

**BALANCE DE MASA PARA LA DETERMINACION DE CONTAMINACIÓN  
POR CIANURO Y MERCURIO EN LA CUENCA DEL RIO SURATÁ.**

**INGRID JOHANA SUAREZ PRADA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISISCOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA**

**2010**

**BALANCE DE MASA PARA LA DETERMINACION DE CONTAMINACIÓN  
POR CIANURO Y MERCURIO EN LA CUENCA DEL RIO SURATÁ.**

**INGRID JOHANA SUAREZ PRADA**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Químico**

**Director  
MARIO ALVAREZ  
Ingeniero Químico  
MSC PHD**

**Codirector  
ERWIN WOLFF  
Geólogo  
Especialista en ingeniería Ambiental**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA**

**2010**

## DEDICATORIA

*A Dios y a la vida por poner en mi camino las oportunidades en el momento justo.*

*A mi papa Pedro por inculcarme fortaleza buenas bases de responsabilidad y dedicación, por su apoyo incondicional, su esfuerzo, confianza y comprensión en todo momento.*

*A mi mama Martha, y mis hermanos Carlos Andrés y Manuel Fernando por su apoyo y cariño.*

*A mi tía gloria y mi prima Mayerly por su cariño, sus consejos y voz de aliento.*

*A mis amigos que han recorrido conmigo este camino y de alguna u otra forma lo han llenado de lecciones de vida y buenos recuerdos.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Mis más sinceros agradecimientos a:*

*Ingeniero Erwin Wolff por su dedicación, interés, paciencia y orientación de este proyecto.*

*Ingeniera Yaneth Duarte por que con sus enseñanzas transformó mi visión de una carrera a una opción de vida profesional y amor por la Ingeniería Química .*

*A la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de Ingeniería Química por mi formación profesional.*

*A la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga CDMB por la oportunidad y confianza en este proyecto.*

## CONTENIDO

	PAG
INTRODUCCION	1
1. CONCEPTOS TEORICOS	9
1.2 ESTIMACION DE DATOS DE CAUDALES FALTANTES	9
1.2.1 METODO 1	10
1.2.2 METODO 2	11
1.2.3 METODO 3	11
1.3 BALANCE DE MASAS	13
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	15
2.1 REVISION BIBLIOGRAFICA	16
2.2 RECONOCIMIENTO DEL AREA DE TRABAJO	16
2.3 RECOPIACION DE DATOS	17
2.4 GENERACION DEL BALANCE DE MASAS	18
2.4.1 PUNTOS DE MONITOREO LB01 Y RV05	18
2.4.1.1 Balance De Masa Para Cianuro	18
2.4.1.2 Balance De Masa Para Mercurio	19
2.4.1.3 Norma Para Cianuro	19
2.4.1.4 Norma Para Mercurio	19
2.4.2 PUNTO DE MONITOREO PLANTA BOSCONIA	19
3. RESULTADOS Y ANALISIS	20
3.1. GRAFICA PARA CIANURO ANUAL	20
3.1.1. PUNTO DE MONITOREO LB01	20
3.1.2. PUNTO DE MONITOREO RV05	20
3.1.3. PUNTO DE MONITOREO PLANTA BOSCONIA	21
3. 2. GRAFICA PARA MERCURIO ANUAL	22
3.2.1. PUNTO DE MONITOREO LB01	22
3.2.2. PUNTO DE MONITOREO RV05	22
3.2.3. PUNTO DE MONITOREO PLANTA BOSCONIA	23
3.3. GRAFICA PARA CIANURO MENSUAL	23

3.3.1. PUNTO DE MONITOREO LB01	23
3.3.2. PUNTO DE MONITOREO RV05	24
3.4. DISCUSION DE RESULTADOS	24
4. CONCLUSIONES	27
5. RECOMENDACIONES	28
BIBLIOGRAFIA	29

## LISTA DE ANEXOS

	PAG
ANEXO 1. DECRETO 1594 DE 1984. Usos del agua y residuos Líquidos.	31
ANEXO 2 FOTOS DE EMPRESAS VISITADAS	37
ANEXO 3 Estándares de la calidad de agua potable para países americanos.	49

## RESUMEN

**TITULO: BALANCE DE MASA PARA LA DETERMINACION DE CONTAMINACION POR CIANURO Y MERCURIO EN LA CUENCA DEL RIO SURATÁ. \***

**Autor:** Ingrid Johana Suárez Prada \*\*

**Palabras claves:** Caudal, Concentración, Cianuro, Mercurio, Balance de Masas, minería, Beneficio de minerales.

**Descripción:** La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), ha venido implementando un proyecto para reducir la cantidad y la frecuencia de vertimientos a la cuenca del río Suratá producto de la minería en los municipios de Vetas y California y de esta forma disminuir las altas concentraciones y el consumo de cianuro y mercurio en el proceso de recuperación del oro. Esto se logra con la implementación de mecanismos que modifiquen el proceso de obtención del mineral, el monitoreo de la calidad del agua del río Suratá y el control de descargas de arenas cianuradas o colas de cianuración mediante una programación mensual de descargas diarias por las empresas mineras.

Las explotaciones mineras de las regiones de Vetas y California vierten sus residuos producto de la minería para la obtención de oro, al río Vetas, afluente del río Suratá que abastece una parte del Sistema de Acueducto del municipio de Bucaramanga.

Para determinar el impacto que ha tenido este proyecto sobre la calidad del agua, se realizará un balance de masas para determinar la cantidad de cianuro y mercurio vertidos al río en los últimos años y el impacto que ha tenido el proyecto en la cantidad de vertimientos y la contaminación del río Suratá.

---

\*Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Físico Química. Escuela de Ingeniería Química. Director: Mario Alvarez

## SUMARY

**TITTLE:** MASS BALANCE FOR THE DETERMINATION OF CYANIDE AND MERCURY POLLUTION IN THE BASIN OF THE SURATA RIVER. \*

**AUTHOR:** Ingrid Johana Suárez Prada.\*\*

**KEY WORDS:** Flow, concentration, cyanide, mercury, mass balance, mining industry, benefit of minerals.

**DESCRIPTION:** The “Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga” (CDMB) has been implementing a project to reduce the amount and frequency of discharges to the Suratá River as a result of mining in the municipalities of Vetas and California and there by to reduce the high concentrations and the consumption of cyanide and mercury in the gold recovery process. This is accomplished through the implementation of mechanisms that modify the process of obtaining the ore, the monitoring of water quality of the Suratá River and the control of the discharge of cyanidic sand or cyanidation tails through a monthly schedule of daily discharges by mining companies.

The mining regions of California and Vetas dump their waste product of mining for the production of gold in the Vetas River, a tributary of the Suratá River which supplies a portion of the aqueduct system in the municipality of Bucaramanga.

To determine the impact this project has had on water quality, there will be a mass balance to determine the amount of cyanide and mercury discharged into the river in recent years and the impact this project has had in the amount of dumping and the Suratá River pollution.

---

\*Grade work

\*\*Faculty of physical Chemistry . Chemistry engineering school. . Director: Mario Alvarez

## INTRODUCCION

En la pequeña minería aurífera, el uso de mercurio y cianuro para el procesamiento de minerales y concentrados auríferos es universalmente extendido. Esto se atribuye al manejo supuestamente fácil de estos insumos que no requiere de conocimientos técnicos especiales, al costo relativamente bajo con relación al mineral de valor y a la disponibilidad de estos compuestos incluso en las regiones más apartadas.

La zona minera más importante de Santander, en cuanto a producción de oro plata e infraestructura instalada, se encuentra localizada en los Municipios de Vetás y California, los cuales hacen parte de la cuenca superior del río Suratá. En esta región trabajan dos grupos diferentes: las empresas mineras y los “barrileros”. Los “barrileros”; son personas que trabajan principalmente la amalgamación del mineral en barriles, y desechan sus residuos al medio ambiente, igual que las empresas mineras. [Amaya, Cesar. Modelo de balance de masas para mercurio y cianuro en el río Suratá. 2004 P 324-359.]. Las empresas mineras por su parte realizan una combinación entre la cianuración y la amalgamación para obtener finalmente el oro. Estos desechos contaminan el aire o se vierten al río, sea cual sea la vía por la cual el mercurio llega al medio ambiente, es absorbido por las plantas y animales y por esa vía se integra en la cadena de alimentos. Animales que están al final de la cadena de alimentos, por ej. peces, muestran las concentraciones más altas. [Henning, Walther. Uso de mercurio en la pequeña minería y las implicaciones para el ambiente y la salud. 2004. P264-288.]

Con el fin de ejercer control ambiental en la zona minera y mejorar la calidad fisicoquímica del agua del río Suratá, principalmente por las concentraciones de cianuro y mercurio (generados en el proceso de beneficio del mineral para la extracción de oro y plata), la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, (CDMB) para disminuir la contaminación del

río, desde hace varios años ha venido implementando una serie de mecanismos para modificar el método de extracción en cada una de las empresas mineras.

