

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERA AMBIENTAL**

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE
SIGCHOS (ZONA URBANA)**

**AUTOR:
RITA SALAZAR MOLINEROS**

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. ALONSO MORETA**

QUITO – ECUADOR

2007

*A Dios, a mis Padres y mis abuelitos
por ser la base en la cual me forjé.
A mis hermanos por ser mis compañeros y
amigos; y a mis amigos por demostrar que
no se necesita tener la misma sangre
como para sentir fraternidad .
Gracias*

Agradecimientos:

- A la Universidad Internacional SEK, por la formación y preparación brindada a través de los años de estudio.
- A la Ing. Katy Coral por su entrega y dedicación académica y espiritual
- Al Ing. Alonso Moreta que con su apoyo permitió la culminación de mi tesis de grado.
- Al Ing. Marco Mena por su colaboración y orientación constante durante la investigación.
- Al Ing. José Vivanco por su contribución en la obtención de información para mi tesis de grado.
- Al Señor Alcalde Hugo Arguello por permitir realizar mi investigación y por brindarme apoyo constante en cada uno de los procesos que cursó mi tesis.
- A la biblioteca de Ingeniería Civil de la Universidad Central por brindar un servicio de calidad.
- Al Departamento de Construcción y Diseño de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q) por la colaboración y documentación técnica brindada.
- Al Ing. Aguirre por ofrecerme apoyo incondicional en la etapa de culminación de mi tesis.
- Al Doctor Marvin Milito Molineros por ser fiel acólito de la familia en la que me forjé.
- A mis padres por ser las bases en las cuales he desarrollado mi vida.
- A mis abuelitos tanto de padre y madre, presentes como ausentes por ser los inculcadores de principios en mi vida.
- A mis hermanos por apoyarme siempre y por ser tan amigos.
- A mis compañeros por ser parte de mi vida y por brindarme su amistad incondicional

RESUMEN

La Ciudad de Sigchos junto con su alcalde, el Dr. Hugo Arguello, se encuentran preocupados por el mal funcionamiento del sistema de agua potable, sobretodo en época de invierno, donde el mismo llega a colapsar. El municipio encuentra como prioridad dar un buen servicio a sus moradores; por esta razón, el presente proyecto esta encaminado a mejorar la calidad del agua de la ciudad de Sigchos, zona urbana, por medio de la propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable, cuyo problema principal es la presencia de color y de sólidos en suspensión en el agua de consumo; a su vez, se desea dar a conocer a la ciudadanía la calidad del agua que está consumiendo.

Brindar un servicio óptimo a los pobladores de una región siempre será el objetivo de un jefe de gobierno, de un jefe seccional.

El proyecto de tesis realizado tiene como fin determinar la calidad del agua, esto implica saber qué parámetros le están afectando y dar medidas correctivas, si fuese el caso.

En entrevistas mantenidas con el señor Alcalde de la Ciudad de Sigchos informó que el agua potable, en ciertas épocas del año, presenta color y material en suspensión; mientras que, en las entrevistas mantenidas con los pobladores, se pudo observar un gran descontento ya que el agua continuamente esta con coloración. Varias personas mencionaron que en fechas anteriores el agua salía completamente negra y con excesiva cantidad de sedimentos.

La base legal que sustenta el presente proyecto de tesis esta constituido por: - Constitución de la República del Ecuador; - Ley de Aguas; - Código de la Salud; - Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria; - Normas conexas (NTE INEN 1108:2006; NTE INEN 2169:98; NTE INEN 2176:98; Normas para el Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 habitantes).

La aplicación de la metodología incluyó cuatro etapas que fueron: a) el estudio de eficiencia de los procesos, que consiste en un análisis de campo, laboratorio y gabinete; b) estudio analítico de las características físico químicas del agua en sus dos lugares de muestreo (captación, tanque de cloración y acometidas domiciliarias) para poder determinar que parámetros se encuentran sobre la norma tomando como base la NTE INEN 1108:2006; c) aplicación del índice de calidad tanto a los análisis realizados en la captación, tanque de cloración y acometidas domiciliarias; d) la propuesta de mejora propiamente dicha del sistema de tratamiento de agua potable donde se propone el Manual de mantenimiento para la planta de tratamiento, diseño de una bandeja de lavado de arenas, y se corrige la cantidad de dilución de hipoclorito de calcio (HTH) en el hipoclorador. Aplicando estas propuestas prácticas, sencillas y de bajo costo económico, el sistema de tratamiento de agua potable para la ciudad de Sigchos mejorará notablemente.

Se obtuvo como resultados un buen funcionamiento de los procesos y una “buena” calidad del agua. Pero es muy importante la aplicación de las propuestas para que el servicio a los pobladores no sea simplemente bueno, sino excelente.

Con la elaboración de esta propuesta de mejora del sistema de tratamiento se aspira que para futuro la población de Sigchos mejore su nivel de vida.

Entre las conclusiones mas relevantes que se obtuvieron fue que el agua de Sigchos es de buena calidad pese a que existen varios parámetros sobre la norma (NTE INEN 1108:2006). Con la implementación de las propuestas dadas, el funcionamiento de todos los procesos mejorarán significativamente.

Descriptoros: Tratamiento, Potable, Eficiencia; Calidad; Manual; Mantenimiento; Bandeja de lavado de arenas; Hipoclorito de calcio Hipoclorador.

SUMMARY

The city of Sigchos together with its mayor, Dr. Hugo Arguello, is worried by the wicked functioning of the system of drinkable water, overcoat in winter epoch, where the same one manages to collapse. The municipality finds as priority to give a good service to the residents; for this reason, the present project it is directed to improving the quality of the water for the urban zone of Sigchos, offering an improvement of the plant of treatment of drinkable water, which principal problem is the presence of color and of solid in suspension in the water of consumption; in turn, it is wanted to announce to the citizenship the quality of the water that is consuming.

To offer a good service to the residents of this region, always be the objective of the government in turn or a sectional administration.

This project has as end to determine the quality of the water, this implies to know what parameters they are affecting the population of Sigchos, and to apply corrective policies, in case this are pertinent.

In interviews supported with the mayor of Sigchos's City, he informed that the drinkable water, in certain epochs of the year, presents color and material in suspension; whereas, in the interviews supported with the settlers, it was possible to observe a great dissatisfaction since the constant this water with coloration. Several persons mentioned that in previous dates the water was working out completely black and with excessive quantity of sediments.

The legal base that sustains the present project it is constituted for:

- Constitution of the Republic of the Ecuador;
- Water law;
- Code of the Health;
- Text Unified of Environmental Secondary Legislation;
- Linked Procedures NTE INEN 1108:2006; NTE INEN 2169:98; NTE INEN 2176:98;
- Procedures for the Study and System design of Drinkable Water; and
- Regulation of Waste water for Populations Bigger than 1000 inhabitants.

The application of the methodology included four stages that were:

- a. The study of efficiency of the processes, which consists of an analysis of field, laboratory and cabinet;
- b. Analytical physical study of the characteristics chemistries of the water in two places of sampling (compilation, tank of water Chlorination and domiciliary assaults) which permits to determine the parameters of the norm taking as base the NTE INEN 1108:2006;
- c. Application of the quality index to the analyses realized in the compilation, tank of chlorination and domiciliary assaults;
- d. Propose of improvement of the system of treatment of drinkable water, where the Manual of Maintenance for the plant of treatment is proposed, design of a tray of wash of sands, and the quantity of dilution is corrected of hypochlorite of calcium (HTH) in the hypo chlorinator.

Applying these practical, simple offers and of low economic cost, the system of treatment of drinkable water for Sigchos's city will improve notably.

Good functioning of the processes and a “good” quality of the water was obtained. But the application of the offers is very important in order that the service to the settlers is not simply good, but excellently. With the elaboration of this proposal is inhaled that for future the population of Sigchos improves its standard of living.

Among the conclusions more relevant that were obtained, it was that Sigchos's water is of good quality, no matter the several parameters that exist on the norm (NTE INEN 1108:2006). With the implementation of the given offers, the functioning of all the processes they will improve significantly. Among the summations but excellent that were obtained it was that the water gives Sigchos it is he/she gives good quality in spite of the fact that several parameters exist on the norm (NTE INEN 1108:2006). With the implementation he/she gives the given proposals, the operation gives all the processes they will improve significantly.

Describers: Treatment, Drinkable, Efficiency; Quality; Manual; Maintenance; Tray of sands laundry; Hypochlorite of calcium hypo chlorinator.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Marco legal.....	2
1.4.1 Constitución de la República del Ecuador	3
1.4.2 Ley de aguas.....	3
1.4.3 Código de la salud.....	3
1.4.4 Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).....	4
1.4.5 Normas conexas.....	4

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES	5
2.1 Características generales de la población	6
2.1.1 Aspectos socio-económicos.....	6
2.1.2 Vías de comunicación.....	9
2.2 Infraestructura sanitaria existente.....	9

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EXISTENTE DE AGUA POTABLE.....	11
3.1 Captación.....	11
3.2 Conducción.....	12
3.3 Tratamiento y distribución.....	13
3.3.1 Tratamiento	13
3.3.2 Red de Distribución.....	18

CAPITULO IV

TRABAJOS DE CAMPO.....	20
4.1 Fuente de abastecimiento.....	20
4.2 Aforo y toma de muestras para análisis de agua.....	21
4.2.1 Aforo.....	21
4.2.2 Toma de muestras para análisis del agua.....	24

CAPÍTULO V

EFICIENCIA DE LOS PROCESOS.....	26
5.1 Verificación de campo y laboratorio.....	26
5.1.1 Medición en campo.....	26
5.1.2 Medición en laboratorio.....	27
5.2 Verificación de gabinete.....	29
5.2.1 Verificación en el Proceso de Sedimentación.....	29
5.3 Verificación en base a datos pluviométricos.....	36

CAPÍTULO VI

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA.....	37
6.1 Aspectos generales.....	37
6.2 Parámetros analizados.....	37
6.2.1 Características físicas.....	38
6.2.2 Características químicas.....	44
6.2.3 Características bacteriológicas.....	65
6.3 Metodología utilizada.....	66
6.4 Resultados obtenidos de los análisis y evaluación.....	70
6.4.1 Captación.....	71
6.4.2 Tanque de Cloración.....	73
6.4.3 Acometidas domiciliarias.....	76
6.5 Interpretación de los resultados de laboratorio.....	77
6.5.1 Captación.....	77
6.5.2 Tanque de cloración.....	80
6.5.3 Acometidas domiciliarias.....	83
6.6 Verificaciones.....	84
6.6.1 Metodología de muestreo.....	84
6.6.2 Resultados obtenidos.....	86

CAPÍTULO VII

CALIDAD DEL AGUA.....	88
7.1 Algoritmo del Método Hanssen.....	88
7.2 Índices de Calidad de Agua.....	90
7.2.1 Índice de calidad del agua, IC.....	90
7.2.2 Índice de calidad del agua, WQI.....	91
7.3 Análisis de la Calidad del Agua.....	95
7.3.1 Calidad del agua en la Captación.....	95
7.3.2 Calidad del agua en el Tanque de Cloración.....	105
7.3.3 Calidad del agua en las Acometidas Domiciliarias.....	108
7.4 Conclusión.....	110

CAPÍTULO VIII

PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	111
8.1Diseño de bandeja de lavado	111
8.2 Manual de Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Ciudad de Sigchos.....	112
8.3 Determinación de la dosis adecuada de cloro (Hipoclorito de calcio, HTH) ...	113
8.3.1Aforo del caudal de entrada al tanque.....	114
8.3.2Cálculo de la dosis de cloro	115
8.3.3Conclusión	116

CAPITULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SIGCHOS.....	117
9.1 Conclusiones.....	118
9.2 Recomendaciones	119

CAPITULO X

BIBLIOGRAFÍA	120
--------------------	-----

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Recursos humanos y físicos de servicio en salud para Sigchos.
- Tabla 2.** Uso de suelo en la ciudad de Sigchos.
- Tabla 3.** Actividades productivas de la Parroquia Sigchos.
- Tabla 4.** Características de la toma de muestras físico - químicas.
- Tabla 5.** Características de la toma de muestras bacteriológicas.
- Tabla 6.** Entrada y salida de STD en el sistema de tratamiento.
- Tabla 7.** Entrada de sólidos en suspensión a cada proceso del sistema de tratamiento.
- Tabla 8.** Calidad del Agua por concentración de DBO₅.
- Tabla 9.** Procedimientos de laboratorio. Método estándar APHA, AWWA, WPCF.
- Tabla 10.** Parámetros analizados. Captación/muestra 1
- Tabla 11.** Parámetros analizados. Captación/muestra 3
- Tabla 12.** Parámetros analizados. Tanque de cloración/muestra 2
- Tabla 13.** Parámetros analizados. Tanque de Cloración/muestra 4.
- Tabla 14.** Parámetros analizados. Acometidas domiciliarias.
- Tabla 15.** Evaluación del punto de muestreo. Captación
- Tabla 16.** Evaluación del punto de muestreo. Tanque de Cloración
- Tabla 17.** Evaluación de La evaluación realizada en las acometidas domiciliarias.
- Tabla 18.** Evaluación de la concentración de hierro
- Tabla 19.** Descriptores y colores propuestos para presentar el índice general WQI
- Tabla 20.** Valores de muestreo in situ. (13/02/2007 y 24/04/2007)
- Tabla 21.** Aplicación del método Hanssen para pH (muestra 1)
- Tabla 22.** Aplicación del método Hanssen para pH (muestra 3)
- Tabla 23.** Aplicación del método Hanssen para STD (muestra 1)
- Tabla 24.** Aplicación del método Hanssen para STD (muestra 3)
- Tabla 25.** Aplicación del método Hanssen para Temperatura (muestra 1)
- Tabla 26.** Aplicación del método Hanssen para Temperatura (muestra 3)
- Tabla 27.** Valor de I_I de los parámetros de interés
- Tabla 28.** Resultados de los cálculos para el índice de calidad del agua

Tabla 29. Valoración de muestras tomadas en la captación para determinar el índice de calidad (IC)

Tabla 30. Valoración de las muestras tomadas en el tanque de cloración en diferentes épocas para determinar el índice de calidad (IC)

Tabla 31. Valoración de las muestras tomadas en las acometidas domiciliarias en diferentes épocas para determinar el índice de calidad (IC)

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Disposición de los filtros

Gráfico 2. Cobertura de agua potable, ciudad de Sigchos

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Función de subíndice para demanda de oxígeno en el NSF WQI
- Figura 2.** Función de subíndice coliformes fecales en el NSF WQI
- Figura 3.** Función de subíndice para pH en el NSF WQI
- Figura 4.** Función de subíndice para Demanda Bioquímica de Oxígeno en el NSF WQI
- Figura 5.** Función de subíndice para Nitrato en el NSF WQI
- Figura 6.** Función de subíndice para Fosfatos totales en el NSF WQI
- Figura 7.** Función de subíndice para Desviación de Temperatura del Equilibrio NSF WQI
- Figura 8.** Función de subíndice para Turbidez en el NSF WQI
- Figura 9.** Función de subíndice para Sólidos Totales en el NSF WQI
- Figura 10.** Ajuste lineal para pH (muestra 1)
- Figura 11.** Ajuste lineal para pH (muestra 3)
- Figura 12.** Ajuste lineal para STD (muestra 1)
- Figura 13.** Ajuste lineal para STD (muestra 3)
- Figura 14.** Ajuste lineal para Temperatura (muestra 1)
- Figura 15.** Ajuste lineal para Temperatura (muestra 3)

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Captación con detalles

Fotografía 2. Tubería expuesta cubierta con hormigón

Fotografía 3. Sedimentador 1 y 2

Fotografía 4. Tanque filtración y tanque de reserva.

Fotografía 5. Caseta del hipoclorador y tanque de reserva.

Fotografía 6. Sólidos sedimentables

Fotografía 7. Espectrofotómetro de luz.

Fotografía 8. Reactivo utilizado para la medición de cloro libre residual.

Fotografía 9. Vegetación que se encuentra en la cuenca del afluente

Fotografía 10. 200 m río arriba de la captación.

Fotografía 11. Fondo del río con tonalidad amarilla y tomate

Fotografía 12. Kit para la elaboración de pH y cloro libre residual

Fotografía 13. Valoración de Cl_2 en campo.

Fotografía 14. Algas presentes en el tanque sedimentador

Fotografía 15. Algas presentes en el tanque de filtración

ANEXOS

Anexo 1. Manual de Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable

Anexo 2. NTE INEN 2176:98

Anexo 3. NTE INEN 2169:98

Anexo 4. NTE INEN 1108:2006

Anexo 5. Resultados analíticos del estado del agua. Captación, Tanque de Cloración y
Acometidas Domiciliarias

Anexo 6. Procedimientos. HACH 4000/DR

Anexo 7. Ubicación en planta y diseño de la bandeja de lavado de arenas

Anexo 8. Presupuesto referencial para la bandeja de lavado de arenas

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

La Ciudad de Sigchos junto con su alcalde, el Dr. Hugo Arguello, se encuentran preocupados por el mal funcionamiento del sistema de agua potable, sobretodo en época de invierno, donde el mismo llega a colapsar. El municipio encuentra como prioridad dar un buen servicio a sus moradores; por esta razón, el presente proyecto esta encaminado a mejorar la calidad del agua de la ciudad de Sigchos, zona urbana, por medio de la propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable, cuyo problema principal es la presencia de color y de sólidos en suspensión en el agua de consumo; a su vez, se desea dar a conocer a la ciudadanía la calidad del agua que está consumiendo.

El crecimiento de una población se mide con el índice de salud y educación. Si no se da este “crecimiento”, se suscitan problemas como: la falta de prioridad que se le da al sector, la escasez de recursos económicos, la carencia de sostenibilidad de los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento, los malos hábitos de higiene y el saneamiento inadecuado de entidades públicas como hospitales, centros de salud y escuelas.

Uno de los problemas que presenta la Parroquia es que tiene un índice elevado de migración, especialmente a Latacunga. Si se dotara de los servicios básicos a Sigchos, la migración se detendría teniendo más producción en el sector agrícola de la región.

Con una mejor calidad de agua potable la población tendría un mejor estilo de vida.

1.2 Objetivos

Objetivo General:

- Determinar la calidad del agua que están consumiendo los pobladores de la ciudad de Sigchos.

Objetivos Específicos:

- Determinar la calidad del agua con la que se abastece el sistema.
- Determinar la eficiencia de los procesos.
- Determinar la causa del mal funcionamiento de la planta de tratamiento.
- Mejorar la calidad del agua para el consumo humano en la Ciudad de Sigchos, zona urbana.

1.3 Justificación

Brindar un servicio óptimo a los pobladores de una región siempre será el objetivo de un jefe de gobierno, de un jefe seccional.

El proyecto de tesis realizado tiene como fin determinar la calidad del agua, esto implica saber qué parámetros le están afectando y dar medidas correctivas, si fuese el caso.

En entrevistas mantenidas con el señor Alcalde de la Ciudad de Sigchos informó que el agua potable, en ciertas épocas del año, presenta color y material en suspensión; mientras que, en las entrevistas mantenidas con los pobladores, se pudo observar un gran descontento ya que el agua continuamente esta con coloración. Varias personas mencionaron que en fechas anteriores el agua salía completamente negra y con excesiva cantidad de sedimentos.

1.4 Marco legal

La base legal que sustenta el presente proyecto de tesis esta constituido por:

- Constitución de la República del Ecuador
- Ley de Aguas

- Código de la Salud
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
- Normas conexas:
 - NTE INEN 1108:2006
 - NTE INEN 2169:98
 - NTE INEN 2176:98
 - Normas para el Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 habitantes (del ex IEOS).

1.4.1 Constitución de la República de Ecuador

La Constitución menciona en el Título III, Capítulo 4, Sección cuarta De la Salud, Art. 42 que: “El Estado garantizará el derecho a la salud, su promoción y protección, por medio del desarrollo de la seguridad alimentaria, la provisión de agua potable y saneamiento básico, el fomento de ambientes saludables en lo familiar, laboral y comunitario, y la posibilidad de acceso permanente e ininterrumpido a servicios de salud, conforme a los principios de equidad, universalidad, solidaridad, calidad y eficiencia.”

1.4.2 Ley de aguas

En la Ley de Aguas, se indica en el Título V De las concesiones del Derecho de Aprovechamiento de Aguas para Uso Doméstico y de Saneamiento, Art. 37; que: Las concesiones de agua para consumo humano, usos domésticos y saneamientos de poblaciones, se otorgarán a los Municipios, Consejos Provinciales, Organismos de Derecho Público o Privado y particulares.

1.4.3 Código de la Salud

Los artículos del 13 al 18, del Capítulo II Abastecimiento de Agua Potable para Uso Humano, Título I, Libro II, del Código de la Salud indican que el agua potable es aquella que, por sus características físicas, químicas y bacteriológicas, es apta para el consumo humano; donde el aprovisionamiento en cantidad y calidad suficientes es

obligación del Estado, por sí o por medio de las Municipalidades, de los Consejos Provinciales y de otras entidades.

Toda persona está obligada a contribuir al mantenimiento, operación, utilización y ampliación de los servicios de agua potable. El Ministerio de Salud Pública mantendrá bajo vigilancia técnica y sanitaria todo suministro de agua potable, a fin de asegurar su pureza y calidad, pudiendo clausurar el servicio que no cumpla con las normas y disposiciones vigentes.

1.4.4 Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)

Dentro del libro VI, Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes: Recurso agua; se mencionan la norma APHA y AWWA, aplicables al proyecto de tesis.

1.4.5 Normas conexas

El trabajo se rige de manera estricta a las especificaciones dadas por la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización 1108:2006 (NTE INEN), AGUA POTABLE: REQUISITOS. Donde se dan a conocer los límites permisibles de los parámetros indicados por esta norma.

Ciertas normas conexas al proyecto, son las mencionadas en el TULAS:

- INEN 2169:98
AGUA: CALIDAD DEL AGUA, MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS
- INEN 2176:98
AGUA: CALIDAD DEL AGUA, MUESTREO Y TÉCNICAS DE MUESTREO

Las Normas para el Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 habitantes (del ex IEOS), también son aplicables a varias fases del proceso de análisis de calidad del agua y eficiencia de la planta de tratamiento.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

El cantón Sigchos se encuentra ubicado en el extremo nor-occidental de la provincia de Cotopaxi, a 00° 42' 03'' de latitud sur y a 78°53'14'' de latitud oeste . Colinda con los cantones Latacunga, Pujilí y La Maná de la misma provincia y con los cantones Santo Domingo de los Colorados y Mejía de la provincia de Pichincha.

Su superficie total es de 131.160 ha que se encuentran inscritas en la parte alta y media de la hoya del río Toachi formada entre los sistemas montañosos de la Cordillera occidental de los Andes y la cordillera de Chugchilán, cubriendo tres zonas de vida: la de páramo, valle y subtrópico. Consta de cinco parroquias:

- Las Pampas
- Palo Quemado
- Sigchos
- Chugchilán
- Isinliví

El Cantón Sigchos es considerado el tercer cantón más pobre del Ecuador, y Chugchilán la parroquia más pobre (GMS, 2002).

En lo que respecta a los ejes de priorización del cantón Sigchos, se describen de la siguiente manera:

- Agua – saneamiento
- Educación
- Vialidad
- Electrificación
- Desarrollo comunal
- Producción

La Parroquia Sigchos tiene una población de 1.272 habitantes en la zona urbana, basados en el censo de población del INEC en el 2001, lo que representa una densidad poblacional de 7.42 habitantes por hectárea, con una proyección de 2040 habitantes para

el 2005, es decir, 8.5 habitantes por hectárea. Las proyecciones fueron realizadas por el Gobierno Municipal de Sigchos (GMS) en el 2005.

2.1 Características generales de la población

La Parroquia Sigchos, del Cantón Sigchos, de la Provincia del Cotopaxi se encuentra a 68 km de Latacunga y a 160 km de Quito. La superficie es de 1,72 km². Las coordenadas geográficas de la parroquia son 17734094E y 9921756N con una altitud de 2880 msnm.

El clima es el característico de la zona, ecuatorial mesotérmico semihúmedo. El área del cantón esta localizada en la zona interandina. Temperatura promedio entre 12°C y 18°C. Precipitaciones entre los 800 y 1.200mm. Tiene pendientes entre 40 y 60%, lo que indica un gran potencial a erosión, en especial por la agricultura.

Las estaciones que se presentan son invierno y verano, donde el invierno se extiende desde el mes de enero hasta el mes de mayo y los meses restantes corresponden a la época de verano.

2.1.1 Aspectos socio-económicos

Como parroquia principal y cabecera cantonal tiene en su centro urbano todos los servicios administrativos como: Gobierno Municipal, iglesia, Jefatura Política, Notaría, Centro de Salud del Ministerio de Salud Publica y Centro de Salud Municipal.

a. Salud

En la tabla presentada a continuación se encuentran detallados los servicios de salud que posee la Ciudad de Sigchos:

TABLA 1

RECURSOS HUMANOS Y FÍSICOS DE SERVICIO EN SALUD PARA SIGCHOS

RECURSOS HUMANOS Y FÍSICOS DE SERVICIO EN SALUD PARA SIGCHOS	
PARROQUIA SAN MIGUEL DE SIGCHOS	
RECURSOS FÍSICOS	PERSONAL
1 SUBCENTRO DE SALUD	1 MEDICO
	1 ODONTÓLOGO
	1 OBSTETRIZ
	1 ENFERMERA
	1 AUXILIAR DE ODONTOLOGÍA
	1 INSPECTOR SANITARIO
1 CENTRO DE SALUD MUNICIPAL	1 MEDICO
	1 ODONTÓLOGO
	1 ENFERMERA
	1 LABORATORISTA
2 PUESTOS DE SALUD	2 PROMOTORES DE SALUD
2 DISPENSARIOS DE S.S.C.	2 ENFERMERAS
1 UNIDAD MÓVIL	1 ODONTÓLOGO
	1 ENFERMERA

Fuente: PDEC Sigchos - GMS¹

Elaborado por: GMS

b. Educación

Entre los centros de educación hay que destacar: al Colegio Técnico Industrial Sigchos, la Unidad Educativa a Distancia "Monseñor Leonidas Proaño" y el Colegio Municipal "Juan Montalvo", sus escuelas: "Dr. César Suárez Salazar" y "Federico González Suárez", reciben a los docentes de gran parte del cantón y fuera de él.

c. Servicios básicos

Agua.- el abastecimiento de agua para consumo domiciliario de la zona urbana de la Parroquia Sigchos es a partir de dos diferentes captaciones, la de Collanes, la cual es agua entubada, y la de un afluente del Río Cristal, la cual es agua potabilizada.

