

A. ANTECEDENTES

El agua es un elemento esencial para la existencia de vida en nuestro planeta. Es por ello que la humanidad ha almacenado y distribuido agua prácticamente desde sus orígenes. Desde las primeras técnicas de almacenaje, limpieza y distribución hasta las infraestructuras y tecnologías actuales para el tratamiento de aguas.

Desde la antigüedad se conoce la existencia de una relación entre el agua y la presencia de ciertas enfermedades. Pero fue a raíz de una epidemia de cólera, en la ciudad de Londres, que pudo comprobarse como el agua contenía el agente que causaba la enfermedad.

En el siglo XIX, científicos europeos investigaron los microorganismos presentes en el agua y las enfermedades que producían en el ser humano. Esto alarmó a las autoridades encargadas de velar por la salud, quienes se preocuparon por purificar el agua que bebían los habitantes del Viejo Continente.

También en ese siglo se descubrieron los efectos de los desinfectantes en el agua para el tratamiento y desinfección de la misma. Y desde ahí los desinfectantes son utilizados extensamente por las compañías del agua para evitar la expansión de enfermedades y mejorar la calidad del agua. (Excel Water Technologies Inc. 2007).

La organización Mundial de la Salud (OMS), señala que el 80% de las enfermedades que ocurren en los países en desarrollo son ocasionadas por la contaminación bacteriana del agua. Cada año 15 millones de niños entre las edades de 0 a 5 años mueren directa o indirectamente por la falta o deficiencia de los sistemas de abastecimiento de agua y alcantarillado. Solamente el 30% de la población mundial tiene garantía de agua tratada, el 70% restante dependen de pozos y otras fuentes de abastecimiento posiblemente con algún grado de contaminación. (CANO, L. 2008).

En Bolivia, durante las últimas décadas, en las ciudades grandes y pequeñas se realizaron notables esfuerzos con el propósito de beneficiar a la población con servicios de saneamiento básico.

Al presente existen aproximadamente 20 entidades que se ocupan de la dotación de estos servicios en las áreas urbanas y rurales. Sin embargo, en un análisis de su desarrollo se puede apreciar que a pesar de los esfuerzos realizados, existe la necesidad de mejorar la calidad de los servicios, especialmente en el control de la calidad del agua desde la fuente hasta el producto final, el agua potable, que es entregada a la población. (Espinoza G. 2003).

En el Departamento de Tarija (al sur de Bolivia), se encuentra la ciudad de Yacuiba, capital de la Provincia Gran Chaco, conocida antiguamente por las etnias originales guaraníes como la "Aguada de la Pavas" (Yacuy-Ighba) (YACUIBA DIGITAL 2010).

Figura A-1. Ubicación Geográfica



Fuente: MIORURO, 2008

La ciudad está situada a sólo 3 km de la frontera con Argentina, al norte de San José de Pocitos (en la misma línea fronteriza) y Prof. Salvador Mazza (ya en la provincia argentina de Salta).

La ciudad de Yacuiba cuenta con una población aproximada de 100 mil habitantes, la cual se abastece de agua potable de un sistema mixto, proveniente de: dos fuentes superficiales constituidas por las quebradas Internacional y la de Agua Blanca; y las fuentes subterráneas la constituyen dieciocho pozos profundos dispersos en toda la ciudad, de los cuales solo catorce están en funcionamiento.

Desde 1994 la Empresa Municipal Autónoma de Agua Potable y Alcantarillado de Yacuiba – EMAPYC, es la encargada de la administración y tratamiento del sistema de agua potable y alcantarillado de Yacuiba.

En agosto del 2001, EMAPYC firma un Contrato de Concesión con la Autoridad de Agua Potable y Saneamiento Básico dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, AAPS (En ese entonces Superintendencia de Saneamiento Básico, SISAB) donde se le otorga el derecho de prestar servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, razón por la que esta empresa debe dar cumplimiento a la Normativa que para Agua Potable es la Norma Bolivia NB 512.

El tratamiento del agua que brinda esta empresa para las fuentes superficiales es lo que se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla A-1. Proceso de tratamiento de aguas superficiales



Fuente: Elaboración propia, 2010

Mientras que para las fuentes subterráneas se realiza la cloración con hipoclorito de sodio en tanques de almacenamientos o tanques elevados, para garantizar su potabilidad hasta el consumidor final.

De los trece pozos en funcionamiento tenemos las siguientes formas de operación y distribución:

- a) Dos cuentan con tanques elevados y de ahí se realiza la distribución a la población a través de la red (Pozo N°2 y 4).
- b) Siete pozos bombean sus caudales a un tanque de almacenamiento de 1500 m³, se procese a su desinfección y de ahí se realiza la distribución a la población a través de la red (YB-04, YB-07, YB-08, YC-03, YC-04, YC-34 y Pozo Cárcamo).

- c) Dos pozos alimentan con sus caudales a un tanque de 200 m³, se procede a su desinfección y de ahí se realiza la distribución a la población a través de la red (Pozo N° 7 y 8).
- d) Un pozo alimenta a la planta de tratamiento cuando las fuentes de agua superficial no tienen caudal suficiente o arrastran gran cantidad de sólidos suspendidos o sea funciona de Apoyo a la Planta de Tratamiento (Pozo N°9).
- e) Un pozo descarga sus caudales directamente a la red de distribución (Pozo N°6).

A través del presente proyecto se realizará un monitoreo de la calidad del agua potable en la red de abastecimiento y distribución para verificar si se garantiza la potabilidad del agua al usuario final; además de sugerir mejoras en el sistema de desinfección de agua en los lugares donde esto sea requerido.

B. OBJETIVOS

B.1 OBJETIVO GENERAL

- Monitorear la calidad del Agua Potable de la Red de Distribución y el mejoramiento del Sistema de Desinfección en la ciudad de Yacuiba.

B.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los puntos estratégicos de muestreo en la red de distribución de agua potable de cada sistema de abastecimiento a analizar.
- Realizar el control de calidad del agua potable en base a parámetros de control de calidad mínimo y básico establecido en el Reglamento Nacional para el control de la Calidad del Agua para Consumo Humano basado en la Norma Boliviana NB 512 – Agua Potable. (ver TABLA B-1 y TABLA B-2).
- Proponer mejoras al sistema de desinfección.
- Cuantificar la inversión necesaria.

Tabla B-1. Parámetros de control mínimo

Parámetro	Valor máximo aceptable
pH	6,5-9,0
Conductividad	1500 μ S/cm
Turbiedad	5UNT
Cloro residual	0,2-1,0 mg/l
Coliformes totales y fecales	0UFC/100 ml

Fuente: Reglamento Nacional para el control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 2005

Tabla B-2. Parámetros de control básico

Parámetro	Valor máximo aceptable
<i>Físicos</i>	
Color	15 UCV
<i>Químicos</i>	
Sólidos totales disueltos	1000 mg/l
<i>Químicos Inorgánicos</i>	
Alcalinidad total	370,0 mg/l de CaCO ₃
Calcio	200,0 mg/l
Cloruros	250,0 mg/l
Dureza	500,0 mg/l de CaCO ₃
Hierro total	0,3 mg/l
Magnesio	150,0 mg/l
Manganeso	0,1 mg/l
Sulfatos	400,0 mg/l

Fuente: Reglamento Nacional para el control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 2005

C. JUSTIFICACIÓN

El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible). En la Constitución Política del Estado

Plurinacional de Bolivia en el artículo 32 inciso 30 se establece que toda persona tiene derecho de acceso al agua.

La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. Debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la inocuidad del agua de consumo sea la mayor posible. (O.M.S. 2006).

El agua potable para el consumo de la población, no debe ser causa de ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida.

Las personas que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños de corta edad, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas y los ancianos. El agua potable es adecuada para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal. (O.M.S. 2006)

La mayoría de los microorganismos patógenos contenidos en el agua son eliminados en las primeras etapas del tratamiento para su purificación. No obstante, la desinfección del agua es necesaria como uno de los pasos últimos para prevenir que sea dañina para la salud de las personas.

La finalidad de este proyecto y a lo cual se pretende llegar por medio de un estudio sistemático y minucioso para verificar si la calidad de agua de consumo suministrada en los distintos puntos de la ciudad de Yacuiba, cumple con las condiciones de calidad establecidas por Ley. Para ello se realiza un diagnóstico donde se valorará la calidad del agua en distintos puntos de la red de Distribución.

Se realiza la valoración de la efectividad del sistema de cloración de agua por goteo para garantizar la calidad entregada al consumidor, por cuanto en el Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, se indica que el valor aceptable de cloro residual para consumo humano debe estar dentro el rango de 0,2-1 mg/l. Por lo que a partir de esta valoración se plantearán o sugerirán las alternativas de solución para mejorar el sistema de cloración.

1.1 MARCO TEÓRICO

1.1.1 EL AGUA

El agua es, sin duda alguna, la fuente de la vida para todo organismo vivo en el planeta. La vida surgió de ella, y nuestra supervivencia es impensable sin este líquido. Además de hidratar y calmar nuestra sed, genera reacciones de suma importancia relacionadas con el transporte de nutrientes y oxígeno, la temperatura corporal, el desecho de residuos, la comunicación celular, el funcionamiento de los riñones, la acción de las enzimas, etc. El agua natural tiene unas características físicas, químicas y biológicas que impiden su uso directo en alimentación, por lo que debe ser sometida a una serie de tratamientos.

El abastecimiento de agua a la población se puede realizar a partir de dos fuentes de características bien diferenciadas:

- *Aguas superficiales*: lagos, ríos, embalses, etc. Estas están expuestas al medioambiente y por tal causa son susceptibles de contaminación. Por este motivo es necesario un tratamiento exhaustivo antes de ser aptas para consumo humano. (Agua Marca, 2010).
- *Aguas subterráneas*: pozos, manantiales, etc. Estas son fuentes de más difícil explotación, al no hallarse tan accesibles como las aguas superficiales. Su origen es el agua superficial que por infiltración natural a través de diferentes capas terrestres pasa al acuífero. Este sistema de filtración natural permite la purificación del agua. No obstante, para considerarse potables han de cumplir ciertas características físicas, químicas y microbiológicas. Además, a largo plazo los acuíferos también se pueden contaminar y por ello, a menudo es necesario un tratamiento de esta agua (no tan intensivo como en el caso de las aguas superficiales). (Agua Marca, 2010).

1.2. PROCESOS NO MECANIZADOS DE TRATAMIENTO DEL AGUA

Los procesos de tratamiento, tienen la finalidad de producir cambios físicos, químicos y biológicos en el agua, necesarios para acondicionarla para el consumo del hombre y se clasifican en:

- a) Proceso de Acondicionamiento Previo
- b) Proceso de Clarificación
- c) Proceso de Desinfección
- d) Acondicionamiento Químico
- e) Acondicionamiento Organoléptico. (RUIZ, G. 1999)

1.2.1 PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO PREVIO

Es un proceso físico, que sirve para separar el material muy grueso que es arrastrado por el agua y comprende las etapas de la desarenación, presedimentación y prefiltración. (RUIZ, G. 1999).