La CDMB en 1989 inició el programa de control de descargas de arenas cianuradas, con el fin de controlar y reducir los eventos pico de concentraciones de cianuro y mercurio, en la parte baja del río Suratá de donde se abastece una de las plantas de tratamiento de agua potable del Acueducto de Bucaramanga; cuatro años más adelante se realizaron los primeros censos de empresas mineras y barrileros. Para 1994 se estableció en forma permanente la evaluación de la calidad del agua en corrientes superficiales como el río Suratá y el control de descargas de arenas cianuradas en Vetas y California de acuerdo con una programación semanal que respondía a la variación en el beneficio de mineral en las diferentes empresas. [Amaya, Cesar. Modelo de balance de masas para mercurio y cianuro en el río Suratá. 2004 P 324-359.].

En mayo de 1997 se inició el proyecto de cooperación técnica conocido con el título de REDUCCION DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL DEBIDA A LA PEQUEÑA MINERIA EN LA CUENCA DEL RIO SURATÁ, (abreviado como proyecto Suratá) en desarrollo del Convenio de cooperación técnica entre los gobiernos de Colombia y Alemania el cual fue firmado por la CDMB, la Gobernación de Santander y el Acueducto de Bucaramanga E.S.P, como contrapartes colombianas y con el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) por Alemania; Proyecto que pretende la reducción de los niveles de contaminantes como el mercurio y el cianuro, en el beneficio del oro y la plata extraído en los filones del Distrito Minero Vetas-California en el departamento de Santander. [Henning, Walther. Uso de mercurio en la pequeña minería y las implicaciones para el ambiente y la salud. 2004. P264-288.]

Este proyecto ha trabajado con algunas de las empresas mineras del sector implementando y diseñando diferentes mecanismos de extracción, instalando equipos, y optimizando el proceso de obtención del mineral, con el fin de disminuir la cantidad de cianuro y mercurio utilizados como insumos y de esta manera disminuir los vertimientos realizados por cada una de ellas.

Desde 1988 la CDMB instaló una red de monitoreo de aguas y sedimentos a lo largo del río Suratá; este programa tenía inicialmente seis puntos en la zona de influencia del distrito minero, reducidos actualmente a 2 puntos sobre la quebrada La Baja y el río Vetás; RV05 que es el punto sobre el río Vetás (Borrero) que recibe los vertimientos de las empresas mineras de Vetás y LB01 (Loma Redonda) que recibe los residuos de las empresas mineras de California. El acueducto de Bucaramanga por su parte controla en la Planta de Bosconia las concentraciones de cianuro y de mercurio en agua, y el caudal en la estación Majadas, ubicada unos kilómetros antes de la Planta que abastece parte del agua potable de la ciudad.

Es necesario determinar el impacto del proyecto Río Suratá en cada una de las empresas en donde se han implementado estas medidas, y como influyen las distintas variaciones del proceso según el caso. Esto se logra analizando la calidad de agua del río Suratá que es el receptor final de esta práctica. Por lo tanto con ayuda de la red de monitoreo y la información generada, se pueden ver las repercusiones en la concentración de contaminantes en el río en el transcurso del tiempo del proyecto, con ayuda de un balance de masa propuesto por la contraparte alemana.

A causa de varias interrupciones a lo largo del tiempo en el monitoreo de las aguas del río Suratá se tienen vacíos de información, esto ha creado la necesidad de obtener estos datos de otras fuentes, también con ayuda de un modelo matemático que permita tener una aproximación de la información durante estos lapsos de tiempo.

Conociendo los datos completos (por medición directa o indirecta), es posible realizar un balance de masa y evaluar la cantidad aproximada de cianuro y mercurio vertidos al río en los últimos años. A partir de esta información se podrá finalmente, debatir el impacto del proyecto en la zona y los cambios en la calidad del agua del río Suratá.

## **1. CONCEPTOS TEORICOS**

Para la utilización de los datos registrados en el banco de datos como entrada al modelo del balance de masas, se debió recurrir a estimaciones de éstos debido, en algunas ocasiones a la carencia de información. Los métodos empleados para tal fin se describen a continuación:

Para el balance de masa se requiere tener los datos de concentraciones y caudales diarios; debido a ciertas interrupciones y vacíos en la información se realizó un modelo para reconstruir la información faltante. Para estimar los datos faltantes de los caudales en LB-01 y RV-02, se ensayaron diferentes métodos. Se trató de estimar los datos de caudales faltantes a partir de datos de caudales medidos en otros lugares de muestreo y de datos de precipitaciones. Para estimar los datos de caudales con datos de otros lugares, se debían cumplir dos condiciones: Por una parte debía ser deducible una función, que describiera la correlación entre los caudales de ambas estaciones; y por otra debían existir para tal período, caudales en el lugar, y de éstos se debían deducir los caudales de los puntos de muestreo LB-01 y RV-02. [GAEBLER, H.E. Informe de comisión estadía en Bucaramanga del 30 de enero al 28 de febrero de 2004]. Se dedujeron funciones, que reflejan correlaciones entre los caudales en RV-01 y SA-07 y los caudales en LB-01 y RV-02, a través de tres diferentes métodos que se describen a continuación [AMAYA, Cesar. Modelo de balance de masas para mercurio y cianuro en el río Suratá. 2004 P 324-359.]:

### **1.3 ESTIMACION DE DATOS DE CAUDALES FALTANTES**

#### **1.3.1 METODO 1**

La base de esta metodología fue el punto RV-01, puesto que en éste existe un periodo representativo con datos históricos, resultantes de la compilación entre los datos medidos por la CDMB y la estación limnimétrica del IDEAM (Puente

Panega), correspondiente a los intervalos de tiempo del 13-Dic-83 al 29-Jun-89 y del 1-Ene-96 al 31-Dic-00.

Para el desarrollo de esta metodología se extrajeron del banco de datos del proyecto todos los valores de caudal registrados en los puntos: RV-01, RV-02 y LB-01 en las fechas para las cuales se tenían datos de caudal en los 3 puntos; lo anterior con el fin de incluir todos los valores cruzados dentro de la correlación.

El primer ensayo ejecutado es la correlación que relaciona los caudales de RV-01 y la suma de los caudales de sus afluentes, RV-02 y LB-01.

**Fórmula 1.** Correlación entre RV01 y la Suma de sus afluentes, RV02 Y LB01.

$$\begin{aligned}RV-02 + LB-01 &= (1,03*RV-01) - 0,39 \\ R &= 0,90\end{aligned}$$

Se observa que el coeficiente de correlación posee un valor alto, indicando que entre el punto de confluencia del río Vetas y sus afluentes existe una buena correlación de tipo lineal, o sea que los aportes de los afluentes son proporcionales linealmente al río; Se desarrolló la correlación de RV-01 con RV-02 y LB-01 independientemente con cada uno de éstos puntos y se hallaron las siguientes ecuaciones:

**Fórmula 2.** Correlación entre RV-01 y RV-02.

$$\begin{aligned}RV-02 &= (0,72*RV-01) - 0,41 \\ R &= 0,88\end{aligned}$$

**Fórmula 3.** Correlación entre RV-01 y LB-01.

$$\begin{aligned}LB-01 &= (0,31*RV-01) + 0,02 \\ R &= 0,80\end{aligned}$$

Las fórmulas 2 y 3 permiten calcular los caudales en RV-02 y LB-01 para los siguientes intervalos de tiempo donde se tienen datos medidos de RV-01: desde 1/01/96 hasta 26/02/96 y desde 14/05/99 hasta 31/12/00.

### 1.3.2 METODO 2

Se desarrolló este segundo método con la finalidad de buscar una alternativa para calcular vacíos de caudal en los puntos RV-02 y LB-01 que no se pueda con el método 1. La base de este método consiste en la relación entre las dos microcuencas, la microcuenca del Suratá alto y la microcuenca de la quebrada La Baja, puesto que el tamaño de las microcuencas es similar y pertenecen a la misma región, aunque su topografía, uso del suelo y condiciones climáticas podrían variar un poco. Estas microcuencas se correlacionaron debido a que en el Suratá alto se tiene una estación de monitoreo de la CDMB denominada SA-07 (Uña de Gato), con un gran número de mediciones de caudales a través del tiempo. La correlación entre SA07 y LB01 obedece a la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{LB-01} &= (0,23 * \text{SA-07}) + 0,18 \\ R &= 0,80 \end{aligned}$$

Fórmula 4. Correlación entre SA-07 y LB-01.

El coeficiente de correlación indicó que la ecuación podía ser aplicada, ya que tenía un valor aceptable; sin embargo fue necesario buscar otras alternativas para el cálculo de los caudales, y así tener varias opciones de métodos de cálculo para escoger la más acertada.

### 1.3.3 METODO 3

El método consistió en correlacionar la suma mensual de caudales de RV-01 con la suma mensual de las diferentes estaciones pluviométricas de la zona de la microcuenca de Vetás (Vivero Suratá, El Pozo Vetás, Matajira, Tona, Berlín). Este tipo de correlación entre la suma mensual se realizó debido a que no se

podían obtener caudales diarios cuando la precipitación fuera igual a cero, o también se podría presentar el fenómeno de tener una precipitación muy alta, con lo cual se tendría un caudal bajo, no acorde a la lluvia ocurrida. Por las anteriores razones, se determinó realizar una suma mensual para obtener más margen.