Alcantarillado.- la ciudad de Sigchos cuenta con un sistema de alcantarillado en buen estado, aunque este no posee un sistema de tratamiento de aguas negras y grises previa a su descarga.

¹ Plan de Desarrollo Estratégico del Cantón Sigchos – Gobierno Municipal de Sigchos. (PDEC Sigchos - GMS)

Energía eléctrica.- el sistema de energía eléctrica abastece al 88.12% de la población de la zona urbana del la Parroquia Sigchos. El consumo promedio es de 1255 Kw/h, con una proyección para el año 2005 de 4763Kw/h. Las proyecciones fueron realizadas por el Gobierno Municipal de Sigchos (GMS) en el 2005.

Recolección de basura.- El servicio de recolección de basura se lo realiza mediante un carro recolector en los días lunes, jueves y domingo. Los desechos son depositados en una área determinada para la disposición de residuos sólidos.

d. Uso de suelo

En la siguiente tabla se representa la preferencia de vivienda ocupacional por la población:

TABLA 2
USO DEL SUELO EN LA CIUDAD DE SIGCHOS

1. Uso del suelo	Área (Ha)	% área/uso
Residencial-comercial	65.55	38.22%
Educación	3.26	1.90%
Salud	0.27	0.16%
Comercio	1.46	0.85%
Recreación (parques y áreas verdes)	2.98	1.74%
Administración	0.64	0.37%
Servicios	2.55	1.49%
Vías	21.34	12.44%
Vacante	69.86	40.73%
Quebrada	3.60	2.10%
Área total de la ciudad	171.52	100.00%

Fuente: PDEC Sigchos

Elaborado por: GMS, octubre del 2005

e. Actividades productivas

La población de la ciudad de Sigchos se dedica principalmente a actividades pecuarias en especial al ganado vacuno, lanar y porcino. La agricultura presenta un porcentaje bajo, como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 3
ACTIVIDADES PRODUCTIVAS DE LA
PARROQUIA SIGCHOS

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS	%
Ganadería	70
Agricultura	30
Turismo	0
Otros	40

Fuente: PDEC Sigchos - GMS

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

2.1.2 Vías de comunicación

La Ciudad de Sigchos se encuentra a 65Km. de Latacunga y a 135Km. del Distrito Metropolitano de Quito. El tiempo aproximado en cooperativa de bus de Latacunga a Sigchos es de 2h30, a su vez el tiempo de Quito a Latacunga es de 2h00. La movilización entre la Latacunga y Sigchos se la puede hacer a través de 5 cooperativas: “Reina de Sigchos”, “Nacional Saquisilí”, “Iliniza”, “14 de Octubre” y “Vivero”.

2.2 Infraestructura sanitaria existente

Por información tomada del departamento de Obras Públicas del Ilustre Municipio de Sigchos, se conoce que la Planta de Tratamiento de Agua Potable, se la construyó desde el año 1995. En dicho año la municipalidad con fondos propios, inicia la construcción del Sistema de Captación y distribución desde un afluente del Río Cristal, ubicado en la hacienda San Gabriel, hasta el tanque de reserva de 50m³, ubicado en el sector del calvario en la Ciudad de Sigchos. En el año 2002, con el apoyo de Proyecto de Desarrollo Rural en la Provincia de Cotopaxi (PRODEPINE) y mediante administración directa, se realizó la construcción de los tanques de filtros y un tanque de reserva. En el año 2003, con la fundación de Terre Hommes Italia, construye el tanque sedimentador que está ubicado a 200m de la captación.

Por datos tomados del PDEC Sigchos, elaborado en el 2005, el área de cobertura de servicio de agua para potable en la ciudad de Sigchos es de aproximadamente 1,10 km²,

y corresponde al 63.31 % del área total. En la actualidad, la distribución del agua potable se ha extendido a un ramal más, para el sector de la calle Sigchila, esta expansión dio pie a que el servicio llegue al sector de San José.

Al presente, el Sistema de Tratamiento de Agua Potable consta de captación con sistema de azud con rejilla lateral, alimentada por el Río Cristal a una cota de 3.480 msnm, donde, el caudal máximo captado en invierno es de 6 l/minuto y disminuye hasta 4 l/minuto en verano. A 200m de la captación se encuentran dos sedimentadores unidos con un área de 26 m² cada uno; dos filtros lentos con un área de 65 m² c/u; dos tanques de reserva, uno localizado junto a los filtros con una capacidad de 450 m³ y el otro localizado en la caseta de cloración con una capacidad de 100 m³; la desinfección se la hace mediante cloración (hipoclorito de calcio al 70%, HTH). La dosificación se la hace a través de un hipoclorador por goteo. (Memorias técnicas del Departamento de Obras Públicas de la Ciudad de Sigchos, 2002)

Actualmente, el consumo total de agua potable de la población de Sigchos en invierno y verano es de 4l/s y 5l/s respectivamente. (Datos tomados en campo, 2007)

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EXISTENTE DE AGUA POTABLE

3.1 Captación

La planta de tratamiento se abastece de las aguas del Río Cristal a una cota de 3324m.s.n.m. El área de la cuenca del río aportante es de 22.2 km². La profundidad del afluente es de aproximadamente 0.50m. En el sitio donde esta ubicada la captación, se presenta vegetación abundante típica de páramo. El lecho del río presenta color tomate, lo que es indicio de que el agua de dicho río posee una carga importante de hierro.

La estructura de captación existente es de tipo rejilla de fondo con azud de derivación, utilizada para garantizar la toma durante períodos de estiaje y niveles de captación más altos que el natural en el río. Esta obra contempla un desarenador junto a la estructura de captación. La toma con rejilla de fondo tiene la siguiente configuración:

- Azud de derivación de baja altura (el agua pasa a través de orificios de descarga libre hacia el desarenador de 3.30 x 1.20 x 1.90 m). El azud tiene una altura de 2.35m, con una losa de hormigón fundido y compuerta de desagüe de 0.50m.
- El caudal de captación de la toma con rejilla de fondo varía entre el 40% y el 70% del caudal del río. Es diseñada con el fin de garantizar el tránsito de sedimentos gruesos por sobre los orificios de la toma, es decir, impedir el ingreso de sedimentos gruesos al desarenador.
- Por medio de vasos comunicantes el agua captada del desarenador pasa a la entrada de la toma.
- Compuerta de control final del desarenador.

Para evitar una acumulación de sedimentos debido a la presencia del azud, se debe realizar periódicamente mantenimiento, de esta manera se facilitará que la rejilla de fondo realice correctamente su trabajo. Mayores especificaciones se encontrarán en el ANEXO 1.



Fotografía No. 1.- Captación con detalles. a. Rejilla de fondo; b. Azud; c. Desarenador

3.2 Conducción²

La conducción desde la captación hasta los tanques de cloración ubicados en la ciudad de Sigchos tiene una longitud de 10.5602 km. La conducción es por tubería PVC con diámetro de 200mm al inicio, en la abscisa 1500 sufre una reducción a 160mm, esta continua hasta la abscisa 7500 donde sufre una reducción de 110mm, que se mantiene hasta la abscisa 9000 donde se encuentra otra reducción, a 63mm; en la abscisa 9097 hay una ampliación a 90mm a partir de esta se realiza una reducción y ampliación más de 63mm y 90mm respectivamente, para que en la abscisa 10200 sufra una reducción a 63mm, la cual llega a los tanques de agua potable de Sigchos. La disminución de diámetro en ciertos tramos de la conducción es debido a que pasan por quebradas, al realizar las reducciones se incrementa la velocidad del fluido. En todo el trayecto se atraviesan alrededor de 10 quebradas, de las cuales solo una necesitó infraestructura para su paso; cada cierta distancia están ubicadas válvulas de aire y válvulas de desagüe. La velocidad y caudal de flujo calculados para la tubería son de 0.55 m/s y 10 l/s respectivamente. La tubería se encuentra instalada a 1 m de profundidad y las secciones expuestas se encuentran recubiertas por hormigón.

² Haro G., 1993 (Plano 6, Planteamiento de la Conducción)



Fotografía No. 2.- Tubería expuesta cubierta por hormigón.

3.3 Tratamiento y distribución

3.3.1 Tratamiento

a. Tanque sedimentador

La tubería proveniente de la captación se conecta con el tanque rompe presiones previo al tanque sedimentador. Ingresa por tubería de 63mm. En la estructura del tanque sedimentador se encuentran en primer plano rejilla de desbaste de 15cm, utilizados para dar una mayor retención de sólidos suspendidos. El área del tanque sedimentador es de 18m^2 , posee una profundidad de 1.95m. La cota del nivel máximo de agua es de 3323.37 m.s.n.m.

En las visitas realizadas al tanque de sedimentación, se pudo observar que las paredes tienen una mancha característica de presencia de algas, por lo que se recomienda dar mantenimiento, tal como se indica en el ANEXO 1.



Fotografía No. 3.- Sedimentador 1 y 2

b. Tanques filtradores³

La descripción de los filtros lentos hace referencia a la documentación de respaldo encontrada en las memorias técnicas del Sistema de Tratamiento de Agua Potable de la Ciudad de Sigchos. Esta documentación de respaldo pertenece a la Memoria Descriptiva de los Filtros lentos, Proyecto de Agua Potable para Comunidades del Nor-occidente de la Ciudad de Quito elaborado por la División de Estudios y Diseños de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable Quito (EMAAP-Q, 1999).

La tubería de conducción proveniente del tanque sedimentador, se conecta al cajón de distribución, el cual alimenta al Filtro N°1 y al Filtro N°2. El sistema de filtración es de tipo lento de flujo descendente.

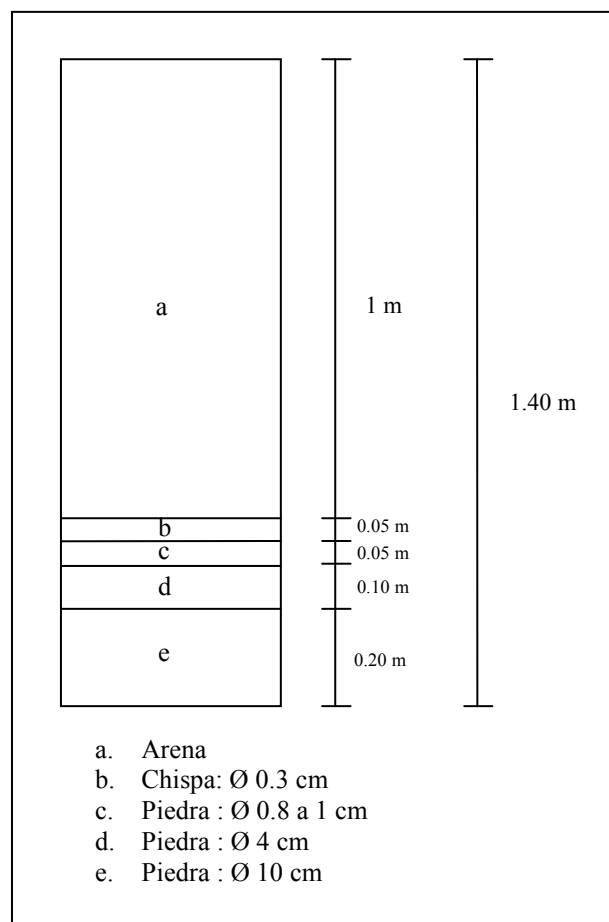
El drenaje de filtrado se lo realiza mediante tubería PVC, con presión perforada de ramales laterales que se conectan a un solo ramal sin perforación.

³ Memoria Descriptiva de EMAAP-Q, 1999

La velocidad en los ramales laterales deberá ser menor o igual a 0.10m/s y en el ramal principal no sobrepasará los 0.25m/s. En los ramales laterales se utiliza tubería PVC 90mm de 1.25 Mpa E/C con perforaciones en su parte inferior y por ende se tiene una velocidad de salida de 0.06m/s en condiciones normales y de 0.09m/s en caso de mantenimiento de una de las unidades. En el ramal principal se utiliza tubería PVC 200mm de 1.25 Mpa E/C sin perforaciones que permita desalojar el agua filtrada con una velocidad de 0.19m/s en operación normal y de 0.28m/s en períodos cortos de mantenimiento de una de las unidades.

La disposición del material de filtración es el siguiente:

GRÁFICO 1
DISPOSICIÓN DE LOS FILTROS



Fuente: Documentación. Municipio de Sigchos
Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

El mantenimiento de los filtros es de vital importancia para poder mantener una buena calidad en el proceso. Para la limpieza requiere ser removido el estrato

superior del filtro (1 – 2 cm), cada vez que estos hayan experimentado la reducción notoria de su tasa de filtración y por ende el espejo de aguas haya llegado al nivel máximo admisible. En el ANEXO1 se encuentra más detallado como realizar un adecuado mantenimiento.

El sistema no posee maquina de retro lavado, el cual es aplicado para limpiar los filtros ya saturados; en bibliografía consultada (EMAAP, filtros lentos proyecto agua potable para comunidades del nor-occidente de la ciudad de Quito), se recomienda que para filtros pequeños se diseñen cajones de lavado, los cuales se abastecen con agua limpia filtrada necesaria para lavar mediante agitación la arena sucia. Mediante un vertedero frontal se controla el nivel del agua para evitar fugas y desperdicio del material de filtrado. Una vez lavada la arena, se procederá a extraerla del cajón de lavado se almacenará para su próxima reposición. Paralelamente, se realizaron consultas a los funcionarios del departamento de Estudios y Diseños en la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable (EMAAP). Ellos en base a experiencia y experticia recomendaron que se diseñe una bandeja de lavado de arenas, el cual es un sistema manual. Este método para lavar arenas, indicaron los funcionarios, es una opción económica y de fácil manipulación.



Fotografía No. 4.- a. Tanques de Filtración; b. Tanque de Reserva.

c. Tanque de reserva

Como ya se mencionó, el tanque de reserva tiene una capacidad de 400m^3 . Está construido con armaduras de losa de cubierta, de pared, de piso, de cimentación, drenes, sumidero y planilla. La entrada del agua filtrada al tanque de reserva se encuentra en la parte superior, esta apertura a su vez actúa como aireador.

En la parte inferior del tanque se encuentran paralelas la tubería de salida a la red de distribución y el desagüe.

d. Tanque de cloración

El tanque de cloración posee una capacidad de 100m^3 , junto a este se encuentra la caseta de cloración, la cual alberga un tanque con una capacidad de 500 l, el cual tiene la función de almacenar la solución de Hipoclorito de Calcio que sirve para dosificar agua conducida desde los tanques de filtración. La aplicación de la solución de Hipoclorito de Calcio es por goteo al tanque de cloración.

Posterior al análisis de las muestras tomadas en el tanque de cloración y en las acometidas domiciliarias, se determinará si la dosificación actual es la correcta. El mantenimiento se lo detalla en el ANEXO 1.



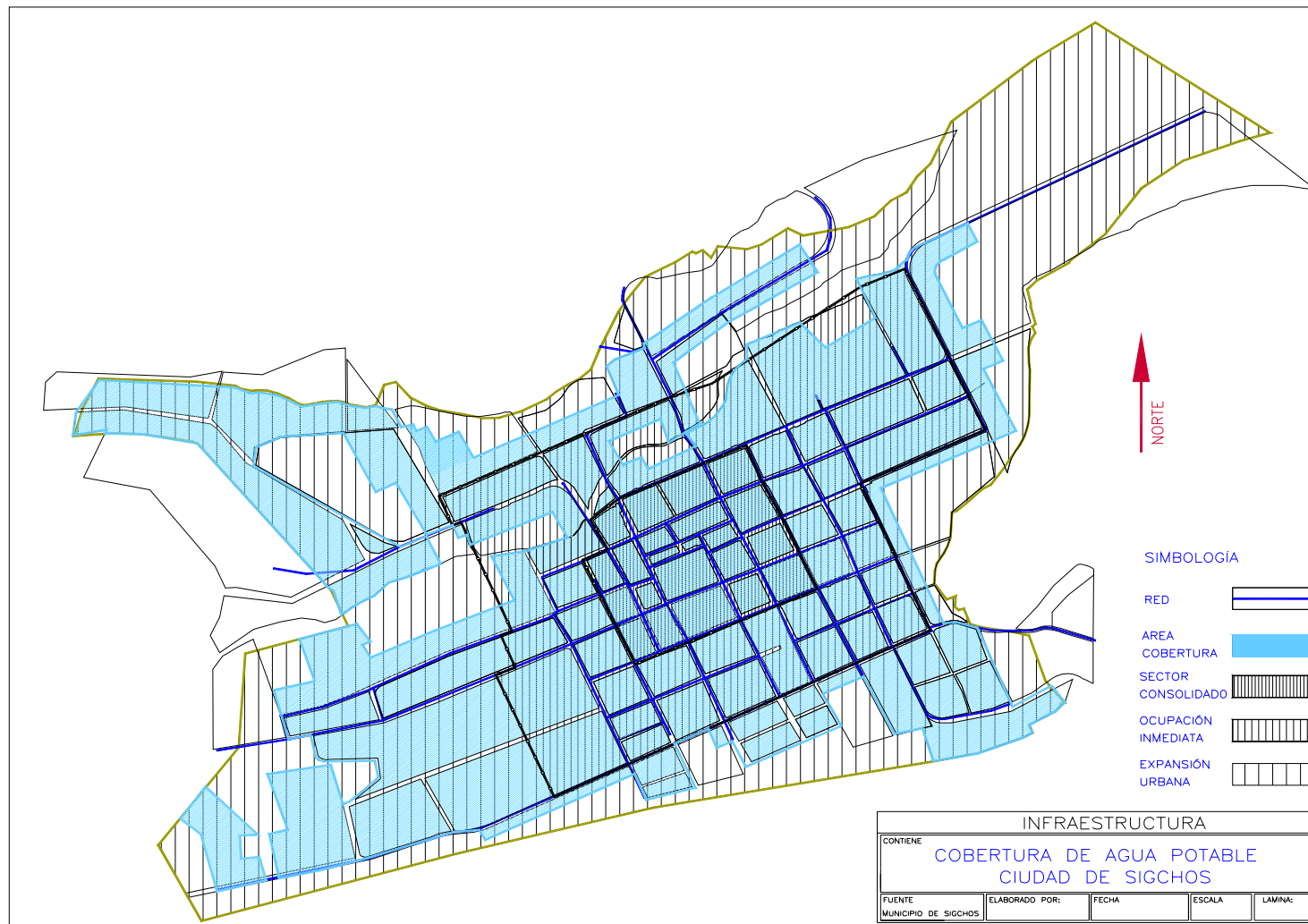
Fotografía No. 5.- a. Caseta del hipoclorador; b. Tanque de Reserva.

3.3.2 Red de distribución

El sistema de distribución está realizado con el fin de dividir los caudales a los usuarios una vez que esta ha sido potabilizada. Se encuentra incorporado al sistema un cajón repartidor mediante vertederos triangulares frontales de pared delgada. Esta estructura es aprovechada para ubicar válvulas de compuerta, las cuales permiten suspender el servicio en caso de reparaciones o mantenimientos de las conducciones respectivas. La tubería utilizada para la distribución es PVC 12mm.

La red no consta con división de caudales por sectores, lo que hace ineficiente el servicio al momento de la reparación de algún ramal, ya que corta el agua potable a todos los usuarios. Se tiene conocimiento que para mejorar el sistema se esta zonificando la distribución, a su vez, se va a incorporar a la red de distribución tanques rompe presiones e hidrantes.

GRÁFICO 2
COBERTURA DE AGUA POTABLE, CIUDAD DE SIGCHOS



Fuente: PDEC Sigchos
 Elaborado por: GMS, octubre del 2005

CAPITULO IV

TRABAJOS DE CAMPO

Constituyen un conjunto de actividades realizadas en las zonas en donde se va a ejecutar el proyecto motivo del estudio. Este conjunto de actividades va desde la toma de muestras de agua en la época de invierno y verano tanto en la captación como en el tanque de cloración, toma de muestras de agua en las acometidas domiciliarias; estas actividades van a la par para determinar la calidad de agua que están consumiendo los pobladores de la zona urbana de dicha parroquia. A su vez, se ha realizado pruebas de filtración de las muestras tomadas en los procesos de captación, sedimentación, filtración y acometidas domiciliarias, para determinar la carga de sedimentos, y así comprobar la eficiencia de los procesos.

Tanto en las muestras tomadas para determinar la calidad del agua como en las que son para determinar la eficiencia de los procesos del tratamiento del agua, se han medido parámetros *in situ*, como: pH, sólidos disueltos (STD), conductividad, salinidad y temperatura.

4.1 Fuente de abastecimiento

Son reservorios de agua de cualquier tipo, sean estas superficiales o subterráneas, cuya calidad física, química y bacteriológica sea tal que aplicando algún tipo de tratamiento resulte apta para el consumo humano.

Las fuentes comunes de agua dulce son:

- a. Aguas superficiales de ríos, lagos y embalses
- b. Agua subterránea de pozos, manantiales y galerías filtrantes

Por lo expuesto anteriormente, el tipo de abastecimiento es superficial de río. La planta de tratamiento se encuentra ubicada en el sector de la Argelia a 3324 m.s.n.m. La

distancia desde la captación hasta la ciudad es de 10.5602Km. ubicada a 2880 m.s.n.m. teniendo una diferencia de nivel media con el pueblo de 444m.⁴

4.2 Aforo y toma de muestras para análisis de agua

4.2.1 Aforo

Sección de aforo de un río, arroyo o canal, ya sea natural o preparado para tal efecto, en el cual se ha determinado la curva altura-caudal. De esa forma, cuando se requiere, midiendo el nivel, con una regla graduada implantada en el lugar, por interpolación en la curva, se podrá determinar el caudal líquido en la sección.

Para seleccionar una sección de aforo deben tenerse en cuenta algunos factores importantes, pero el más importante es tener la certeza de que la forma de la sección no cambia en el tiempo, es decir que se trata de un tramo de río o arroyo que no sufre socavación y no está en proceso de sedimentación.

Cuando estas características no se encuentran en el tramo en el cual interesa instalar la sección de aforo, deberá implementarse una obra, como por ejemplo un vertedero. Esta obra, según la dimensión del río o arroyo, puede llegar a ser una obra costosa, y en algunos casos puede resultar más conveniente determinar el caudal por otros métodos.

a. Aforo del afluente del Río Cristal que alimenta el Sistema de Tratamiento

Para determinar si la cantidad de agua que entra al sistema es mayor a la cantidad de agua que sale, se realizó la medición del caudal del afluente del Río Cristal a través de “Medidores de velocidad”. Este método trabaja en función al tiempo en que un objeto (liviano) se desplaza en una distancia X . se debe tener conocimiento del ancho y profundidad del río. La fórmula aplicada es la siguiente:

$$Q = A * v$$

Donde:

Q = es el caudal de entrada a calcularse

A = el área de desplazamiento del objeto

⁴ Datos tomados de los planos (Haro G., 1-16), 1993; y verificados en campo, 2007.

v = velocidad de movimiento del objeto

Para determinar un caudal representativo del afluente del Río Cristal, se optó por realizar el aforo por medidores de velocidad, diez veces.

Los cálculos para determinar los caudales siguieron los siguientes pasos:

RESOLUCIÓN

Cálculo del área de desplazamiento del objeto:

$$A = a \times l$$

$$A = 1.10 \times 3.8$$

$$A = 3.30 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad de desplazamiento del objeto:

$$v = d / t$$

$$v = 3.8 \text{ m} / 34.37 \text{ s}$$

$$v = 0.1101 \text{ m/s}$$

Cálculo del caudal del afluente del Río Cristal

$$Q = A \cdot v$$

$$Q = 3.30 \text{ m}^2 \cdot 0.1101 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = 0.3633 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 363.33 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$Q = 6 \frac{\text{l}}{\text{minuto}}$$

Sabiendo como se determina el caudal, se procede a calcular la media de los caudales medidos en diferentes períodos de tiempo:

Nº	CAUDAL MEDIDO (l/minuto)
Q ₁	6.055
Q ₂	5.631
Q ₃	5.954
Q ₄	5.893
Q ₅	6.152
Q ₆	6.061

Nº	CAUDAL MEDIDO (l/minuto)
Q ₇	6.125
Q ₈	5.751
Q ₉	5.983
Q ₁₀	5.702
PROMEDIO	5.931

b. Aforo en el Tanque de Cloración

La cantidad de cloro a aplicarse depende directamente del caudal de entrada al tanque de cloración. En el caso de Sigchos, la técnica aplicada para medir el caudal es la de “por tiempo de llenado”; donde, en un recipiente de 10 litros se tomo el tiempo que tardo en llenarse.

La fórmula aplicada fue la siguiente:

$$Q = \frac{v}{t}$$

Donde:

Q = caudal

v = volumen del recipiente

t = tiempo de llenado

Los caudales fueron medidos tanto en época de verano como en época de invierno, los cálculos del caudal fueron hechos para cada caso:

Caudal para invierno

Resolución:

t = 2 seg

v = 10 litros

Determinación del caudal

$$Q = \frac{10.\text{litros}}{2.\text{segundos}}$$

$$Q = 5 \frac{l}{s}$$

Caudal para verano

Resolución:

t = 2.5 seg

v = 10 litros

Determinación del caudal

$$Q = \frac{10.\text{litros}}{2.5\text{segundos}}$$

$$Q = 4 \frac{l}{s}$$

4.2.2 Toma de muestras para análisis del agua

a. Muestras para análisis físico y químico.