1.2.2 PROCESO DE CLARIFICACIÓN

Básicamente son tres: coagulación/floculación y la separación de las partículas que se lleva a cabo por medio de la sedimentación y filtración en serie. (ARAMAYO, E. 2001).

1.2.2.1 COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

La coagulación es un proceso químico para el tratamiento del agua que tiene por objeto agrupar las partículas muy pequeñas (con una dimensión que suele estar comprendida entre $1\mu\text{m}$ y $0.2\mu\text{m}$) dispersas en el agua en otras más voluminosas y pesadas que puedan ser separadas más fácilmente de la misma. La neutralización de la carga eléctrica del coloide, objeto de la coagulación, se realiza aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes). Tras la neutralización de las partículas coloidales, es decir una vez conseguida la desestabilización coloidal, las partículas formadas están en disposición de aglomerarse, esta aglomeración de las partículas descargadas es el objetivo de la floculación. (OJEDA, Y. 2007).

La floculación es un proceso requerido para conseguir que los coágulos microscópicos formados se junten unos con otros aumentando su tamaño, haciéndose visibles al principio, grandes, compactos después, finalmente pesados y fáciles de sedimentar.

La mezcla lenta para floculación puede efectuarse mecánicamente, usando rotores de paleta, como resultado del movimiento del agua e hidráulicamente.

1.2.2.2 SEDIMENTACIÓN

La sedimentación es un proceso físico para el tratamiento del agua, es por definición “la separación sólido-líquido”, se realiza una decantación por gravedad para separar los sólidos en suspensión de las aguas. (OJEDA, Y. 2007).

La sedimentación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal. (OJEDA, Y. 2007).

Para que se efectúe la sedimentación, la velocidad del agua debe reducirse a un valor tal, que los sólidos se asienten por gravedad, el tiempo de retención en el recipiente de sedimentación, es suficientemente grande. (RUIZ, G. 1999).

1.2.2.3 FILTRACIÓN

El objeto de la filtración, es remover las partículas y microorganismos objetables, que no hayan quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. (ARAMAYO, E. 2001).

Según la OPS, en los diseños tradicionales, coagulación y sedimentación, remueven entre el 80 y 95 % de los sólidos sedimentables y entre el 50 y 60 % de los microorganismos, mientras que la filtración elimina casi la totalidad de los sólidos y microorganismos restantes. (ARAMAYO, E. 2001).

Las aguas floculadas sometidas a sedimentación no logran eliminar la totalidad de las partículas en suspensión, permaneciendo en ellas las más pequeñas. Para la remoción de éstas partículas, se utilizan unidades que disponen en su interior de un medio

poroso, tal como arena fina, a través de la cual el agua pasa en movimiento ascendente, eliminando toda la impureza que contiene. (ARAMAYO, E. 2001).

1.2.3 PROCESO DE DESINFECCIÓN

La desinfección del agua, consiste en la exterminación de las bacterias patógenas que puedan estar presentes. En el proceso, se destruyen también los colibacilos y reducen considerablemente la cantidad de otras bacterias.

Los métodos de desinfección se clasifican en:

- Procesos físicos: radiación gamma, rayos X, radiación ultravioleta, esterilización térmica.
- Procesos químicos: metales pesados, ácidos o bases, ozono y cloración. Siendo la cloración la más habitual. (ARAMAYO, E. 2001).

Tabla I-1. Desinfectantes de agua potable

Desinfectantes	Eficacia de desinfección	Mantenimiento de residuos	Estado de información en la química del subproducto	Remoción de colores	Remoción de olores comunes
Cloro	Bueno	Bueno	Adecuado	Bueno	Bueno
Cloramias	Pobre	Bueno	Limitado	Inadmisible	Pobre
Dióxido de cloro	Bueno	Inadmisible	Adecuado	Bueno	Bueno
Ozono	Excelente	Inadmisible	Limitado	Excelente	Excelente
Radiación ultravioleta	Acertado	Inadmisible	nulo	N/A	N/A

Fuente: American Chemistry Council (2005)

Donde: N/A = No Adecuado

1.2.3.1 CLORACIÓN

El uso del cloro como agente desinfectante empezó a principios del siglo XX y pasó a completar el proceso de filtración, que ya era ampliamente utilizado.

Los productos de la familia del cloro más habituales para realizar la desinfección del agua son: cloro gaseoso, hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico:

- El cloro (Cl_2) es un gas tóxico, más denso que el aire, de color verde amarillento. Es un producto muy oxidante que reacciona con muchísimos compuestos. En presencia de humedad es extremadamente corrosivo y por ello los conductos y los materiales en contacto con él han de ser de aleaciones especiales. El vapor de cloro es irritante por inhalación y puede causar heridas graves en caso de exposición a altas concentraciones. El manejo de cloro debe realizarse, por parte de personal especializado y son necesarios sistemas de control y de alarma muy efectivos. Por estos motivos, es preferible la utilización de compuestos de cloro.
- El hipoclorito sódico (NaClO) en solución es un desinfectante que se utiliza desde el siglo XVIII y que popularmente se conoce como lejía. A nivel industrial se obtiene por reacción del cloro gas con una solución de hidróxido de sodio. Tras la reacción, se obtienen soluciones acuosas de color amarillo verdoso, que tienen una concentración determinada de cloro activo por litro. Se comercializa en disoluciones de concentraciones entre 3 y 15% en peso. El hipoclorito sódico es un oxidante muy potente e inestable, tanto, que una solución de 100 gramos de cloro activo por litro, después de ser almacenada durante 3 meses, puede contener 90 gramos o incluso menos.
- El hipoclorito cálcico ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) es un sólido blanco con contenido entre el 20 y el 70% de cloro activo. Es muy corrosivo y que puede inflamarse al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos. Sin embargo, presenta dos ventajas respecto al hipoclorito sódico: su mayor contenido en cloro y su mayor estabilidad. Para ser utilizado, se diluye con agua para obtener una solución de concentración más manejable, por ejemplo, 2%.

1.2.3.1.1 EQUIPOS DE CLORACIÓN O DOSIFICADORES DE CLORO

La selección del dosificador o alimentador de cloro depende de tres factores:

- Las características del producto clorado.
- La dosis de cloro en el agua.

- El caudal del agua a desinfectar.

Con estos factores es posible clasificar algunos de los equipos más usados:

Tabla I-2. Tipos de Dosificadores

Clasificación	Equipo dosificador	Producto	Rango de servicio (habitantes)
Cloro gaseoso	A presión (directo)	Gas cloro	5.000 habitantes a grandes ciudades
	Al vacío (Venturi o eyector)	Gas cloro	
Solución	Bajo presión atmosférica, de carga constante		
	Tanque con válvula de flotador	Hipoclorito de Na o Ca	< 20.000
	Tubo con orificio en flotador	Hipoclorito de Na o Ca	
	Sistema vaso /botella	Hipoclorito de Na o Ca	
	Bajo presión positiva o negativa		
	Bomba de diafragma (positiva)	Hipoclorito de Na o Ca	[2.000 – 300.000]
	Dosificador por succión (negativa)	Hipoclorito de Na o Ca	
Sólido	Generador de hipoclorito de sodio <i>in situ</i>		< 5.000 hab.
	Dosificador de erosión	Hipoclorito de Calcio	[2.000 – 50.000]
	Otros dosificadores	Cal clorada	< 2.000

Fuente: Christman, K. (1998)

1.2.3.1.1.1 CLORADORES GASEOSOS DE FUNCIONAMIENTO AL VACÍO

La desinfección por medio de cloro gaseoso es económica y es la tecnología más usada en todo el mundo. Más de 90% de la población mundial bebe agua que ha sido desinfectada por cloro gaseoso.

El más común es este sistema y comprende un cilindro con el gas, un regulador con un rotámetro (indicador de tasas de alimentación) y un eyector. El sistema trabaja

debido al vacío que se genera en el eyector tipo Venturi accionado por un flujo de agua, el cual eyecta una mezcla de agua y de gas en el punto de aplicación, donde el gas se difunde y disuelve. El sistema debe estar provisto de válvulas antirretorno para impedir el ingreso del agua a la tubería de transporte de cloro, con el objeto de prevenir la corrosión del equipo en los casos en que por algún motivo se interrumpa su funcionamiento. (Christman, K. 1998).

1.2.3.1.1.2 CLORADORES GASEOSOS DE FUNCIONAMIENTO A PRESIÓN

Este tipo de clorador suele recomendarse cuando no hay posibilidad de usar un diferencial de presión o no se dispone de una fuente de electricidad para operar una bomba reforzadora que produzca el diferencial de presión necesario para el funcionamiento de los cloradores al vacío. (Christman, K. 1998).

1.2.3.1.1.3 DOSIFICADORES DE HIPOCLORITO BAJO PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Fuera del gas, todos los otros productos químicos basados en el cloro son líquidos o siendo sólidos pueden ser disueltos y usados como una solución. La desinfección con hipoclorito es sencilla, fácil, económica y hay muchos dispositivos de tecnología apropiada disponibles.

Existen varias maneras de alimentar una solución y los dosificadores se pueden clasificar según su fuerza de impulsión. Así, hay los que trabajan bajo presión atmosférica y los que trabajan bajo presión positiva o negativa.

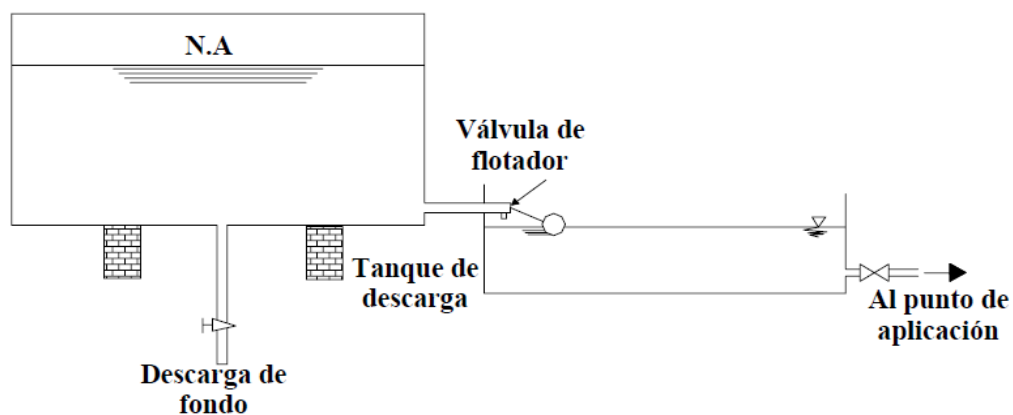
Los dispositivos que trabajan bajo presión atmosférica se han diseñado con carga variable, como el dosificador de paletas en canal o el de rueda de Arquímedes.

