,15	44,38	86,12
Puente Recoleta	121,05	123,14	102,41	68,27
Puente Cobija	450,52	218,12	311,90	96,84
Puente Killmann	676,95	563,69	3395,21	716,91

#### 4.3 Fracción biodegradable

Al haberse determinado que a lo largo del río Rocha la carga orgánica es elevada, resulta importante establecer la relación entre el DBO y DQO medidos durante el estudio para así determinar la fracción de materia orgánica presente que puede ser biodegradable en el cuerpo de agua.

En la Tabla 10, se presentan los valores de fracción biodegradable obtenidos en cada punto de muestreo en todos los meses de estudio, estableciéndose de manera general, que en todos los puntos más del 50% de la materia orgánica presente puede ser asimilada por el río. Sin embargo, no se observa una tendencia general en cuanto a este índice a lo largo del curso del río ni en el tiempo o el espacio.

**Tabla 10.** Fracción biodegradable a lo largo del estudio en los puntos de muestreo

Punto de muestreo	F <sub>b</sub> Junio	F <sub>b</sub> Julio	F <sub>b</sub> Agosto	F <sub>b</sub> Septiembre	F <sub>b</sub> Promedio
Puente Siles	0.8	0.31	1	0.38	0.62
Puente Recoleta	0.94	0.62	0.46	0.31	0.58
Puente Cobija	0.74	1	0.48	0.52	0.69
Puente Killmann	0.66	0.75	0.55	0.63	0.65
Antes de Alba Rancho	0.74	0.83	0.68	0.75	0.75
Después de Alba Rancho	0.57	0.68	0.38	0.46	0.52

#### 4.4 Clasificación del río Rocha según el Índice de Prati

Los resultados obtenidos para cada uno de los puntos de muestreo están expresados en la tabla 11.

- En el puente Siles se obtuvo un valor de 8.68 que recae en la clase 5 que corresponde a una calidad de agua “muy contaminada” y que es representada con el rojo.
- Como muestra la tabla 11, la calidad de las aguas del río Rocha en el puente Recoleta con un valor de 8.20 para el índice de Prati total, corresponde a la clase 5, que significa que son aguas “muy contaminadas” representadas con el color rojo.
- El índice de Prati total en el puente Cobija, con un valor de 5.86, expresa que las aguas en este punto, reciben la clasificación de “contaminadas” representadas con el color anaranjado.
- En el puente Killmann, se obtuvo un índice de Prati total correspondiente a la clase 6 con un valor de 22.45. La clase 6 refleja aguas “altamente contaminadas” representadas con el color negro. El índice de Prati mensual presenta que la calidad de las aguas en los meses de agosto y septiembre está considerada como “altamente contaminada” al igual que el índice total. Sin embargo, en los meses de junio y julio la clasificación es de “contaminada” y “muy contaminada” respectivamente, debido a las bajas concentraciones de DBO y DQO que se encontraron. El mes de julio presenta una mejor calidad de aguas que los otros meses a causa de un incremento del oxígeno disuelto en el lugar. Esto se debe a que durante este mes, se registró que el desfogue principal de la zona se encontraba sin flujo y no existía aporte de efluentes, lo que incidió en el aumento de oxígeno disuelto en el lugar.





<b>Después Alba Rancho</b>	Junio	0.3	143.1	391.1	0	0.19	95.40	39.11	12.26	36.74
	Julio	0.1	49.1	110.5	13.65	0.10	32.73	11.05	9.18	13.27
	Agosto	0.28	87.4	344.4	0	0.19	58.27	34.44	12.26	26.29
	Septiembre	0.18	122.7	403.9	0	0.14	81.80	40.39	12.26	33.65
	<b>Promedio</b>									