Los principios utilizados para realizar el muestreo de calidad de agua fueron los mencionados en la NTE INEN 2176:98 (Ver ANEXO 2) y en la NTE INEN 2169:98 (Ver ANEXO 3). En el siguiente cuadro se explica el lugar de toma de muestra, la cantidad, el envase y el tipo de muestreo que se utilizó:

TABLA 4
CARACTERÍSTICAS DE LA TOMA DE MUESTRAS. FÍSICO - QUÍMICAS

LUGAR		COORDENADAS	CANTIDAD	ENVASE	TIPO DE MUESTRA NTE INEN 2176:98
Captación		17729344E	4 litros	Plástico	Compuesta
		9920484N			
Tanque sedimentador*		17730127E	4 litros	Plástico	Puntual
		9922679N			
Filtros lentos *		17731616E	2 litros	Plástico	Puntual
		9922735N			
Tanque de cloración		17734092E	2 litros	Plástico	Puntual
		9922755N			
Acometidas domiciliarias	San José	17735449E	1 litro	Plástico	Puntual
		9921785N			
	Centro	17734855E	1 litro	Plástico	Puntual
		9922082N			
	Culacusi	17734478E	1 litro	Plástico	Puntual
		9922797N			

*El muestreo en estos puntos fue específico para realizar análisis físicos en laboratorio.

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

b. Muestras para análisis bacteriológico

Las muestras tomadas para el análisis bacteriológico, se las realizó en los siguientes lugares:

TABLA 5
CARACTERÍSTICAS DE LA TOMA DE MUESTRAS. BACTERIOLÓGICAS

LUGAR		COORDENADAS	CANTIDAD	ENVASE	TIPO DE MUESTRA NTE INEN 2176:98
Captación		17729344E	50 ml	Plástico	Puntual
		9920484N			
Tanque de cloración		17734092E	50 ml	Plástico	Puntual
		9922755N			
Acometidas domiciliarias	San José	17735449E	50 ml	Plástico	Puntual
		9921785N			
	Centro	17734855E	50 ml	Plástico	Puntual
		9922082N			
	Culacusi	17734478E	50 ml	Plástico	Puntual
		9922797N			

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

CAPÍTULO V

EFICIENCIA DE LOS PROCESOS

5.1 Verificación de campo y laboratorio

5.1.1 Medición en campo

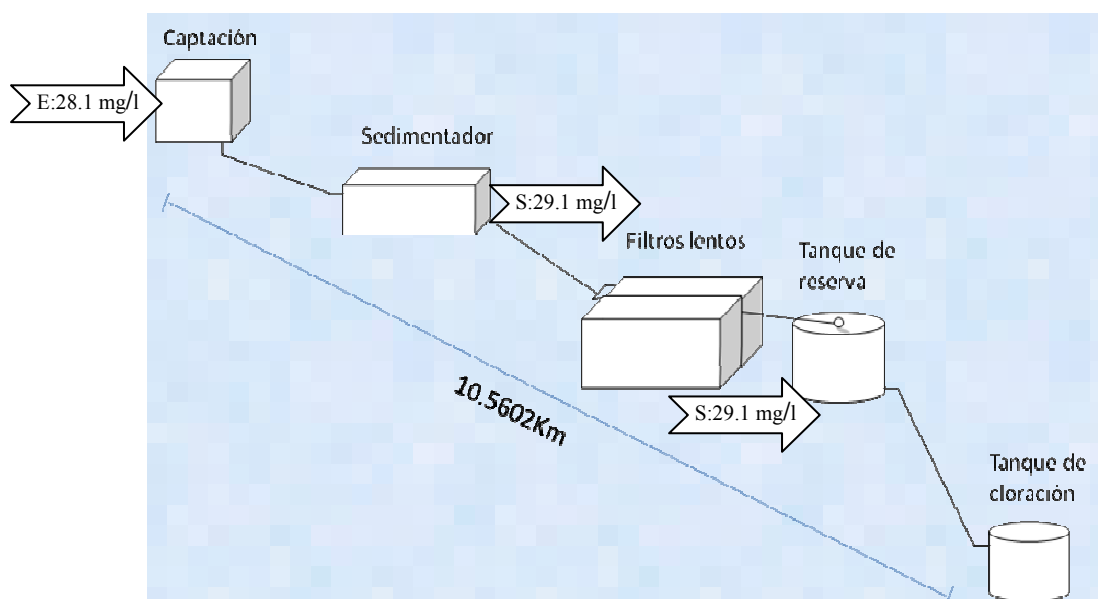
La verificación de eficiencia en campo se la hizo con el Equipo Multiparámetro. Las medidas fueron tomadas a la entrada de cada proceso. El parámetro que determina la eficiencia *in situ* es el sólido total disuelto (STD).

TABLA 6
ENTRADA Y SALIDA DE STD EN EL
SISTEMA DE TRATAMIENTO

	STD (mg/l)	
	ENTRADA (E)	SALIDA (S)
CAPTACIÓN	28,1	29,1
SEDIMENTADOR	29,1	29,1
FILTROS	29,1	29,1

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Con el siguiente esquema se explica con mayor detalle la cantidad de STD a la entrada y salida de los procesos:



Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

5.1.2 Medición en laboratorio

a. Para sólidos suspendidos

En el proceso utilizado para verificar la eficiencia en laboratorio, se utilizaron los siguientes materiales:

- Vaso de precipitación
- Papel filtro
- Embudo
- Balanza
- Estufa
- Desecador

El procedimiento aplicado consta de los pasos especificados a continuación:

- Mezclar la muestra tomada
- Pesar el papel filtro en seco
- Colocar el embudo con el filtro sobre el vaso de precipitación de 1000ml (1 litro)
- Verter la muestra agitada en cantidades pequeñas hasta que se complete el litro.
- Una vez filtrada la muestra, tomar el papel filtro y colocarlo en el desecador.
- Una vez seco el papel filtro, se lo pesa en la balanza

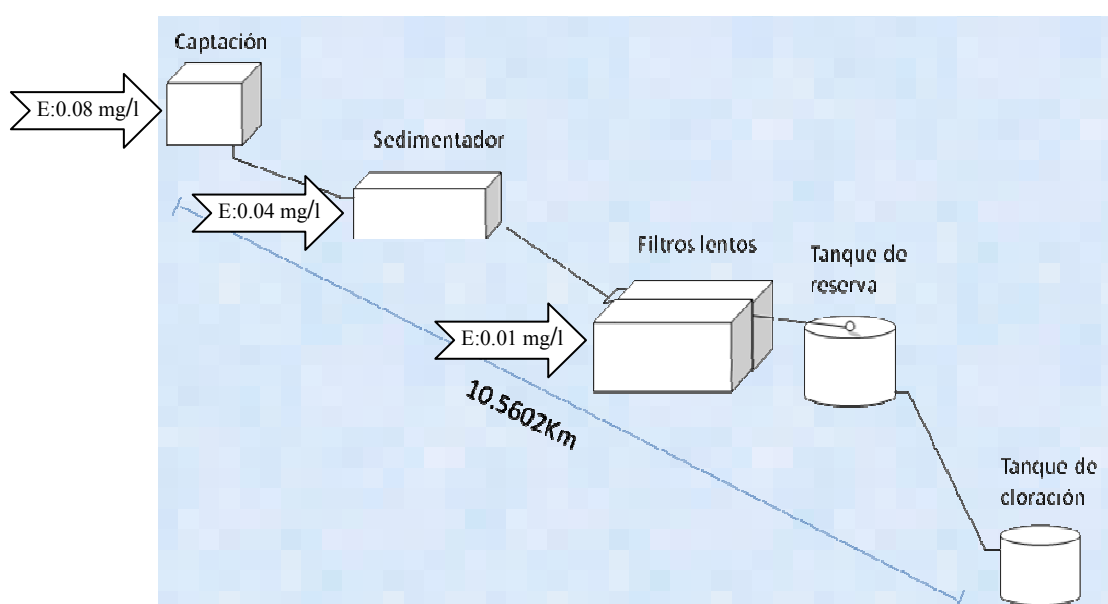
Después de realizados los pasos, por diferencia de pesos se determina si la tasa de sedimentación o retención de partículas en el sedimentador y filtros respectivamente, es la adecuada.

TABLA 7
ENTRADA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN A CADA
PROCESO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Proceso	Sólidos en Suspensión (g/l)	
	Muestreo 1	Muestreo 2
Captación (entrada)	0,08	3.3×10^{-3}
Sedimentador (entrada)	0.04	2.3×10^{-3}
Filtros (entrada)	0.01	2×10^{-3}

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Con el siguiente diagrama de flujo del primer muestreo, se explica con mayor detalle la cantidad de Sólidos en Suspensión que entran a cada proceso.



Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

b. Sólidos sedimentables

La medición de los sólidos sedimentables se realizó por medio de los Conos Imhoff; cuya metodología es colocar 1 l de agua en el cono, dejar reposar durante 1 hora el agua y posteriormente realizar la medición. Las unidades son ml/l.



Fotografía No. 6.- Sólidos sedimentables.

La cantidad de sólidos sedimentables medidos fue de 0.05ml/l.

5.2 Verificación de gabinete

La verificación de gabinete consiste en constatar mediante cálculos la eficiencia de los procesos en el campo. Este proceso se aplicó a los tanques de sedimentación y a los tanques de filtración. Los cálculos se aplicaron a la velocidad de sedimentación de partículas y tiempo de retención del agua en los tanques de sedimentación, y tasa de filtración en los tanques de filtración.

5.2.1 Verificación en el Proceso de Sedimentación

a. Cálculo de la Velocidad terminal de sedimentación

Se entiende por sedimentación a aquellos fenómenos mediante los cuales los sólidos en suspensión en un fluido son separados del mismo, debido al efecto de la

gravedad. La fórmula para determinar la velocidad terminal de sedimentación es la siguiente:

$$v_s = \sqrt{\frac{4g}{3CD} \left(\frac{dp - \delta}{\delta} \right) dp}$$

Donde:

v_s = velocidad de sedimentación

g = gravedad en m/s^2

CD = coeficiente adimensional, denominado coeficiente de arrastre.

dp = diámetro de la partícula

δ = densidad del fluido

Para poder determinar el valor de CD se debe conocer el Número de Reynolds (N_R):

$$N_R = \frac{v \cdot dp \cdot \delta}{\mu}$$

Donde:

v = velocidad del fluido

dp = diámetro de la partícula

δ = densidad del fluido

μ = viscosidad

Para determinar el N_R se necesita tener el valor de la velocidad del fluido. Para establecer este valor, se debe conocer el caudal, por lo que se aplicó la **ecuación general para un orificio con descarga libre**⁵, este cálculo se lo elaboró con datos obtenidos en campo a la entrada del tanque de sedimentación. La fórmula se expresa a continuación:

$$Q = A \cdot \sqrt{2gh}$$

Donde:

Q = es el caudal de entrada a calcularse

A = el área de la tubería

g = gravedad

h = altura desde el nivel de agua hasta el centro del orificio de descarga

⁵ Rodríguez H., 2002

Resolución:

CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL N_R

$$Q = \pi * r^2 \sqrt{2 * 9,8 \frac{m}{s^2} * 1,22m}$$

$$Q = \pi * (0,07m)^2 \sqrt{23,9364 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$Q = 0,0154m^2 * 4,8925 \frac{m}{s}$$

$$Q = 0,0753 \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0,0753 \frac{m^3}{s}}{0,0154m^2}$$

$$v = 5 \frac{m}{s}$$

Donde:

$$Q = 0,075 \frac{m^3}{s}$$

$$v = 5 \frac{m}{s}$$

$$dp = 0.0001m$$

$$\delta = 995681 \frac{g}{m^3}$$

$$\mu = 1.44 \frac{g}{m/s}$$

$$N_R = \frac{v.dp.\delta}{\mu}$$

$$N_R = 372$$

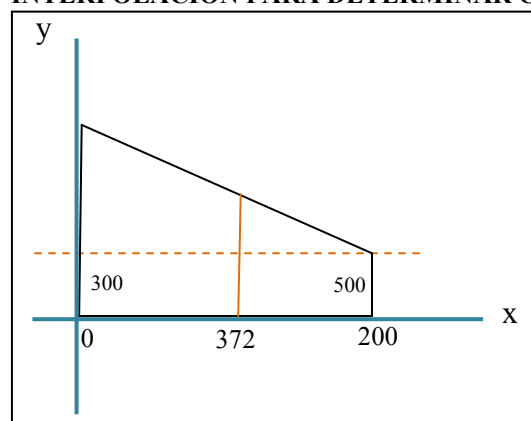
TABLA PARA DETERMINAR EL C_D ⁶

N_R	C_D
0.3	80
0.5	49.5
0.7	36.5
1.0	26.5
2.0	14.6
3.0	10.4
5.0	6.9
7.0	5.3
10	4.1
20	2.55
30	2.00
50	1.50
70	1.27
100	1.07
200	0.77
300	0.65
500	0.55
700	0.50
1000	0.46
2000	0.42
3000	0.40

Fuente: Arboleda J., 2000

El N_R obtenido es de 372, este valor se encuentra ubicado entre los N_R 300 y 500, por esta razón, para obtener el valor exacto del C_D en flujo laminar, se procede a interpolar a través del siguiente gráfico:

GRÁFICO 3
INTERPOLACIÓN PARA DETERMINAR C_D



Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de grado 2007.

⁶ Arboleda J., 2002, pág. 206

$$m = \frac{0,55 - 0,65}{200 - 0}$$

$$m = 5 * 10^{-4}$$

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

$$y - 0,65 = -5 * 10^{-4} x(x - 0)$$

$$y = -5 * 10^{-4} x + 0,65$$

$$y = -5 * 10^{-4} * 72 + 0,65$$

$$y = 0,68$$

$$\mathbf{C_D = 0,68}$$

Sedimentación convencional: modelo de Hazen y Camp (Arboleda J., 2000):

$$v_s = \sqrt{\frac{4g}{3CD} \left(\frac{dp - \delta}{\delta} \right) dp}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{4 * 9,8 \frac{m}{s^2}}{3 * 0,68} \left(\frac{0,00011m - 995680 \frac{g}{m^3}}{995680 \frac{g}{m^3}} \right) 0,00011m}$$

$$v_s = 2,211 * 10^{-3} \frac{m}{s}$$

b. Cálculo del Período de Retención

Para determinar el período de retención se debe trabajar con la siguiente fórmula (Convenio SSA-USAID N° 518-0081; 1995):

$$\text{Período de retención} = h / v_v$$

Donde:

v_v = velocidad vertical

h = altura

Resolución:

l = largo= 11.50m

a = ancho = 2m

h = 5.20m

Cálculo del volumen

$$v = l * a * h$$

$$v = 115.856 \text{m}^3$$

Cálculo del Área Transversal (AT)

$$AT = a * h$$

$$AT = 10.40 \text{m}^2$$

Cálculo del Área superficial (AS)

$$AS = l * a$$

$$AS = 22.28 \text{m}^2$$

Entonces:

$$Q = 0.0753 \text{m}^3/\text{s}$$

*Se debe considerar que hay dos sedimentadores, por lo que caudal de entrada se bifurca en 2.

$$Q = 0,0376 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \left| \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} \right| \left| \frac{24\text{h}}{1\text{día}} \right| = 3252,96 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Cálculo de la velocidad horizontal

$$v_h = \frac{Q}{AT}$$

$$v_h = \frac{0,0376 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{10,4 \text{m}^2}$$

$$v_h = 3,6154 * 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo de la velocidad vertical

$$v_h = \frac{Q}{AS}$$

$$v_h = \frac{0,0376 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{22.28 \text{m}^2}$$

$$v_h = 1,6876 * 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Período de retención} = h / v_s$$

$$\text{Período.de.retención} = \frac{5,20m}{1,6876 * 10^{-3} \frac{m}{s}}$$

$$\text{Período.de.retención} = 3081,30s \left| \frac{1 \text{ minuto}}{60s} \right. = 52 \text{ minutos}$$

5.2.2 Verificación del Proceso de Filtración

a. Cálculo de la Rata de filtración

El filtro el lento de arena se ha diseñado para que funcione con agua de baja turbiedad y que haya sido previamente tratada con sedimentación simple.

La rata de filtración se la calcula a través de la siguiente fórmula (Misión Andina del Ecuador; 1971):

$$Q = A\sqrt{2gh}$$

Resolución:

$$Q = \pi(0,55m)^2 \sqrt{2 * 9,8 \frac{m}{s^2} * 0,855m}$$

$$Q = 0,04 \frac{m^3}{s}$$

*Se debe considerar que hay dos filtros, por lo que caudal de entrada se bifurca en 2.

Área de filtración

$$l = 10.42m$$

$$a = 6.22m$$

$$A = l * a$$

$$A = 64.8124 \text{ m}^2$$

Rata de filtración

$$Rata.de.filtración = \frac{Q}{A}$$

$$Rata.de.filtración = \frac{1728 \frac{m^3}{día}}{64,8124 m^2}$$

$$Rata.de.filtración = 26,6616 \frac{m^3}{m^2 / día}$$

5.3 Verificación en base a datos pluviométricos

En base a los datos tomados del Anuario Meteorológico del INAMHI (2000 – 2005) de la estación Sigchos/M363, a una altura de 2880msnm, con latitud 0° 41' 58'' S y longitud 78° 53' 25''. Las unidades que se presentan en la siguiente tabla son en mm. Se podrá determinar si la cantidad de sedimentos comentada en el agua por la población consultada, se dio por un evento extraordinario de crecida de río gracias a la carga excesiva de lluvias.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Nov.	Dic.
2000	129.6	182.9	141.2	225.1	195.9			2	84.8	17.2	41.2	97.2
2001	65.8	164.8	163.2	110.9	24.2	26.9		25	18.5	28.6	65.9	72.3
2002	56.7	90.6	160.8	288.5	45.4	20.6	3.2	0	8.4		170.3	50.3
2003		69.2	85.4	109.3	45.1	50.3	9.5	13.9	31.1	34.8	106.1	84
2004	58.5	73.1	75.3	163.8	108.2	6.8	29.2	0	39.6	29.5	84.9	102.3
2005	65.8	164.8	163.2	110.9	24.2	26.9		25	18.5	28.6	65.9	72.3

Fuente: Anuarios Meteorológicos del INAMHI (2000 – 2005) de la estación Sigchos/M363

Los valores pluviométricos presentados no poseen todas las mediciones mensuales a excepción las tomadas el año 2004, esto limita la interpretación de los resultados. Sin embargo se puede observar que los años con meses con mayor pluviosidad son: 2000, 2002 y 2004.

Considerando que la planta se encontraba en etapa de construcción en el año 2002, el año 2004 es el que tiene valores pluviométricos mayores. En referencia a las entrevistas sostenidas con los operadores de la planta de tratamiento, coincide el año con lo relatos contados, es decir, la carga de sedimentos se dio por las excesivas lluvias.

CAPÍTULO VI

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

6.1 Aspectos generales

Las aguas naturales van a contener en su seno una amplia variedad de sustancias o de especies químicas, la causa, fundamentalmente, es la gran capacidad disolvente y reactiva del agua, y de su potencial erosivo. La presencia de seres vivos, y de microorganismos en particular, también va a afectar a la naturaleza en concentración de las especies presentes. Así, en la composición de las aguas naturales van a influir una serie de variables, como son: el tipo de agua del que se trate, el tipo de terreno en el que se encuentre o atraviese, la temperatura y presión del medio, la época del año, entre otros.

Se debe señalar, las características del agua son determinantes para el diseño de procesos para tratamiento de aguas. La importancia de hacer un análisis físico, químico y bacteriológico de las aguas es para determinar la composición de estas. Excepto para microorganismos y nitratos, el agua que excede niveles máximos de contaminación, no puede amenazar de forma inmediata la salud pública. Sin embargo todas las sustancias deben ser controladas porque el agua que supera esos límites durante largos períodos de tiempo puede ser nociva.

6.2 Parámetros analizados

Los análisis en laboratorio se los hicieron con el fin de dar confiabilidad a los datos tomados en el campo. Las mediciones están expresadas con el límite permisible respectivo y el valor obtenido mediante métodos estandarizados por organizaciones internacionales (APHA-AWWA-WPCF).

Los análisis de laboratorio se realizaron en los siguientes lugares:

- a. Escuela Politécnica Nacional, Centro de Investigaciones y Control Ambiental (CICAM).- en este laboratorio se realizaron los análisis físicos, químicos y bacteriológicos de las muestras de agua, en base a la NTE INEN 1108:2006 (Ver ANEXO 4).
- b. Universidad Internacional SEK, UISEK.- posee laboratorios que cumplen con las necesidades del estudiante para la elaboración de este tipo de investigación. Los laboratorios que se utilizaron son: el Laboratorio de Química y el Laboratorio de Procesos.

Los exámenes de laboratorio realizados en las muestras de agua recolectadas en los puntos, captación y tanque de cloración, nos permiten conocer la calidad física, química y bacteriológica de esta.

6.2.1 Características físicas

Las características físicas se dividen en:

- Características organolépticas (color, olor y sabor)
- Turbidez y materia en suspensión
- Temperatura
- Conductividad, salinidad y dureza
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Características organolépticas

Existen dos clases de color, el color aparente, que es el que presenta el agua bruta y el color verdadero que se presenta cuando se ha eliminado la materia en suspensión. El origen del color puede ser de tipo interno debido a los materiales disueltos, dispersos o suspendidos; o de tipo externo por la absorción de las radiaciones de mayor longitud de

onda (Orozco C., 2003). La coloración de un agua natural no contaminada es causada principalmente por:

Sustancias húmicas, ácidos tánicos, hojas, turba	Color café amarillento o pardo
Fitoplancton, clorofíceas	Color verde
Sales de hierro (zonas graníticas o silíceas)	Color rojizo o pardo
Macizos no calcáreos	Color amarillento
Macizos calcáreos	Color verdoso

Fuente: Orozco C., et al.; 2003

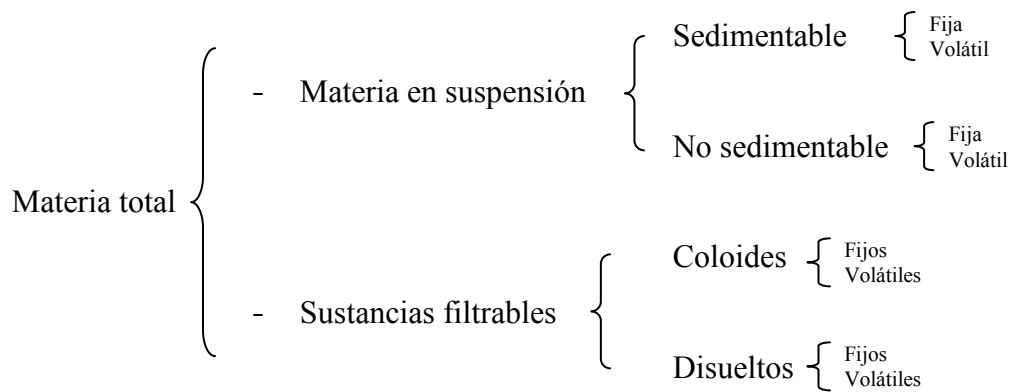
Se mide el color en unidades de Pt-Co, por comparación con una solución patrón de ambos metales.

El olor y el sabor están íntimamente relacionados. Son parámetros sumamente subjetivos por lo que se omitieron en los análisis de laboratorio realizados para determinar la calidad del agua.

Turbidez y sólidos en suspensión

La turbidez de un agua es provocada por material insoluble, en suspensión o en dispersión coloidal. Es un fenómeno óptico que consiste, esencialmente, en una absorción de luz combinada con un proceso de difusión. Las partículas insolubles responsables de esta turbidez pueden ser aportadas tanto por procesos de arrastre como de remoción de tierras y también por vertidos urbanos e industriales (Orozco C., et al; 2003). La turbidez se mide en unidades nefelométricas NTU (puede presentarse con sus otras abreviaturas UNF o FTU si la solución patrón empleada es de formacina), o en mg de SiO₂/l.

La materia total en un agua se puede clasificar de la siguiente forma:



Fuente: Orozco C., et. al.; 2003

“Fijo” implica materia de naturaleza inorgánica, mientras que “volátil” engloba a compuestos orgánicos.

La materia en suspensión es la responsable de los siguientes efectos⁷:

- Produce color aparente en el agua
- Disminuye el paso de la energía solar por lo que es responsable de una menor actividad fotosintética.
- Ocasiona depósitos sobre las plantas acuáticas y las branquias de los peces.
- Ocasiona depósitos por sedimentación, con lo que favorece la aparición de condiciones anaeróbicas y dificulta la alimentación de los seres vivos acuáticos.

Las sustancias filtrables⁸ son las responsables de:

- Aumentar la salinidad.
- Variar la solubilidad de oxígeno.
- Pueden inducir toxicidad por la presencia.

A causa de las diferentes formas en que pueden encontrarse las sustancias en el agua, se miden diversos parámetros como:

- Sólidos decantables.- se deja un litro de agua en reposo durante dos horas en unos conos especiales (Conos Imhoff) y se mide el volumen de sólidos que decantan en el fondo.
- Sólidos en suspensión.- se filtra el agua y se determina la cantidad de materia retenida en el filtro por diferencia de pesos. Se mide en mg/l (ppm).

⁷ Orozco C., et al; 2003; pág. 65

⁸ Orozco C., et al; 2003; pág. 66

Temperatura

La temperatura es una variable física que influye notablemente en la calidad de un agua.

Afecta parámetros como:

- Solubilidad de gases y sales.
- Cinética de las reacciones químicas y bioquímicas.
- Desplazamientos de equilibrios químicos.
- Tensión superficial.
- Desarrollo de organismos presentes en el agua.

La influencia de la temperatura en el agua produce disminución de la solubilidad del oxígeno cuando esta aumenta.

Conductividad, salinidad y dureza.

La conductividad es una medida de resistencia que se opone al paso de la corriente eléctrica entre dos electrodos impolarizables sumergidos en agua. La conductividad al agua da una buena apreciación de la concentración de los iones en disolución y una conductividad elevada se traducen en una salinidad elevada o en valores anómalos de pH. La unidad empleada es el Siemen (S), en aguas mineralizadas se utiliza mS y en aguas poco mineralizadas se utiliza μS . se miden en celdas de un centímetro de espesor, expresándose por lo tanto mS/cm o $\mu\text{S/cm}$.