Sin embargo, los más usados son los que operan bajo el principio de “carga constante” debido a su mayor precisión y confiabilidad. (Christman, K. 1998)

1.2.3.1.1.4 SISTEMA DE TANQUE CON VÁLVULA DE FLOTADOR

El corazón de este sistema es una válvula de flotador, similar a la que se usa en los inodoros. Uno o dos tanques contienen la solución madre (“stock”, “matriz” o “concentrada”) a ser alimentada y la válvula de flotador se coloca en un tanque pequeño. El sistema, aunque sencillo y barato, es bastante exacto. (Christman, K. 1998)

Figura I-1. Tanque con válvula de flotador



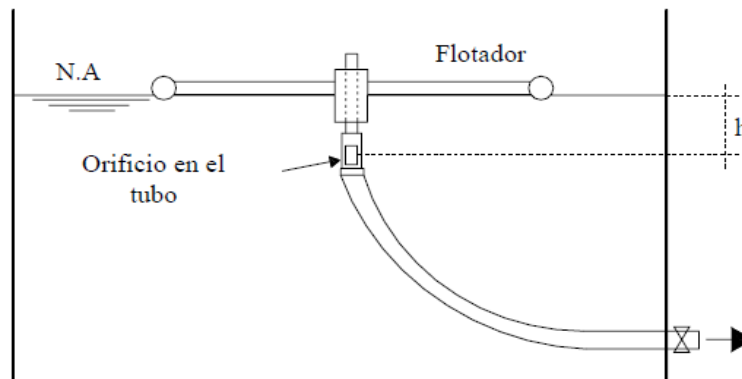
Fuente: Christman, K. (1998)

1.2.3.1.1.5 SISTEMA DE TUBO CON ORIFICIO EN FLOTADOR

Se ha usado ampliamente con arreglos diferentes. El elemento básico es un tubo de PVC con uno o más orificios. El tubo se fija a un dispositivo flotante y el orificio debe colocarse algunos centímetros debajo del nivel de la solución. La solución ingresa al tubo y fluye a la tasa deseada de alimentación hacia el punto de aplicación.

Una ventaja de este tipo de hipoclorador es que no se corroe, debido a que está hecho de tubería plástica, además no hay válvulas que se descompongan y se limpian fácilmente las obstrucciones producidas por depósitos de calcio o magnesio. La tasa de dosificación se puede ajustar fácilmente con tan solo cambiar la profundidad de inmersión de los orificios. Cuando se diseña, instala y mantiene adecuadamente, este tipo de clorador ha demostrado ser exacto y fiable. (Christman, K. 1998).

Figura I-2. Tanque con tubo en orificio, en flotador

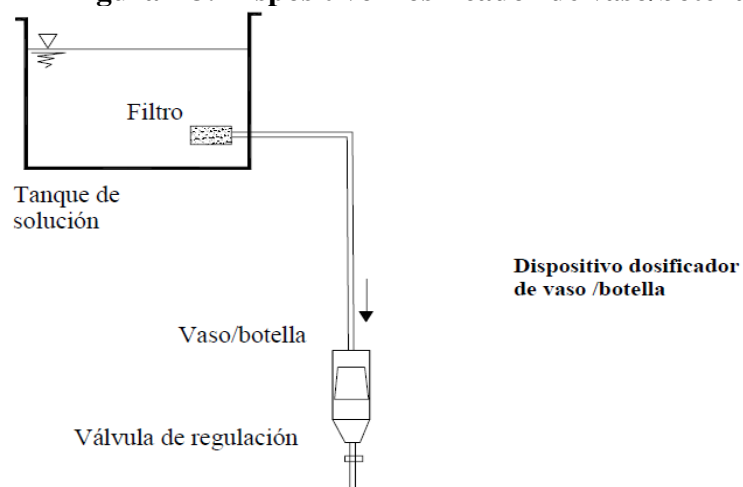


Fuente: Christman, K. (1998)

1.2.3.1.1.6 SISTEMA DE VASO/BOTELLA

Este sistema fue desarrollado en Argentina en la década de 1970, para la desinfección del agua en zonas rurales. Consta de un tanque con la solución madre, un elemento de dosificación, conexiones y una válvula de regulación. Este sistema es preciso, económico y fácil de construir y de operar. El rango de dosificación es de 2 a 10 l/h, lo que lo hace aplicable para pequeñas comunidades de hasta 20.000 habitantes. (Christman, K. 1998)

Figura I-3. Dispositivo Dosificador de vaso/botella



Fuente: Christman, K. (1998)

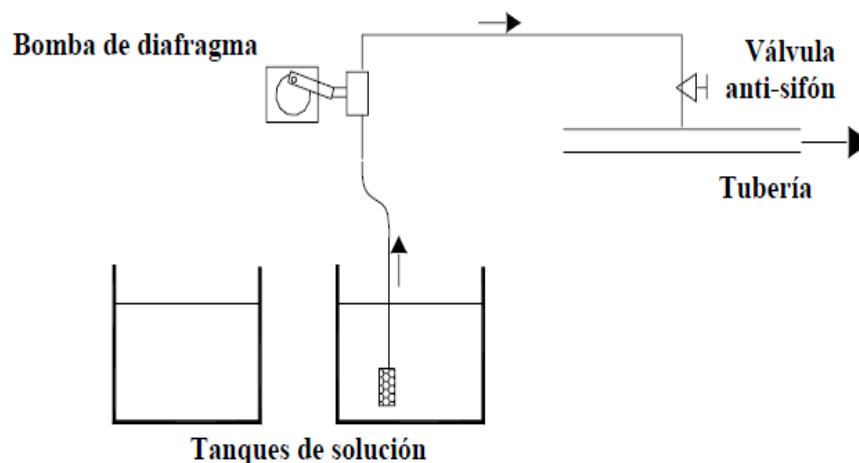
1.2.3.1.1.7 SISTEMA DE DOSIFICACIÓN CON BOMBA DE DIAFRAGMA

Estas bombas están equipadas con una cámara que tiene dos válvulas unidireccionales, una a la entrada y otra a la salida. La solución se incorpora en la cámara a través de la válvula de admisión a medida que se abre el diafragma y es forzada fuera de la cámara por la válvula de salida mientras se cierra el diafragma, el cual es impulsado por un motor eléctrico. El diafragma flexible está hecho de un material resistente a los efectos corrosivos de las soluciones de hipoclorito.

La tarea de la bomba es elevar la solución por medio de una serie de golpes. El punto de aplicación puede ser un canal o un reservorio (presión atmosférica) o una tubería con agua bajo presión positiva.

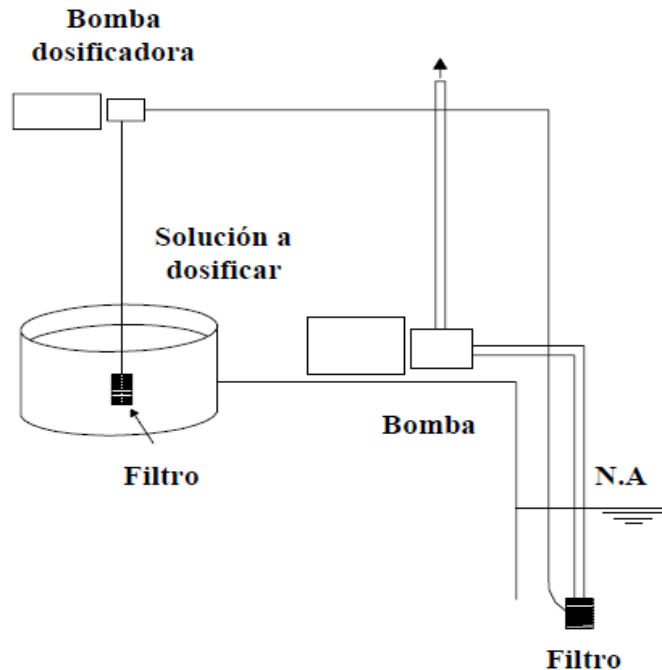
La capacidad de esta clase de hipoclorador es amplia; el más pequeño suministra cerca de un litro de hipoclorito/hora y los más grandes cerca de 200 litros/hora. Dependiendo de la concentración de la solución y dosificación de cloro deseada, puede desinfectarse agua de muy variado caudal. (Christman, K. 1998).

Figura I-4. Equipo dosificador con bomba de diafragma en tubería bajo presión positiva



Fuente: Christman, K. (1998)

Figura I-5. Equipo dosificador con bomba de diafragma en tubería bajo presión negativa (tubería de aducción)



Fuente: Christman, K. (1998)

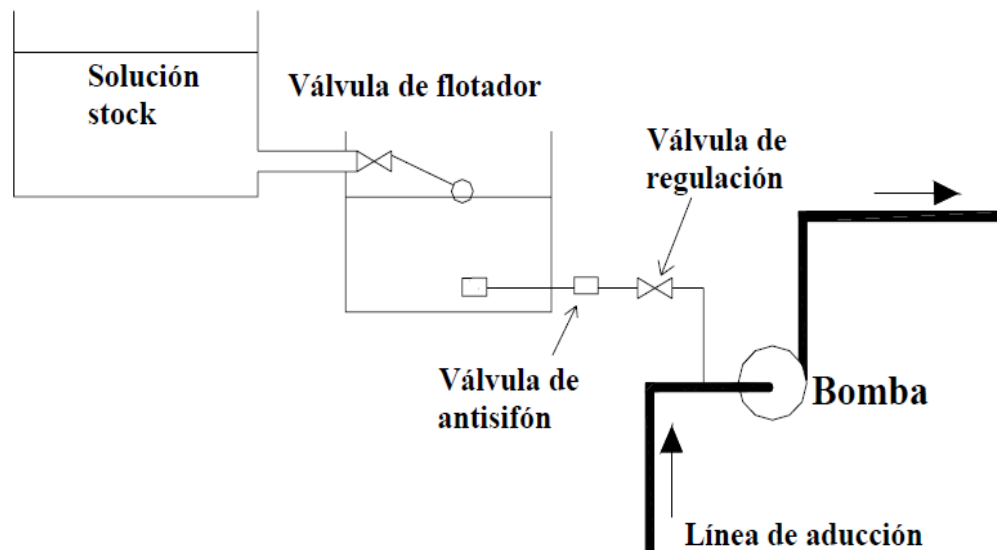
1.2.3.1.1.8 DOSIFICADOR POR SUCCIÓN (TIPO VENTURI)

El dosificador por succión más empleado es aquel que utiliza un dispositivo Venturi, el cual permite dosificar soluciones cloradas en tuberías presurizadas. Este tipo de clorador se basa en el mismo principio que el de eyector empleado en los cloradores a gas. El vacío creado por el flujo del agua a través del tubo Venturi succiona la solución de hipoclorito y la descarga directamente en la corriente de agua principal o en una corriente de derivación. La dosificación se regula ajustando una válvula de aguja instalada entre el dispositivo Venturi y el rotámetro.

El hipoclorador tipo Venturi se consigue fácilmente en el mercado y es producido por varios fabricantes. El costo es relativamente bajo y es fácil de instalar, operar y mantener. La capacidad de dosificación varía de 1 a 25 litros/hora. Una ventaja importante es que si no fluye agua por el dispositivo, no se suministra la solución de

cloro, lo que reduce la probabilidad de una sobredosificación. Sin embargo, si la concentración de solución madre que se inyecta es alta, puede dar lugar a algún ataque al rotor de la bomba. Otra forma de provocar succión para dosificar la solución de hipoclorito es conectando el dosificador a una tubería de aducción (tubería proveniente de la obra de toma). (Christman, K. 1998).