**Tabla 1:** Correlaciones entre RV-01 con las diferentes estaciones Pluviométricas.

ESTACION PLUVIOMETRICAS	CAUDALES RV-01
VIVERO SURATA	0,71
EL POZO VETAS	0,58
MATAJIRA	0,48
TONA	0,62
BERLÍN	0,60

La mejor correlación o tendencia de la curva fue con la estación pluviométrica de vivero Suratá, correspondiente a la siguiente ecuación:

**Fórmula 5.** Correlación entre RV-01 y Precipitación Vivero Suratá

$$RV-01 = (0,47 * \text{Precip. Vivero Suratá}) + 45,25$$

$$R = 0,71$$

Con esta ecuación se reemplaza la suma mensual de precipitación de vivero Suratá del siguiente vacío: 01/Ene/01 hasta hoy, y obtenemos la suma mensual de caudales en RV-01, después dividimos esta suma mensual en 30 y obtuvimos un caudal de RV-01 diario, hay que tener en cuenta que este caudal diario era igual para todos los días de cada mes. Una vez calculado todo los vacíos de los caudales RV01, se aplicaron la fórmula 2 y 3 para el cálculo de RV-02 y LB-01 respectivamente. [Amaya, Cesar. Modelo de balance de masas para mercurio y cianuro en el río Suratá. 2004 P 324-359.]

#### **1.4 BALANCE DE MASA**

Una de las leyes básicas de la física es la ley de la conservación de la masa. Esta ley, expresada en forma simple enuncia que la masa no puede crearse ni destruirse (excluyendo, por supuesto, las reacciones nucleares o atómicas). Por consiguiente, la masa (o el peso) total de todos los materiales que intervienen en el proceso debe ser constante y por lo tanto la masa de todos los materiales que se acumulan o permanecen en el proceso resulta de la diferencia entre los caudales de entrada y de salida

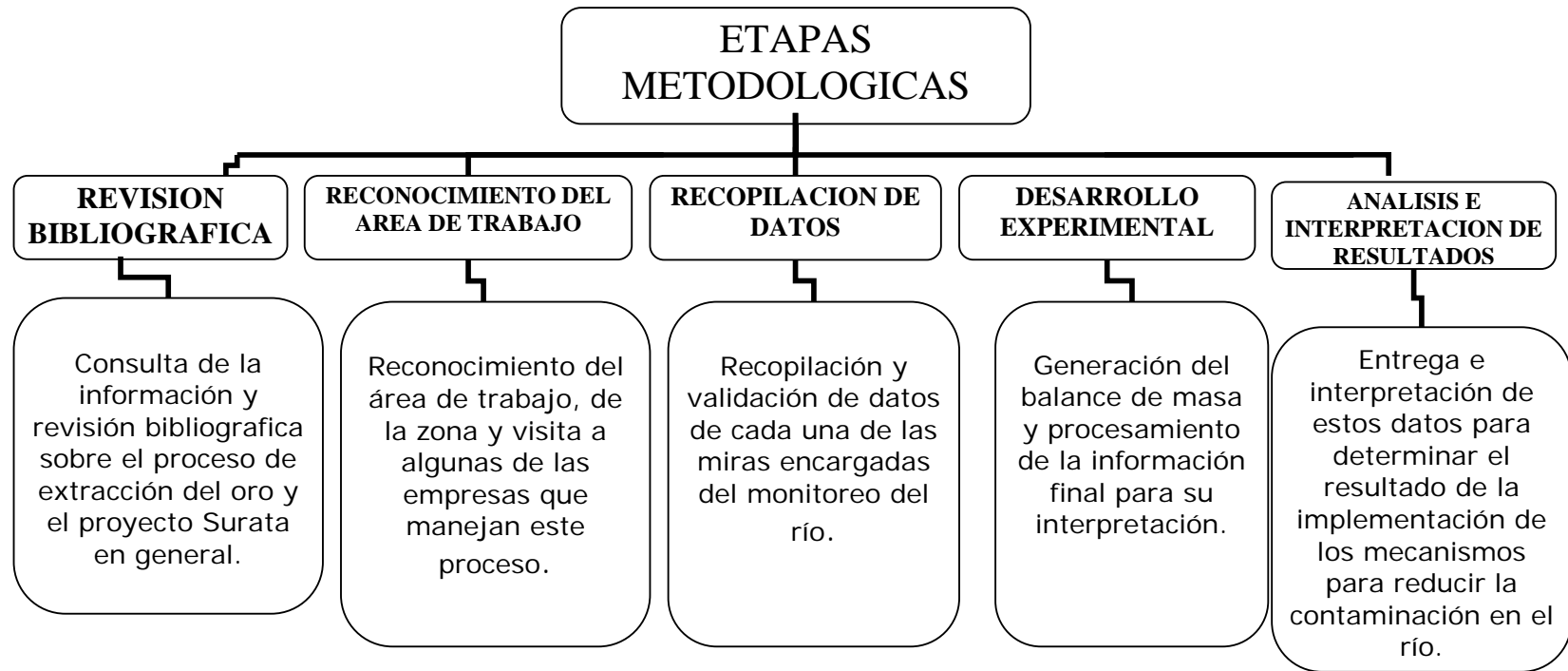
Entradas - Salidas = Acumulación

En la mayoría de los casos no se presenta acumulación de materiales en el proceso, por lo que las entradas son iguales a las salidas. Expresado en otras palabras "lo que entra debe salir". A este tipo de sistema se le llama proceso en estado estacionario.

Entradas = Salidas

Para determinar la masa se utiliza la conversión de la concentración ( $\mu\text{g/l}$ ) multiplicando por el caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), y con ayuda de un factor se obtiene la carga total de la masa en  $\text{mg/s}$ . Esta carga se aplica mediante la multiplicación por el período a dicho lapso de tiempo. Para obtener la carga anual se suman las cargas de todos los períodos del año. En el caso ideal se registra la concentración para cada día del año y estas se suman para obtener la carga anual. Como los datos existentes no son diarios, se opta por el siguiente método para una estimación de cargas anuales. Para una fecha de muestreo se calcula una carga del mineral, expresada en  $\text{mg/s}$ , producto del caudal y la concentración. Esa carga se multiplica por el período de tiempo hasta el próximo muestreo. Para obtener la carga anual se suman las cargas parciales calculadas de esa forma. [Amaya, Cesar. Modelo de balance de masas para mercurio y cianuro en el río Suratá. 2004 P 324-359.]

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

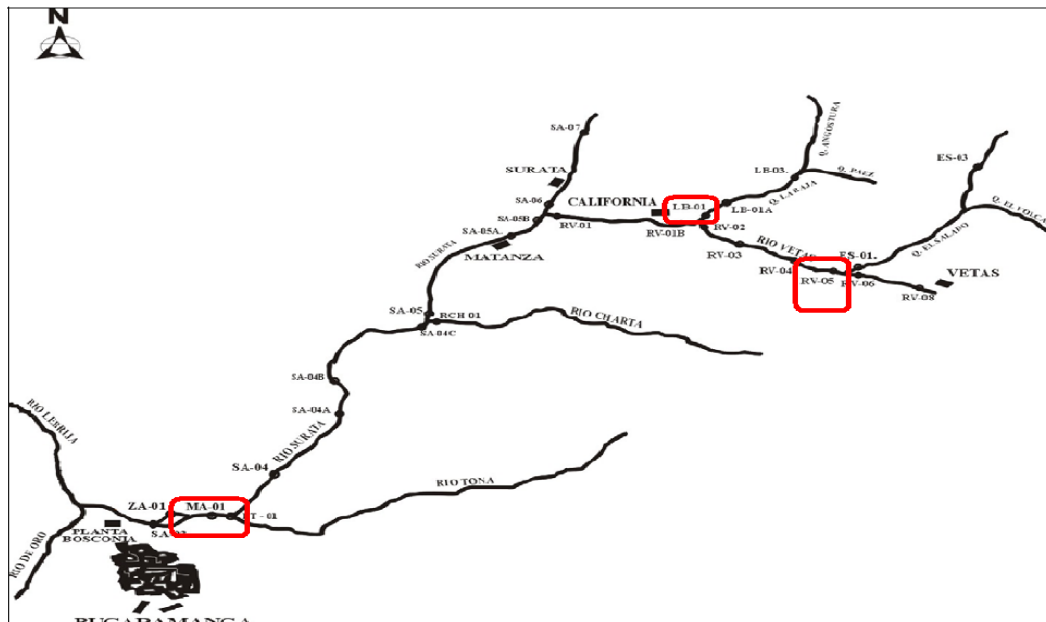


## 2.1 REVISION BIBLIOGRAFICA

En esta etapa se realizó la respectiva consulta de diferentes textos sobre proceso de extracción del oro, contaminación de ríos, balance de masa de mercurio y cianuro, además de verificar la información recopilada sobre el proyecto de implementación de mecanismos tendientes a la disminución de la contaminación en la cuenca del río Suratá de la CDMB; y los métodos ya implementados en este.