- En base a la Tabla 11, en el punto de muestreo ubicado antes de la entrada de la Planta de Alba Rancho, se obtuvo un valor de 108.90 para el índice de Prati, correspondiente a la última clase de clasificación en el índice de Prati, es decir, a la clase 6 que expresa una calidad de agua “altamente contaminada”, representada con el color negro.
- En el último punto de muestreo el índice de Prati con un valor de 27.49, expresado en la tabla 11, recae en la clase 6 correspondiente a aguas “muy contaminadas”, expresadas con el color negro. Respecto al índice de Prati mensual, todos los meses tienen valores que corresponden a aguas “altamente contaminadas” a excepción del mes de julio que recae en la clase de aguas “muy contaminadas” debido a que se registró una baja en las concentraciones de DBO y DQO y una presencia moderada de oxígeno disuelto que incidió en una leve mejoría de las mismas. Un posible factor para que mejore la calidad de las aguas es el tratamiento recibido en la Planta de Alba Rancho reduciendo la cantidad de materia orgánica presente. Vale recalcar que el DBO, DQO y OD están directamente relacionados a la cantidad de materia orgánica presente en el agua

Una vez conocidos los valores del índice de Prati en cada punto de muestreo, se puede concluir que todo el trayecto del río Rocha, correspondiente a la provincia Cercado de Cochabamba, se halla contaminado, pues la clasificación que recibe va desde contaminado hasta altamente contaminado.

Los resultados obtenidos del índice de Prati total para cada punto de muestreo son expresados en la figura 3. De la misma manera, en la figura 4 se puede apreciar la calidad de las aguas del río Rocha en los diferentes puntos de muestreo a través del tiempo.

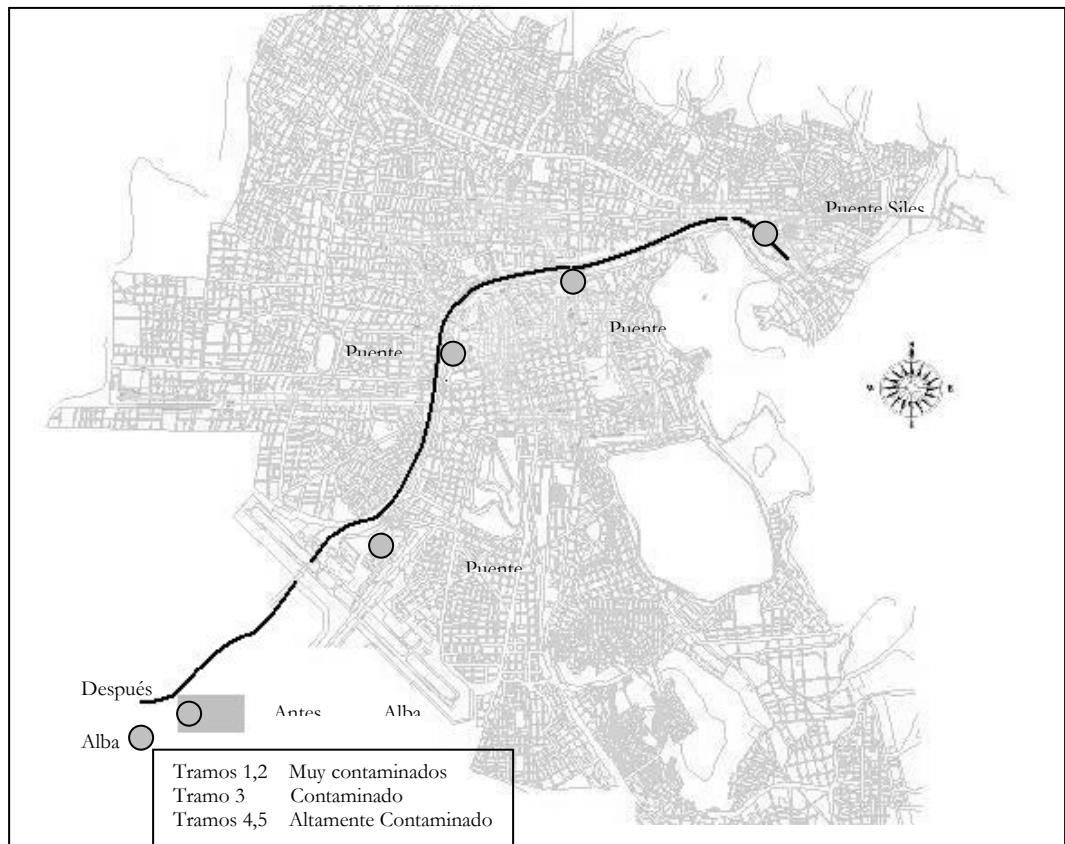


Figura 3: Clasificación de los tramos del río Rocha según el índice de Prati [7]