La salinidad representa el contenido iónico total del agua. Es un parámetro utilizado habitualmente en las aguas salobres, se identifica con el parámetro total de sólidos disueltos o residuo seco a 150°C. En aguas marinas tiene un valor medio del orden de 35 g/kg. El aumento de la salinidad en aguas no marinas puede deberse a las siguientes causas:

- Efluentes industriales.
- Escorrentías de las aguas de regadío.
- Aguas salobres de minas.

- Depósito de aerosoles salinos oceánicos.
- Utilización de sal en carreteras en países con fuertes nevadas.

Los niveles elevados de salinidad causan problemas en el regadío y en la vida acuática, además de convertir las aguas en no aptas para beber.

La dureza es también un parámetro relacionado con los anteriores, que mide la presencia, principalmente, de los cationes alcalinotérreos mayoritarios, calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) y de otros metales menos abundantes en general, como hierro (Fe^{2+}) y manganeso (Mn^{2+}).

pH, Alcalinidad, Acidez

El pH de un agua, indica el comportamiento ácido o básico de la misma, es una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática. Tiene influencia sobre determinados procesos químicos y biológicos, la naturaleza de las especies iónicas que se encuentran en su seno, el potencial redox del agua, el poder desinfectante del cloro, etc. Es un buen parámetro de carácter general para determinar la calidad de un agua.

Habitualmente, las aguas naturales tienen un cierto carácter básico, unos valores de pH comprendidos entre 6,5 - 8,5. Los océanos tienen un valor medio de 8.

Además del pH, se miden otros parámetros, relacionados con el, que son la alcalinidad y la acidez.

La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua para absorber protones. Se mide mediante una volumetría de neutralización ácido-base y se expresa en $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$ (ppm CaCO_3). La alcalinidad tiene un gran interés para el conocimiento de la **agresividad o de la tendencia a la incrustación** de un agua.⁹

La acidez es debida a la presentación de dióxido de carbono libre, ácidos minerales y orgánicos y sales con cationes que sufran hidrólisis ácida. Las principales fuentes naturales que ocasionan un aumento de acidez de las aguas son el dióxido de carbono

⁹ Orozco C., et al; 2003; pág. 69

atmosférico disuelto, los ácidos orgánicos provenientes de descomposición de materia vegetal o animal y el contenido en ácidos húmicos y fúlvicos.

DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días)

Es el parámetro que se maneja para determinar de cierta manera la concentración de materia orgánica biodegradable; se la calcula midiendo la disminución en la concentración de oxígeno disuelto del agua después de incubar una muestra durante 5 días a 20°C. Las unidades medidas son mg O₂/l (ppm O₂).

En la siguiente tabla se determina la calidad de las aguas según el valor de DBO₅:

TABLA 8
CALIDAD DEL AGUA POR CONCENTRACIÓN DE DBO₅

Calidad del agua	Concentración de DBO₅ (ppm O₂)
Muy puras	< 3
Pureza intermedia	3 – 5
Contaminada	> 8
Residuales urbanas	100 - 400
Industria alimentaria o semejante	hasta 10.000

Fuente: Orozco C. et al., 2003, pág. 79

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

DQO (Demanda Química de Oxígeno)

Mide toda la materia orgánica susceptible de oxidación química contenida en el agua. Al igual que en la DBO₅, los valores medidos se expresan en mg O₂/l, representando la cantidad de oxígeno equivalente al oxidante químico utilizado en la determinación.

La DQO de las aguas superficiales destinadas al abastecimiento debe ser menor a 30 mg O₂/l. En las aguas potables el límite tolerable de DQO es 5 ppm de O₂.

6.2.2 Características químicas

Aluminio

Elemento químico metálico, de símbolo Al. El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de alúmino silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio.

El Aluminio es uno de los metales más ampliamente usados y también uno de los más frecuentemente encontrados en los compuestos de la corteza terrestre. Altas concentraciones de Aluminio no sólo pueden ser encontrados en lagos ácidos y aire, también en aguas subterráneas y suelos ácidos. Hay fuertes indicadores de que el Aluminio puede dañar las raíces de los árboles cuando estas están localizadas en las aguas subterráneas.

La toma de concentraciones significantes de Aluminio puede causar un efecto serio en la salud (Lenntech; 1998) como:

- Daño al sistema nervioso central
- Demencia
- Pérdida de la memoria
- Apatía
- Temblores severos

Amonio ($N-NH_3$)

El amoníaco es un compuesto nitrogenado, gaseoso, incoloro y alcalino. Es más liviano que el aire y su olor es muy reconocible y particular. Se caracteriza por su alta solubilidad en agua, reaccionando con ella, por lo que se forman dos iones, uno de

amonio (NH_4) y otro de oxidrilo (OH^-). La solución de amoníaco en el agua presenta una parte en forma de amoníaco libre no ionizado y otra de amoníaco sí ionizado.

El ion amonio se comporta para muchos efectos como un ion alcalino, mas concretamente muy semejante al K^+ (potasio). Origina compuestos sólidos con ese catión en la red y soluciones acuosas con ese ion solvatado y en las que puede considerarse la existencia de hidróxido de amonio NH_4OH , por la hidrólisis del NH_4^+ (Lenntech; 1998).

Antimonio

Elemento químico con símbolo Sb y número atómico 51. El antimonio no es un elemento abundante en la naturaleza; raras veces se encuentra en forma natural, a menudo como una mezcla isomorfa con arsénico: la allemonita. Su símbolo Sb se deriva de la palabra latina *stibium*. El antimonio se presenta en dos formas: amarilla y gris.

El antimonio se da naturalmente en el medio ambiente. El antimonio se puede encontrar en los suelos, agua y aire en cantidades muy pequeñas. El antimonio contamina principalmente los suelos. Pueden viajar grandes distancias con las aguas subterráneas hacia otros lugares y aguas superficiales.

La exposición a cantidades relativamente altas de antimonio (9 mg/m^3 de aire) durante un largo periodo de tiempo puede provocar irritación de los ojos, piel y pulmones (Lenntech; 1998). Si la exposición continúa se pueden producir efectos más graves, tales como enfermedades pulmonares, problemas de corazón, diarrea, vómitos severos y úlceras estomacales.

Arsénico

Elemento químico, cuyo símbolo es As. El arsénico se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza.

Al arsénico se le encuentra naturalmente como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn.

El Arsénico es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de Arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al Arsénico a través de la comida, agua y aire.

La exposición puede también ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga Arsénico.

El Arsénico puede ser encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y puede entrar en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía.

Los humanos pueden ser expuestos al Arsénico a través de la comida, agua y aire. La exposición al Arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. La exposición a dosis elevadas de arsénico orgánico puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago.

Bario

Elemento químico, Ba. El bario ocupa el decimoctavo lugar en abundancia en la corteza terrestre, en donde se encuentra en un 0.04%, valor intermedio entre el calcio y el estroncio, los otros metales alcalinotérreos. Los compuestos de bario se obtienen de la minería y por conversión de dos minerales de bario (Lenntech; 1998).

El Bario es un metal plateado-blancuzco que puede ser encontrado en el medioambiente, donde existe de forma natural. Aparece combinado con otros elementos químicos, como el azufre, carbón u oxígeno.

Algunos compuestos del Bario que son liberados durante procesos industriales se disuelven fácilmente en agua y son encontrados en lagos, ríos y arroyos.

Debido a sus solubilidades estos compuestos del Bario pueden alcanzar largas distancias desde sus puntos de emisión. Cuando peces y otros organismos acuáticos absorben los compuestos del Bario, el Bario se acumulará en sus cuerpos. Los compuestos del Bario que son persistentes usualmente permanecen en la superficie del suelo, o en el

sedimento de las aguas. El Bario es encontrado en la mayoría de los suelos en bajos niveles.

Boro

Elemento químico, B. Es de color negro azabache a gris plateado con brillo metálico.

El boro constituye el 0.001% en la corteza terrestre (Lenntech; 1998). Nunca se ha encontrado libre. Existe en pequeñas cantidades en la mayoría de los suelos y es un constituyente esencial de varios silicatos tales como la turmalina y la datolita. La presencia de boro en cantidades muy pequeñas parece ser necesaria en casi todas las plantas, pero en grandes concentraciones es muy tóxico para la vegetación. En la naturaleza hay sólo un número limitado de localidades con concentraciones altas de boro o grandes depósitos de minerales; los más importantes parecen ser de origen volcánico.

El Boro ocurre de forma natural en el medioambiente debido a que es liberado al aire, suelo y agua a través de los procesos de erosión. Este puede también aparecer en el agua subterránea en muy pequeñas cantidades.

Cadmio

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd. Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado (Lenntech; 1998).

El cadmio no se encuentra en estado libre en la naturaleza, mayoritariamente en la corteza terrestre. De forma natural grandes cantidades de Cadmio son liberadas al ambiente, sobre 25.000 toneladas al año. La mitad de este Cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y algún Cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto del Cadmio es liberado por las actividades humanas, como la manufacturación.

Efectos sobre la salud que pueden ser causados por el Cadmio son:

- Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos
- Fractura de huesos
- Fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad
- Daño al sistema nervioso central
- Daño al sistema inmune
- Desordenes psicológicos
- Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.

Cianuros

Son especialmente tóxicos a pH bajos (originan desprendimiento de cianuro de hidrógeno, HCN). Actúan impidiendo las reacciones de oxidación del fósforo, que es la que permite la respiración celular. Además algunos compuestos cianurados que se forman por reacción con determinados metales pesados, pueden ser incluso sustancias más tóxicas que los contaminantes de partida. El valor límite para agua potable es de 50 $\mu\text{g/l}^{10}$.

Cloro libre residual

El cloro residual libre es la cantidad de cloro que existe en el agua en forma de ácido hipocloroso o en forma de ion hipoclorito, y el cloro residual combinado es el que se produce en la combinación con amonio, es decir, las cloraminas. El cloro residual combinado solo se puede formar cuando el agua tiene amoníaco y productos orgánicos. En resumen, el cloro residual, tanto libre como combinado, se puede presentar de varias formas dependiendo de las características químicas del agua, cada una de ellas con mayor o menor eficacia.

Es importante determinar diariamente la cantidad de cloro residual en el agua, tanto libre como combinado, sobre todo cuando va destinada a consumo humano. Los

¹⁰ Prieto B., 2004, pág. 45

métodos para determinar cloro libre residual son con los clorómetros, que son tests rápidos con patrones estables para concentraciones de cloro menores de 1 ppm, juegos de reactivos con escala de colores para la determinación inmediata para contenidos en cloro entre 0,1 y 1,5 ppm., determinación volumétrica mediante un reactivo para cloro libre entre 0,1 y 4 ppm, método colorimétrico de la ortotolidina contenido de cloro libre menor de 1 ppm y, por último, un sistema amperométrico.

La presencia mínima de cloro en el agua garantiza sus óptimas condiciones para el consumo.

Cloruros

El cloruro es una sal que se compone de dos elementos, uno de los cuales es el cloro. El cloruro representa alrededor del 0.15% del peso corporal y se encuentra en el líquido por fuera de las células¹¹.

El cloruro es necesario para mantener el equilibrio apropiado de los líquidos corporales y es una parte esencial de los jugos digestivos (gástricos).

El cloruro se puede encontrar en la sal de cocina o en la sal de mar como cloruro de sodio, al igual que en muchas verduras. Los alimentos con mayores contenidos de cloruro son, entre otros, las algas marinas, el centeno, los tomates, la lechuga, el apio y las aceitunas. El cloruro de potasio se encuentra en la mayoría de alimentos y es generalmente el ingrediente principal en los sustitutos de la sal.

Los cloruros son inocuos por sí solos, pero cabe aclarar que cuando su cantidad supera el límite establecido las aguas resultan de un sabor desagradable.

Cobalto

Elemento químico metálico, Co. El cobalto se parece al hierro y al níquel, tanto en estado libre como combinado. Se encuentra distribuido con amplitud en la naturaleza y

¹¹ Spellman F., Drinan J.; 2000; pág. 75

forma, aproximadamente, el 0.001% del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre, en comparación con el 0.02% del níquel. Se halla en meteoritos, estrellas, en el mar, en aguas dulces, suelos, plantas, animales y en los nódulos de manganeso encontrados en el fondo del océano.

El Cobalto está ampliamente dispersado en el ambiente humano por lo que estos pueden ser expuestos a él por respirar el aire, beber agua y comer comida que contengan Cobalto (Lenntech; 1998).

El Cobalto es un elemento que se encuentra de forma natural en el ambiente en el aire, agua, suelo, rocas, plantas y animales. Este puede también entrar en el aire y el agua y depositarse sobre la tierra a través del viento y el polvo y entrar en la superficie del agua a través de la escorrentía cuando el agua de lluvia corre a través del suelo y rocas que contienen Cobalto.

El Cobalto no puede ser destruido una vez que este ha entrado en el medioambiente. Puede reaccionar con otras partículas o ser absorbido por las partículas del suelo o el agua. El Cobalto se mueve sólo bajo condiciones ácidas, pero al final la mayoría del Cobalto terminará en el suelo y sedimentos.

Cobre

Elemento químico, de símbolo Cu. El grado del mineral empleado en la producción de cobre ha ido disminuyendo regularmente, conforme se han agotado los minerales más ricos y ha crecido la demanda de cobre. Hay grandes cantidades de cobre en la Tierra para uso futuro si se utilizan los minerales de los grados más bajos, y no hay probabilidad de que se agoten durante un largo periodo.

El Cobre puede ser encontrado en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire. La absorción del Cobre es necesaria, porque el Cobre es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de Cobre proporcionalmente altas, mucho Cobre puede también causar problemas de salud.

La mayoría de los compuestos del Cobre se depositarán y se enlazarán tanto a los sedimentos del agua como a las partículas del suelo.

Cuando el Cobre termina en el suelo este es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales. Como resultado este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. En el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres.

Cromo

Elemento químico, símbolo Cr, metal que es de color blanco plateado, duro y quebradizo. El cromo elemental no se encuentra en la naturaleza. Su mineral más importante por abundancia es la cromita. Es de interés geoquímico el hecho de que se encuentre 0.47% de Cr_2O_3 en el basalto de la Luna, proporción que es de 3-20 veces mayor que el mismo espécimen terrestre (Lenntech; 1998).

En agua para beber el nivel de Cromo es usualmente bajo, pero las aguas de pozo contaminadas pueden contener cromo hexavalente. Para la mayoría de la gente que come comida que contiene Cromo III es la mayor ruta de entrada de Cromo, como Cromo III ocurre naturalmente en muchos vegetales, frutas, carnes, levaduras y granos. Varias maneras de preparación de la comida y almacenaje pueden alterar el contenido de Cromo en la comida. Cuando la comida es almacenada en tanques de acero o latas las concentraciones de Cromo pueden aumentar. El Cromo III es un nutriente esencial para los humanos y la falta de este puede causar condiciones del corazón, trastornos metabólicos y diabetes. Pero la toma de mucho Cromo III puede causar efectos sobre la salud también, por ejemplo erupciones cutáneas.

Hay varias clases diferentes de Cromo que difieren de sus efectos sobre los organismos. El Cromo entra en el aire, agua y suelo en forma de Cromo (III) y Cromo (VI) a través de procesos naturales y actividades humanas.

Las mayores actividades humanas que incrementan las concentraciones de Cromo (III) son el acero, las curtiembres y las industrias textiles, pintura eléctrica y otras aplicaciones industriales del Cromo (VI). Estas aplicaciones incrementarán las concentraciones del Cromo en agua. A través de la combustión del carbón, el Cromo será también emitido al agua y eventualmente se disolverá (Lenntech; 1998).

Detergentes

Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras¹².

Los detergentes son productos que se usan para la limpieza y están formados básicamente por un agente tensoactivo que actúa modificando la tensión superficial disminuyendo la fuerza de adhesión de las partículas a una superficie.

El uso de los compuestos tensoactivos en el agua, al ser arrojados a los lagos y ríos provocan la disminución de la solubilidad del oxígeno disuelto en el agua con lo cual se dificulta la vida acuática y además, como quita la grasa de las plumas a las aves acuáticas, les provoca que se escape el aire aislante ubicado entre las plumas y que se mojen, lo cual puede ocasionarles la muerte por frío o por ahogamiento.

El poder contaminante de los detergentes se manifiesta en los vegetales acuáticos inhibiendo el proceso de la fotosíntesis originando la muerte de la flora y la fauna acuáticas.

Los detergentes hechos a base de fosfatos provocan un efecto destructor en el medio ambiente porque aceleran el proceso de eutrofización o eutrofización de las aguas de lagos y ríos.

Estaño

Elemento químico, de símbolo Sn. El mineral del estaño más importante es la casiterita, SnO₂. No se conocen depósitos de alta calidad de este mineral. La mayor parte del mineral de estaño del mundo se obtiene de depósitos aluviales de baja calidad. Existen dos formas alotrópicas del estaño: estaño blanco y estaño gris (Lenntech; 1998).

El estaño como simple átomo o en molécula no es muy tóxico para ningún tipo de organismo. La forma tóxica es la forma orgánica. Los compuestos orgánicos del estaño

¹² Prieto B., 2004, pág. 50

pueden mantenerse en el ambiente durante largos periodos de tiempo. Son muy persistentes y no fácilmente biodegradables. Los microorganismos tienen muchas dificultades en romper compuestos orgánicos del estaño que se han acumulado en aguas del suelo a lo largo de los años. Las concentraciones de estaño orgánico todavía aumentan debido a esto.

Los estaños orgánicos pueden dispersarse a través de los sistemas acuáticos cuando son absorbidos por partículas residuales. Se sabe que causan mucho daño en los ecosistemas acuáticos, ya que son muy tóxicos para los hongos, las algas y el fitoplancton. El fitoplancton es un eslabón muy importante en el ecosistema acuático, ya que proporciona oxígeno al resto de los organismos acuáticos. También es una parte importante de la cadena alimenticia acuática.

Fenoles

Los fenoles son derivados de los alcoholes, son muy solubles en agua y en la mayoría de los disolventes orgánicos. Son altamente tóxicos para el ser humano y su contacto puede provocar la muerte.

Los fenoles son compuestos orgánicos aromáticos que contienen el grupo hidroxilo como su grupo funcional. Están presentes en las aguas naturales, como resultado de la contaminación ambiental y de procesos naturales de descomposición de la materia orgánica. La débil acidez del grupo fenólico ha determinado que se los agrupe químicamente junto a los ácidos carboxílicos y a los taninos, conformando así el grupo de los ácidos orgánicos¹³.

Las concentraciones naturales de compuestos fenólicos son usualmente inferiores a 1 µg/l y los compuestos más frecuentemente identificados son fenol, cresol y los ácidos siríngico, vainílico y p-hidroxibenzoico. En aguas contaminadas es posible detectar otros tipos, como los clorofenoles, fenilfenol y alquilfenol. En rellenos sanitarios, su concentración total puede ser próxima a los 20 mg/l.

¹³ Orozco C. et al., 2003, pág. 71

Los grupos funcionales fenólicos son importantes en las sustancias húmicas acuáticas. Estos tipos de fenoles combinados le confieren sabor y olor al agua, aunque su ingestión no resulta peligrosa.

Los fenoles son cocarcinógenos, al aumentar la carcinogénesis cuando se administran simultáneamente con un carcinógeno.

Flúor

Símbolo F. El flúor elemental es un gas de color amarillo pálido a temperaturas normales. El olor del elemento es algo que está todavía en duda.

El flúor es un elemento muy tóxico y reactivo. Muchos de sus compuestos, en especial los inorgánicos, son también tóxicos y pueden causar quemaduras severas y profundas. Hay que tener cuidado para prevenir que líquidos o vapores entren en contacto con la piel y los ojos.

Se estima que se halla en un 0.065% en la corteza terrestre; es casi tan abundante como el [carbono](#), el [nitrógeno](#) o el [cloro](#), mucho más que el [cobre](#) o el [plomo](#), aunque mucho menos que el [hierro](#), [aluminio](#) o el [magnesio](#) (Lenntech; 1998). Los compuestos cuyas moléculas contienen átomos de flúor están ampliamente distribuidos en la naturaleza. Muchos minerales contienen cantidades pequeñas del elemento, y se encuentra tanto en rocas ígneas como en rocas sedimentarias.

En el agua, aire, plantas y animales hay presentes pequeñas cantidades de flúor. Como resultado los humanos están expuestos al flúor a través de los alimentos y el agua potable y al respirar el aire. El flúor se puede encontrar en cualquier tipo de comida en cantidades relativamente pequeñas. Se pueden encontrar grandes cantidades de flúor en el té y en los mariscos.

El flúor está presente en la corteza terrestre de forma natural, pudiendo ser encontrado en rocas, carbón y arcilla. Los fluoruros son liberados al aire cuando el viento arrastra el suelo. Los procesos de combustión en las industrias pueden liberar fluoruro de

hidrógeno al aire. Los fluoruros que se encuentran en el aire acabarán depositándose en el suelo o en el agua.

Cuando el flúor se fija a partículas muy pequeñas puede permanecer en el aire durante un largo periodo de tiempo. Cuando el flúor del aire acaba en el agua se instala en los sedimentos. Cuando acaba en los suelos, el flúor se pega fuertemente a las partículas del suelo (Lenntech; 1998).

Fósforo

Símbolo P. El fósforo forma la base de gran número de compuestos, de los cuales los más importantes son los fosfatos. En todas las formas de vida, los fosfatos desempeñan un papel esencial en los procesos de transferencia de energía, como el metabolismo, la fotosíntesis, la función nerviosa y la acción muscular. Los ácidos nucleicos, que entre otras cosas forman el material hereditario (los cromosomas), son fosfatos, así como cierto número de coenzimas. Los esqueletos de los animales están formados por fosfato de calcio.

El Fósforo puede ser encontrado en el ambiente más comúnmente como fosfato. Los fosfatos son sustancias importantes en el cuerpo de los humanos porque ellas son parte del material de ADN y tienen parte en la distribución de la energía. Los fosfatos pueden ser encontrados comúnmente en plantas.

El Fósforo en su forma pura tiene un color blanco. El fósforo blanco es la forma más peligrosa de fósforo que es conocida.

Los fosfatos tienen muchos efectos sobre los organismos. Los efectos son mayormente consecuencias de las emisiones de grandes cantidades de fosfatos en el ambiente debido a la minería y los cultivos. Durante la purificación del agua los fosfatos no son a menudo eliminados correctamente, así que pueden expandirse a través de largas distancias cuando se encuentran en la superficie de las aguas.

Debido a la constante adición de fosfatos por los humanos y que exceden las concentraciones naturales, el ciclo del fósforo es interrumpido fuertemente.

El incremento de la concentración de fósforo en las aguas superficiales aumenta el crecimiento de organismos dependientes del fósforo, como son las algas. Estos organismos usan grandes cantidades de oxígeno y previenen que los rayos de sol entren en el agua. Esto hace que el agua sea poco adecuada para la vida de otros organismos. El fenómeno es comúnmente conocido como eutrofización.

Hierro

Elemento químico, símbolo Fe. El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre (5%). Es un metal maleable, tenaz, de color gris plateado y magnético. La presencia del hierro en el agua provoca precipitación y coloración no deseada. Existen técnicas de [separación del hierro](#) del agua.

El Hierro puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. El cuerpo humano absorbe Hierro de animales más rápido que el Hierro de las plantas. El Hierro es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos.

Puede provocar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos.

Manganeso

Elemento químico, símbolo Mn. El Manganeso es un compuesto muy común que puede ser encontrado en todas partes en la tierra.

Los compuestos del manganeso existen de forma natural en el ambiente como sólidos en suelos y pequeñas partículas en el agua. Las partículas de manganeso en el aire están presentes en las partículas de polvo. Estas usualmente se depositan en la tierra en unos pocos días.

Los humanos aumentan las concentraciones de Manganese en el aire por las actividades industriales y a través de la quema de productos fósiles. El Manganese que deriva de las fuentes humanas puede también entrar en la superficie del agua, aguas subterráneas y aguas residuales. A través de la aplicación del Manganese como pesticida el Manganese entrará en el suelo (Lenntech; 1998).

Un síndrome que es causado por el manganeso tiene los siguientes síntomas: esquizofrenia, depresión, debilidad de músculos, dolor de cabeza e insomnio.

Mercurio

Elemento químico, símbolo Hg, es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente (punto de fusión -38.4°C o -37.46°F); El Mercurio es un elemento que puede ser encontrado de forma natural en el medio ambiente (Lenntech; 1998).

El Mercurio entra en el ambiente como resultado de la ruptura de minerales de rocas y suelos a través de la exposición al viento y agua. La liberación de Mercurio desde fuentes naturales ha permanecido en el mismo nivel a través de los años. Todavía las concentraciones de Mercurio en el medioambiente están creciendo; esto es debido a la actividad humana.

Algunas formas de actividades humanas liberan Mercurio directamente al suelo o al agua, por ejemplo la aplicación de fertilizantes en la agricultura y los vertidos de aguas residuales industriales. Todo el Mercurio que es liberado al ambiente eventualmente terminará en suelos o aguas superficiales.

Aguas superficiales ácidas pueden contener significantes cantidades de Mercurio. Cuando los valores de pH están entre cinco y siete, las concentraciones de Mercurio en el agua se incrementarán debido a la movilización del Mercurio en el suelo. El Mercurio que ha alcanzado las aguas superficiales o suelos, los microorganismos pueden convertirlo en metil mercurio, una substancia que puede ser absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos y es conocido que daña al sistema nervioso.

Níquel

Símbolo Ni, metal duro, blanco plateado, dúctil y maleable. El níquel es un elemento bastante abundante, constituye cerca de 0.008% de la corteza terrestre y 0.01% de las rocas ígneas. En algunos tipos de meteoritos hay cantidades apreciables de níquel, y se piensa que existen grandes cantidades en el núcleo terrestre (Lenntech; 1998).

El níquel es un elemento que esta presente en el ambiente sólo en muy pequeños niveles.

Los humanos pueden ser expuestos al níquel al respirar el aire, beber agua, comer comida o fumar cigarrillos. El contacto de la piel con suelo contaminado por níquel o agua puede también resultar en la exposición al níquel.

No hay mucha más información disponible sobre los efectos del níquel sobre los organismos y los humanos. Sabemos que altas concentraciones de níquel en suelos arenosos puede claramente dañar a las plantas y altas concentraciones de níquel en aguas superficiales puede disminuir el rango de crecimiento de las algas.