## 2.2 RECONOCIMIENTO DEL AREA DE TRABAJO

Se realizó un visita a varias de las empresas extractoras del mineral (anexo 2) en los municipios de Vetas (La Elsy y La Providencia) y en California (La Plata y La Bodega), para entender el proceso, y verificar como se hace el vertimiento de residuos al río Suratá, además de visitar los puntos de monitoreo; en este caso RV05 que es el punto Borrero del río Vetas que recibe los vertimientos de las empresas mineras de Vetas y LB01 (Loma Redonda) que recibe los residuos de las empresas mineras de California.

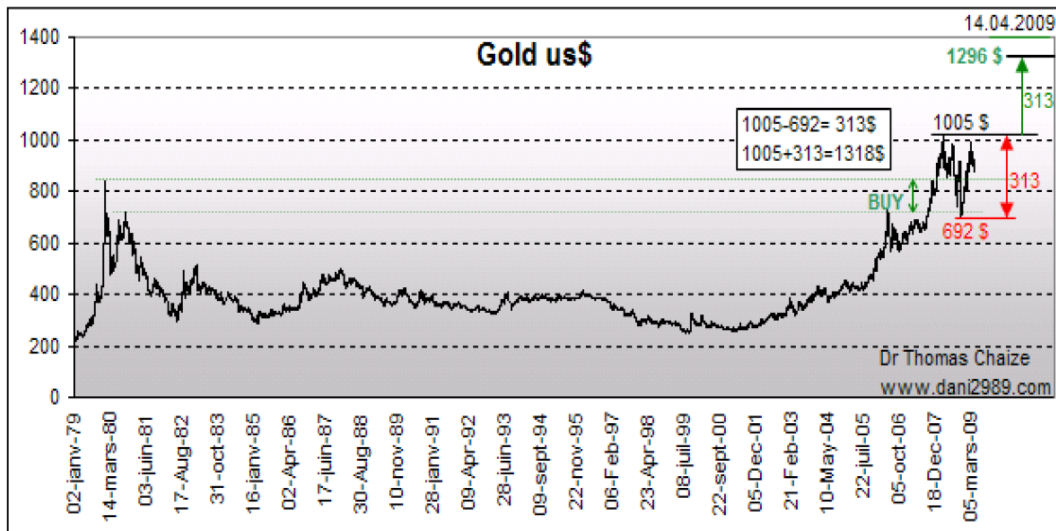


Gráfica 1. Bosquejo de la región de trabajo con localización de puntos de muestreo.

### 2.3 RECOPIACION DE DATOS

Para esta etapa se realizó una recopilación de datos inicial con la base de datos del proyecto río Suratá, se determinó cuales eran los vacíos de información y determinada la información faltante se hizo contacto con las fuentes respectivas, para las concentraciones de cianuro y mercurio de LB01 y RV05 con el laboratorio de aguas y suelos de la CDMB, para las concentraciones del punto Planta Bosconia con el acueducto de Bucaramanga; para los caudales LB01 y RV05 con las miras instaladas por la CDMB; Los caudales del punto Planta Bosconia se hizo esta recopilación en dos partes: hasta el 2004, la información fue suministrada por la Planta Bosconia, del 2004 hasta hoy, la información fue suministrada por la gerencia de proyectos del acueducto metropolitano de Bucaramanga AMB. Con esta información se hizo un empalme de los datos y se completaron los datos según el modelo de balance de masa propuesto por la contraparte alemana del proyecto río Suratá.

Igualmente para efectos comparativos y conocimiento del comportamiento en la producción de mineral y el impacto en la contaminación del río se muestra la grafica del precio del oro de los últimos treinta años, que sirve para establecer una posible relación con los picos de producción.



## 2.4 GENERACION DEL BALANCE DE MASA

### 2.4.1 PUNTOS DE MONITOREO LB01 Y RV05

Para estos puntos de monitoreo se toman dos muestras al mes, por lo que solo se tienen dos datos de concentración al mes para cada punto y es necesario completar la información; La frecuencia de muestreo para calidad del agua es quincenal. Dado que el modelo requiere datos diarios de concentración, en donde hay resultado analítico, se inserta el dato en el día que hay; y para los días en los que no hay dato, se completan los datos de concentraciones faltantes con el ultimo dato en el tiempo hacia atrás hasta encontrar el otro dato analítico, es decir para los quince días anteriores se tendrá el mismo dato de concentración. Para los caudales se realiza la estimación según los métodos descritos en el numeral 1.3. Ahora se hará el balance de masas tanto de cianuro como de mercurio para cada punto de monitoreo y cada día [Amaya, Cesar. Modelo de balance de masas para mercurio y cianuro en el río Suratá. 2004 P 324-359.]:

$$\text{Masa} = \text{concentración} \times \text{caudal}$$

Donde;

C = concentración en microgramos/litro:  $\mu\text{g}/\text{l}$

Q = caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$ ; dado que el caudal en los datos esta en  $\text{l}/\text{día}$  se hace la conversión, entonces:

$$M = [C] \frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \times Q \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} = 1000[C] \frac{\mu\text{g}}{\text{s}} \times Q \times 86400 \frac{\text{s}}{\text{día}}$$

$$M = 0,0864 * C * Q$$

#### 2.4.1.1 BALANCE DE MASA PARA CIANURO

$$M = 0.0864 \times [\text{CCN}] \times Q \frac{\text{T}}{\text{día}} \text{CN}$$

#### 2.4.1.2 BALANCE DE MASA PARA MERCURIO

$$M = 0.0864 \times [\text{CHg}] \times Q \frac{\text{Kg}}{\text{día}} \text{Hg}$$

Según el decreto 1594 de 1984 la norma para la concentración de cianuro y mercurio para agua potable es de  $2 \frac{\mu g}{l}$  de mercurio y  $0,2 \frac{mg}{l}$  para el cianuro por lo que es necesario incorporar estos datos en los cálculos.

#### 2.4.1.3 NORMA PARA CIANURO

$$M = 0,2 \times \frac{mg}{l} \times Q \frac{m^3}{s} \times 1000 \frac{l}{m^3}$$

$$M = 0,01728 \times Q \frac{T}{día} CN$$

#### 2.4.1.4 NORMA PARA MERCURIO

$$M = 2 \frac{\mu g}{l} \times Q \frac{m^3}{s} \times 1000 \frac{l}{m^3} = 2000 \frac{\mu g}{s} \times Q \times 86400 \frac{s}{día}$$

$$M = 0,1728 \times Q \frac{Kg}{día} Hg$$

#### 2.4.2 PUNTO DE MONITOREO PLANTA BOSCONIA

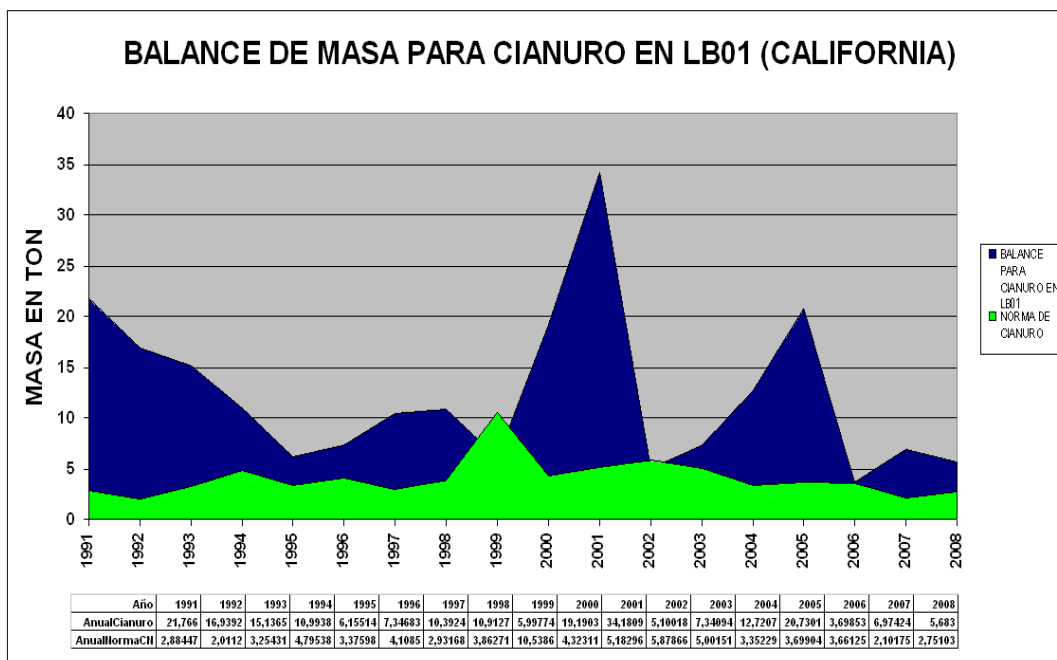
Debido al control riguroso que debe tenerse en esta estación se toman muestras cada 2 horas como mínimo, por lo que se tienen por lo menos 12 valores de concentración en un día. En este caso se realiza un promedio para los datos de concentración de mercurio y cianuro. Los cálculos son los mismos que los de los puntos LB01 y RV05; se halla la masa de cianuro, masa de mercurio y la masa de acuerdo a la norma respectiva.