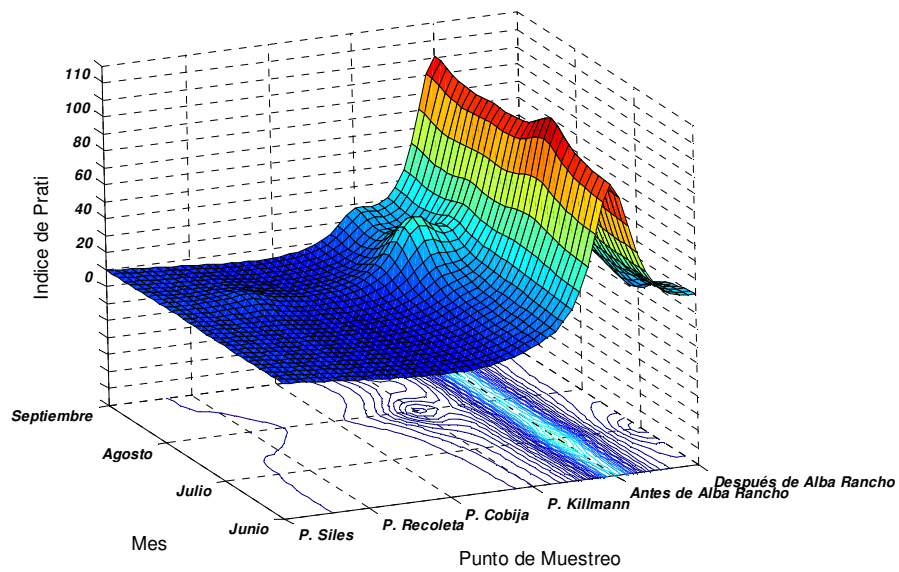


Figura 4: Clasificación de los tramos del río Rocha en el tiempo según el índice de Prati

#### 4.5 Clasificación del río Rocha según el Reglamento de Contaminación Hídrica

De acuerdo a esta clasificación, se obtiene una marcada fluctuación en la clasificación de los parámetros analizados entre las clases A y D. A continuación, en la tabla 12 se presenta la clasificación que reciben las aguas del río Rocha durante el período de tiempo que abarca el estudio. Estos resultados están basados en la tendencia de cada parámetro en los diferentes puntos de muestreo.

**Tabla 12.** Clasificación mensual de las aguas del río Rocha de acuerdo al RCH

Mes	Clasificación	Característica
Junio	A	Buena calidad
Julio	D	Mínima Calidad
Agosto	D	Mínima Calidad
Septiembre	D	Mínima Calidad

En general, se observa que la calidad de las aguas del río Rocha es mínima y necesita de muchos tratamientos tanto físicos, químicos y biológicos para poder ser utilizadas.

## 5 Conclusiones

La evaluación de la calidad de las aguas del río Rocha basada en parámetros físico-químicos, durante la época de estiaje permitió cuantificar su contaminación por efecto de los efluentes provenientes de la red de alcantarillado de SEMAPA y otras fuentes dispersas, como lavado clandestino de autos y camiones en este cuerpo de agua.

De los resultados obtenidos en los análisis realizados en el laboratorio de Alba Rancho se determinó que los puntos ubicados antes y después de la Planta de Tratamiento de Aguas e inclusive el Puente Killmann son las zonas que presentan mayor cantidad de parámetros que exceden los límites permisibles establecidos por el RBCH, esta zona es la conocida “serpiente negra” caracterizada por la fuerte descarga de efluentes.

Estos valores cuantitativos fueron transformados en cualitativos, para una mejor comprensión, mediante el índice de Prati, que utiliza parámetros físico-químicos y por el índice de clasificación de aguas propuesto por el Reglamento de Contaminación Hídrica de la Ley 1333 de Medio Ambiente, con el fin de expresar los resultados con valores establecidos para nuestro país.

La aplicación de ambos índices no exigía condiciones específicas solamente resultados fidedignos de laboratorio y su correspondiente aplicación para cada clasificación.