Nitratos

El nitrato es un compuesto inorgánico compuesto por un átomo de [nitrógeno](#) (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del nitrato es NO_3^- . El nitrato no es normalmente peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (NO_2). El nitrato es uno de los más frecuentes contaminantes de aguas subterráneas en áreas rurales. Debe ser controlado en el agua potable principalmente porque niveles excesivos pueden provocar metahemoglobinemia, o “la enfermedad de los bebés azules”. Aunque los niveles de nitratos que afectan a los bebés no son peligrosos para niños mayores y adultos, sí indican la posible presencia de otros contaminantes más peligrosos procedentes de las residencias o de la agricultura, tales como bacterias o pesticidas.

Los nitratos en el agua potable son medidos ya sea en términos de la cantidad de nitrógeno presente de tanto nitrógeno como oxígeno.

Una exposición corta a agua potable con un nivel de nitrato superior al estándar para la salud es un problema potencial para la salud, especialmente para los bebés

Nitritos

El nitrito es el radical univalente NO_2^- o un compuesto que lo contenga, tal como una sal o un éster de ácido nitroso. Los nitritos son considerados como especies tóxicas por dos razones principalmente. En primer lugar porque se combinan con la hemoglobina en sangre, transformándola en metahemoglobina, al igual que en los nitratos la exposición a grandes concentraciones produce la enfermedad metahemoglobinemia. El segundo problema que ocasionan es la formación de nitrosaminas ($\text{R}_2\text{N-NO}$), compuestos cancerígenos en animales y con incidencia de cáncer de estómago en humanos (Lenntech; 1998).

Los nitritos están, en general, en concentraciones muy bajas en las aguas superficiales, y en mayor valor en las aguas subterráneas (condiciones reductoras). Sin embargo, se teme que un exceso de nitratos en el agua de bebida pueda aumentar la presencia de nitritos en los seres humanos.

Plata

Elemento químico, símbolo Ag. La plata es un elemento bastante escaso. Algunas veces se encuentra en la naturaleza como elemento libre (plata nativa) o mezclada con otros metales.

Aunque la plata es el metal noble más activo químicamente, no es muy activa comparada con la mayor parte de los otros metales.

Las sales solubles de plata, especialmente el nitrato de plata (AgNO_3), son letales en concentraciones de hasta 2 g.

La plata es relativamente rara en la corteza de la Tierra, puesto 67 de la abundancia natural de elementos. La abundancia crustal es aproximadamente 0.07 mg/kg y predominantemente es concentrada en el basalto (0.1 mg/kg) y rocas ígneas (0.07 mg/kg). Concentraciones de plata tienden a ser naturalmente elevadas en el petróleo crudo y en el agua a partir de primaveras calientes y pozos de vapor (Lenntech; 1998).

Plomo

Elemento químico, Pb. El Plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por sus aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente desde el 5000 antes de Cristo para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas (Lenntech; 1998). El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%).

El Plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Este es el porqué de los sistemas de tratamiento de aguas públicas son ahora requeridos llevar a cabo un ajuste de pH en agua que sirve para el uso del agua potable. El Plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua.

El Plomo se presenta de forma natural en el ambiente. El Plomo puede terminar en el agua y suelos a través de la corrosión de las tuberías de Plomo en los sistemas de transportes y a través de la corrosión de pinturas que contienen Plomo. No puede ser roto, pero puede convertirse en otros compuestos.

El Plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias.

El Plomo puede causar varios efectos no deseados, como son:

- Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia
- Incremento de la presión sanguínea

- Daño a los riñones
- Abortos y abortos sutiles
- Perturbación del sistema nervioso
- Daño al cerebro
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños
- Perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

El Plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre. Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer.

Potasio

Elemento químico, símbolo K. El potasio es un elemento muy abundante y es el séptimo entre todos los elementos de la corteza terrestre; el 2.59% de ella corresponde a potasio en forma combinada. El agua de mar contiene 380 ppm, lo cual significa que el potasio es el sexto más abundante en solución¹⁴.

Selenio

Elemento químico, símbolo Se. El único compuesto importante del selenio con hidrógeno es el seleniuro de hidrógeno, H₂Se, gas venenoso incoloro e inflamable con un olor desagradable, gran toxicidad y estabilidad térmica menor que la del sulfuro de hidrógeno. Disuelto en agua, el seleniuro de hidrógeno puede precipitar muchos iones de metales pesados como seleniuros muy poco solubles (Lenntech; 1998).

El selenio se presenta naturalmente en el ambiente. Es liberado tanto a través de procesos naturales como de actividades humanas. En su forma natural el selenio como elemento no puede ser creado ni destruido, pero tiene la capacidad de cambiar de forma.

¹⁴ Spellman F., Drinan J.; 2000; pág. 70

Bajos niveles de selenio pueden terminar en suelos o agua a través de la erosión de las rocas. Será entonces tomado por las plantas o acabará en el aire cuando es absorbido en finas partículas de polvo.

Los efectos sobre la salud de las diversas formas del selenio pueden variar de pelo quebradizo y uñas deformadas, a sarpullidos, calor, hinchamiento de la piel y dolores agudos. Cuando el selenio acaba en los ojos las personas experimentan quemaduras, irritación y lagrimeo.

El envenenamiento por selenio puede volverse tan agudo en algunos casos que puede incluso causar la muerte.

Sodio

Elemento químico, símbolo Na. El sodio ocupa el sexto lugar por su abundancia entre todos los elementos de la corteza terrestre, que contiene el 2.83% de sodio en sus formas combinadas. El sodio es, después del cloro, el segundo elemento más abundante en solución en el agua de mar. Las sales de sodio más importantes que se encuentran en la naturaleza son el cloruro de sodio (sal de roca), el carbonato de sodio (sosa y trona), el borato de sodio (bórax), el nitrato de sodio (nitrato de Chile) y el sulfato de sodio. Las sales de sodio se encuentran en el agua de mar, lagos salados, lagos alcalinos y manantiales minerales.

El sodio reacciona con rapidez con el agua, y también con nieve y hielo, para producir hidróxido de sodio e [hidrógeno](#).

Este compuesto químico no es móvil en su forma sólida, aunque absorbe la humedad muy fácilmente. Una vez líquido, el hidróxido de sodio se filtra rápidamente en el suelo, con la posibilidad de contaminar las reservas de agua.

Sulfatos

El sulfato ($\text{SO}_4^{=}$) se encuentra en casi todas las aguas naturales. La mayor parte de los compuestos sulfatados se originan a partir de la oxidación de las menas de sulfato, la presencia de esquistos, y la existencia de residuos industriales. El sulfato es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia.

Una alta concentración de sulfato en agua potable tiene un efecto laxativo cuando se combina con calcio y magnesio, los dos componentes más comunes de la dureza del agua.

Las bacterias, que atacan y reducen los sulfatos, hacen que se forme sulfuro de hidrógeno gas (H_2S).

El nivel máximo de sulfato sugerido por la organización Mundial de la Salud (OMS) en las Directrices para la Calidad del Agua Potable, establecidas en Génova, 1993, es de 500 mg/l. Las directrices de la Unión Europea son más recientes, 1998, completas y estrictas que las de la OMS, sugiriendo un máximo de 250 mg/l de sulfato en el agua destinada al consumo humano.

Al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas.

Las personas que no están acostumbradas a beber agua con niveles elevados de sulfato pueden experimentar diarrea y deshidratación. Los niños son a menudo más sensibles al sulfato que los adultos (Lenntech; 1998).

Vanadio

Elemento químico de símbolo V. Es un metal que se utilizó inicialmente en aleaciones con hierro y acero. Varios de los compuestos de vanadio se emplean en la industria química, sobre todo en la fabricación de catalizadores de oxidación, y en la industria cerámica como agentes colorantes.

El Vanadio puede ser encontrado en el ambiente, en algas, plantas, invertebrados, peces y muchas otras especies.

Zinc

Elemento químico de símbolo Zn. El zinc es uno de los elementos menos comunes; se estima que forma parte de la corteza terrestre en un 0.0005-0.02% (Lenntech; 1998). Ocupa el lugar 25 en orden de abundancia entre los elementos. En promedio, el cuerpo humano contiene cerca de dos gramos de zinc.

El Zinc es una sustancia muy común que ocurre naturalmente. Muchos alimentos contienen ciertas concentraciones de Zinc. El agua potable también contiene cierta cantidad de Zinc. La cual puede ser mayor cuando es almacenada en tanques de metal. Las fuentes industriales o los emplazamientos para residuos tóxicos pueden ser la causa del Zinc en el agua potable llegando a niveles que causan problemas.

El Zinc ocurre de forma natural en el aire, agua y suelo, pero las concentraciones están aumentando por causas no naturales, debido a la adición de Zinc a través de las actividades humanas. El agua es contaminada con Zinc, debido a la presencia de grandes cantidades de Zinc en las aguas residuales de plantas industriales. Estas aguas residuales no son depuradas satisfactoriamente. Una de las consecuencias es que los ríos están depositando fango contaminado con Zinc en sus orillas. El zinc puede también incrementar la acidez de las aguas.

El Zinc soluble en agua que está localizado en el suelo puede contaminar el agua subterránea.

El Zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando la gente absorbe poco Zinc estos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor. Pequeñas llagas, y erupciones cutáneas. La acumulación del Zinc puede incluso producir defectos de nacimiento.

Incluso los humanos pueden manejar proporcionalmente largas cantidades de Zinc, demasiada cantidad de Zinc puede también causar problemas de salud eminentes, como es úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles alto de

Zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis.

6.2.3 Características bacteriológicas

Los microorganismos más importantes que podemos encontrar en las aguas son: bacterias, virus y distintos tipos de algas. La contaminación de tipo bacteriológica es debida fundamentalmente a los desechos humanos y animales, ya que los agentes patógenos se encuentran en las heces, orina y sangre, y son origen de muchas enfermedades y epidemias (fiebres tifoideas, disentería, cólera, polio, hepatitis infecciosa, entre otras). Desde el punto de vista histórico, la prevención de las enfermedades originadas por las aguas constituyó la razón fundamental del control de la contaminación.

Los organismos indicadores de contaminación más utilizados son:

Coliformes Fecales

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44,5° C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de los animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal¹⁵.

Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta es la característica que diferencia a coliformes totales y fecales.

Su uso se ha restringido para aguas tratadas y aguas minerales. Para aguas superficiales o para evaluar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales deben usarse los coliformes fecales. Solamente deberá recurrirse a los coliformes totales si no hay condiciones para cuantificar los coliformes fecales.

¹⁵ Prieto B., 2004, pág. 56

Coliformes totales

La presencia de coliformes totales debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas: deben estar ausentes en 85% de las muestras de aguas potables tratadas. En caso de estar presentes, su número no puede ser superior a 2-3 coliformes. Esta contaminación a pesar de ser baja, no puede ocurrir en tres muestras recolectas en días consecutivos.

En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como un alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución¹⁶.

6.3 Metodología utilizada

6.3.1 Procedimientos utilizados para el análisis en el Laboratorio CICAM

Los procedimientos para analizar los diferentes parámetros, son métodos internos basados en los Métodos Estándar de la APHA, AWWA – WPCF. A continuación se enumeran los parámetros y los procedimientos utilizados para la valoración:

TABLA 9
PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO
Método estándar APHA, AWWA, WPCF

PARÁMETRO	PROCEDIMIENTO
Aluminio, Al	Procedimiento interno ALUMINIO mth ¹⁷
Amoniaco, (N-NH ₃)	Procedimiento interno AMONIO mth
Antimonio, Sb	Absorción atómica
Arsénico, As	Absorción atómica
Bario, Ba	Procedimiento interno BARIO mth
Boro, B	Procedimiento interno BORO mth
Cadmio, Cd	Procedimiento interno CADMIO mth
Cianuros, CN	Procedimiento interno CIANUROS mth
Cloro libre residual	Procedimiento interno CLORO mth
Cloruros, Cl	Procedimiento interno CLORUROS mth

¹⁶ Prieto B., 2004, pág. 57

¹⁷ Métodos internos basados en los Métodos Estándar de la APHA-WWA-WPCF

PARÁMETRO	PROCEDIMIENTO
Cobalto, Co	Procedimiento interno COBALTOO mth
Cobre, Cu	Procedimiento interno COBRE mth
Coliformes fecales	Procedimiento interno COLIFORMES FECALES mth
Coliformes totales	Procedimiento interno COLIFORMES TOTAL de mth
Color aparente	Procedimiento interno COLOR APARENTE mth
Cromo, Cr (Cromo hexavalente)	Procedimiento interno CROMO mth
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	Procedimiento interno DBO ₅ mth
Detergentes	Procedimiento interno DETERGENTES mth
Dureza total (CaCO ₃)	Procedimiento interno DUREZA CÁLCICA mth
Estaño, Sn	Absorción atómica
Fenoles	Procedimiento interno FENOLES mth
Flúor, F	Procedimiento interno FLUOR mth
Fósforo, (P-PO ₄)	Procedimiento interno FÓSFORO mth
Hierro, Fe	Procedimiento interno HIERRO TOTAL mth
Manganeso, Mn	Procedimiento interno MANGANESO mth
Mercurio, Hg	Absorción atómica
Niquel, Ni	Procedimiento interno NIQUEL mth
Nitratos, NO ₃	Procedimiento interno NITRATOS mth
Nitritos, NO ₂	Procedimiento interno NITRITOS mth
Oxígeno disuelto	Absorción atómica
Plata, Ag	Absorción atómica
pH	PEE/CICAM/02
Plomo, Pb	Procedimiento interno PLOMO mth
Potasio, K	Procedimiento interno POTASIO mth
Selenio, Se	Absorción atómica
Sodio, Na	Absorción atómica
Sólidos totales disueltos	Procedimiento interno SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS mth
Sulfatos, SO ₄	Procedimiento interno SULFATOS mth
Vanadio, V	Absorción atómica
Turbiedad	Procedimiento interno TURBIEDAD mth
Zinc	Procedimiento interno ZINC mth

Fuente: Análisis de laboratorio CICAM

*Nota: los análisis con la metodología aplicada y resultados de parámetros muestreados del Laboratorio CICAM se encuentran en el ANEXO 5.

6.3.2 Procedimientos utilizados para análisis en el Laboratorio de Procesos de la UISEK

Para determinar la cantidad de concentración de los contaminantes en el agua se utilizó el equipo espectrofotómetro de luz, de marca HACH DR/4000, junto con su Manual de Procedimientos HACH DR/4000 PROCEDURE.



Fotografía No 7.- Espectrofotómetro de luz

Para determinar parámetros como pH, conductividad, salinidad, STD, temperatura se utilizo un equipo multiparámetro. Las mediciones de estos parámetros fueron hechos *in situ*, es decir en el lugar.

Los procedimientos se aplicaron a los siguientes parámetros:

- Cloro libre residual
- Cloruros
- Hierro
- Color
- Turbidez
- Nitritos
- Nitratos

*Nota: los pasos seguidos con cada uno de estos parámetros se encuentran explicados en el ANEXO 6.

Procedimiento para CLORO LIBRE RESIDUAL

Para realizar este procedimiento se aplica el Método 8167 (DPD Method). El rango de detección por el espectrofotómetro de luz, marca HACH, es de 0 a 2.0 mg/l.



Fotografía No 8.- Reactivo utilizado para la medición de cloro libre residual.

Procedimiento para CLORURO

Para realizar este procedimiento se aplica el Método 8113 (Mercuric Thiocyanate Method). El rango de detección por el espectrofotómetro de luz, marca HACH, es de 0 a 25.00 mg/L Cl⁻.

Procedimiento para HIERRO

Para realizar este procedimiento se aplica el Método 8008 (Mercuric Thiocyanate Method). El rango de detección por el espectrofotómetro de luz, marca HACH, es de 0 a 3.00 mg/L.

Procedimiento para COLOR

Para realizar este procedimiento se aplica el Método 8025 (Platinum-Cobalt Standard Method). El rango de detección por el espectrofotómetro de luz, marca HACH, es de 0 a 500 units.

Procedimiento para TURBIDEZ

Para realizar este procedimiento se aplica el Método 10047 (Attenuated Radiation Method).

Procedimiento para NITRATO

Para realizar este procedimiento se aplica el Método 8171 (Cadmium Reduction Method). El rango de detección por el espectrofotómetro de luz, marca HACH, es de 0 a 5.0 mg/l $\text{NO}_3^- \text{N}$.

Procedimiento para NITRITO

Para realizar este procedimiento se aplica el Método 8153 (Ferrus Sulfate Method). El rango de detección por el espectrofotómetro de luz, marca HACH, es de 0 a 250 mg/l NO_2^- .

6.4 Resultados obtenidos de los análisis y evaluación

Los resultados obtenidos, son de los muestreos para análisis físico, químico y bacteriológico mencionados en el anterior capítulo, donde, se referían a alícuotas tomadas en la captación, tanque de cloración y acometidas domiciliarias.

6.4.1 Captación

Muestra 1: Captación (16/01/2007)

TABLA 10
PARÁMETROS ANALIZADOS. CAPTACIÓN / MUESTRA 1

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE ¹⁸	EVALUACIÓN
Aluminio, Al	mg/l	0.02	0.25	✓
Amoniaco, (N-NH ₃)	mg/l	0.06	1.0	✓
Arsénico, As	ug/l	<0	10.0	✓
Bario, Ba	mg/l	1	0.7	X
Cadmio, Cd	ug/l	100	0.003	X
Cloruros, Cl	mg/l	9	250.0	✓
Cobre, Cu	mg/l	0.02	1.0	✓
Coliformes fecales	NMP/100ml	Ausencia	<2	✓
Coliformes totales	NMP/100ml	Ausencia	<2	✓
Color aparente	uc. Pt-Co	34	15.0	X
Cromo, Cr (Cromo hexavalente)	mg/l	0.01	0.05	✓
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg/l	1.5		
Dureza total (CaCO ₃)	mg/l	20	300.0	✓
Flúor, F	mg/l	0.18	1.5	✓
Fósforo, (P-PO ₄)	mg/l	0.03	0.1	✓
Hierro, Fe	mg/l	0.38	0.3	X
Manganeso, Mn	mg/l	0.05	0.1	✓
Nitratos, NO ₃	mg/l	9.24	10.0	✓
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE	EVALUACIÓN
Nitritos, NO ₂	mg/l	0.01	0	X
Oxígeno disuelto		9.2		
pH		7.37	6.5 – 8.5	✓
Plomo, Pb	ug/l	<3	10	✓
Selenio, Se	ug/l	<0.1	10	✓
Sólidos totales disueltos	mg/l	29	1000.0	✓
Turbiedad	NTU	2.60	5.0	✓

Fuente: Análisis de laboratorio CICAM

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

¹⁸ Los límites permisibles están de acuerdo a la NTE INEN 1108:2006

Muestra 3: Captación (24/04/2007)

TABLA 11
PARÁMETROS ANALIZADOS. CAPTACIÓN / MUESTRA 3

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE ¹⁹	EVALUACIÓN
Aluminio, Al	mg/l	0.03	0.25	✓
Amoniaco, (N-NH ₃)	mg/l	0.02	1.0	✓
Arsénico, As	ug/l	<0.1	10.0	✓
Bario, Ba	mg/l	0	0	✓
Cadmio, Cd	mg/l	0.05	0.003	X
Cianuros, CN	mg/l	0.002	0	X
Cloro libre residual	mg/l	0	0.3 – 1.5	X
Cloruros, Cl	mg/l	3.91	250.0	✓
Cobalto, Co	mg/l	0.03	0.2	✓
Cobre, Cu	mg/l	0.04	1.0	✓
Coliformes fecales	NMP/100ml	<2	<2	✓
Coliformes totales	NMP/100ml	<2	<2	✓
Color aparente	uc. Pt-Co	24	15.0	X
Cromo, Cr (Cromo hexavalente)	mg/l	0.003	0.05	✓
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg/l	2		
Detergentes	mg/l	0	0	✓
Dureza total (CaCO ₃)	mg/l	0	300.0	✓
Flúor, F	mg/l	0.10	1.5	✓
Fósforo, (P-PO ₄)	mg/l	0.11	0.1	X
Hierro, Fe	mg/l	0.01	0.3	✓
Manganeso, Mn	mg/l	0.09	0.1	✓
Nitratos, NO ₃	mg/l	10.12	10.0	X
Nitritos, NO ₂	mg/l	0.01	0	X
Oxígeno disuelto		8.1		
pH		7.25	6.5 – 8.5	✓
Potasio, K	mg/l	3	20.0	✓
Selenio, Se	ug/l	<0.1	10.0	✓
Sodio, Na	mg/l	5.39	200.0	✓
Sólidos totales disueltos	mg/l	96	1000.0	✓
Sulfatos, SO ₄	mg/l	0	200.0	✓
Vanadio, V	mg/l	<0.1	0.1	✓
Turbiedad	NTU	1.80	5.0	✓
Zinc	mg/l	0.09	3.0	✓

Fuente: Análisis de laboratorio CICAM

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

¹⁹ Los límites permisibles están de acuerdo a la NTE INEN 1108:2006

6.4.2 Tanque de Cloración

Muestra 2 : Tanque de cloración (13/02/2007)

TABLA 12
PARÁMETROS ANALIZADOS. TANQUE DE CLORACIÓN / MUESTRA 2

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE ²⁰	EVALUACIÓN
Aluminio, Al	mg/l	0.03	0.25	✓
Amoniaco, (N-NH ₃)	mg/l	<0.02	1.0	✓
Antimonio, Sb	ug/l	<0.1	5.0	✓
Arsénico, As	ug/l	18.6	10.0	X
Bario, Ba	mg/l	0	0.7	✓
Boro, B	mg/l	0	0.3	✓
Cadmio, Cd	mg/l	0.001	0.003	✓
Cianuros, CN	mg/l	0	0	✓
Cloro libre residual	mg/l	0	0.3 – 1.5	X
Cloruros, Cl	mg/l	2.90	250.0	✓
Cobalto, Co	mg/l	0	0.2	✓
Cobre, Cu	mg/l	0.01	1.0	✓
Coliformes fecales	NMP/100ml	Ausencia	<2	✓
Coliformes totales	NMP/100ml	3.6	<2	X
Color aparente	uc. Pt-Co	43	15.0	X
Cromo, Cr (Cromo hexavalente)	mg/l	0.01	0.05	✓
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg/l	2		
Detergentes	mg/l	0	0	✓
Dureza total (CaCO ₃)	mg/l	21	300.0	✓
Estaño, Sn	ug/l	<0.1	100.0	✓
Fenoles	mg/l	0	0	✓
Flúor, F	mg/l	0.18	1.5	✓
Fósforo, (P-PO ₄)	mg/l	0.15	0.1	X
Hierro, Fe	mg/l	0.43	0.3	X
Manganeso, Mn	mg/l	0.14	0.1	X
Mercurio, Hg	ug/l	<0.1	0	✓
Niquel, Ni	mg/l	0	0.02	✓
Nitratos, NO ₃	mg/l	9.68	10.0	✓
Nitritos, NO ₂	mg/l	0.01	0	X
Oxígeno disuelto		8.7		
Plata, Ag	mg/l	0	0.05	✓
pH		7.78	6.5 – 8.5	✓
Plomo, Pb	mg/l	0.01	0.01	✓
Potasio, K	mg/l	2.4	20.0	✓

²⁰ Los límites permisibles están de acuerdo a la NTE INEN 1108:2006

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE	EVALUACIÓN
Selenio, Se	ug/l	12.4	10.0	X
Sodio, Na	mg/l	5.16	200.0	✓
Sólidos totales disueltos	mg/l	37	1000.0	✓
Sulfatos, SO ₄	mg/l	0	200.0	✓
Vanadio, V	mg/l	<0.1	0.1	✓
Turbiedad	NTU	2.60	5.0	✓
Zinc	mg/l	0.32	3.0	✓

Fuente: Análisis de laboratorio CICAM

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Muestra 4: Tanque de Cloración (24/04/2007)

TABLA 13
PARÁMETROS ANALIZADOS. TANQUE DE CLORACIÓN / MUESTRA 4

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE ²¹	EVALUACIÓN
Aluminio, Al	mg/l	0.11	0.25	✓
Amoniaco, (N-NH ₃)	mg/l	0.03	1.0	✓
Antimonio, Sb	ug/l	<0.1	5.0	✓
Arsénico, As	ug/l	<0.1	10.0	✓
Bario, Ba	mg/l	0	0.7	✓
Cadmio, Cd	mg/l	1.29	0.003	X
Cianuros, CN	mg/l	0.002	0	X
Cloro libre residual	mg/l	0.01	0.3 – 1.5	X
Cloruros, Cl	mg/l	3.65	250.0	✓
Cobalto, Co	mg/l	0.02	0.2	✓
Cobre, Cu	mg/l	0.02	1.0	✓
Coliformes fecales	NMP/100ml	<2	<2	✓
Coliformes totales	NMP/100ml	<2	<2	✓
Color aparente	uc. Pt-Co	28	15.0	X
Cromo, Cr (Cromo hexavalente)	mg/l	0.01	0.05	✓
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg/l	3		
Detergentes	mg/l	0	0	✓
Dureza total (CaCO ₃)	mg/l	0	300.0	✓
Flúor, F	mg/l	0.14	1.5	✓
Fósforo, (P-PO ₄)	mg/l	0.12	0.1	X
Hierro, Fe	mg/l	0	0.3	✓
Manganeso, Mn	mg/l	0.34	0.1	X
Mercurio, Hg	ug/l	<0.1	0	X
Nitratos, NO ₃	mg/l	11.44	10.0	X
Nitritos, NO ₂	mg/l	0.01	0	X

²¹ Los límites permisibles están de acuerdo a la NTE INEN 1108:2006

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE	EVALUACIÓN
Oxígeno disuelto		9.2		
pH		7.15	6.5 – 8.5	✓
Plomo, Pb	ug/l	3	10	✓
Potasio, K	mg/l	3.2	20.0	✓
Selenio, Se	ug/l	0.5	10.0	✓
Sodio, Na	mg/l	6.02	200.0	✓
Sólidos totales disueltos	mg/l	134	1000.0	✓
Sulfatos, SO ₄	mg/l	0	200.0	✓
Vanadio, V	mg/l	<0.1	0.1	✓
Turbiedad	NTU	2	5.0	✓
Zinc	mg/l	0.14	3.0	✓

Fuente: Análisis de laboratorio CICAM

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

6.4.3 Acometidas Domiciliarias

TABLA 14
PARÁMETROS ANALIZADOS. ACOMETIDAS DOMICILIARIAS

	Sector	Coordenadas	pH	STD (mg/l)	Salinidad	Conductividad (μS/cm)	Temperatura °C	Cloruro (mg/l Cl ⁻)	Cloro libre residual (mg/l Cl ₂)	Nitrito (mg/l NO ₂ ⁻)	Nitrato (mg/l NO ₃ ⁻ - N)	Hierro, Fe (mg/l)
LÍMITE PERMISIBLE ²²			6.5 – 8.5	1000				250	0.3 – 1.5	0	10	0.3
MUESTRA 1 (2007/03/13)	Culacúsí	17734478E	7,40	31,20	0,0	66,10	13,70	3,27	0,01	1,70	0,35	
		9922797N										
	Sigchila	17734418E	7,39	34,40	0,0	72,90	15,60	2,84	0,03	1,20	0,56	
		9921480N										
	San José	17735449E	6,70	101,00	0,1	200,50	14,90	2,62	0,11	2,40	0,26	
		9921785N										
	Centro	17734855E	7,51	31,30	0,0	66,50	14,00	2,79	0,03	1,50	0,31	0.271
		9922082N										
MUESTRA 2 (2007/04/24)	Culacúsí	17734478E	7,25	28,30	0,0	60,10	14,60	0,79	0,02	1,00	0,30	
		9922797N										
	Sigchila	17734418E	7,18	96,00	0,1	201,00	15,20	0,16	0,02	1,10	0,53	
		9921480N										
	San José	17735449E	6,90	98,00	0,1	170,10	14,70	1,23	0,16	2,70	0,21	
		9921785N										
	Centro	17734855E	7,39	34,90	0,0	73,70	13,80	0	0,04	1,10	0,45	0.310
		9922082N										
MUESTRA 3 (2007/05/18)	Culacúsí	17734478E	7,85	29,80	0,0	63,30	14,40	0,45	0,05	2,30	0,37	
		9922797N										
	Sigchila	17734418E	7,28	31,30	0,0	66,50	15,10	0,08	0,03	1,15	0,55	
		9921480N										
	San José	17735449E	6,88	95,00	0,1	198,50	15,10	0,20	0,14	0,30	1,27	
		9921785N										
	Centro	17734855E	6,90	40,20	0,0	84,90	15,20	0,10	0,06	1,33	0,57	0.333
		9922082N										

Fuente: Propia

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

²² Los límites permisibles están de acuerdo a la NTE INEN 1108:2006. El color de la letra hace referencia al color que poseen los valores que sobrepasan la norma ya mencionada.