Figura I-6. Dosificador en tubería de aducción



Fuente: Christman, K. (1998)

1.2.3.1.1.9 DOSIFICADORES DE HIPOCLORITO DE CALCIO SÓLIDO

Los dosificadores de hipoclorito de calcio se fabrican para grandes o pequeños caudales.

Los primeros son dosificadores volumétricos o gravimétricos, que dejan caer una cantidad medida (en volumen o en peso) en un pequeño tanque de disolución (siempre con agitación) donde se disuelve para ser luego dosificado en el punto de aplicación. El uso de estos equipos no es popular, ya que cuando se requiere tratar grandes caudales se prefiere el uso del cloro gas. Para tratar pequeños caudales (típicos de medianas y pequeñas comunidades) se utilizan equipos que funcionan por medio de la erosión de tabletas o que suministran directamente el hipoclorito de calcio sólido en forma de píldoras. (Christman, K. 1998).

1.2.3.1.1.10 DOSIFICADOR POR EROSIÓN DE TABLETAS Y DE PÍLDORAS

Los dosificadores que trabajan bajo el sistema por erosión utilizan tabletas de hipoclorito de calcio de alta concentración (HTH), las que se pueden obtener de distribuidores o pueden prepararse localmente comprimiendo mecánicamente polvo de hipoclorito de calcio. Este sistema ha encontrado un lugar importante en la desinfección de abastecimientos de agua para comunidades pequeñas y familiares. Los equipos son muy fáciles de manipular y mantener, además de ser baratos y duraderos. Las tabletas son más seguras que las soluciones de hipoclorito y el cloro gaseoso y son más fáciles de manejar y de almacenar.

Los dosificadores de erosión disuelven gradualmente las tabletas de hipoclorito a una tasa predeterminada mientras fluye una corriente de agua alrededor de ellas. Este mecanismo proporciona la dosificación necesaria de cloro para desinfectar el agua. A medida que las tabletas se van diluyendo, se reemplazan con otras nuevas que caen por gravedad en la cámara. La solución de cloro concentrada alimenta un tanque, un canal abierto o un reservorio, según sea el caso. (Christman, K. 1998).

1.2.4 ACONDICIONAMIENTO QUÍMICO

Este proceso, trata de corregir la falta o exceso de los componentes químicos del agua tratada o cruda, la acción y efecto del acondicionamiento, se realiza provocando reacciones químicas con la adición de otros productos químicos. En algunos casos, el acondicionamiento se lo puede conseguir con procesos físico químicos como el ablandamiento del agua que es una técnica que sirve para eliminar los iones que hacen a un agua ser dura. (ARAMAYO, E. 2001).

1.2.5 ACONDICIONAMIENTO ORGANOLÉPTICO

Mediante este tratamiento, se elimina los caracteres de los componentes orgánicos de origen animal o sintético, que impresionan a nuestros sentidos y, al igual que el acondicionamiento químico, son considerados procesos adicionales en el tratamiento del agua potable. (RUIZ, G. 1999).

1.3 CONTROL DE CALIDAD

La calidad del agua que se entrega a una población para consumo debe cumplir con la exigencias de calidad señaladas en normas nacionales. La empresa abastecedora debe garantizar que el producto que entrega mantendrá la misma calidad todo el tiempo.

Los motivos de cambio en la calidad del agua pueden ser:

- Calidad de la fuente.
- Problemas en la planta
- Problemas que se presentan en la red. Estos pueden ser detectados si se establece un programa de muestreo que además de proporcionar datos en forma continua, sirva para localizar un punto específico de contaminación.

1.3.1 PROGRAMAS DE MONITOREO EN LA RED DE ABASTECIMIENTO

1.3.1.1 ELEMENTOS QUE DEBEN SER CONTEMPLADOS EN UN PROGRAMA DE MONITOREO

- a) Desarrollo de un plan rutinario y sistemático que cubra las áreas del sistema de distribución. Deben estar cubiertas zonas de bajo flujo, zonas muertas, salidas de todos los reservorios, tanques de almacenamiento, puntos de bombeo, reservorios abiertos y puntos estratégicos que cubran todas las áreas de servicio de la red.
- b) Los análisis de laboratorio serán más fáciles si el programa de control cuenta con un laboratorio, de lo contrario, deben enviar las muestras a un laboratorio competente. Es útil monitorear en toda la red y no sólo en puntos elegidos en forma subjetiva, la selección debe estar de acuerdo a un criterio preestablecido. Un gran número de puntos de muestreo deben ser fijos y pueden ser los que están conectados directamente a la red. Otros puntos deben estar ubicados en lugares que con frecuencia se detectan coliformes, lugares con alta densidad poblacional, establecimiento público (ej. escuelas) y en áreas de hospitales.

1.3.1.2 UTILIDAD DEL PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD

- El cambio de la calidad del agua en los reservorios y tanques de almacenamiento pueden indicar la necesidad de suspender las operaciones del sistema, con el fin de remover los lodos y sedimentos del tanque.
- El programa de control de calidad también es útil para chequear el efecto de fisuras o roturas, reparación de las líneas y construcciones nuevas, después de entrar en funcionamiento para verificar que cumple con las normas de calidad de agua potable.
- Finalmente, los programas de control pueden servir para identificar la integridad de la infraestructura del sistema, es decir, los problemas de rupturas, corrosión, etc. De este modo, se podrá planificar reemplazos de cisternas, reparación y recubrimiento de tuberías.

1.3.2 NORMAS Y PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Antes de entrar a hacer un análisis sobre la calidad de las aguas en las fuentes de abastecimiento estudiadas, el agua deberá cumplir con los patrones de calidad de las aguas destinadas al abastecimiento público. (ARAMAYO, E. 2001).

Dos tipos de patrones son utilizados en Bolivia para determinar la Potabilidad del agua:

- Normas Bolivianas para el diseño de Sistemas de Agua Potable del año 1978 Ministerio de Urbanismo y Vivienda.
- Normas de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S. – O.P.S.) (ARAMAYO, E. 2001).

Tabla I-3. Normas para el Agua Potable

Sustancias o Características	NORMAS O.M.S.		NORMA BOLIVIANA NB 512	
	Máxima Recomendable	Máxima Permisible	Máxima Recomendable	Máxima Permisible
	5 U.J.	25 U.J.	5	25
Color	5 unidades	50	5	25
Olor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	No rechazable
Sabor	-	Ninguno	Ninguno	No rechazable
Temperatura	-	-	-	-
PH	7,0-8,5	6,5-9,0	7,0-8,5	6,5-9,2
Is (pH – pHs)	-	-	-0.5 a +0.5	-2 a +1
Alcalinidad como CaCO₃	De acuerdo al pH			
Arsénico As	-	0.50 mg/l	0.01 mg/l	0.05 mg/l
Selenio Se	-	0.01 mg/l		0.01 mg/l
Plomo Pb	-	0.10 mg/l		0.10 mg/l
Flúor F	0.60 mg/l	1.70 mg/l	0.06 mg/l	0.70 mg/l
Cobre Cu	0.05 mg/l	1.50 mg/l	0.05 mg/l	1.50 mg/l
Bario Ba	-	-	-	100 mg/l
Zinc Zn	5 mg/l	15 mg/l	5 mg/l	15 mg/l
Hierro Fe	0.1 mg/l	10 mg/l	0.1 mg/l	10 mg/l
Manganeso Mn	0.5 mg/l	0.5 mg/l	0.05 mg/l	0.05 mg/l
Magnesio Mg	30 mg/l	150 mg/l	30 mg/l	150 mg/l
Sólidos totales disueltos			50 mg/l	1500 mg/l
Sólidos suspendidos sedimentables	100 mg/l	500 mg/l		
Dureza total CaCO₃	200 mg/l	600 mg/l	250 mg/l	500 mg/l
Cloruros Cl			200 mg/l	600 mg/l
Sulfatos SO₄	200 mg/l	600 mg/l	250 mg/l	500 mg/l
Calcio Ca	75 mg/l	200 mg/l	75 mg/l	200 mg/l
Cromo hexavalente Cr⁶⁺			0.01 mg/l	0.05 mg/l
Cadmio Cd		0.001 mg/l		0.001 mg/l
Cianuro Cn		0.05 mg/l		0.05 mg/l
Mercurio Hg		0.001 mg/l		0.001 mg/l

Fuente: ARAMAYO, E. 2001

1.3.3 INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

La aprobación de un agua para uso definido depende de sus indicadores de calidad y normas de calidad. La calidad del agua se define de acuerdo a indicadores o constituyentes de calidad, mientras que las normas de calidad son los límites permisibles de los indicadores para un determinado uso que se puede dar a un

determinado tipo de agua, es así que para agua potable el agua debe tener una calidad mucho más exigente. Mayormente los indicadores se dividen en 4 grupos que son:

- Indicadores Físicos
- Indicadores Químicos
- Indicadores Orgánicos
- Indicadores Microbiológico (OJEDA, Y. 2007)

1.3.3.1 INDICADORES FÍSICOS

1.3.3.1.1 DENSIDAD

La densidad del agua es de 1 kg/l a 4°C, pero varía ligeramente con la temperatura y las sustancias que lleva disueltas, lo que tiene una considerable importancia ecológica. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.1.2 COLOR

Las sustancias colorantes resultan del contacto del agua con desechos orgánicos tales como hojas, madera, etc., en etapas variables de descomposición. Consiste de extractos vegetales de gran variedad: el ácido húmico, taninos y humatos los cuales son producidos por la descomposición de la lignina. Los materiales colorantes naturales, sin embargo dan una apariencia amarilla-marrón al agua parecida a la de orina y hay una repugnancia natural en la parte de los consumidores de tomar esa agua. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.1.3 TURBIDEZ

El término turbidez se aplica a aguas que contiene materia suspendida que interfiere con el pase de la luz a través del agua o en la cual se restringe la profundidad visual. La turbidez puede ser causada por una amplia variedad de materiales suspendidos, que varían de tamaño desde coloides a gruesas dispersiones. En épocas de lluvias, gran cantidad de la superficie del suelo son lavadas y llevadas a cursos que la reciben.

Mucho de este material es inorgánico en naturaleza, pero considerable cantidad de materia orgánica es incluida. La materia orgánica que llega a los ríos, sirve de

alimento para las bacterias y el crecimiento bacterial y de otros microorganismos que se alimentan de bacterias produce turbidez adicional. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.1.4 OLOR

El agua limpia es inodora. Muchas sustancias químicas orgánicas y algunas inorgánicas presentes en el agua son la causa del olor, incluyendo las algas y otros organismos. El sulfuro de hidrógeno (H_2S), a veces presente en el agua subterránea y aguas residuales, es maloliente. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.1.5 SABOR

El sabor, al igual que el olor en el agua frecuentemente ocurre junto y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran: materia orgánica en solución, ácido sulfhídrico, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc.

La determinación del olor y sabor en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.1.6 SÓLIDOS

El contenido de los sólidos del agua es uno de los parámetros más significativos que repercuten en la calidad del agua. La cantidad, el tamaño y el tipo de los sólidos dependen del agua específica.