### 3. RESULTADOS Y ANALISIS

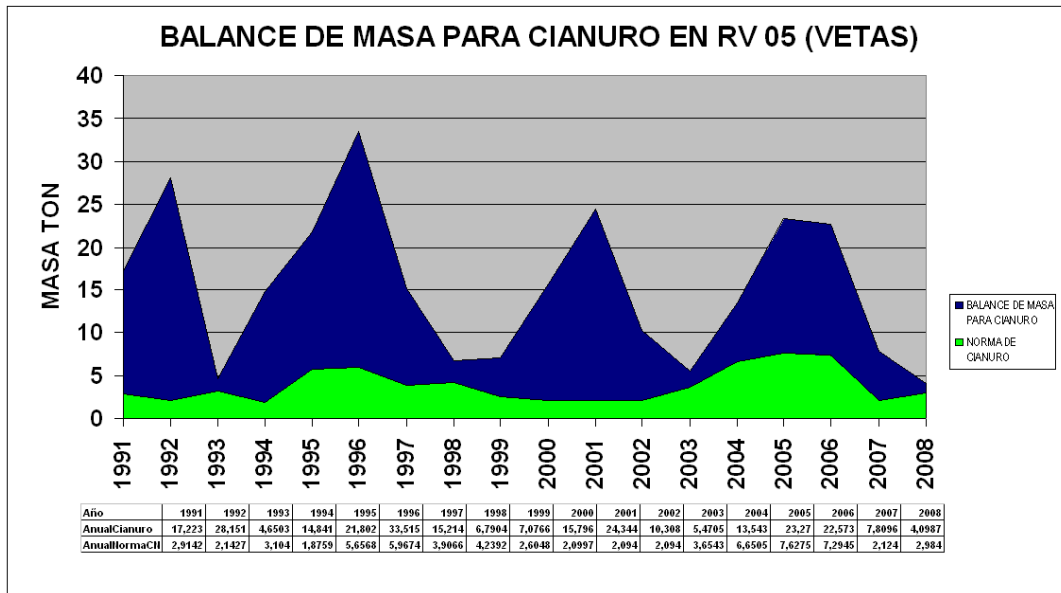
Con el balance de masa se hace la suma día a día y posteriormente mes a mes de la masa de cianuro y mercurio entre el periodo de tiempo: enero de 1991 y octubre 2008 para el que se ha podido reconstruir la información; de esta manera se puede hacer un análisis del impacto del proyecto en la región y como ha cambiado la calidad del agua en los últimos años.

#### 3.1. GRAFICA PARA CIANURO ANUAL

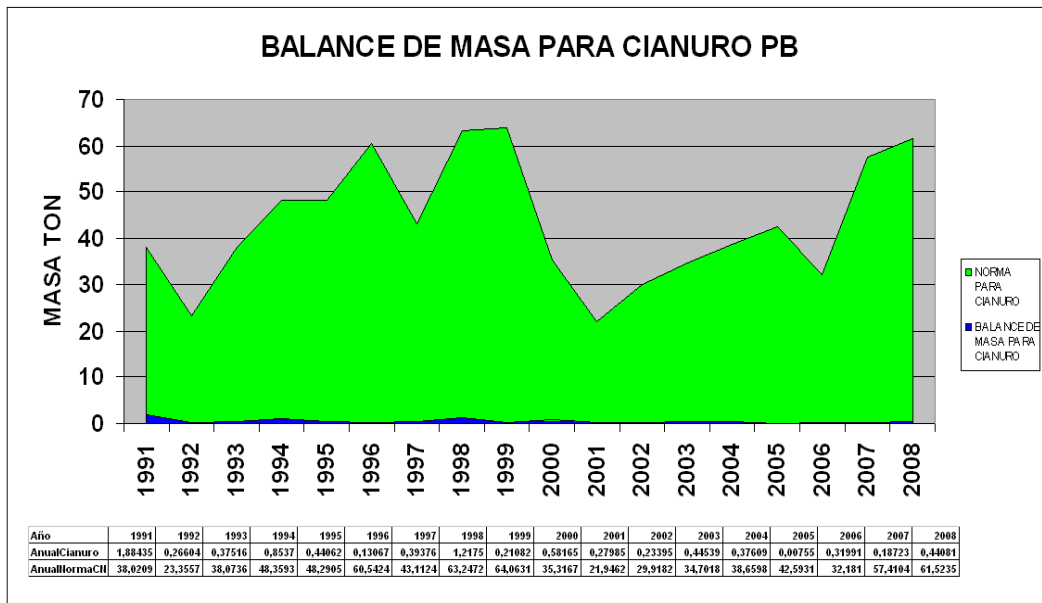
##### 3.1.1 PUNTO DE MONITOREO LB01 (CALIFORNIA)