6.5 Interpretación de los resultados de laboratorio

En base a la evaluación realizada utilizando los \checkmark y **X**, se pueden identificar con mayor facilidad los parámetros que exceden el límite permisible. En los puntos de muestreo que se utiliza esta metodología es en Captación y Tanque de Cloración; mientras que la evaluación de las Acometidas Domiciliarias se las hará en base a la Tabla 14.

Esta interpretación de resultados ayudará a determinar los compuestos a los que se deberá evaluar con mayor especificidad, a su vez darán las pautas a utilizarse para mejorar la eficiencia de los procesos y calidad del agua a nivel general.

6.5.1 Captación

Muestra 1 y 3

TABLA 15
EVALUACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO CAPTACIÓN

Punto de muestreo: <u>CAPTACIÓN</u>		
PARÁMETRO	EVALUACIÓN	
	MUESTRA 1	MUESTRA 3
Aluminio, Al	\checkmark	\checkmark
Amoniaco, (N-NH ₃)	\checkmark	\checkmark
Arsénico, As	\checkmark	\checkmark
Bario, Ba	X	\checkmark
Cadmio, Cd	X	X
Cianuros, CN		X
Cloruros, Cl	\checkmark	\checkmark
Cobalto, Co		\checkmark
Cobre, Cu	\checkmark	\checkmark
Coliformes fecales	\checkmark	\checkmark
Coliformes totales	\checkmark	\checkmark
Color aparente	X	X
Cromo, Cr (Cromo hexavalente)	\checkmark	\checkmark
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅ *		
Detergentes		\checkmark

PARÁMETRO	EVALUACIÓN	
	MUESTRA 1	MUESTRA 3
Flúor, F	√	√
Fósforo, (P-PO ₄)	√	X
Hierro, Fe	X	√
Manganeso, Mn	√	√
Nitratos, NO ₃	√	X
Nitritos, NO ₂	X	X
Oxígeno disuelto *		
pH	√	√
Plomo, Pb	√	
Potasio, K		√
Selenio, Se	√	√
Sodio, Na		√
Sólidos totales disueltos	√	√
Sulfatos, SO ₄		√
Vanadio, V		√
Turbiedad	√	√
Zinc		√
*Estos parámetros no presentan evaluación ya que no se encuentra especificado un valor máximo permisible en la NTE INEN 1108:2006		

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Los parámetros marcados con una **X** son los que presentan un valor mayor al límite permisible, estos están expuestos a continuación:

- El color aparente se da por la presencia de sustancias húmicas, ácidos tánicos, hojas o turba. La vegetación presente en la cuenca del afluente del Río Cristal es abundante, por lo que se puede atribuir el no cumplimiento de la norma de color aparente a este factor.



Fotografía No. 9.- vegetación que se encuentra en la cuenca del afluente.

- Los nitritos, nitratos y fosfatos se encuentran directamente relacionados con el color aparente. La descomposición de materia orgánica a más de color aparente al agua, aporta con carga de nitratos, nitritos y fosfatos.
- En las muestras analizadas, el hierro excede el límite máximo permisible; al hierro se lo puede reconocer su presencia en aguas debido a muestra un color amarillento el agua.

La presencia de hierro en el afluente del Río Cristal es indiscutible, ya que en un reconocimiento de campo, aguas arriba del afluente, se observó que el piso del río posee una tonalidad amarillenta y tomate.



Fotografía No. 10.- 200 metros Río arriba de la captación.



Fotografía No. 11.- fondo del río con tonalidad amarilla y tomate.

- La presencia de manganeso al igual que la presencia de hierro en el agua es normal pero cuando exceden su valor permisible causan problemas en el parámetro ya mencionado anteriormente, color aparente.
- El bario, cadmio, cianuros y mercurio supera el límite permisible por factores ambientales y el tipo de comportamiento del suelo.

6.5.2 Tanque de Cloración

Muestra 2 y 4

TABLA 16
EVALUACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO TANQUE DE CLORACIÓN

Punto de muestreo: <u>TANQUE DE CLORACIÓN</u>		
PARÁMETRO	EVALUACIÓN	
	MUESTRA 2	MUESTRA 4
Aluminio, Al	✓	✓
Amoniaco, (N-NH ₃)	✓	✓
Antimonio, Sb	✓	✓
Arsénico, As	X	✓
Bario, Ba	✓	✓
Boro, B	✓	
Cadmio, Cd	✓	X

PARÁMETRO	EVALUACIÓN	
	MUESTRA 2	MUESTRA 4
Cianuros, CN	√	X
Cloro libre residual	X	X
Cloruros, Cl	√	√
Cobalto, Co	√	√
Cobre, Cu	√	√
Coliformes fecales	√	√
Coliformes totales	X	√
Color aparente	X	X
Cromo, Cr (Cromo hexavalente)	√	√
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅ *		
Detergentes	√	√
Dureza total (CaCO ₃)	√	√
Estaño, Sn	√	
Fenoles	√	
Flúor, F	√	√
Fósforo, (P-PO ₄)	X	X
Hierro, Fe	X	√
Manganeso, Mn	X	X
Mercurio, Hg	√	X
Niquel, Ni	√	
Nitratos, NO ₃	√	X
Nitritos, NO ₂	X	X
Oxígeno disuelto*		
Plata, Ag	√	
pH	√	√
Plomo, Pb	√	√
Potasio, K	√	√
Selenio, Se	X	√
Sodio, Na	√	√
Sólidos totales disueltos	√	√
Sulfatos, SO ₄	√	√
Vanadio, V	√	√
Turbiedad	√	√
Zinc	√	√

* Estos parámetros no presentan evaluación ya que no se encuentra especificado un valor máximo permisible en la NTE INEN 1108:2006

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Los parámetros marcados con una **X** son los que presentan un valor mayor al límite permisible, estos están expuestos a continuación:

- Arsénico Este compuesto se encuentra en suelos de forma natural, principalmente, si el material geológico de origen es ígneo. Pos esta razón es muy probable que el arsénico encontrado en el agua sea arrastrado del suelo por escorrentía.
- Coliformes totales este parámetro al exceder la norma nos indica que existe en el agua una carga mayor a la normal de heces provenientes de cualquier tipo de animal.
- Color aparente el color en el agua se da debido a un incremento en hierro y manganeso, o por la presencia elevada de algas.
- Hierro y manganeso estos compuestos son determinantes en el color aparente, ya que brindan un color amarillento-café o negro. Ambos parámetros se encuentran de manera natural en agua y suelo. Los factores climatológicos son puntos clave, ya que nos ayudan a determinar si hubo mayor cantidad de lluvias, es decir mayor cantidad de infiltración y escorrentía a nivel de suelos (mayor cantidad de arrastres de macro y micro elementos propios del suelo).

Este fenómeno puede ocurrir al igual con el fósforo. Se descarta por completo la utilización de fertilizantes (material a portante de fósforo al suelo) terrenos arriba del afluente del Río Cristal.

- La presencia de nitritos y nitratos se da por la presencia excesiva de materia orgánica. El valor de “coliformes fecales” supera la norma, lo que indica que de la descomposición de las heces se están formando nitritos.
- El cloro libre residual no se encuentra cumpliendo con la norma ya para hacerlo necesita estar entre el rango de 0.3 – 1.5 mg/l. Las dosis aplicadas en la

actualidad son bajas al valor normal, ya que en la dosificación la concentración no se debe estar considerando que el cloro tiende a evaporarse con facilidad.

- Tanto el cadmio, cianuro, fósforo, mercurio y selenio se encuentran de forma natural en el ambiente. Las concentraciones pese a que superan el máximo permisible, no son frecuentes en los muestreos anteriores, por lo que se atribuye a un evento climático su elevación en el medio.

6.5.3 Acometidas Domiciliarias

Los valores que sobrepasan o no cumplen la norma en las acometidas domiciliarias son los siguientes:

- Nitritos
 - Cloro libre residual
 - Hierro
-
- Los nitritos son especies tóxicas por las siguientes razones: a) se combinan con la hemoglobina en sangre, a grandes concentraciones produce la enfermedad metahemoglobinemia. b) forman nitrosaminas (R_2N-NO), compuestos cancerígenos en animales y con incidencia de cáncer de estómago en humanos. Un exceso de nitratos en el agua de bebida pueda aumentar la presencia de nitritos en los seres humanos.
 - La concentración y dosificación del agente clorador no satisface el caudal actual del agua, ya que los índices encontrados de cloro libre residual son casi nulos.
 - La concentración de hierro sobrepasa el límite permisible en dos fechas diferentes, esto se debe a que en los meses de abril y mayo las precipitaciones fueron más abundantes, ocasionándose una mayor escorrentía a nivel de suelos; se atribuye también a este fenómeno climático la remoción de suelos debido a la turbulencia ocasionada por el aumento del caudal.

6.6 Verificaciones

Los datos obtenidos en los análisis, presentan tanto en la captación como en los tanques de cloración ciertas inconsistencias, por lo que se replanteo un nuevo muestreo llamado “Muestreo de Verificación”.

El muestreo de verificación consiste en analizar muestras *in situ* y en el Laboratorio de Procesos de la UISEK.

Las inconsistencias encontradas en los análisis tomados (Muestras del 1 al 4), son:

- Valor de color aparente sobre la norma (coloración del agua amarillenta, indicador de presencia de hierro) y valor del hierro levemente sobre la norma o dentro de los límites permisibles.
- Valor del cloro libre residual no esta dentro del rango de calidad del parámetro.
- Se desea determinar también si el valor de nitritos y nitratos se mantiene alto en los análisis a realizarse en el laboratorio.

6.6.1 Metodología del muestreo

Los muestreos se realizaron durante tres días consecutivos, se los hizo con el fin de obtener datos a fines y más congruentes con los resultados obtenidos del Laboratorio CICAM de la Escuela Politécnica.

El análisis de muestras se dividió en dos fases:

Fase “in situ”:

Se obtuvieron muestras de los lugares de interés. Con el kit para medición de cloro libre residual del Municipio de la Ciudad Sigchos, de forma rápida se determinó el valor del pH y del cloro libre residual.



Fotografía No. 12.- kit para la valoración de pH y cloro libre residual

El kit posee dos celdas, una es para valorar la cantidad de cloro libre residual, mientras que la otra es para medir pH. Junto a estas celdas se encuentran valores del 6.8 al 8.2 en el caso del pH y 0.4 a 3.0 en el caso del cloro libre residual; cada parámetro posee una escala a color, con el fin de determinar el valor haciendo referencia a la coloración presentada por la muestra tomada. El procedimiento es el siguiente:

- Se coloca una pequeña alícuota de la muestra a analizarse en la celda del kit, y se ponen 3 gotas de reactivo respectivo en cada celda.
- Se los tapa, agita y se espera por tres minutos a que reaccione.
- Se determina visualmente la valoración del parámetro.



Fotografía No. 13.- valoración del Cl_2 en campo.


Fase 2 “ex situ”

El procedimiento para el análisis de las muestras es el utilizado en el ítem 4.3.2 del presente proyecto de tesis. Las muestras se tomaron en botellas plásticas, se las etiquetó y refrigeró, para luego para ser analizadas en el Laboratorio de Procesos de la UISEK.

6.6.2 Resultados obtenidos

Los análisis in situ, como ex situ se encuentran expresados en la siguiente tabla:


TABLA 17
EVALUACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO TANQUE DE CLORACIÓN

		PARÁMETROS					
		Toolkit		Laboratorio UISEK			
		pH	Cl	Cl (mg/l Cl ₂)	Fe (mg/l)	Color (ADMI)	Turbidez (FAU)
Valor permisible		6.8 - 8.2	0.4 – 3.0	0.3 – 1.5	0.3	15	5
06/07/2007							
Norte	17734016E 9921669N	7,2	0,0	0,030	0,177	17	0
Centro	17734855E 9922082N	7,6	0,0	0,043	-	13	0
Sur	17735379E 9921932N	7,2	0,0	0,033	-	14	0
07/07/2007							
Norte	17734016E 9921669N	7,2	0,4	0,060	0,183	14	0
Centro	17734855E 9922082N	7,2	0,0	0,043	-	16	0
Sur	17735379E 9921932N	7,6	0,0	0,027	-	15	0
08/07/2007							
Norte	17734016E 9921669N	7,2	0,0	0,093	0,192	11	0
Centro	17734855E 9922082N	7,2	0,0	0,057	-	8	0
Sur	17735379E 9921932N	6,8	0,0	0,070	-	13	0

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Independientemente de los puntos de muestreo dentro de la Ciudad de Sigchos, se realizó el análisis de la concentración de hierro el tanque de cloración; los valores obtenidos son los siguientes:

TABLA 18
EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO

	Nº	Fecha	Fe (mg/l)
	1	23/04/2007	0,261
	2	25/04/2007	0,320
	3	27/04/2007	0,016
	4	02/05/2007	0,347
	5	04/05/2007	0,384
	6	06/05/2007	0,319
	7	09/05/2007	0,171
Valor permisible: 0.3			

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

CAPÍTULO VII

CALIDAD DEL AGUA

Para determinar la calidad del agua, los valores obtenidos en laboratorio pasaran a ser analizados en formulas estandarizadas.

Para fines de este proyecto de tesis, se determinará la calidad del agua en sus tres puntos de muestreo. Para realizar la tabulación de los datos obtenidos de los laboratorios se aplicará el Algoritmo del Método Hanssen e Índices de Calidad.

7.1 Algoritmo del Método Hanssen²³

El método Hanssen permite predecir la concentración de los resultados a cualquier probabilidad de ocurrencia. Los pasos para desarrollar este método son los siguientes:

a. Tabulación de datos

Los datos obtenidos a partir del análisis de las muestras se los ordena en sentido descendente, de manera que el mayor valor tenga la menor probabilidad de ocurrencia.

N	C
N ₁	C ₁
N ₂	C ₂
-	-
-	-
N _t	C _N

Donde:

N = número de orden del dato experimental

N_t = número total de datos experimentales

C = Valor del dato experimental

²³ Ehming, S. 2005.

b. Cálculo de frecuencia

El valor de la frecuencia (f) se la obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$f = \frac{n}{Nt + 1}$$

c. Cálculo de la probabilidad de ocurrencia

La probabilidad de ocurrencia (p) se calcula con la formula:

$$p = f \times 100$$

d. Regresión lineal

Con los valores experimentales (variable dependiente Y) ordenados de manera descendente y la probabilidad de ocurrencia (variable independiente X), se efectúa una regresión lineal, utilizando la fórmula de la recta.

$$C = (m \times p) + b$$

Donde:

m = pendiente de la recta

b = intersección lineal

p = probabilidad de ocurrencia

e. Cálculo del porcentaje de error y valores persistentes

Mediante la ecuación de la recta ajustada se obtienen los valores teóricos de percentil (10, 25, 50, 75 y 90). Los percentiles divide la distribución en cien partes, es decir que un percentil contiene 1% de los datos. El porcentaje de error se calcula con la siguiente formula:

$$\% \text{ error} = \frac{\text{Valor calculado} - \text{Valor experimental} * 100}{\text{Valor calculado}}$$

7.2 Índices de Calidad de Agua

Las técnicas a utilizarse en este trabajo de investigación para determinar la calidad del agua, son las siguientes:

- Índice de calidad del agua, WQI
- Índice de calidad del agua, IC

7.2.1 Índice de calidad del agua, IC

Son numerosos los parámetros y condiciones que se deben considerar para determinar la calidad del agua. Por este motivo se ha tratado de establecer un valor que represente la calidad del agua englobando en esta cifra un resumen de sus características más importantes; a este valor se lo denomina Índice de Calidad del Agua. El índice expresado a continuación, marca la relación existente entre la concentración de los contaminantes existentes en la muestra problema y la concentración máxima admitida por la leyes vigentes, dividida para el número de contaminantes considerados. Se aplica la siguiente fórmula:

$$IC = \left[\frac{\left(\frac{Ca}{Cma} \right) + \left(\frac{Cb}{Cmb} \right) + \dots + \left(\frac{Cn}{Cmn} \right)}{n} \right]$$

Donde:

IC: índice de calidad de agua

Ca: concentración de contaminante en a

Cma: es la concentración máxima admitida del contaminante a

n: número de contaminantes consideradas

La interpretación de los resultados se la hace en base a la siguiente relación:

IC ≤ 1 → Buena calidad del agua

IC = 1 → Agua en condiciones aceptables

IC > 1 → Mala calidad del agua

7.2.2 Índice de calidad del agua, WQI

Se lo conoce como índice de calidad del agua, WQI (Water Quality Index). Fue desarrollado en 1960 por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos. El WQI se desarrollo mediante un Delphi, usando un panel de 142 personas repartidas por todos los Estados Unidos con la experiencia en diversos aspectos de la gestión de calidad del agua.

Se presentaron 35 parámetros para realizar el WQI, de estos solo fueron escogidos las variables de mayor importancia, donde tenemos: oxígeno disuelto (O_2), coliformes fecales, pH, demanda biológica de oxígeno a los cinco días (DBO_5), nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4), variación térmica, turbidez (en NTU) y sólidos totales (ST).

Los pesos (w_i) que se expresan a continuación, están basados en las puntuaciones de cada variable. Los pesos tienen un claro sesgo de salud pública, pues están basados en el uso del agua para consumo humano.

Variable	w_i
OD	0.17
Coliformes fecales	0.15
pH	0.12
DBO_5	0.10
NO_3	0.10
PO_4	0.10
Desviación temperatura	0.10
Turbidez	0.08
Sólidos totales (ST)	0.08

Fuente: Ott, 1978, pág. 203

Para determinar el valor del “Índice”, el grupo que conformó el Delphi, realizó un gráfico que representará la variación de la calidad del agua respecto a la cantidad de cada contaminante. Las relaciones resultantes se denominaron “curvas funcionales”. De todas las curvas enviadas se saco una curva media, una para cada contaminante. En cada una de las figuras, la línea sólida representa la media aritmética, mientras que la líneas punteadas que bordean el área sombreada representan el 80% de los límites de seguridad. Cuando el área sombreada es estrecha, quiere decir que la mayoría de los científicos estuvo de acuerdo, mientras que una banda sombreada muy ancha significa lo contrario. Las figuras de las curvas funcionales son las siguientes:

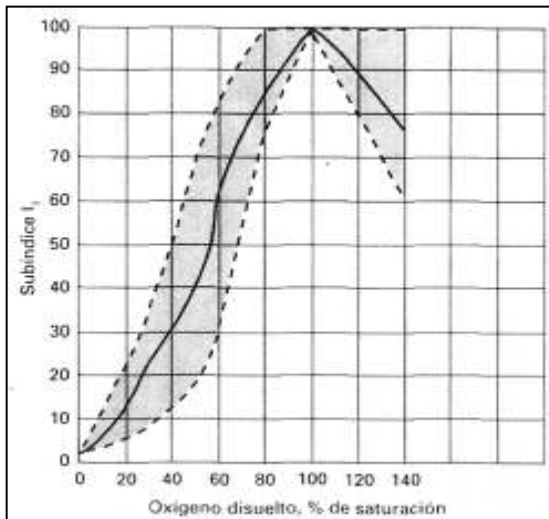


Figura No 1.- Función de subíndice para demanda de oxígeno en el NSF WQI

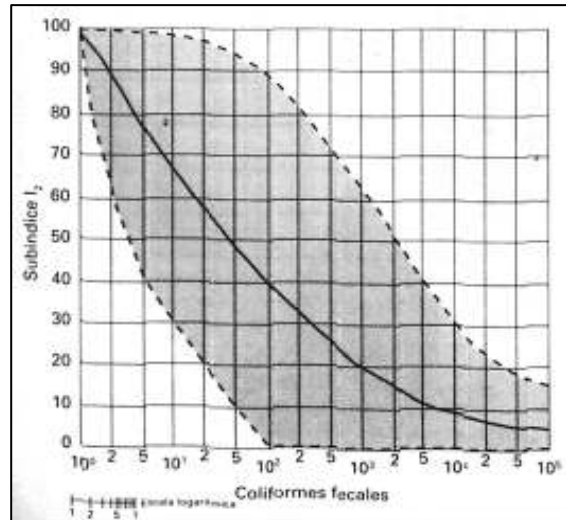


Figura No 2.- Función de subíndice coliformes fecales en el NSF WQI

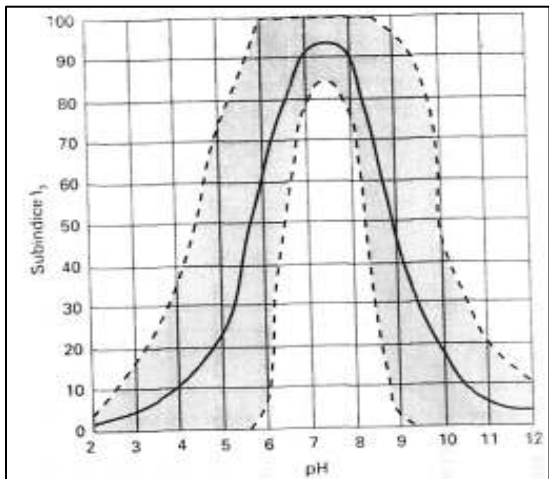


Figura No 3.- Función de subíndice para pH en el NSF WQI

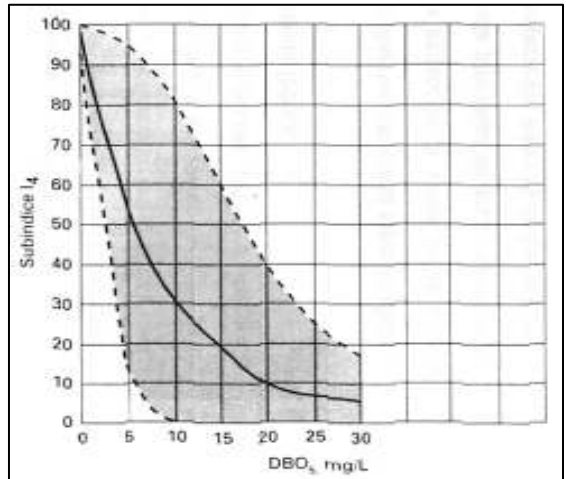


Figura No 4.- Función de subíndice para Demanda Bioquímica de Oxígeno en el NSF WQI