Los sólidos se denominan de la siguiente forma:

- Sólidos totales, ST
- Sólidos en suspensión, SS
- Sólidos totales disueltos, $STD = ST - SS$
- Sólidos totales volátiles, STV
- Sólidos volátiles en suspensión, SVS

Sólidos totales disueltos.- Para uso doméstico la cantidad de sólidos disueltos presentes en el agua es de importancia para su posibilidad de uso. En general el agua con contenido de sólidos menores de 500 mg/l son más deseables para esos propósitos. Aguas con altos contenidos de sólidos a menudo son laxantes y algunas veces de efecto contrario. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.1.7 CONDUCTIVIDAD

Un agua es tanto más conductora de la electricidad, cuanto más mineral disuelto contenga. La medida de la conductividad da una idea muy aproximada del contenido mineral del agua.

El agua destilada tiene una conductividad de 0.5 a 2 $\mu\text{mhos/cm.}$, aguas crudas o tratadas dan normalmente una conductividad de 50 a 500 $\mu\text{mhos/cm}$, aguas altamente mineralizadas dan una conductividad de 500 a 1000 $\mu\text{mhos/cm}$ y desechos industriales, pueden tener una conductividad mayor de 10000 $\mu\text{mhos/cm}$. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.1.8 SALINIDAD

Cuando el constituyente principal en el agua es el cloruro de sodio y la concentración es mayor de lo usual, se dice que el agua es salina.

La salinidad se puede calcular a partir de la conductividad o de la clorinidad. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.2 INDICADORES QUÍMICOS

1.3.3.3.1 PH

Se define como el log negativo (en base 10) de la concentración de ión hidrógeno y es adimensional.

El pH es un término universalmente usado para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución. Más exacto, es la manera de expresar la concentración de iones hidrógeno. En el campo del abastecimiento de agua tiene importancia en: coagulación química, desinfección, ablandamiento de agua y control

de corrosión.

El pH de la mayoría de las aguas minerales está entre 6 y 9. Y permanece razonablemente constante a menos que la calidad del agua cambie debido a las influencias de tipo natural y antropogénicas, aumentan la acidez o la basicidad de la misma. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.3.2 CLORO RESIDUAL LIBRE

El cloro es el desinfectante de mayor uso por tres razones; es barato, de fácil comercialización y tiene sobre el agua un efecto residual.

El cloro residual combinado se forma cuando el agua tiene amoníaco y productos orgánicos, esta forma de cloro es un agente oxidante más débil que el cloro libre y su acción bactericida es más lenta.

El cloro no es sólo un importante desinfectante, sino que también reacciona con el amonio, hierro, manganeso y sustancias productoras de olores y sabores, por lo que en general mejora notablemente la calidad del agua.

Desde el punto de vista de desinfección, la forma que más interesa es el cloro libre, pues su poder bactericida es mayor que el del cloro combinado; en consecuencia, los análisis rutinarios siempre buscan determinar por lo menos el nivel de cloro libre. (ROMERO N. 2008).

1.3.3.3.3 ALCALINIDAD

Se puede definir como la capacidad del agua para neutralizar iones hidrógenos; se expresa como el equivalente de CaCO_3 de los iones hidrógeno neutralizados. Los iones hidrógeno originados reaccionan con la alcalinidad del agua y, por lo tanto, la alcalinidad actúa como buffer del agua en un intervalo de pH en que el coagulante puede ser efectivo.

La alcalinidad se debe generalmente a la presencia de carbonatos, bicarbonatos, oxhidrilos y en menor proporción silicatos, boratos, fosfatos orgánicos. La alcalinidad excesiva, como corresponde a un pH alto, puede hacer que el agua sea

corrosiva para materiales orgánicos y tóxicos para organismos vivos. (ROMERO N. 2008).

1.3.3.3.4 ACIDEZ TOTAL

Puede definirse como el poder de un agua de neutralizar iones hidroxilo y es expresada en términos equivalentes de carbonato de calcio (CaCO_3).

La acidez de un agua puede deberse a la presencia de dióxido de carbono (CO_2) no combinados, ácidos minerales y sales de ácidos fuertes y bases débiles.

Las aguas ácidas son de importancia, por sus características corrosivas. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.3.5 DUREZA

La dureza principalmente se expresa por la suma de los cationes metálicos divalentes, Ca^{+2} y Mg^{+2} . Estos cationes reaccionan con el jabón para formar precipitados y con otros iones presentes en el agua para formar incrustaciones en las calderas. Los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} que provocan la dureza tienen su origen en el suelo y en las formaciones geológicas. (OJEDA, Y. 2007).

Generalmente, la dureza es una medida de la capacidad del agua para reaccionar con el jabón; se divide en dureza carbonatada (temporal) se refiere a la cantidad de carbonatos y bicarbonatos que pueden removerse o precipitarse por ebullición; este tipo de dureza es la causante de la deposición de “Sarro” en las tuberías de agua caliente y dureza no carbonatada (permanente) se produce por la asociación de los cationes que ocasionan la dureza con sulfatos, cloruros y nitritos, a estos cationes no se los puede remover por ebullición. (CANO, L. 2008).

Las aguas pueden clasificarse en términos del grado de dureza en:

- Aguas blandas 0 – 60 mg/l CaCO_3
- Aguas moderadamente duras 60 – 120mg/l CaCO_3
- Aguas duras 120 – 180mg/l CaCO_3

- Aguas muy duras 180 mg/l CaCO₃ y más (OMS, 2006).

1.3.3.3.6 CLORUROS

Las aguas de vertientes y montañas usualmente tienen una concentración baja de cloruros, mientras que aguas de río o subterráneas usualmente tienen una cantidad considerable. (OJEDA, Y. 2007).

El grave inconveniente que presentan los cloruros es el sabor desagradable que dan al agua. Prácticamente su efecto nocivo para la salud es nulo, por ello el límite fijado por las distintas reglamentaciones es amplio, pero puede ejercer una acción corrosiva sobre las tuberías.

Como los cloruros son sustancias inorgánicas en solución, no actúan sobre ellos los procesos biológicos. Tampoco la sedimentación tiene influencia apreciable en su contenido en el agua. (ROMERO N. 2008).

1.3.3.3.7 SULFATOS

El ión sulfato (SO₄⁻), corresponde a sales moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces entre 2 y 250 ppm y el agua de mar alrededor de 3000 ppm. El agua pura se satura de SO₄Ca a unas 1500 ppm.

En cantidades bajas no perjudica seriamente pero algunos centenares de ppm pueden disminuir la resistencia del hormigón. Su eliminación se realiza por intercambio iónico. (PNUMA, 2006).

1.3.3.3.8 CALCIO

El ión calcio (Ca⁺⁺) forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles. Precipita fácilmente como carbonato de calcio (CO₃Ca). Es el principal componente de la dureza del agua y causante de incrustaciones.

Las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 ppm, pudiendo llegar hasta 600 ppm. El agua de mar alrededor de 400 ppm. Se determina por complejometría con EDTA o NTA. Su eliminación se hace por precipitación e intercambio iónico y ósmosis inversa. (PNUMA, 2006).

1.3.3.3.9 MAGNESIO

El ión magnesio (Mg^{++}), tiene propiedades muy similares a las del ión calcio, aunque sus sales son un poco más solubles y difíciles de precipitar. El hidróxido de magnesio es, sin embargo, menos soluble.

Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 ppm. El agua de mar contiene alrededor de 1300 ppm. Su aparición en el agua potable con varios centenares de ppm provoca un sabor amargo y efectos laxantes. Contribuye a la dureza del agua y a pH alcalino, puede formar incrustaciones de hidróxido.

Su determinación es analítica por complejometría. Se puede precipitar como hidróxido pero su eliminación se realiza por intercambio iónico y ósmosis inversa. (PNUMA, 2006).

1.3.3.3.10 HIERRO

Es un catión muy importante desde el punto de vista de contaminación, aparece en dos formas: ión ferroso (Fe^{++}), o más oxidado como ión férrico (Fe^{+++}). La estabilidad y aparición en una forma u otra depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras, ó composición de la solución. Afecta a la potabilidad de las aguas y es un inconveniente en los procesos industriales por provocar incrustaciones.

Por todo lo anterior las aguas subterráneas solo contienen el ión ferroso disuelto, que suele aparecer con contenidos entre 0 y 10 ppm, pero al airear el agua se precipita el hidróxido férrico de color rojizo, y se reduce el contenido a menos de 0.5 ppm. Solo las aguas de pH ácido pueden tener contenidos en hierro de varias decenas de ppm.

Su determinación se hace analíticamente por colorimetría y espectrofotometría de absorción atómica, dando el hierro total que incluye las formas solubles, coloidal y en suspensión final.

La eliminación se hace por coagulación - filtración. También se puede emplear el intercambio iónico. (PNUMA, 2006).

1.3.3.3.11 MANGANESO

El ión manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ión hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el MnO_2 que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm y requiere un pH ácido.

La forma manganeso (Mn^{++}), que es más general por aireación se oxida y precipita con un color oscuro de MnO_2 . Se determina por oxidación a permanganato y colorimetría de la solución oxidada y espectrometría de absorción atómica. (PNUMA, 2006).

1.3.3.3 INDICADORES ORGÁNICOS

El contenido orgánico del agua puede determinarse por:

- Ensayo bioquímico que utiliza microorganismos para determinar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Ensayo químico para determinar la demanda química de oxígeno (DQO). (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.3.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno disuelto consumido en una muestra de agua por los microorganismos cuando se descompone la materia orgánica a 20 °C, puede determinarse en un periodo de 5 días en cuyo caso se denomina por sus siglas como DBO_5 . Mide sin dificultad el carbono orgánico biodegradable. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.3.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

El ensayo de la demanda química de oxígeno (DQO), mide el carbono orgánico total, con la excepción de ciertos aromáticos tales como el benceno el cual no es oxidado en la reacción. El ensayo determina la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente las sustancias orgánicas en el agua o agua residual. (OJEDA, Y. 2007).

Se emplea un agente oxidante químicamente fuerte para oxidar las sustancias orgánicas en lugar de los microorganismos utilizados en el ensayo de la DBO₅. El agente oxidante es el dicromato potásico en medio ácido. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.4 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

1.3.3.4.1 BACTERIAS COLIFORMES

Son bacilos cortos Gram-negativo aeróbicos y anaeróbicos facultativos no esporulados que fermentan la lactosa con formación de ácido y gas.

Los coliformes son buenos indicadores de un proceso o de un estado sanitario inadecuado. La presencia de estos microorganismos en cantidades mayores al mínimo establecido indica, mayor probabilidad de encontrar bacterias patógenas como salmonella, shíguela y otros. (OJEDA, Y. 2007).

1.3.3.4.2 ESCHERICHIA COLI

Se utiliza como microorganismos indicador de la contaminación de origen fecal. El escherichia coli es un bacilo Gram-negativo, se desarrolla fácilmente sobre medios con nutrientes simples cuyo hábitat es el tracto entérico del hombre y de los animales.

Por ello la presencia de este microorganismo en el agua o en el alimento indica generalmente una contaminación directa o indirecta de origen fecal. (OJEDA, Y. 2007).