### 3.1.2. PUNTO DE MONITOREO RV05 (VETAS)

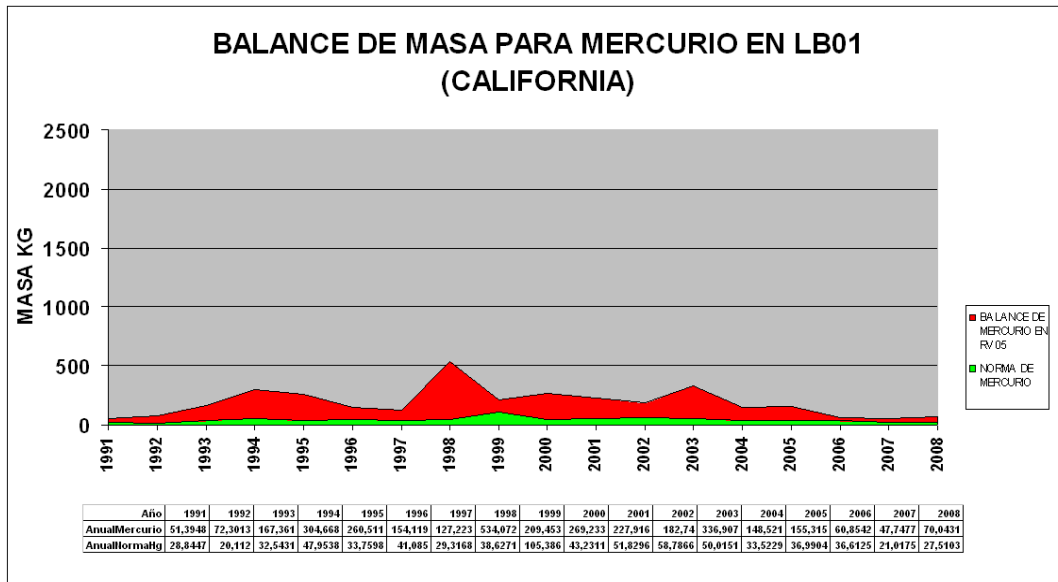


### 3.1.3. PUNTO DE MONITOREO PLANTA BOSCONIA PB

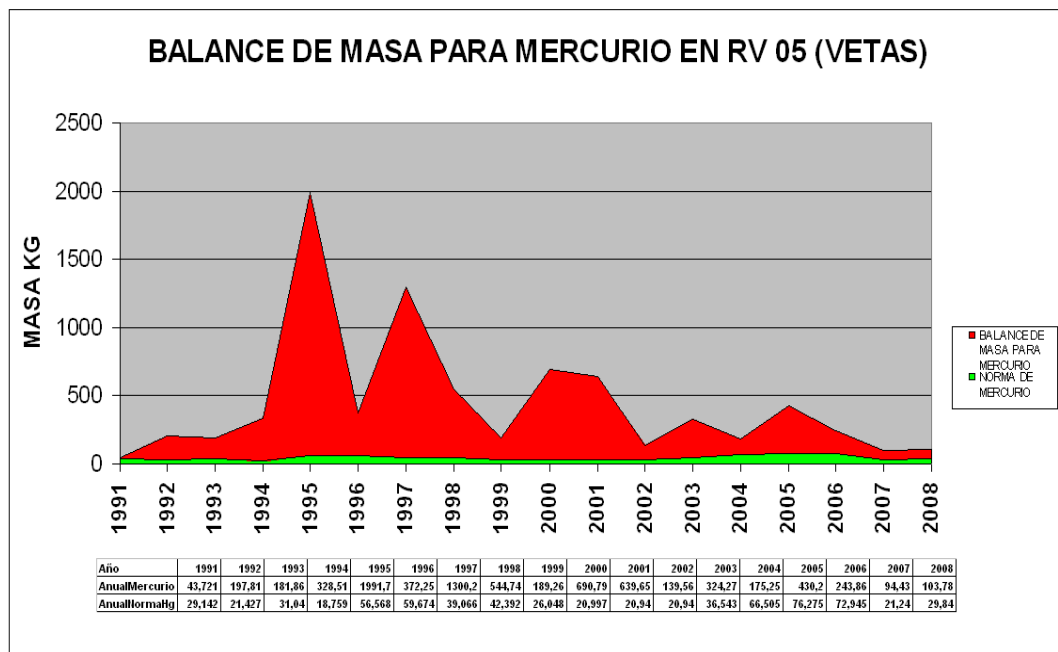


### 3.1.2 GRAFICA PARA MERCURIO ANUAL

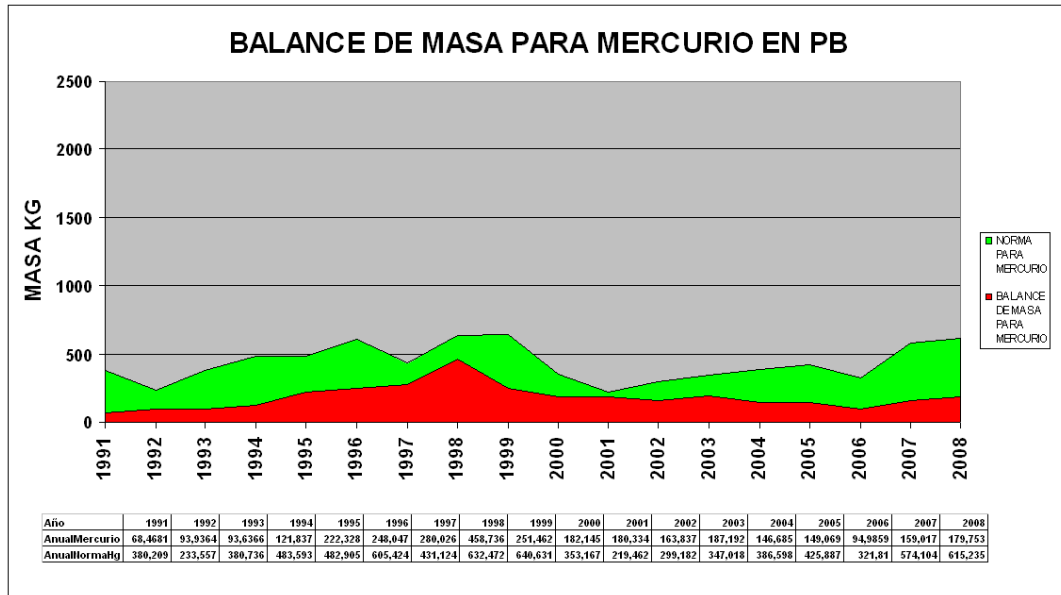
#### 3.2.1 PUNTO DE MONITOREO LB01 (CALIFORNIA)



#### 3.2.2 PUNTO DE MONITOREO RV05 (VETAS)

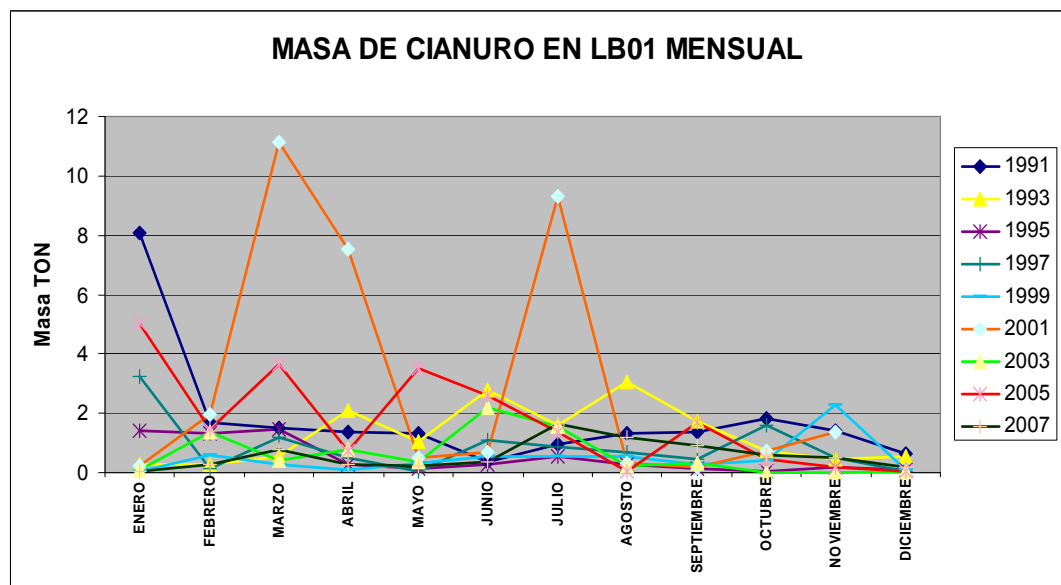


### 3.2.3 PUNTO DE MONITOREO PB PLANTA BOSCONIA

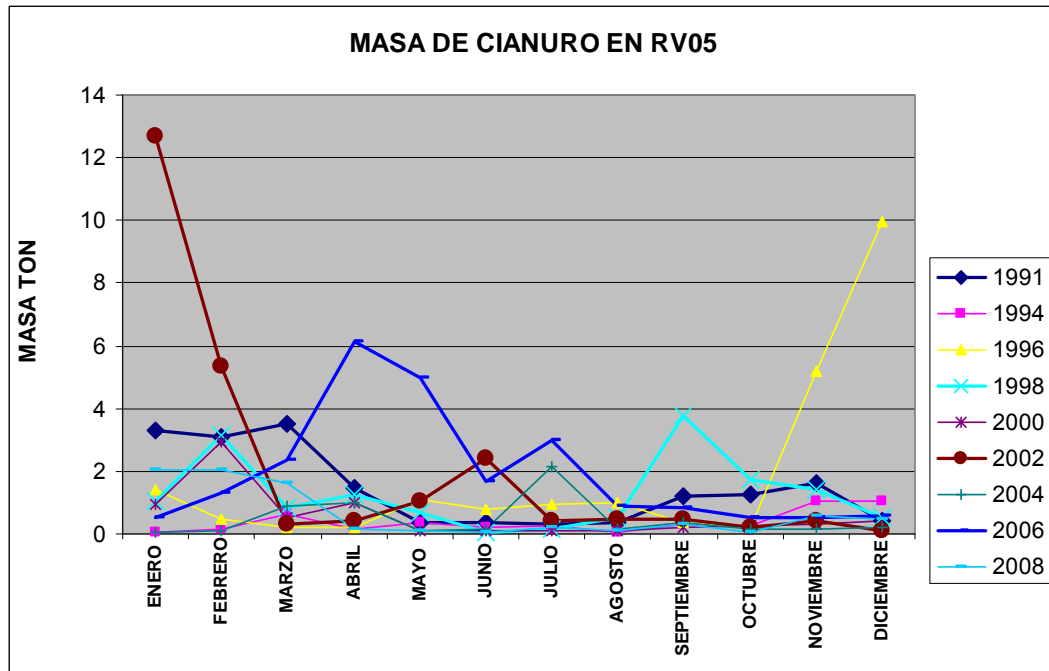


### 3.3 GRAFICA PARA CIANURO MENSUAL

#### 3.3.1. MASA DE CIANURO EN LB01 MENSUAL



### 3.3.2. MASA DE CIANURO EN RV05 MENSUAL



### 3.4. DISCUSION DE RESULTADOS

- Como es de esperarse la tendencia del balance de masa para la norma de mercurio y cianuro es la misma para cada uno de los respectivos puntos de monitoreo, esto es debido a la relación directa entre el caudal y la norma. El balance de masa de la norma corresponde con una constante multiplicando el caudal que puede aumentar en dos o disminuir en cinco veces la tendencia, por lo que también se puede determinar cuales son los años más lluviosos de cada zona.
- Son notables grandes picos de cianuro en determinados intervalos de tiempo; la causa probable es la forma de trabajo de los mineros dado que estos residuos se descargan al río discontinuamente (descarga de tanques de cianuración) en vertimientos programados por la autoridad ambiental. Por lo que un pico puede representar: errores en la forma de trabajo de los mineros, descargas al tiempo fuera de la programación o mayor producción del mineral.

- En las graficas se observa que no todos los picos coinciden en los puntos de monitoreo esto quiere decir que la producción en cada una de las regiones es diferente y depende en buena parte de la calidad del mineral extraído. Para el caso de la región de California puede notarse el aumento en la cantidad de cianuro y la clara tendencia a la reducción de mercurio esto se debe a el tipo de mineral en la región; dado que para California, el mineral esta en cristales mas finos por lo que el proceso de extracción funciona bien con cianuro y en la región de Vetas se encuentran cristales mas grandes y se obtiene mejor rendimiento con mercurio.
  
- Es muy común que algunas empresas suspendan operaciones durante algunos meses incluso años debido a la baja calidad del mineral extraído; al reanudar operaciones se incrementará la cantidad de vertimientos y por ende la contaminación de cianuro y mercurio.
  
- Para las graficas de mercurio en 1998 se encuentra un pico de mercurio atribuido a que en ese año según testimonio de los mineros: se cambió el proveedor de reactivos y por el uso de reactivos contaminados o con menor porcentaje de pureza, fue necesaria mayor cantidad de reactivo para obtener la misma cantidad de mineral.
  
- Para las graficas de balance de masa de cianuro en RV05 y LB01 Se pueden ver 2 picos que coinciden en los 2 puntos de monitoreo para los años 2001 y 2005, en los que se realizan las mayores descargas de cianuro, esto posiblemente se debe a que el proyecto río Suratá implemento modificaciones en el proceso, enfocando principalmente a cianuro.
  