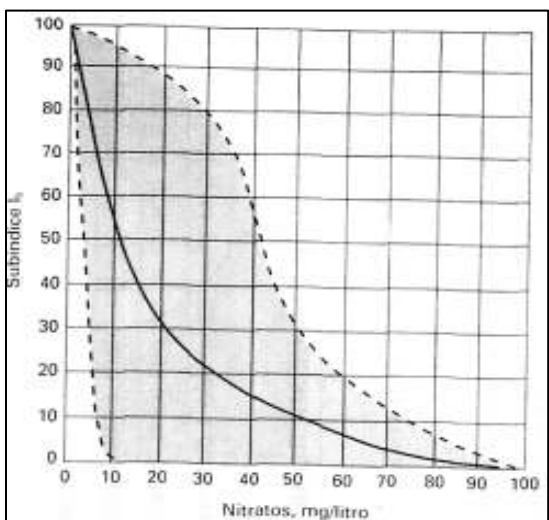


Figura No 5.-Función de subíndice para Nitrato en el NSF WQI

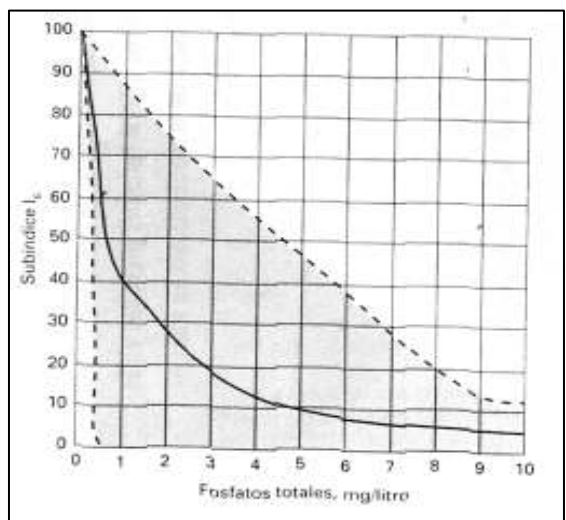


Figura No 6.-Función de subíndice para Fosfatos totales en el NSF WQI

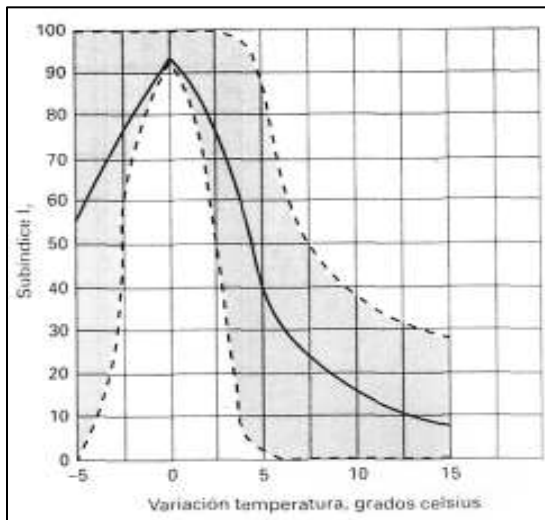


Figura No 7.-Función de subíndice para Desviación de Temperatura del Equilibrio NSF WQI

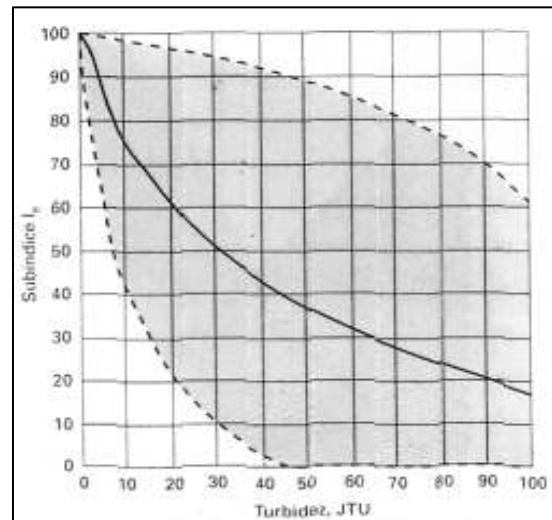


Figura No 8.-Función de subíndice para Turbidez en el NSF WQI

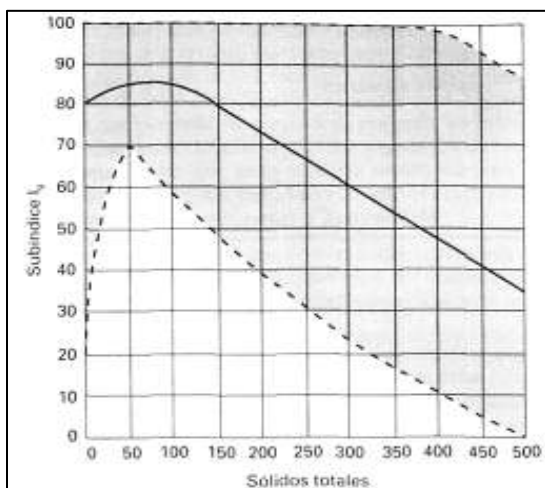


Figura No 9.-Función de subíndice para Sólidos Totales en el NSF WQI

Para calcular el índice WQI agregado, se puede utilizar a una suma lineal ponderada de los subíndices (WQI_a) o una función ponderada de agregación producto (WQI_m). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue a continuación (Ott, 1978):

$$NSFWQI_a = \sum_{i=1}^n w_i l_i$$

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

Donde:






WQI = índice de calidad del agua

w_i = pesos de la importancia basados en las puntuaciones de cada variable dada por el grupo de científicos.

I_i = Función de subíndice para cada parámetro

La interpretación de los resultados se la hace a por medio de la tabla expuesta a continuación:

TABLA 19
DESCRIPTORES Y COLORES PROPUESTOS
PARA PRESENTAR EL ÍNDICE GENERAL WQI

Descriptores	Ámbito numérico	Color
Muy malo	0 - 25	
Malo	26 – 50	
Medio	51 – 70	
Bueno	71 – 90	
Excelente	91 – 100	

Fuente: Ott, 1978, pág. 212

En resumen, los pasos que hay que dar para aplicar el índice WQI en un estudio son los siguientes:

- Reunir los datos medios y extremos de cada parámetro.
- Utilizar las figuras para determinar I_i en condiciones medias y extremas.
- Calcular WQI_a y/o WQI_m para condiciones medias y condiciones extremas, e interpretar los resultados apropiadamente.

El WQI se a utilizado en al menos 17 estados en los Estados Unidos (Ott, 1978). Se usan métodos conceptualmente similares en otros países para calcular índices de calidad de las aguas. Se debe recalcar que este método esta basado en indicadores de contaminantes convencionales, no en los tóxicos.

7.3 Análisis de la Calidad del Agua

Los índices aplicados en los análisis de los laboratorios (CICAM, UISEK), se los ha hecho respetando los puntos de muestreo.

7.3.1 Calidad del agua en la Captación

Los análisis realizados de los parámetros medidos en la captación pueden ser sometidos a los dos tipos de análisis de calidad de agua propuestos.

a. Índice de calidad del agua, WQI

Antecedentes:

Las mediciones expuestas a continuación son fueron tomadas *in situ*. El propósito de presentar estos datos, es para en base a estos realizar una línea de tendencia y así determinar el promedio de los parámetros de interés a aplicarse en el WQI.

TABLA 20
VALORES DE MUESTREO IN SITU (13/02/2007 y 24/04/2007)

Lugar:	Captación	Equipo utilizado:	Multiparámetro		
Coordenadas:	17729344E 9920484N	Tipo de muestra:	Compuesta		

	pH	Conductividad μs/cm	TDS mg/l	Salinidad	Temperatura °C
13/02/2007					
8:50	8,04	269	129	0,1	8,1
9:20	7,96	59,1	27,8	0,1	8,7
9:50	7,97	59,1	27,8	0,1	8,8
10:20	7,90	59	28,1	0,1	9,3
10:50	7,82	59,4	28	0,1	9,3
11:20	7,99	59,5	28	0,1	10,5
11:50	7,82	60,2	28,4	0,1	10,3
12:20	7,94	60,4	28,4	0,1	10
24/04/2007					
9:00	7,07	56,1	26,4	0,1	9,8
9:30	7,06	57,6	27	0,1	9,7
10:00	7,09	58,5	27,6	0,1	9,7
10:30	7,13	57,9	27,2	0,1	9,7
11:00	7,15	55,8	26,2	0,1	9,8
11:30	7,20	57,5	26,7	0,1	9,9
12:00	7,25	57,1	26,8	0,1	10
12:30	7,26	55,1	25,8	0,1	9,9

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Aplicación de Hanssen en los parámetros de interés:

A continuación se expondrán las tablas y gráficos obtenidos de la aplicación de Hanssen.

- pH

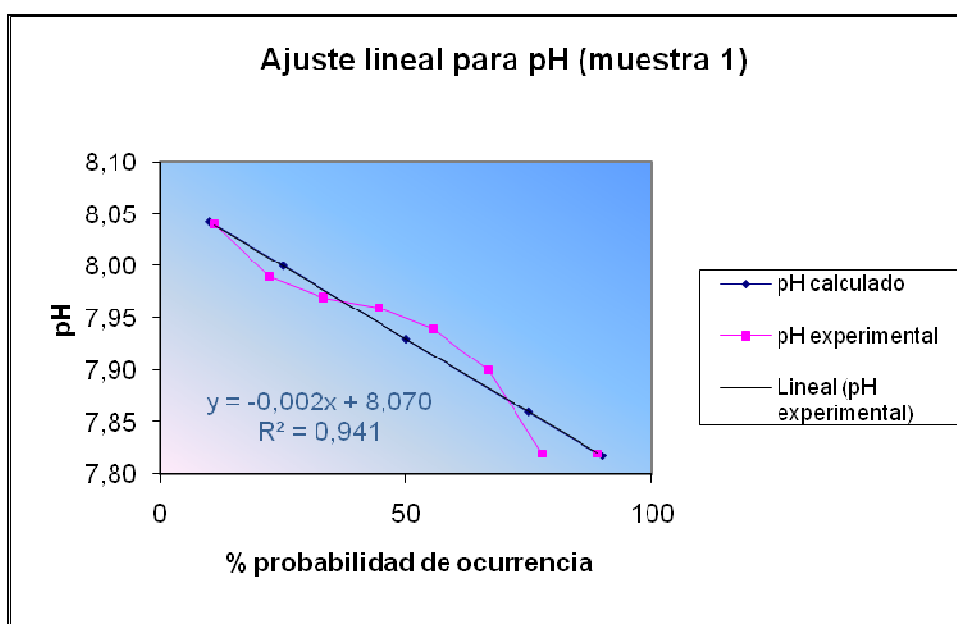
13/02/2007

TABLA 21
APLICACIÓN DE MÉTODO HANSEN PARA pH (muestra 1)

N	Frecuencia $F = n/(N+1)$	Probabilidad %	pH experimental	m	b
1	0,111	11	8,04	-0,003	8,07
2	0,222	22	7,99		
3	0,333	33	7,97		
4	0,444	44	7,96		
5	0,556	56	7,94		
6	0,667	67	7,90		
7	0,778	78	7,82		
8	0,889	89	7,82		

Valores persistentes		Valores Notables	
10	8,04	Max	8,04
25	8,00	Min	7,82
50	7,93	Promedio	7,93
75	7,86		
90	7,82		

FIGURA 10
AJUSTE LINEAL PARA pH (Muestra 1)



Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

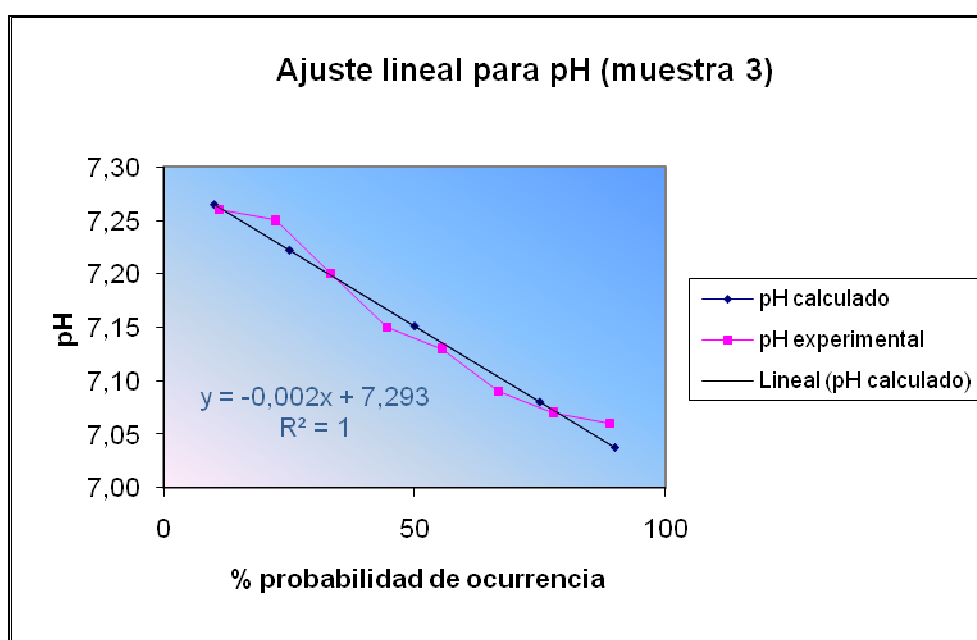
24/04/2007

TABLA 22
APLICACIÓN DE MÉTODO HANSEN PARA pH (muestra 3)

N	Frecuencia $F = n/(N+1)$	Probabilidad %	pH experimental	m	b
1	0,111	11	7,26	-0,003	7,29
2	0,222	22	7,25		
3	0,333	33	7,20		
4	0,444	44	7,15		
5	0,556	56	7,13		
6	0,667	67	7,09		
7	0,778	78	7,07		
8	0,889	89	7,06		

Valores persistentes		Valores Notables	
10	7,26	Max	7,26
25	7,22	Min	7,06
50	7,15	Promedio	7,15
75	7,08		
90	7,04		

FIGURA 11
AJUSTE LINEAL PARA pH (Muestra 3)



Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

- STD

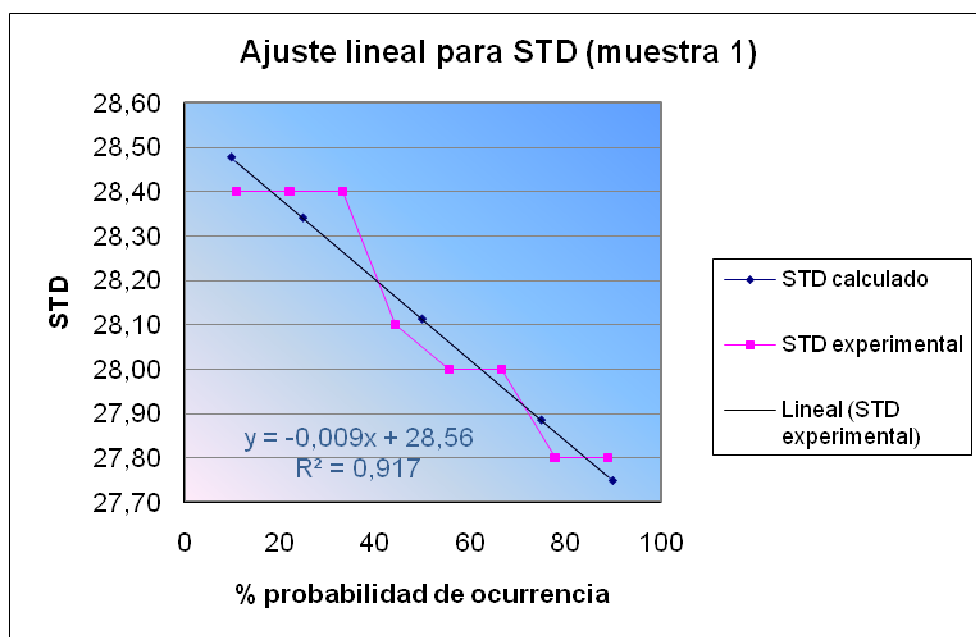
13/02/2007

TABLA 23
APLICACIÓN DE MÉTODO HANSEN PARA STD (muestra 1)

N	Frecuencia $F = n/(N+1)$	Probabilidad %	STD experimental	m	b
1	0,111	11	28,4	-0,009	28,57
2	0,222	22	28,4		
3	0,333	33	28,4		
4	0,444	44	28,1		
5	0,556	56	28		
6	0,667	67	28		
7	0,778	78	27,8		
8	0,889	89	27,8		

Valores persistentes		Valores Notables	
10	28,48	Max	28,4
25	28,34	Min	27,8
50	28,11	Promedio	28,11
75	27,88		
90	27,75		

FIGURA 12
AJUSTE LINEAL PARA STD (Muestra 1)



Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

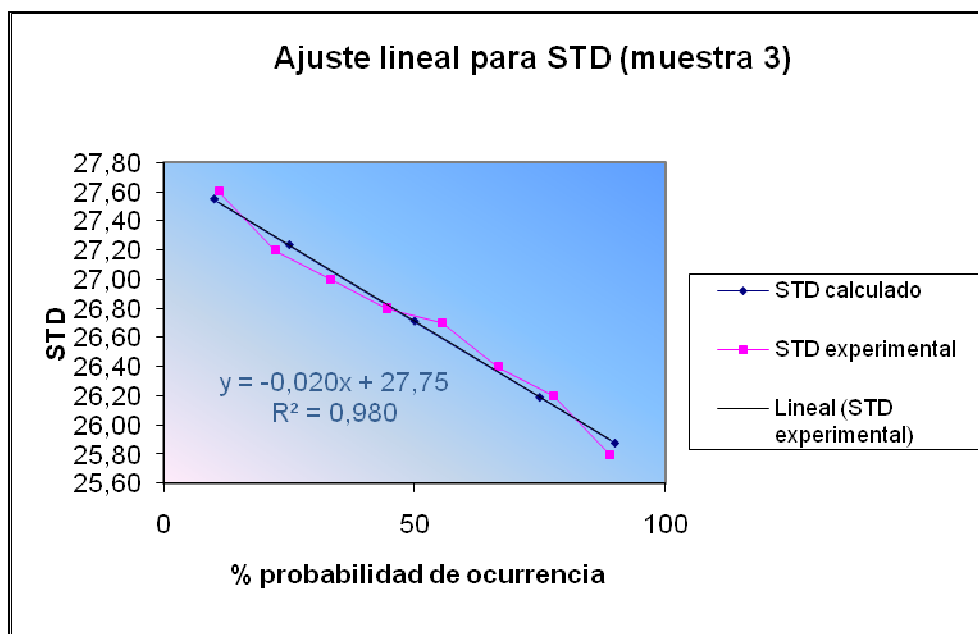
24/04/2007

TABLA 24
APLICACIÓN DE MÉTODO HANSEN PARA STD (muestra 3)

N	Frecuencia $F = n/(N+1)$	Probabilidad %	STD experimental	m	b
1	0,111	11	27,6	-0,021	27,76
2	0,222	22	27,2		
3	0,333	33	27		
4	0,444	44	26,8		
5	0,556	56	26,7		
6	0,667	67	26,4		
7	0,778	78	26,2		
8	0,889	89	25,8		

Valores persistentes		Valores Notables	
10	27,55	Max	27,6
25	27,23	Min	25,8
50	26,71	Promedio	26,71
75	26,19		
90	25,88		

FIGURA 13
AJUSTE LINEAL PARA STD (Muestra 3)



Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

- Temperatura

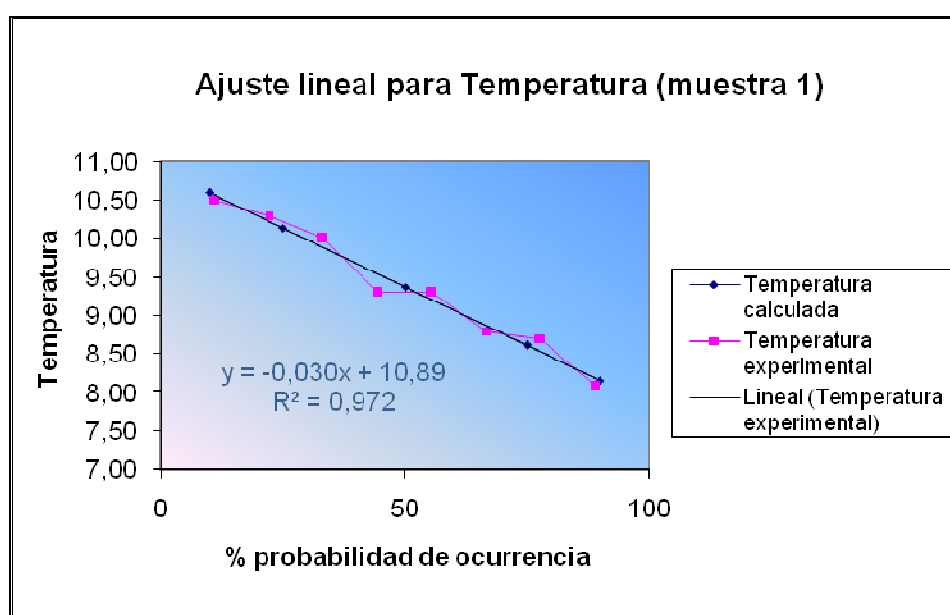
13/02/2007

TABLA 25
APLICACIÓN DE MÉTODO HANSEN PARA Temperatura (muestra 1)

N	Frecuencia $F = n/(N+1)$	Probabilidad %	Temperatura experimental	m	b
1	0,111	11	10,5	-0,030	10,90
2	0,222	22	10,3		
3	0,333	33	10		
4	0,444	44	9,3		
5	0,556	56	9,3		
6	0,667	67	8,8		
7	0,778	78	8,7		
8	0,889	89	8,1		

Valores persistentes		Valores Notables	
10	10,59	Max	10,5
25	10,14	Min	8,1
50	9,38	Promedio	9,38
75	8,61		
90	8,16		

FIGURA 14
AJUSTE LINEAL PARA TEMPERATURA (Muestra 1)



Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

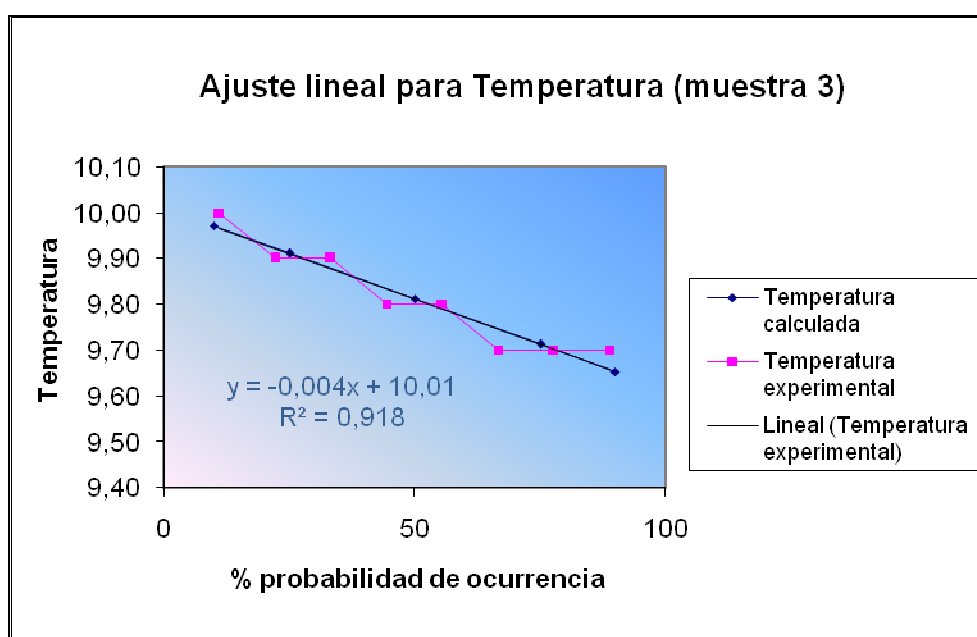
24/04/2007

TABLA 26
APLICACIÓN DE MÉTODO HANSEN PARA Temperatura (muestra 3)

N	Frecuencia $F = n/(N+1)$	Probabilidad %	Temperatura experimental	m	b
1	0,111	11	10	-0,004	10,01
2	0,222	22	9,9		
3	0,333	33	9,9		
4	0,444	44	9,8		
5	0,556	56	9,8		
6	0,667	67	9,7		
7	0,778	78	9,7		
8	0,889	89	9,7		

Valores persistentes		Valores Notables	
10	9,97	Max	10
25	9,91	Min	9,7
50	9,81	Promedio	9,81
75	9,71		
90	9,65		

FIGURA 15
AJUSTE LINEAL PARA TEMPERATURA (Muestra 3)



Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Análisis de la Calidad del Agua:

Con los promedios obtenidos a través del Método Hanssen, se puede elaborar la siguiente tabla:

TABLA 27
VALOR DE I_i DE LOS PARÁMETROS DE INTERÉS

Parámetro	Unidad	Muestra 1	Muestra 3	Promedio	I_i
OD		9,20	8,10	8,65	50
Coliformes fecales	NPM/100ml	<2	<2	<2	90
pH		7,93	7,15	7,54	94
DBO ₅		1,50	2,00	1,75	98
Nitratos	mg/l	9,24	10,12	9,68	56
Fosfatos	mg/l	0,03	0,11	0,07	99
Temperatura	°C	9,38	9,81	9,60	18
Turbidez	JTU	2,60	1,80	2,20	98
Sólidos totales	mg/l	28,19	26,71	27,45	84

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Esta tabla nos permitirá determinar el I_c en las figuras obtenidas a través del análisis Delphi realizado por expertos de Estados Unidos. La tabla que se expone a continuación, indica los resultados del Índice de Calidad.


TABLA 28
RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS PARA ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA (WQI)

Parámetro	Medida	I_i	W_i	$I_i W_i$	I_i^w
OD	8,65	50	0,17	8,5	1,94
Coliformes fecales	<2	90	0,15	13,5	1,96
pH	7,54	94	0,12	11,28	1,72
DBO ₅	1,75	98	0,1	9,8	1,58
Nitratos	9,68	56	0,1	5,6	1,49
Fosfatos	0,07	99	0,1	9,9	1,58
Temperatura	9,60	18	0,1	1,8	1,33
Turbidez	2,20	98	0,08	7,84	1,44
Sólidos totales	27,45	84	0,08	6,72	1,42
				WQI_a = 74,94	WQI_m = 14,46

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Interpretación de resultados y conclusiones

El valor de WQI obtenido de la $\Sigma I_i W_i$, está ubicado dentro de un rango numérico el que indica las condiciones actuales de calidad del agua.

El WQI_a resultante de los análisis realizados en los diferentes laboratorios, se presenta dentro del rango de 71 – 90, lo que ubica a la captación como una fuente de abastecimiento “**buena**” (color verde ).

b. Índice de calidad del agua, IC

Análisis de la Calidad del Agua

Para determinar la calidad del agua, se realizó un promedio de los resultados de las 2 muestras tomadas en la captación.