1.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD EN EMAPYC

1.4.1 FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

El sistema de abastecimiento que opera EMAPYC es mixto, vale decir a través de Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas.

- a) **Aguas Superficiales;** constituidas por dos quebradas: Quebrada Internacional y Quebrada Agua Blanca:

- **Quebrada Internacional:** Esta quebrada sirve de límite fronterizo entre nuestro país y la República Argentina. El caudal en época seca es de 30 l/s, incrementándose a 50 l/s en época de lluvia.

Figura I-7. Quebrada Internacional



Fuente: Elaboración propia, 2010

El agua de esta quebrada presenta una elevada turbidez en época de lluvias es por eso que se tiene un control minucioso ya que las crecidas de agua, lodo y residuos perjudican el normal funcionamiento de la obra de captación y el desarenador.

La obra de captación está construida transversalmente a la quebrada en todo su ancho donde lleva un lecho filtrante para luego ser conducidas por gravedad a través de un canal cerrado hasta los desarenadores.

- **Quebrada Agua Blanca:** Pertenece íntegramente a soberanía Boliviana, por lo que su aprovechamiento puede ser total. Se encuentra al oeste y es afluente de la Quebrada Internacional. Su caudal es de 5 l/s en época seca y de hasta 16 l/s en épocas de lluvias, lográndose una captación del 100 %.

Figura I-8. Quebrada Agua Blanca



Fuente: Elaboración propia, 2010

Las tuberías conducen por gravedad las aguas desde ambas obras de toma hasta una cámara de intersección o recolectora, posteriormente desde esta cámara se conduce el agua hasta la planta de tratamiento donde se procede a su tratamiento.

- b) Fuentes Subterráneas;** la constituyen 18 Pozos de los cuales se encuentran funcionando sólo 13 Pozos, 4 no están en funcionamiento y uno se encuentra en reparación.

Seis de los pozos se encuentran ubicados en las afueras de la ciudad; entre la carretera nueva y antigua a Santa Cruz, estos pozos nombrados con prefijos como: YC-04, YC-03, YB-34, YB-04, YB-08, YB-07 y pozo terminal (en reparación) por otra parte el resto de los pozos en actividad se encuentran ubicados dentro de la ciudad de Yacuiba y nombrados sólo con número estos son: Pozo N° 2, Pozo N° 4, Pozo N° 6, Pozo N° 7, Pozo N° 8, el Pozo N° 9 y Pozo Cárcamo.

Los pozos ubicados en las afueras tienen caudales entre 5 a 12 l/s.

El **Cárcamo** es una instalación intermedia entre los pozos ubicados en las afueras de la ciudad y el Tanque-1500; está formado por un tanque de almacenamiento que interiormente tiene un desarenador para retener sólidos que pueden ser arrastrados de los diferentes pozos. A esta instalación llegan las aguas de los pozos YB-04, YB-07, YB-08, YC-03, YC-04, YB-34 y Pozo Cárcamo.

El Cárcamo cuenta con sistema de bombeo que consta de 2 bombas alternas centrífugas que tienen una capacidad de 60 HP cada una, el tanque tiene un medidor de nivel que determina si se usan las 2 bombas consecutivamente o una sola.

El **Tanque-1500** está ubicado en la zona noroeste cerca de los límites de la ciudad en las faldas de la serranía del Aguarague, es una infraestructura donde se tiene dos tanques de almacenamiento y un sistema de cloración por goteo.

El **Tanque-200** está ubicado en la zona noroeste cerca del Tanque 1500 m³, es una infraestructura donde se tiene un tanque de almacenamiento y un sistema de cloración por goteo.

En el siguiente cuadro se muestra el caudal, ubicación y a donde alimenta los pozos de agua subterránea que están en funcionamiento:

Tabla I-4. Características de los pozos subterráneos en funcionamiento

N°	Pozo	Ubicación	Caudal (l/s)	Aporte
1	Pozo N° 2	Barrio Municipal	1,80	Red Distribución
2	Pozo N° 4	Barrio San José Obrero	0,69	Red Distribución
3	Pozo N° 6	Barrio El Pacará	6,94	Red Distribución
4	Pozo N° 7	Barrio Petrolero	3,44	Tanque 200
5	Pozo N° 8	Barrio Gremial	1,58	Tanque 200
6	Pozo N° 9	Barrio San Pedro	5,94	Apoyo Planta de Tratamiento
7	YB-08	Barrio Héroes del Chaco	9,37	Tanque 1500
8	YB-07	Barrio La Florida	10,68	Tanque 1500
9	YB-04	Aeropuerto	11,51	Tanque 1500
10	YC-04	Barrio San Miguel	5,67	Tanque 1500
11	YB-34	San Isidro	7,55	Tanque 1500
12	YC-03	Puente de San Isidro	9,05	Tanque 1500
13	Cárcamo	Barrio San Gerónimo	0,59	Tanque 1500

Fuente: Elaboración propia, 2011

1.4.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTOS

1.4.2.1 TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES

El proceso de tratamiento que se realiza en la Planta de Tratamiento es el siguiente:

a) Coagulación

Se cuenta con un canal Parshall, esta unidad cumple con dos funciones: posibilitar la medición del caudal de ingreso a la planta; esta medición presenta un margen de

error no mayor al 3%, y de producir la mezcla rápida del agua con solución de Sulfato de Aluminio.

b) Flocculación

El floculador hidráulico es de tipo de placas de flujo horizontal el cual se adecua perfectamente y con suficiente flexibilidad a los requerimientos de la planta.

La estructura corresponde a la de un tanque con tres compartimientos y distinta separación de pantallas para producir un gradiente hidráulico decreciente requerido en el proceso de formación de los flóculos.

La longitud del tanque es de 23 m y hay en total 63 tabiques o placas. Tiene la misma longitud de los sedimentadores.

Figura I-9. Floculador Hidráulico



Fuente: Elaboración propia, 2010

Los tabiques están contruidos con tablonos de madera dura tipo almendrilla y perfiles metálicos en la parte superior. Los tabique están afianzados mediante cuñas de madera presionadas a perfiles metálicos empotrados en los muros del floculador; esta disposición permite fácilmente modificar, en caso necesario la separación de las placas.

c) Sedimentadores

La alimentación a los sedimentadores se hace a través de una canaleta con las mismas dimensiones que las del tercer compartimiento del floculador a fin de mantener aproximadamente igual el gradiente de velocidad. En cada unidad y con el propósito de lograr una mejor distribución del agua se tiene dos compuertas de ingreso; donde se tiene una cámara adicional con orificios que generan un gradiente algo menor, con el fin de bajar la velocidad de ingreso del caudal.

Figura I-10. Sedimentadores



Fuente: Elaboración propia, 2010

En la otra sección del sedimentador se utiliza placas de 0.60 m de longitud, posibilitando la generación de un volumen de acumulación de lodos y de una sección transversal que no afecte a la velocidad horizontal del escurrimiento.

La salida del agua de los sedimentadores es a través de vertederos triangulares distribuidos a lo largo de las canaletas, disposición que evita la formación de circuitos cortos. Estas canaletas se conectan a un canal cerrado que es el de alimentación a los filtros.

d) Filtros Lentos

La planta cuenta con cuatro filtros de 8 m de longitud por 4 m de ancho. Estos tienen 3 capas: una de piedra, otra de ripio, y finalmente la arena que tiene una granulometría entre 6-8 micras de diámetro.

El mantenimiento de los filtros se lo realiza quitando la arena que se encuentra en la superficie del filtro manualmente con palas cuadradas hasta quitar la capa sucia de arena y reemplazarla por una capa de arena lavada y limpia.

Figura I-11. Filtro lento



Fuente: Elaboración propia, 2010

e) Desinfección

La desinfección se realiza en tanques de almacenamiento mediante la aplicación de una solución de Hipoclorito de Sodio al 8,5%, esta solución se encuentra en una caseta (donde se encuentra el tanque de preparación de la solución), por tanto es un sistema de Dosificación por Gravedad o por Goteo.

Figura I-12. Dosificación por Gravedad

Fuente: Elaboración propia, 2010

f) Almacenamiento

El almacenamiento se realiza en dos tanques subterráneos de 260 m³ cada uno, se cierra la salida del tanque de almacenamiento con el fin de que se llene el tanque hasta cierto volumen para que cuando se abra se aproveche la presión hidrostática que tiene el tanque para tener mayor presión a la salida de la red de distribución.

Estos tanques se encuentran por debajo del nivel del suelo, tapados con un vaciado de hormigón y tienen un sistema de aireación para evitar la acumulación de algún mal olor.

1.4.2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Como se había citado anteriormente existen 18 pozos de los cuales solo 14 se encuentran en funcionamiento, el resto de los pozos debido a su disminución de su caudal de agua se ha deshabilitado su uso.

En el Tanque-1500 se realiza la desinfección mediante un dosificador de cloro por gravedad con solución de hipoclorito de sodio al 8,5% usando el mismo proceso que

para la planta de tratamiento de aguas superficiales. De igual manera se realiza la desinfección en el Tanque-200.

En el pozo N°6 la desinfección se realiza utilizando una bomba dosificadora automática modelo F-MA, que fue instalada recientemente.

En los pozos N°2 y N°4, actualmente no se está desinfectando sus aguas pero ya están destinadas dos bombas dosificadoras a diafragma para su uso en estos pozos.

1.4.3 CONTROL DE CALIDAD

EMAPYC está sometido al Reglamento Nacional por tanto debe cumplir las condiciones de calidad para agua potable establecidas en la Norma Bolivia NB 512. Además debe basarse en esta para realizar el control y vigilancia de la calidad del agua que se está distribuyendo.

1.4.3.1 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Los análisis de calidad del agua se los realiza en el laboratorio de la institución y son:

- Características Físicas: color, turbidez, olor, sabor, sólidos totales disueltos y conductividad.
- Características químicas: pH, cloro residual libre, alcalinidad, dureza total, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, hierro, manganeso, nitratos y nitritos.
- Características microbiológicas: Coliformes totales y E. Coli.

2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El propósito de un sistema de suministro de agua es entregar a cada consumidor agua potable con la seguridad que sea también adecuada en cantidades, y aceptable en términos de gusto, olor y apariencia, aspecto que muchas veces no es cumplido por los proveedores del servicio, pese a sus mejores intenciones.

El presente proyecto se ejecuta ante el surgimiento de varios reclamos por parte de la población de Yacuiba, que observaron problemas en la calidad del agua potable, especialmente en lo relacionado a problemas estomacales, lo cual está vinculado a posibles deficiencias con la cloración del agua y su dureza. De ahí surge la idea de poder identificar y cuantificar con mayor certeza el problema y así plantear una alternativa de solución, de tal manera que se mejore el servicio en beneficio de la población con calidad de agua que garantice su consumo y la salud de los beneficiarios.

Para poder realizar un diagnóstico de la calidad del agua potable en la red de distribución, así como la determinación de las posibles fuentes que lo contaminan, es necesario completar la información estadística que se dispone y elaborar un diagnóstico actual de la provisión de agua, para esto se diseñó un programa de muestreo y análisis del agua que es distribuida a los distintos puntos de la población, pero en función a la normativa vigente en el país.