El índice de Prati, permitió realizar una clasificación del río Rocha en tramos, englobando datos de todos los meses de análisis, obteniendo un valor único para cada tramo en época de estiaje. En cambio, el método del RCH, permitió una clasificación por parámetros, presentando a aquellos que son considerados como problemáticos para una buena calidad de las aguas del río Rocha.

Los resultados obtenidos de este estudio, muestran que el río Rocha se halla contaminado de manera general en todo su curso, presentando solamente variaciones en su grado de contaminación desde una clasificación de contaminado hasta altamente contaminado.

El tramo que va desde el puente Killmann hasta la salida de Alba Rancho es el de mayor contaminación correspondiendo a la clasificación en el índice de Prati de altamente contaminado con valores que oscilan entre 22.45 y 108.9. Así mismo, este tramo se constituye como el de mayor cantidad de efluentes domésticos pero sobre todo efluentes industriales, además de recibir las aguas del río Tamborada, que se caracteriza por tener una elevada cantidad de materia orgánica.

Se destaca que dicha contaminación es principalmente orgánica comprobada por la cantidad de aportes de carga orgánica registradas, las cuales varían entre 44.38 kg d<sup>-1</sup> y 3395.21 kg d<sup>-1</sup>, situación reflejada en los elevados valores de DBO y DQO obtenidos que superan los límites permisibles de 80 mg l<sup>-1</sup> y 250 mg l<sup>-1</sup> respectivamente, así como las bajas concentraciones de OD, llegando a un estado anóxico, en el tramo considerado de alta contaminación.

La carga orgánica responsable de esta contaminación, es aportada en su mayoría por desfogues clandestinos y la red de alcantarillado de SEMAPA, institución responsable de controlar y preservar la calidad del río Rocha, la cual a partir de este estudio determinará las medidas apropiadas para cumplir a cabalidad con ese rol.

## Referencias

- [1] Barra y Acosta. 1993. *Primeros resultados sobre contaminación y eutrofización del río Rocha*. Serie Científica 2. UMSS. Cochabamba-Bolivia.
- [2] Bartram y Ballance. 1996. *Water Quality Monitoring*. 1ª Edición. UNEP/WHO. Gran Bretaña.
- [3] Chapman, D. 1992. *Water Quality assessments*. 1ª Edición. UNESCO. WHO. UNEP. Gran Bretaña.
- [4] Fernández, F. 2002. El agua conflicto en el Valle Central. <http://www.cgiac.org> (verificado Octubre 2002)
- [5] Gioda, A. 1997. *Breve historia del agua*. ORSTROM-Francia/Archivo y Biblioteca Nacional de Bolivia/SENAMHI-Bolivia/CONAPHI-Bolivia/PHI-UNESCO. Montevideo.

- [6] HAMC (Honorable Alcaldía Municipal de Cochabamba). 1999. *Catastro Municipal*. Cochabamba-Bolivia.
- [7] HAMC (Honorable Alcaldía Municipal de Cochabamba). 2001. *Catastro Municipal*. Cochabamba-Bolivia.
- [8] MDSMA (MINISTERIO DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE). 1996. *Reglamentos a la ley de Medio Ambiente 1333*. Bolivia.
- [9] Moulinier, P. 1998. *Plan piloto de gestión integral del río Rocha*. Informe programa. Municipalidad de Cochabamba. Cochabamba-Bolivia.
- [10] PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 1991. Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante. <http://www.pnuma.org>, verificado (verificado Enero 2005)
- [11] Rivero, M. 1999. *Evaluación de sistemas de bioindicación y control químico en ríos de zonas andinas de Bolivia*. Tesis de Maestría. Universidad Mayor San Simón. Cochabamba-Bolivia.
- [12] Romero, A; Van Damme, P.; Gotilla, E. 1998. *Contaminación orgánica en el río Rocha*. Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental N° 3. Cochabamba-Bolivia.
- [13] Schönborn, W. 1986. *Microbial degradations in Biotechnology*. Vol 8. Rehm, H.-J.; Reed, G.; Eds. Chemie Verlag. Weinheim. Alemania.
- [14] Seanez, M. 1999. *Ingeniería del Medio Ambiente*. Mundi-Prensa. 2ª Edición. Barcelona-España.