- Para el 2001 se realizó un cambio en el procedimiento de extracción que requería un tiempo de escurrimiento de 3 días pero por beneficio de los

mineros no se hizo en el tiempo optimo, lo que ocasionó un aumento en las descargas de arenas cianuradas y por ende mayor masa de cianuro vertida al río.

- Existe un pico considerable para el 2005 que se mantiene hasta el 2007 en donde se presenta un incremento en la producción del mineral debido a la subida en el precio del oro.
- Con excepción de algunos años con picos por causas puntuales que ya se relacionaron anteriormente, en las graficas de masa de cianuro mensual para RV05 Y LB01, se observa que la masa de cianuro descargada al río a lo largo de todo el año es constante, esto permite concluir una producción continua del mineral, por lo que el vertimiento a lo largo del año es constante; la concentración en el río puede variar, pero esto depende del caudal del río y no de la cantidad de compuesto descargado; El aumento en la concentración entre febrero-marzo y septiembre-octubre se pueden atribuir a causas climáticas debido a que si se reduce el caudal, la concentración va a ser mayor pero la masa vertida es la misma.
- Para el punto Planta Bosconia aunque llegan grandes cantidades de masa de cianuro y mercurio de las regiones de Vetas y California el volumen de agua permite que las concentraciones siempre sean bajas y estén por debajo de la norma debido a que el río Suratá es una corriente que recibe tributarios como los de las microcuencas Vetas, Charta, Tona, entre otras.
- El balance de masa de cianuro en la planta podría disminuir con la luz solar y la oxigenación del río (río de alta montaña con alta capacidad hidrodinámica).

#### 4. CONCLUSIONES

- Para 1992 los vertimientos al río por cianuro entre las regiones mineras de Vetas y California era de 45.1 toneladas aproximadamente, en el 2008 esta cantidad descendió a 9.78 toneladas; para el mercurio en 1992 era de 270.11 kilogramos, para 2008 se logró una disminución a 173.8 kilogramos y en cada una de las regiones se puede ver una clara tendencia a la baja; Por lo que se puede inferir que sí se han realizado modificaciones en el proceso de extracción del mineral por parte de los mineros con el trabajo realizado por el proyecto “Reducción de la contaminación ambiental debida a la pequeña minería en la cuenca del río Suratá”; esto se refleja en la cantidad de vertimientos en la cuenca del río Suratá y por ende en la calidad del agua.
- Existe una tendencia muy clara a la disminución de mercurio en el proceso, si se supone la misma cantidad de mineral trabajado y por tanto una cifra equivalente en el oro obtenido. De acuerdo con el balance de masa generado y el posterior análisis de las graficas se puede concluir que el seguimiento y las modificaciones realizadas en el proceso han producido un cambio en los procesos de estas empresas mineras.
- Teniendo en cuenta la cantidad de mediciones realizadas, la frecuencia en el control de concentración y los datos obtenidos de la información de la estación de Planta Bosconia para el cianuro, se puede considerar bastante aproximada a la realidad, quitando el cianuro que se descompone por efectos hidráulicos en el transporte hasta la planta; Para el mercurio debido al comportamiento en el flujo de agua ocurre una sedimentación y muy poco se disuelve, por lo que los puntos de monitoreo LB01 y RV05 son puntos estratégicos para determinar la cantidad de mercurio vertido al río Suratá.

## 5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda una sistematización y aumento en la frecuencia de la toma de datos en los puntos RV05 Y LB01 para tener un mejor control y aproximación de la cantidad de vertimientos de cianuro y mercurio en el río Suratá.
- Se sugiere una menor flexibilidad en cuanto a las normas o estándares de calidad de agua, si bien es cierto que para países como Canadá, la norma de cianuro es de 0.2 mg/l igual a la usada en Colombia, dada la toxicidad del mercurio la norma es mas estricta y es de 1 mg/l menor que la usada en Colombia que es de 2mg/l.

## BIBLIOGRAFIA

1. COLOMBIA. CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB. Pequeña minería aurífera: hacia un manejo ambiental de cianuro y mercurio. 289 – 355 p.
2. ILLICH Vladimir. Monitoreo de la calidad de agua del río Suratá en la zona minera de Vetas y California. 2004. Pequeña minería aurífera: hacia un manejo ambiental de cianuro y mercurio. 313 – 323 p.
3. ARBOLEDA Yolanda. Experiencias en el control de cianuro y mercurio en la planta bosconia. Pequeña minería aurífera: hacia un manejo ambiental de cianuro y mercurio. 2004. 289 – 312 p.
4. AMAYA Cesar. Modelo de balance de masas para mercurio y cianuro en el río Suratá. Pequeña minería aurífera: hacia un manejo ambiental de cianuro y mercurio. 2004. 324-355 p.
5. GAEBLER, H.E. Informe de comisión estadía en Bucaramanga del 30 de enero al 28 de febrero de 2004.
6. COLOMBIA. CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB. IMPLEMENTACION DE MECANISMOS TENDIENTES A LA DISMINUCION DE LA CONTAMINACION PRODUCTO DE LA MINERIA EN LA CUENCA DEL RIO SURATA.
7. COLOMBIA. ACUEDUCTO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P PLANTA BOSCONIA. Base de datos.

8. C. J. Geankoplis. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Prentice Hall, 1998.
9. ORGANIZATION OF AMERICAN STATES. Armonización de los estándares de agua potable en las Américas, 2010.  
p.<http://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>
10. CORPORACION AUTONOMA DEL NARIÑO. Decreto 1594 de 1984. Usos del agua y residuos líquidos. Nariño 2009.  
p.[http://corponarino.gov.co/expedientes/tramites/Dec\\_1594\\_1984.pdf](http://corponarino.gov.co/expedientes/tramites/Dec_1594_1984.pdf)

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### DECRETO 1594 DE 1984

#### Usos del agua y residuos líquidos

#### CAPITULO IV

#### DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD PARA DESTINACION DEL RECURSO

**Artículo 37:** Los valores asignados a las referencias indicadas en el presente capítulo se entenderán expresados en miligramos por litro, mg/L, excepto cuando se indiquen otras unidades.

**Artículo 38:** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional:

Referencia Expresado como Valor

- Amoníaco N 1.0
- Arsénico As 0.05
- Bario Ba 1.0
- Cadmio Cd 0.01
- Cianuro CN- 0.2
- Cinc Zn 15.0
- Cloruros Cl- 250.0
- Cobre Cu 1.0
- Color Color real 75 unidades, escala

- Platino - cobalto
- Compuestos Fenólicos Fenol 0.002
- Cromo Cr + 6 0.05
- Difenil Policlorados Concentración de agente
- Activo No detectable
- Mercurio Hg. 0.002
- Nitratos N 10.0
- Nitritos N 10.
- PH Unidades 5.0 - 9.0 unidades
- Plata Ag 0.05
- Plomo Pb 0.05
- Selenio Se 0.01
- Sulfatos SO<sub>4</sub> 400.0
- Tensoactivos Sustancias activas al Azul de metileno 0.5
- Coliformes totales NMP 20.000
- Microorganismos/100 ml.
- Coliformes fecales NMP 2.000
- Microorganismos/100 ml.

**Parágrafo 1:** La condición de valor “no detectable” se entenderá que es la establecida por el método aprobado por el Ministerio de Salud.

**Parágrafo 2:** No se aceptará película visible de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes, radioisótopos y otros no removibles por tratamiento convencional que puedan afectar la salud humana.

**Artículo 39:** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización se requiere solo desinfección:

Referencia Expresado como Valor

- Amoníaco N 1.0
- Arsénico As 0.05
- Bario Ba 1.0
- Cadmio Cd 0.01
- Cianuro CN- 0.2
- Cinc Zn 15.0
- Cloruros Cl- 250.0
- Cobre Cu 1.0
- Color Color real 20 unidades, escala Platino - cobalto
- Compuestos Fenólicos Fenol 0.002
- Cromo Cr + 6 0.05
- Difenil Policlorados Concentración de agente activo No detectable

- Mercurio Hg 0.002
- Nitratos N 10.0
- Nitritos N 10.
- PH Unidades 6.5 - 8.5 unidades
- Plata Ag 0.05
- Plomo Pb 0.05
- Selenio Se 0.01
- Sulfatos SO<sub>4</sub> 400.0
- Tensoactivos Sustancias activas al azul de metileno 0.5
- Turbiedad UJT 10 unidades Jackson de turbiedad, UJT.
- Coliformes totales NMP 1.000
- Microorganismos/100 ml.

**Parágrafo 1:** No se aceptará película visible de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes provenientes de actividad humana, radioisótopos y otros no removibles por desinfección, que puedan afectar la salud humana.