2.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

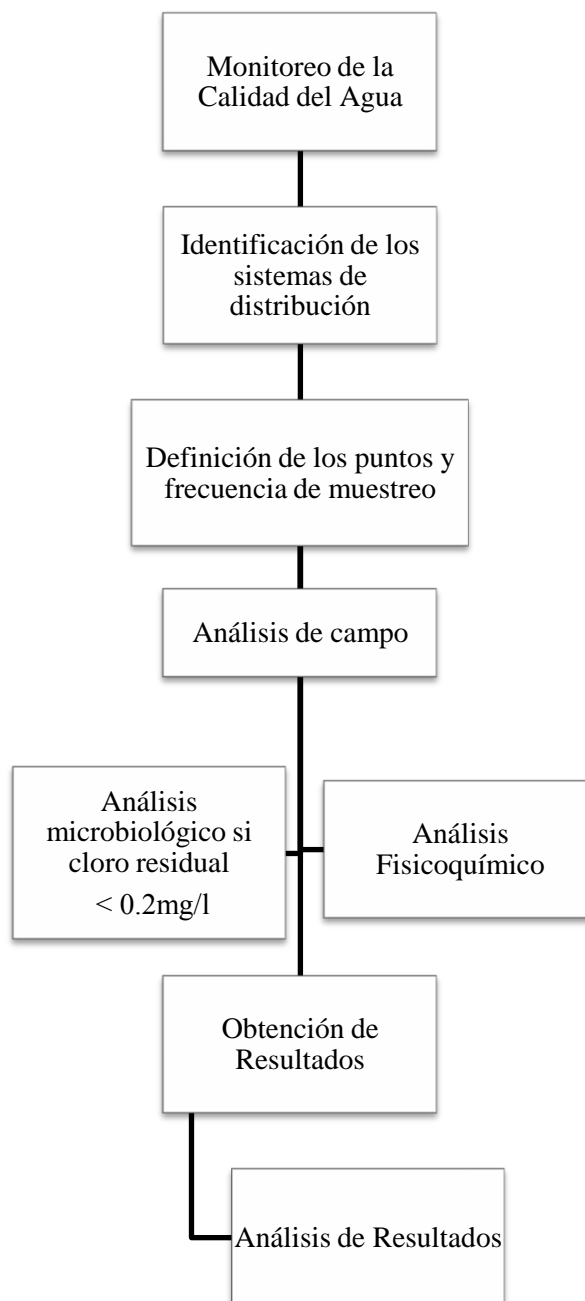
2.2.1 PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO

Para realizar el Monitoreo de Calidad de agua potable se requiere identificar los sistemas de abastecimiento de aguas superficiales y subterráneas en la zona urbana de la ciudad de Yacuiba de la provincia Gran Chaco del Departamento de Tarija. Por lo que se procede de la siguiente manera:

- a. Identificación de las zonas de abastecimiento de agua de la ciudad.

- b. Identificación de las características básicas de los sistemas de distribución de agua.
- c. Determinación de la población abastecida por sectores de suministro de agua.
- d. Definición de los puntos de muestreo y criterios de muestreo de acuerdo a lo señalado en el Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano y NB 496-85 Agua Potable-Toma de Muestras (**VER ANEXO A-I y A-II**).
- e. Muestreo y análisis de calidad del agua
 - i. Metodología del muestreo
 - ii. Frecuencia de muestreo.
 - iii. Análisis
 - iv. Resultados

En el siguiente diagrama de flujo (figura II-1) se muestra el cronograma de actividades para el control de calidad del agua potable:

Figura II-1. Diagrama de flujo para el control de calidad del agua potable

Fuente: Elaboración propia, 2010

2.2.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

La determinación de estos sistemas se realizó en base a la información facilitada por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Yacuiba (EMAPYC).

Los sistemas de abastecimiento de agua potable se encuentran distribuidos en toda la ciudad de Yacuiba como se muestra en el plano de la ciudad de Yacuiba (**VER ANEXO B-1**) y son los siguientes:

aa. Aguas Superficiales:

- Planta de Tratamiento

ab. Aguas Subterráneas:

- Tanque 1500 m³
- Tanque 200 m³
- Pozo N° 2
- Pozo N° 4
- Pozo N°6

2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTOS

Previo a cualquier actividad de control de la calidad del agua de consumo humano es necesario conocer las características básicas de los Sistemas de Abastecimiento, éstas características se muestran en las siguientes tablas:

Tabla II-1 Características de los sistemas de abastecimiento 1

N°	Sistemas	Zonas Beneficiadas	Caudal Promedio (l/s)
1	Planta de Tratamiento (Quebrada Internacional y Aguas Blancas)	Barrio El Carmen, B. San Pedro, B. Centro Sur, B. Centro Norte, B. Juan XXIII, B. El Jardín y parte de los B. San José Obrero, B. Lourdes y Los Lapachos.	Captación: 33,77 Dotación: 33,5613
2	Tanque 1500 m ³ (Pozos YB-08, YB-07, YB-04, YC-04, YB-34, YC-03 y Cárcamo)	B. Nacional, B. 12 de Agosto, B. San Gerónimo, B. Los Paraísos, B. Gremial, B. El Prado, B. San Miguel, B. La Florida, B. Virgen de Guadalupe, B. El Porvenir, B. Santa Candelaria, B. Petrolero, B. Aserradero y parte del Barrio Héroes del Chaco.	Dotación: 54,41
3	Tanque 200 m ³ (Pozo N° 7 y 8)	B. San Francisco, B. Americano, B. Luz y Fuerza y parte del B. Los Lapachos.	Dotación: 7,30
4	Pozo N° 2	B. Municipal, B. 27 de Mayo, B. Fray Quebracho, B. Las Delicias, B. La Playa.	Dotación: 1,80
5	Pozo N° 4	B. La Cruz, y parte del B. San José Obrero.	Dotación: 0,69
6	Pozo N° 6	B. Ferroviario, B. Pacará, B. Monte Redondo y parte del B. Héroes del Chaco.	Dotación: 6,94

Fuente: EMAPYC, 2010

Tabla II-2 Características de los sistemas de abastecimiento 2

N°	Sistemas	Volumen promedio mensual (m³)	Volumen promedio diario (m³)
1	Planta de Tratamiento	44.388	1.480
2	Tanque 1500 m ³	105.778	3.526
3	Tanque 200 m ³	14.186	472,87
4	Pozo N° 2	3.497	117
5	Pozo N° 4	1.333	44
6	Pozo N° 6	13482	449

Fuente: EMAPYC, 2010

2.2.4 SELECCIÓN DE PUNTOS ESTRATÉGICOS DE MUESTREO EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

La elección de los puntos de muestreo, deben permitir la vigilancia adecuada del abastecimiento del agua, la determinación de los puntos de muestreos es un paso importante en el diseño de un monitoreo de la calidad del agua potable, por eso es fundamental tener una cobertura representativa del área asignada ya que los puntos de muestreos seleccionados tendrán la finalidad de determinar la calidad del agua en la red de distribución.

Los criterios aplicados en la selección de los puntos de muestreo son los siguientes:

- Ser representativos de la zona de abastecimiento de agua por tanto debe considerarse individualmente cada sistema.
- Estar uniformemente distribuidos en toda la zona de distribución de agua.
- Ser proporcional al número de habitantes en cada zona de abastecimiento.
- Deben estar ubicados en:
 - La salida de la planta de tratamiento y pozos.
 - Final de la red, zonas críticas (zonas expuestas a riesgos frecuentes) y áreas de alta densidad (mercados, plazuelas, etc.)

2.2.5 FRECUENCIA DE MUESTREO

La frecuencia de muestreo en la red de distribución está relacionada con la población servida en cada zona de abastecimiento (según lo establecido en el Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano) y permite realizar una adecuada evaluación de la calidad del agua potable.

La determinación de la población abastecida por sectores de suministro de agua potable es necesaria para poder calcular la frecuencia de muestreo por sistema de abastecimiento.

La información necesaria para esta determinación fue facilitada por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Yacuiba (EMAPYC).

Esta determinación se realiza utilizando la siguiente fórmula que es acordada con la Autoridad de Agua Potable y Saneamiento Básico, AAPS:

$$Población\ Abastecida = N^{\circ}\ de\ Usuarios \times 6,8787$$

6,8787 = Promedio de personas por medidor de agua instalado

Los datos y cálculos necesarios se muestran en la siguiente tabla:

Tabla II-3. Determinación de la población servida por sistema de abastecimiento

Nº	SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	Nº DE USUARIOS	POBLACIÓN ABASTECIDA
1	Planta de Tratamiento	2.729	18.772
2	Tanque 1500 m ³	2.905	19.983
3	Tanque 200 m ³	1.029	7.078
4	Pozo N°2	857	5.895
5	Pozo N°4	564	3.895
6	Pozo N°6	1.015	6.982

Fuente: Elaboración propia, 2010

2.2.6 CANTIDAD DE MUESTRAS EN LA RED

De acuerdo a las Normas NB 496 Agua Potable–Toma de Muestras y el Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, se determina el número mínimo de muestras en función de la población abastecida, empleando las siguientes tablas:

Tabla II-4. Cantidad mínima de muestras de los Parámetros de Control Mínimo (Red de Distribución)

Población Abastecida (hab.)	Número de muestras
≤1000	1/trimestre
1000 a 2000	1/bimestre
2001 a 5000	1/mes
5001 a 10000	(1c/5000hab)/mes
10001 a 20000	(1c/5000hab)/mes
20001 a 30000	(1c/5000hab)/mes
30001 a 50000	(1c/5000hab)/mes
50001 – 100000	(1c/5000hab)/mes
100001-500000	(10 + 1c/10000 hab)/mes
>500000	(10 + 1c/10000 hab)/mes

Fuente: Tabla N° 5, Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano

A continuación se detalla la frecuencia mínima de muestreo para los dos meses de monitoreo realizado desde el 13 de Septiembre al 13 de Noviembre del 2010 en los sistemas de abastecimiento identificados de acuerdo a lo establecido en la norma boliviana NB 512.

El número mínimo de muestras se obtiene dividiendo la cantidad total de población abastecida entre 5.000 (TABLA II-4), luego este resultado multiplicado por dos para obtener la cantidad de muestras a analizar en los 2 meses de monitoreo, esto para cada sistema de abastecimiento. Todo esto está detallado en la siguiente tabla:

Tabla II-5. Frecuencia mínima de muestreo y parámetros de control en los dos meses de Monitoreo

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	POBLACIÓN ABASTECIDA	PARÁMETROS DE CONTROL (Tabla N° 1 y 2 de la NB 512)	SALIDA DEL TANQUE	N° DE MUESTRAS EN RED DE DISTRIBUCIÓN (tabla II-4×2)
Planta de Tratamiento	18.772	Mínimo	8 veces	8
		Básico	Ninguna	Mensual
Tanque 1500 m ³	19.983	Mínimo	4 veces	8
		Básico	Ninguna	Mensual
Tanque 200 m ³	7.078	Mínimo	2 veces	3
		Básico	Ninguna	Ninguna
Pozo N°2	5.895	Mínimo	2 veces	2
		Básico	Ninguna	Ninguna
Pozo N°4	3.880	Mínimo	2 veces	2
		Básico	Ninguna	Ninguna
Pozo N°6	6.982	Mínimo	2 veces	2
		Básico	Ninguna	Ninguna

Fuente: Elaboración propia, 2010

2.2.7 PUNTOS DE MUESTREOS IDENTIFICADOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

En las tablas siguientes se muestran los puntos de muestreos identificados en los sistemas de abastecimiento en los dos meses de monitoreo. Estos puntos de muestreos están distribuidos en toda la ciudad y son diferentes en los dos meses ya que se siguió con la metodología empleada en EMAPYC, donde se escogen los puntos al azar.