TABLA 29
VALORACIÓN DE MUESTRAS TOMADAS EN LA
CAPTACIÓN PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD (IC)

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE ²⁴	RESULTADO		PROMEDIO
			13/02/2007	24/04/2007	
Aluminio, Al	mg/l	0,25	0,02	0,03	0,025
Amonio, (N-NH ₃)	mg/l	1	0,06	0,02	0,04
Arsénico, As	mg/l	0,01	<0	<0,1	<0,1
Bario, Ba	mg/l	0,7	1	0	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003	0,0001	0,00005	0,000075
Cianuros, CN	mg/l	0		0,002	0,002
Cloro libre residual	mg/l	0,3 - 1,5		0	0
Cloruros, Cl	mg/l	250	9	3,91	6,455
Cobalto, Co	mg/l	0,2		0,03	0,03
Cobre, Cu	mg/l	1	0,02	0,04	0,03
Coliformes fecales	NMP/100ml	<2	Ausencia	<2	<2
Coliformes totales	NMP/100ml	<2	Ausencia	<2	<2
Color aparente	uc. Pt-Co	15	34	24	29
Cromo, Cr (Cromo hexavalente)	mg/l	0,05	0,01	0,003	0,0065
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅ *	mg/l		1,5	2	1,75
Detergentes	mg/l	0		0	0
Dureza total (CaCO ₃)	mg/l	300	20	0	10
Flúor, F	mg/l	1,5	0,18	0,1	0,14
Fósforo, (P-PO ₄)	mg/l	0,1	0,03	0,11	0,07

²⁴ Parámetros analizados pese a que no constan en la tabla de la NTE INEN 1108:2006

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE ²⁵	RESULTADO		PROMEDIO
			13/02/2007	24/04/2007	
Hierro, Fe	mg/l	0,3	0,38	0,01	0,195
Manganeso, Mn	mg/l	0,1	0,05	0,09	0,07
Nitratos, NO ₃	mg/l	10	9,24	10,12	9,68
Nitritos, NO ₂	mg/l	0	0,01	0,01	0,01
Oxígeno disuelto*			9,2	8,1	8,65
pH		6,5 - 8,5	7,37	7,15	7,26
Potasio, K	mg/l	20		3	3
Plomo, Pb	mg/l	0,01	<0,003		<0,003
Selenio, Se	mg/l	0,01	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Sodio, Na	mg/l	200	5,39		5,39
Sólidos totales disueltos	mg/l	1000	29	96	62,5
Sulfatos, SO ₄	mg/l	200		0	0
Vanadio, V	mg/l	0,1		<0,1	<0,1
Turbiedad	NTU	5	2,6	1,8	2,2
Zinc	mg/l	3		0,09	0,09
***OLOR, SABOR, ANTIMONIO, BORO, ESTAÑO, LITIO, MERCURIO, NIQUEL, PLATA, FENOLES					
Nota: el color azul de la letra, hace referencia a los datos utilizados para tabular el IC.					

Fuente: Análisis de laboratorio CICAM

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Interpretación de resultados y conclusiones

Aplicando la fórmula propuesta por el método IC, el valor obtenido es de **0.3501**.

Este valor nos indica que el agua es de buena calidad.

7.3.2 Calidad del agua en el Tanque de Cloración

Se aplicará únicamente el IC en las muestras analizadas del “tanque de cloración”. Al realizar el análisis de las características del agua muestreada, el color de la alícuota se presenta elevado. Para descartar opciones, se realizan muestreos en un lapso de 3 semanas, con el fin de analizar la concentración de Hierro (Fe) en el punto de muestreo Tanque de Cloración.

²⁵ Parámetros analizados pese a que no constan en la tabla de la NTE INEN 1108:2006

Valor promedio de Fe

A continuación se expondrán la tabla, de donde se calculará el promedio de hierro encontrado en un período de 3 semanas.

Nº	Fecha	Fe (mg/l)
1	23/04/2007	0,261
2	25/04/2007	0,32
3	27/04/2007	0,016
4	02/05/2007	0,347
5	04/05/2007	0,384
6	06/05/2007	0,319
7	09/05/2007	0,171
PROMEDIO:		0,260

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Análisis de la Calidad del Agua

En documentos solicitados al Municipio de la Ciudad de Sigchos se obtuvieron, dos análisis de muestras realizadas en el año 2002 en el punto Tanque de Cloración, las mismas que han sido acopladas a las muestras actualmente tomadas; de esta manera se podrá obtener la calidad del agua en un período más extenso de tiempo. Adicionalmente a tabla expuesta a continuación se le adaptará el promedio de Fe obtenido en Laboratorio de la UISEK.

TABLA 30
VALORACIÓN DE MUESTRAS TOMADAS EN EL TANQUE DE CLORACIÓN
EN DIFERENTES ÉPOCAS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD (IC)

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE	RESULTADO CICAM		RESULTADO DPEC		RESULTADO UISEK	PROMEDIO
			16/01/2007	24/04/2007	24/10/2002	09/12/2002	3 semanas	
Aluminio, Al	mg/l	0,25	0,03	0,11				0,07
Amonio, (N-NH3)	mg/l	1	<0,02	0,03				0,03
Antimonio, Sb	mg/l	0,005	<0,1	<0,1				<0,0001
Arsénico, As	mg/l	0,01	0,0186	<0,0001				0,0186
Bario, Ba	mg/l	0,7	0	0				0
Boro, B	mg/l	0,3	0					0
Cadmio, Cd	mg/l	0,003	0,001	0,00129	<0,016	<0,016		0,0011
Cianuros, CN	mg/l	0	0	0,002	0,002	0,021		0,00625

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE	RESULTADO CICAM		RESULTADO DPEC		RESULTADO UISEK	PROMEDIO
			16/01/2007	24/04/2007	24/10/2002	09/12/2002	3 semanas	
Cloro libre residual	mg/l	0,3 - 1,5	0	0,01	0,05	0,02		0,02
Cloruros, Cl	mg/l	250	2,9	3,65	0,5	88		23,7625
Cobalto, Co	mg/l	0,2	0	0,02				0,01
Cobre, Cu			0,01	0,02				0,015
Coliformes fecales	NMP/100ml	<2	Ausencia	<2		<2		<2
Coliformes totales	NMP/100ml	<2	3,6	<2	<2	<2		3,6
Color aparente	uc. Pt-Co	15	43	28	86	140		74,25
Cromo, Cr (Cromo hexavalente)	mg/l	0,05	0,01	0,01	<0,041	<0,041		0,01
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mg/l		2	3				2,5
Detergentes	mg/l	0	0	0		0,088		0,0293
Dureza total (CaCO3)	mg/l	300	21	0	25	750		199
Estaño, Sn	mg/l	0,1	<0,0001					<0,0001
Fenoles	mg/l	0	0		0,008	0,001		0,003
Flúor, F	mg/l	1,5	0,18	0,14				0,16
Fósforo, (P-PO4)	mg/l	0,1	0,15	0,12				0,135
Hierro, Fe	mg/l	0,3	0,42	0	0,003	2,218	0,260	0,5802
Manganeso, Mn	mg/l	0,1	0,14	0,34	0,023	0,249		0,188
Mercurio, Hg	mg/l	0	<0,0001	<0,0001				<0,0001
Niquel, Ni	mg/l	0,02	0					0
Nitratos, NO3	mg/l	10	9,68	11,44	0,7	0,2		5,505
Nitritos, NO2	mg/l	0	0,01	0,01	0,002	0,011		0,0083
Oxígeno disuelto			8,7	9,2				8,95
Plata, Ag	mg/l	0,05	0					0
pH		6,5 - 8,5	7,78	7,28	7,9	6		7,24
Plomo, Pb	mg/l	0,01	0,01	0,003	<0,079	<0,079		0,0065
Potasio, K	mg/l	20	2,4	3,2				2,8
Selenio, Se	ug/l	0,01	0,0124	0,0005				0,0065
Sodio, Na	mg/l	200	5,16	6,02				5,59
Sólidos totales disueltos	mg/l	1000	37	134	34	3460		916,25
Sulfatos, SO4	mg/l	200	0	0	0,06	203,18		50,81
Vanadio, V	mg/l	0,1	<0,1	<0,1				<0,1
Turbiedad	NTU	5	2,6	2	12	16		8,15
Zinc	mg/l	3	0,32	0,14				0,23
***OLOR, SABOR, LITIO								

Fuente: Análisis de laboratorio CICAM/2007; Laboratorio DPEC/2002; Laboratorio UISEK/2007
Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Interpretación de resultados y conclusiones

Aplicando la fórmula propuesta por el método IC, el valor obtenido es de **0.8124**. Este valor nos indica que el agua es de buena calidad.

7.3.3 Calidad del agua en las Acometidas Domiciliarias

La calidad del agua de las acometidas domiciliarias se determinará por medio del IC, para esto se realizaron medidas en diferentes puntos de Sigchos. El valor promedio de cada parámetro determinara el IC.

TABLA 31
VALORACIÓN DE MUESTRAS TOMADAS EN LAS ACOMETIDAS DOMICILIARIAS
EN DIFERENTES ÉPOCAS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD (IC)

PARÁMETRO	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE	MUESTRA 1 (2007/03/13)				MUESTRA 2 (2007/04/24)				MUESTRA 3 (2007/05/18)				PROMEDIO
		Culacusi	Sigchila	San José	Centro	Culacusi	Sigchila	San José	Centro	Culacusi	Sigchila	San José	Centro	
pH	6,5 - 8,5	7,40	7,39	6,70	7,51	7,25	7,18	6,90	7,39	7,85	7,28	6,88	6,90	7,22
STD (mg/l)	1000	31,20	34,40	101,00	31,30	28,30	96,00	98,00	34,90	29,80	31,30	95,00	40,20	54,28
Salinidad		0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,03
Conductividad (μ S/cm)		66,10	72,90	200,50	66,50	60,10	201,00	170,10	73,70	63,30	66,50	198,50	84,90	110,34
Temperatura °C		13,70	15,60	14,90	14,00	14,60	15,20	14,70	13,80	14,40	15,10	15,10	15,20	14,69
Cloruro (mg/l Cl \square)	250	3,27	2,84	2,62	2,79	0,79	0,16	1,23	0	0,45	0,08	0,20	0,10	1,21
Cloro libre residual (mg/l Cl \square)	0,3 - 1,5	0,01	0,03	0,11	0,03	0,02	0,02	0,16	0,04	0,05	0,02	0,14	0,06	0,06
Nitrito (mg/l NO $\square\square$)	0	1,70	1,20	2,40	1,50	1,00	1,10	2,70	1,10	2,30	33,85	0,30	1,33	4,21
Nitrato (mg/l NO $\square\square$ - N)	10	0,35	0,56	0,26	0,31	0,30	0,53	0,21	0,45	0,37	0,28	1,27	0,57	0,45
Fe (mg/l)	0,3				0,271				0,310				0,333	0,30
Coliformes fecales	<2		ausencia				<2				<2			<2
Coliformes totales	<2		ausencia				<2				<2			<2

Elaborado por: Rita Salazar. Tesis de Grado 2007

Interpretación de resultados y conclusiones

Aplicando la fórmula propuesta por el método IC, el valor obtenido es de **0.22**. Este valor nos indica que el agua es de buena calidad.

7.4 Conclusión

- Se concluye que el agua de la captación, tanque de cloración y acometidas posee un índice de calidad bueno.

CAPÍTULO VIII

PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

8.1 Diseño de bandeja de lavado

El problema del sistema de tratamiento radica en que el mantenimiento ha sido deficiente en todos los años que ha estado en operación, lo que a producido que haya una proliferación de algas.

Si bien es cierto que existe material orgánico en suspensión río arriba de la captación, la mayor carga se produce por el paso de los sedimentos, los cuales taponan los filtros. Cabe recalcar que los filtros no son sometidos a raspados ni a descabezamientos. Por esta razón para liberar de la carga de material en suspensión de los filtros de arena se propone hacer una bandeja de lavado de sedimentos cuyo funcionamiento estará detallado con especificidad en el ANEXO 1 (Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Ciudad de Sigchos).

Previo a decidir la bandeja de lavado como mejor opción, tanto técnica como económica, se consideró hacer un sistema de retro lavado, sin embargo en consultas hechas en el Departamento de Diseño y Construcción de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable, EMAAP; se descartó, ya que las arenas por la presión iban a ser removidas.

Los cálculos para determinar el área la bandeja fueron los siguientes:

Considerando que se debe realizar el proceso de descabezado (2.5cm) se diseño:

$$v = A * h$$

$$v = (10.06*5.86)m^2 * 0.02m$$

$$v = 1.4737m^3$$

El espacio físico en la zona de los filtros es levemente limitado, por lo que se recomienda hacer una bandeja de 2.4 x 40 x 0.2 (m). En el ANEXO 7 se encuentra en detalle el plano en planta y el del diseño de la bandeja de lavado de arenas.

El presupuesto referencial para la construcción de la bandeja de lavado de arenas se presenta en el ANEXO 8.

8.2 Manual de Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Ciudad de Sigchos

El mal mantenimiento de la planta de tratamiento es la razón por la cual, varios parámetros se encuentran fuera de norma; en especial los nitritos y color.

Esta falta de mantenimiento, conlleva a que se formen algas, las mismas que provocan que los procesos se vuelvan ineficientes. Para ratificar este punto, se ha creado un registro fotográfico, el mismo que se presenta a continuación:



Fotografía No. 14.- Algas presente en el tanque sedimentador



Fotografía No. 15.- Algas presentes en el tanque de filtración.

Para evitar el mal mantenimiento de la planta, en el ANEXO 1 se detalla el Manual de Mantenimiento y Operación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Ciudad de Sigchos.

8.3 Determinación de la dosis adecuada de cloro (Hipoclorito de calcio, HTH)

La desinfección del agua es la destrucción de todos los microorganismos que pueden ocasionar daños a la salud y en ocasiones causar hasta la muerte. La desinfección con Hipoclorito de Calcio (HTH) por medio de hipocloradores por Goteo se lo utiliza para la aplicación de cloro al caudal que entra al tanque de almacenamiento.

En los análisis realizados en las diferentes muestras se pudo determinar que el valor del cloro libre residual, no cumple con el rango establecido en la NTE INEN 1108:2006, por lo que se tuvo que realizar un análisis exhaustivo para suministrar la cantidad adecuada de HTH en el último proceso del sistema de tratamiento (tanque de cloración).

Como ya se menciona en el Capítulo III, el tipo de cloración es por goteo. Diariamente se suministra 1.5 litros de solución (HTH + agua); semanalmente se disuelven 2Kg de HTH en los 500 litros de agua del recipiente dosificador ubicado sobre el tanque de cloración.

En base al documento de la USAID²⁶, se ha calculado la dosis de aplicación de cloro mediante los siguientes pasos:

- Aforar el caudal de entrada al tanque
- Calcular la dosis de cloro que se debe aplicar

8.3.1 Aforo del caudal de entrada al tanque

La cantidad de cloro a aplicarse depende directamente del caudal de entrada al tanque de cloración. En el caso de Sigchos, la técnica aplicada para medir el caudal es la de “por tiempo de llenado”; donde, en un recipiente de 10 litros se tomo el tiempo que tardo en llenarse.

En el Capítulo IV, se indica que el caudal de entrada en época de verano es de 4 l/s, y en invierno es de 5 l/s.

Para facilitar el cálculo y la aplicación de la tabla propuesta por el Proyecto Integrado de Recursos de la USAID, se trabajarán los caudales en galones por minuto, es decir:

- Para época de invierno será:

$$5 \frac{l}{s} \left| \frac{1 \text{ galón}}{3.785 \text{ litros}} \right| \frac{60s}{1 \text{ minuto}} = 79.2602 \frac{\text{galón}}{\text{minuto}}$$

- Para época de verano será:

$$4 \frac{l}{s} \left| \frac{1 \text{ galón}}{3.785 \text{ litros}} \right| \frac{60s}{1 \text{ minuto}} = 63.4082 \frac{\text{galón}}{\text{minuto}}$$

²⁶ Tenorio E. (USAID/MIRA), 2006.

8.3.2 Cálculo de la dosis de cloro

Esta cantidad depende del caudal de entrada al tanque de reserva. La cantidad de cloro debe ser suficiente para cubrir la demanda de cloro, es decir, para matar las bacterias que tenga el agua y para que quede un remanente que siga desinfectando.

En el caso del Sistema de Tratamiento de la Ciudad de Sigchos, se debe incrementar la cantidad de cloro. Para determinar la cantidad de cloro se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$C_{Cl} = \frac{Q_e * CC * T * 0.012}{\%CC_{Cl}}$$

Donde:

C_{Cl} = cantidad a aplicarse en libras

Q_e = caudal de entrada

CC = concentración deseada (2mg/l)

T = período de aplicación (cada 4 días)

$\%CC$ = porcentaje de concentración, este varía entre un 65% - 70%

Cálculo de la cantidad de cloro en época de invierno

Resolución:

$Q = 5 \text{ l/s}$

$CC = 2 \text{ mg/l}$

$T = 4 \text{ días}$

Factor de conversión = 0.012

$\%CC = 70\% = 0.70$

Determinación de la Cantidad de Cl

$$C_{Cl} = \frac{79.2602 \text{ gal / min} * 2 \text{ mg / l} * 4 \text{ días} * 0.012}{0.70}$$

$C_{Cl} = 10.87 \text{ libras}$

$C_{Cl} = 5 \text{ kg}$

Cálculo de la cantidad de cloro en época de verano

Resolución:

$$Q = 4 \text{ l/s}$$

$$CC = 2 \text{ mg/l}$$

$$T = 4 \text{ días}$$

$$\text{Factor de conversión} = 0.012$$

$$\%CC = 70\% = 0.70$$

Determinación de la Cantidad de Cl

$$C_{Cl} = \frac{63.4082 \text{ gal / min} * 2 \text{ mg / l} * 4 \text{ días} * 0.012}{0.70}$$

$$C_{Cl} = 8.696 \text{ libras}$$

$$C_{Cl} = 4 \text{ kg}$$

8.3.3 Conclusión

- La dosis recomendada por el presente estudio es de **5 kg** en época de invierno; mientras que en época de verano se recomienda disminuir la dosis ya que baja el caudal, la dosis adecuada es de **4 kg**.

Cabe recalcar que la cantidad de HTH se debe disolver en su totalidad dentro del hipoclorador de 500 litros, dispuesto en la parte superior del tanque de reserva.

CAPITULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SIGCHOS

9.1 Conclusiones

- El caudal aforado a través del método “medidores de velocidad” del afluente del Río Cristal que alimenta a la planta de tratamiento es de 6,055 l/minuto.
- El caudal calculado en el tanque de cloración del sistema de tratamiento es de 5 l/s en invierno y 4 l/s en verano. El método aplicado para medir el caudal es por tiempo de llenado.
- La carga de sólidos disueltos no sobrepasa la norma, por lo que se descarta que la presencia de color del agua es producto de una presencia excesiva de estos.
- El Número de Reynolds (N_R) calculado para determinar la velocidad de sedimentación es de 371.898, esto indica que el flujo del agua en el tanque de sedimentación es laminar.
- La velocidad de sedimentación en el sedimentador es de 2.211 mm/s. La fórmula aplicada fue la de Hazen y Camp.
- El período de retención del agua por parte del tanque sedimentador es de 51.36 minutos; este tiempo de retención del agua es aceptable para sistemas de tratamientos pequeños, según indica el Manual de Procedimientos para el Estudio, Diseño, Construcción y Mantenimiento de los Abastecimientos de Agua de la Misión Andina del Ecuador (1971).
- La rata de filtración es de $26.6616 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$. Se puede determinar que el valor es aceptable, tomando como base el Manual de Procedimientos para el Estudio, Diseño, Construcción y Mantenimiento de los Abastecimientos de Agua de la Misión Andina del Ecuador (1971).

- Los parámetros que superan la normativa aplicable, NTE INEN 1108:2006, en la captación son: bario, cadmio, cianuros, color aparente, fósforo, hierro, nitratos y nitritos.
- Los parámetros que superan la normativa aplicable, NTE INEN 1108:2006, en el tanque de cloración son: arsénico, cadmio, cianuros, cloro libre residual, Coliformes totales, color aparente, fósforo, hierro, manganeso, mercurio, nitratos, nitritos y selenio.
- Los metales y no metales que superan la norma INEN 1108:2006 (arsénico, bario, cadmio, cianuros, fósforo, manganeso, mercurio y selenio) son componentes naturales del suelo y agua; no son producto de actividades antrópicas.
- Se descarta que el color aparente del agua es ocasionado por el hierro.
- El mal mantenimiento de la planta ha ocasionado la proliferación de algas, las cuales al descomponerse aportan al agua una carga excesiva de nitratos, los cuales se transforman en nitritos. La presencia y descomposición de algas no solo ocasionan presencia de nitratos y nitritos sino también inciden en el color amarillento del agua.
- El cloro libre residual posee concentraciones fuera del rango que expone la NTE INEN 1108:2006, esto puede crear problemas a nivel de la dotación del agua potable y la calidad del servicio, ya que en el caso de existir una carga adicional de patógenos (coliformes fecales y coliformes totales), la población de Sigchos estaría expuesta.
- La calidad del agua a nivel de captación, tanque de cloración y acometidas domiciliarias es **buena**, este dictamen se sustenta en la aplicación de Índices de Calidad a los análisis obtenidos en la caracterización de las aguas.
- La dosificación de cloro (HTH) recomendada para que el valor de cloro libre residual cumpla la norma INEN 1108:2006 es de 5 Kg en invierno y de 4 Kg en

verano. El HTH deberá ser previamente disuelto en un balde, después será aplicado en el hipoclorador de 500 l

- La aplicación correcta del manual de procedimientos propuesto en el ANEXO 1 va a mejorar significativamente la calidad del agua de la parroquia Sigchos, zona urbana.
- La construcción de la bandeja para lavado de arenas es fundamental en la mejora global del sistema.

9.2 Recomendaciones

- Es necesario elaborar un manual de operación como parte complementaria al manual de mantenimiento.
- Se recomienda realizar un cronograma de actividades para dar un mantenimiento adecuado a la Planta de Tratamiento de Agua Potable, en este se determinarán actores directos y responsabilidades.
- Si se desea controlar la proliferación de algas, se recomienda colocar en los procesos dosis adecuadas de sulfato de cobre. Para la colocación de este químico se deberán realizar estudios de laboratorio previos.
- Por razón del tamaño de la planta de tratamiento de agua potable, se recomienda realizar un monitoreo a nivel de tanque de cloración 2 veces al año.
- Se recomienda crear una Junta de Aguas para que el sistema de tratamiento se encuentre mejor monitoreado.
- Se recomienda tener un control de la cuenca del afluente del Río Cristal para disminuir la carga orgánica a la entrada del tratamiento de potabilización así como sedimentos.

CAPITULO X

BIBLIOGRAFÍA

Araujo R., Sistema de abastecimiento de agua potable para Barreiro, cantón Babahoyo, provincia de Los Ríos; Tesis; Quito (Ecuador)

Arboleda J.; tercera edición; 2000; Teoría de la práctica de la purificación del agua, Tomo 1; Bogotá (Colombia); Editorial Mc. Graw Hill; págs. 200-218

Arboleda J.; tercera edición; 2000; Teoría de la práctica de la purificación del agua, Tomo 2; Bogotá (Colombia); Editorial Mc. Graw Hill; págs. 582-628

Argudo C.; Diseño del Sistema de Agua Potable para la Parroquia de Urdaneta – cantón Saraguro provincia de Loja; Tesis; Quito (Ecuador).

Babcock R.; 1971; Instrumentos y control en el tratamiento de aguas potables, industriales y de desecho; México (México)

Brassington; 1998; Alumbramiento de Aguas: Guía para construcción y mantenimiento de suministros de agua privados.

Ehming, S. 2005. Caracterización y diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de “Una empresa florícola”

Gobierno provincial, 2007; Proyecto de Manejo de Cuencas Hidrográficas(PROMACH-GTZ), ANEXO V Diagnostico de la Infraestructura y del Manejo del Recurso Hídrico; Tungurahua (Ecuador); http://www.situngurahua.gov.ec/ihidrico/images/download/Tung_PDF/Memoria_Tecnica/Anexo5_Diagnostico_Manejo.pdf

Holding B.V.; 1998-2008; Estándares europeos de la calidad del agua potable; Holanda; www.lenntech.com/espanol/formulario-de-consulta.htm

Canter L.; 1998; Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, técnicas para elaboración de estudios de impacto; Madrid (España); Mc. Graw Hill; págs. 154 -162

Letterman R.; Calidad y tratamiento del agua: manual de suministros de agua comunitaria; Madrid (España); Mc. Graw-Hill

López; 2001; El Agua: Tecnología de su distribución y uso; Editorial; Alfaomega; págs.: 113

Prieto B.; 2004; El agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación; Bogotá (Colombia); Ecoe Ediciones; págs.. 41, 63

Rodríguez H.; 2002; Hidráulica experimental; Bogotá (Colombia); Centro Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería; págs. 67-74

Romero J.; 2000; Purificación del Agua; Bogotá (Colombia); Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería; páginas: 400p.: il

Obando A.; Diseño de un nuevo sistema de agua potable para la ciudad de Otavalo; Tesis; Quito (Ecuador)

Orozco C, et. al.; 2003; Contaminación Ambiental, una visión desde la Química; Madrid (España); Editorial Thomson; págs. 63 - 84

Spellman F., Drinan J.; 2000; Manual del Agua Potable; Zaragoza (España); Editorial Acribia S.A.; págs. 49, 79, 136-141

Tenorio E.; 2006; Desinfección comunitaria de agua mediante hipocloradores por goteo, Proyecto Manejo Integrado de Recursos Ambientales (USAID/MIRA).

<http://eswserver.cee.cornell.edu/aguaclara/documents/ProjectSite/Ojojona/Cloro.pdf>

1993; Norma para el Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes; Quito (Ecuador); págs.: 1-262

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Libro VI, Anexo 1, Tabla 1.

Proyecto Washed; Convenio SSA-USAID N° 518-0081; 1995; Segunda Edición; Manual de Operación y Mantenimiento para sistemas de Agua Potable rurales. Documento Técnico N° 01-OYM; Quito (Ecuador).

Misión Andina del Ecuador; Manual de Procedimientos para el Estudio, Diseño, Construcción y Mantenimiento de los Abastecimientos de Agua de la Misión Andina del Ecuador; 1971; Quito (Ecuador)