**Artículo 40:** Los criterios admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola son los siguientes:

Referencia Expresado como Valor

- Aluminio Al 5.0
- Arsénico As 0.1
- Berilio Be 0.1
- Cadmio Cd 0.01
- Cinc Zn 2.0
- Cobalto Co 0.05
- Cobre Cu 0.2
- Cromo Cr + 6 0.1
- Fluor F 1.0
- Hierro Fe 5.0
- Litio Li 2.5
- Manganeso Mn 0.2
- Molibdeno Mo 0.01
- Níquel Ni 0.2
- PH Unidades 4.5 - 9.0 unidades
- Plomo Pb 5.0
- Selenio Se 0.02

- Vanadio V 0.1

**Parágrafo 2:** Además de los criterios establecidos en el presente artículo, se adoptan los siguientes:

- a. El boro, expresado como B, deberá estar entre 0.3 y 4.0 mg/L dependiendo del tipo de suelo y del cultivo.
- b. El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto.
- c. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin del literal anterior.

**Parágrafo 3:** Deberán hacerse mediciones sobre las siguientes características:

- a. Conductividad.
- b. Relación de absorción de sodio (RAS).
- c. Porcentaje de sodio posible (PSP).
- d. Salinidad efectiva y potencial.
- e. Carbonato de sodio residual.
- f. Radionucleídos.

**Artículo 41:** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario, son los siguientes:

Referencia Expresado como Valor

- Aluminio Al 5.0

- Arsénico As 0.2
- Boro B 5.0
- Cadmio Cd 0.05
- Cinc Zn 25.0
- Cobre Cu 0.5
- Cromo Cr + 6 1.0
- Mercurio Hg 0.01
- Nitratos + Nitritos N 100.0
- Nitrito N 10.0
- Plomo Pb 0.1
- Contenido de sales Peso total 3.000

**Artículo 42:** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario, son los siguientes:

Referencia Expresado como Valor

- Coliformes fecales NMP 200
- microorganismos/100 ml.
- Coliformes totales NMP 1.000 microorganismos/100 ml.
- Compuestos Fenólicos Fenol 0.002
- Oxígeno disuelto 70% concentración de saturación

- PH Unidades 5.0 - 9.0 unidades
- Tensoactivos Sustancias activas al azul de metileno 0.5.

**Parágrafo 1:** No se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.

**Parágrafo 2:** El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no ocasionen eutroficación.

**Artículo 43:** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto secundario, serán los siguientes:

Referencia Expresado como Valor

- Coloformes totales NMP 5.000
- Microorganismos/100 ml.
- Oxígeno disuelto 70% concentración de saturación
- PH Unidades 5.0 - 9.0 unidades
- Tenso activos Sustancias activas al Azul de metileno 0.5

**Parágrafo 1:** Además de los criterios del presente artículo se tendrán en cuenta los establecidos en los párrafos 1 y 2 del artículo anterior.

**Artículo 44:** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso estético son los siguientes:

- a. Ausencia de material flotante y de espumas, provenientes de actividad humana.
- b. Ausencia de grasas y aceites que formen película visible.
- c. Ausencia de sustancias que produzcan olor.

**Artículo 45:** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas o estuarias son los siguientes:

Referencia Expresado como Valor

- Agua fría, Agua cálida, Agua marina dulce, dulce y estuario
- Clorofenoles Clorofenol 0.5 0.5 0.5
- Difenil Concentración de agente activo 0.0001 0.0001 0.0001
- Oxígeno disuelto 5.0 4.0 4.0
- PH Unidades 6.5 - 9.0 4.5 - 9.0 6.5 - 8.5
- Sulfuro de Hidrógeno
- Ionizado H<sub>2</sub>S 0.0002 0.0002 0.0002
- Amoníaco NH<sub>3</sub> 0.1 CL96 50 0.1 CL96 50 0.1 CL96 50
- Arsénico As 0.1 CL96 50 0.1 CL96 50 0.1 CL96 50
- Bario Ba 0.1 CL9650 0.1 CL96 50 0.1 CL9650
- Berilio Be 0.1 CL9650 0.1 CL9650 0.1 CL9650
- Cadmio Cd 0.01 CL9650 0.01 CL9650 0.01CL9650
- Cianuro libre CN<sup>-</sup> 0.05 CL9650 0.05 CL9650 0.05 CL9650

- Cinc Zn 0.01 CL9650 0.01 CL9650 0.01 CL9650
- Cloro total residual Cl2 0.1 CL9650 0.1 CL9650 0.1 CL9650
- Cobre Cu 0.1 CL9650 0.1 CL9650 0.1 CL9650
- Cromo Hexavalente Cr+6 0.01 CL9650 0.01 CL9650 0.01CL9650
- Fenoles monohídricos Fenoles 1.0 CL9650 1.0 CL9650 1.0CL9650
- Grasas y aceites Grasas como
- Porcentaje de sólidos secos 0.01 CL9650 0.01 CL9650 0.01CL965015
- Hierro Fe 0.1 CL9650 0.1 CL9650 0.1 CL9650
- Manganeso Mn 0.1 CL9650 0.1 CL9650 0.1 CL9650
- Mercurio Hg 0.01 CL9650 0.01 CL9650 0.01 CL9650
- Níquel Ni 0.01 CL9650 0.01 CL9650 0.01 CL9650
- Plaguicidas organoclorados Concentración de (cada variedad)
- Agente activo 0.001 CL9650 0.001 CL96500.001 CL9650
- Plaguicidas organofosforados Concentración de (cada variedad) agente activo 0.05 CL9650 0.05 CL96500.05 CL9650
- Plata Ag 0.01 CL9650 0.01 CL9650 0.01 CL9650
- Plomo Pb 0.01 CL9650 0.01 CL9650 0.01 CL9650
- Selenio Se 0.01 CL9650 0.01 CL9650 0.01CL9650
- Tensoactivos Sustancias activas
- Azul de metileno 0.143 CL9650 0.143 CL9650 0.143 CL9650

**Parágrafo 1:** Como criterios adicionales de calidad para los usos de que trata el presente artículo, no deben presentarse sustancias que impartan olor o sabor a los tejidos de los organismos acuáticos, ni turbiedad o color que interfieran con la actividad fotosintética.

**ANEXO 2. FOTOS DE EMPRESAS VISITADAS**

**Empresa La Bodega (California) Tanques de deslode y tinas de cianuración y percolación**



Mesa de concentración



Panorámica de la planta de beneficio



**Empresa La Plata California. Tanque de deslode**



Sistema de molienda (al fondo) y en primer plano mesa de concentración.



Quebrada la baja (primer plano) y panorámica de la plata



**Empresa La Elsy (Vetas).** Mesa de concentración (primer plano) y molino remecedor.



Pozos de deslode (izquierda), tinas de cianuración (centro), tinas de precolación (derecha)



**Empresa La Providencia (Vetas).** Río Vetas (derecha), planta de cianuración (al fondo).



Barriles de amalgamación



Sistema de molienda (fondo), sistema de concentración gravimétrica en canales



**ANEXO 3**

**Estándares de la calidad de agua potable para países americanos (Canadá: uno de los mayores productores de oro en el mundo)**

ESTANDARES DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAISES DE AMERICA												
PARAMETRO	UNIDAD	OMS	NIC	PER	REPDOM	URY	VEN	HON	PAN	PAR	CAN	USA
Año		1995	1994	1999	1980	1996	1998	1995	1999	2000	2004	2003
Origen		Valores guía	CAPRE	DIGE-SA (pro-puesta)	NOR-DOM	Dto: 27335	Norm 187 & 138	Acuerdo No 084	Resolución No 579	Ley N. 1614	Guidelines	EPA 816 - F
MICROBIOLOGICOS												
Coli fecales o E. coli	UFC/100mL	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0	0
Coliformes totales	UFC/100mL	0	£ 4	0	-	0	-	3	-	3	0	0
Bact. heterotróficas	UFC/mL	-	-	500	-	500	-	-	-	-	-	500
QUIMICOS DE IMPORTANCIA PARA LA SALUD												
INORGANICOS												
Antimonio	mg/L	0,005	0,05	0,005	-	-	-	0,005	0,005	-	0,006	0,006
Arsénico	"	0,01	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,5	0,005	0,01
Bario	"	0,7	-	0,7	-	1	0,7	0,003	0,7	-	1	2
Boro	"	0,3	-	0,3	-	-	0,3	-	-	-	5	-
Cadmio	"	0,003	0,05	0,003	0,01	0,01	0,003	-	0,003	-	0,005	0,005
Cianuro	"	0,07	0,05	0,07	0,05	0,1	0,07	-	0,001	0,2	0,2	0,2
Cobre	"	2	2	1	1	1	2	2	1	-	1	1,3
Cromo	"	0,05	0,005	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	0,05	0,1
Fluoruro	"	1,5	1,5	1,5	1,7	1,5	1,5	-	1	-	1,5	4
Manganeso	"	0,5	0,5	0,5	0,4	0,1	0,5	-	0,1	-	0,05	0,05
Mercurio	"	0,001	0,001	0,001	-	0,001	0,001	0,001	0,001	-	0,001	0,002
Molibdeno	"	0,07	-	-	-	-	0,07	-	0,07	-	-	-
Níquel	"	0,02	0,05	0,02	-	-	0,02	0,02	0,02	-	-	-
Nitrato	"	50	50	50	45	10	45	50	10	45	45	10
Nitrito	"	3	1	3	-	1,5	0,03	3	1	-	3,2	1
Plomo	"	0,01	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	-	0,01	0,015
Selenio	"	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	-	0,01	0,05