**Tabla II-6. Puntos de muestreos identificados en el sistema
“Planta de Tratamiento”**

Nº	CÓDIGO MUESTRA	DIRECCIÓN
1	PT-01	Libertad esq. Jacinto Delfín
2	PT-02	Ibibobo esq. Uyuni
3	PT-03	Comercio e/ Sucre y Campero (Mercado Central)
4	PT-04	Sucre e/ Martín Barroso y Av. San Martín (Distrital de Educación)
5	PT-05	Av. San Martín esq. 27 de Mayo
6	PT-06	Ibibobo e/ Cornelios Rios y Vía Férrea
7	PT-07	Sucre e/ Martín Barroso y Av. San Martín (Distrital de Educación)
8	PT-08	Av. San Martín (Plazuela Magariños)
9	PT-09	Av. Libertadores e/ Daniel Campos y Colón

Fuente: Elaboración propia, 2010

Donde: PT = Planta de Tratamiento

**Tabla II-7. Puntos de muestreos identificados en el sistema
“Tanque 1500 m³”**

Nº	CÓDIGO MUESTRA	DIRECCIÓN
1	TM-01	Davide Cattaneo Esq. Ing. Mora
2	TM-02	Fortín Muñoz Esq. Innominada B.
3	TM-03	6 de Octubre esq. Pasaje A
4	TM-04	Avaroa I e/ Chañares y Cebiles (Mercado Campesino)
5	TM-05	Av. Km. 7 e/ Teolinda Catacora y Franco Barrero
6	TM-06	Davide Cattaneo Esq. Ing. Mora
7	TM-07	Ballivian e/ Arayanes y Cedrones
8	TM-08	Avaroa I e/ Chañares y Cebiles (Mercado Campesino)
9	TM-09	Bernardino Bilbao Esq. Floriran Tejerina
10	TM-10	Camino a ENDE (U. E. San Isidro)

Fuente: Elaboración propia, 2010

Donde: TM = Tanque 1500

**Tabla II-8. Puntos de muestreos identificados en el sistema
“Tanque 200 m³”**

Nº	CÓDIGO MUESTRA	DIRECCIÓN
1	TD-01	27 de Mayo e/ Bolívar y Beni
2	TD-02	27 de Mayo e/ Santa Cruz y Ballivian
3	TD-03	Libertad esq. Sirecuas
4	TD-04	Ballivian Esq. Beneméritos (Cementerio Gral.)
5	TD-05	Ballivian e/ Eustaquio Méndez y 21 de Enero
6	TD-06	Ballivian esq. Beneméritos (Cementerio Gral.)
7	TD-07	27 de Mayo e/ Santa Cruz y Ballivian

Fuente: Elaboración propia, 2010

Donde: TD = Tanque 200

**Tabla II-9. Puntos de muestreos identificados en el sistema
“Pozo N°2”**

Nº	CÓDIGO MUESTRA	DIRECCIÓN
1	PD-01	Hugo Salazar Esq. Davide Cattaneo
2	PD-02	Cecilio Choque (Oficina Central EMAPYC)
3	PD-03	Cecilio Choque (Oficina Central EMAPYC)

Fuente: Elaboración propia, 2010

Donde: PD = Pozo N° 2

**Tabla II-10. Puntos de muestreos identificados en el sistema
“Pozo N°4”**

Nº	CÓDIGO MUESTRA	DIRECCIÓN
4	PC-01	Santa Cruz e/ Chorolque y Palos Blancos
5	PC-02	Martín Barroso e/ Boquerón y Hernando Siles (Mercado Abasto)

Fuente: Elaboración propia, 2010

Donde: PC = Pozo N° 4

Tabla II-11. Puntos de muestreos identificados en el sistema

“Pozo N°6”

N°	CÓDIGO MUESTRA	DIRECCIÓN
6	PS-01	Pasaje M casi Av. Gaseoducto
7	PS-02	Martín Barroso e/ 10 de Noviembre y 24 de Julio (Terminal de Buses)
8	PS-03	Av. Gaseoducto esq. Pasaje K.

Fuente: Elaboración propia, 2010

Donde: PS = Pozo N° 6

Los puntos de muestreos ya identificados en la Red de Distribución están representados en los diferentes planos correspondientes al área característica de cada sistema de abastecimiento de la ciudad de Yacuiba (**VER ANEXO B-II**), identificados con sus respectivos códigos de muestra.

Además se obtienen muestras de las salidas de los diferentes sistemas de abastecimiento de acuerdo a lo calculado (TABLA II-5).

2.2.8 MÉTODO DE MUESTREO

2.2.8.1 MUESTREO

El muestreo envuelve un conjunto de actividades que permiten obtener una porción homogénea y representativa que será objeto de estudio para determinar las condiciones reales de la calidad del agua potable suministrada a la población.

El propósito de las operaciones de muestreo consiste en extraer una cantidad de muestra representativa, suficiente como para poder realizar con ella todas las pruebas ya mencionadas en los objetivos (Tabla II-1 y Tabla II-2), lo suficiente; como para que pueda ser transportada con facilidad y en un intervalo de tiempo tan corto, como para que su composición no cambie apreciablemente antes de realizar las pruebas.

Según la Norma Boliviana NB 496 (Agua Potable – Toma de Muestras) la toma de muestras destinadas al análisis organoléptico, físico-químico, metales pesados, compuestos orgánicos, bacteriológico y/o radiológico debe ser a través de muestras simples, necesariamente debe ser realizada por una persona experimentada o entrenada para tal fin. Es por esto que antes de empezar con el control de calidad realicé una capacitación en toma de muestras y luego proceder con los análisis ya mencionados.

2.2.8.2 ACTIVIDADES PREVIAS AL MUESTREO

Antes de realizar el muestreo es necesario el cumplimiento de ciertas actividades que tienen por objeto garantizar la ejecución de un trabajo eficiente; por esto se procede a desarrollar las actividades de la siguiente forma:

a. Preparación del recipiente utilizado en el muestreo

El volumen de la muestra y del frasco depende de los análisis que se van a realizar. Es por esto que las características generales de los recipientes para la recolección de muestras de agua se describen en la siguiente tabla:

Tabla II-11. Características de los recipientes para recolección de muestras

Análisis	Preparación de los frascos	Codificación del frasco de muestreo
Análisis Microbiológico	En este se utilizan bolsitas de polietileno esterilizados de 100 ml que en su interior contiene una pastilla de tiosulfato de sodio que hace de agente neutralizador en el caso de que exista cloro residual en la muestra.	Codificar las bolsitas (poner la fecha y la dirección del lugar de donde se tomo la muestra)
Análisis Físicoquímico	Preparar los frascos de polietileno con capacidad de 2 lts., en este caso se usan botellas de soda descartable adecuadamente lavadas.	Codificar el frasco de muestreo (pone la fecha lugar y la dirección del lugar de donde se tomo la muestra)

Fuente: Elaboración propia, 2010

b. Limpieza de equipos de muestreo

Todos los equipos que tienen contacto con una muestra de calidad del agua deben ser limpiados cuidadosamente antes de volver a ser utilizados, tal es el caso de los equipos utilizados para los Análisis de Campo (pHmetro y Conductivímetro).

c. Calibración de equipos de campo

Los equipos de campos utilizados tales como el pHmetro y conductivímetro tienen que ser calibrados antes de tomar las muestras de aguas.

2.2.8.3 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

El muestreo se realizó utilizando diferentes procedimientos, teniendo en cuenta el tipo de análisis; de este modo, los procedimientos aplicados fueron:

a. Muestreo para Análisis Físicoquímicos**• Limpieza del grifo**

Se verifica que el grifo a utilizar sea de uso constante y no presente deterioros, luego se procede a retirar cualquier material adherido a este.

• Drenaje del grifo antes del muestreo

Se deja correr el agua de las tuberías de 1 a 3 min. a objeto de asegurar que la muestra sea representativa del agua de la red de suministro y no agua estancada.

• Enjuague del frasco

Se enjuaga de 2 a 3 veces el envase con la misma muestra.

• Toma de muestra

Se llena el envase hasta que rebalse, y se evita el contacto del grifo con la boca del frasco. Se procede a tapar el envase cuidando de que no se queden burbujas en su interior.

- **Registro de datos**

Luego de la toma de muestra se procede a registrar en un cuaderno destinado al control de calidad de agua potable, se anotó la fecha, hora y temperatura del ambiente.

- **Transporte y conservación de la muestra**

Una vez realizada la recolección de la muestra, esta se lleva en el menor tiempo posible al laboratorio de EMAPYC. Luego se deja la muestra en el refrigerador a una temperatura entre 4 °C y 10 °C para que se mantenga la muestra y no se deteriore hasta comenzar el análisis.

b. Muestreo para Análisis Bacteriológico

- **Limpieza del grifo**

Se verifica que el grifo a utilizar sea de uso constante y que no presente deterioros, luego se procede a retirar cualquier material o suciedad adherido a este utilizando una pinza con una torunda de algodón empapada con alcohol.

- **Esterilización del grifo**

Se esteriliza el grifo durante un minuto con la llama proveniente de un mechero al alcohol.

- **Drenaje del grifo antes del muestreo**

Se deja correr el agua de las tuberías de 1 a 3 min. a objeto de asegurar que la muestra sea representativa del agua de la red de suministro y no agua estancada.

- **Extracción de la muestra**

Primero se regula el flujo del agua, luego se abre la bolsita y se la pone bajo el chorro de agua evitando el contacto del grifo con la boca de la bolsita. Se deja un espacio de aire lo que facilita homogenizar la muestra antes de su análisis. Finalmente se procede a cerrar la bolsa evitando cualquier contacto.

- **Registro de datos**

Luego de la toma de muestra se procede a registrar en un cuaderno destinado al control de calidad de agua potable, se anotó la fecha, hora y temperatura del ambiente.

- **Transporte y preservación de la muestra**

Se coloca la muestra en una conservadora para evitar la exposición de la muestra a la luz y conservar su temperatura luego se la lleva en el menor tiempo posible al laboratorio de EMAPYC para colocarla en el refrigerador a una temperatura entre 4 °C y 10 °C para que se mantenga la muestra y no se deteriore hasta comenzar el análisis.

2.2.9 ANÁLISIS DE CAMPO

Se realiza mediciones de pH, conductividad, sólidos totales disueltos, temperatura y cloro residual libre ya que requieren ser analizadas en la fuente receptora, para ello fue necesario transportar equipos portátiles de medición de los parámetros antes mencionados. Para tomar las muestras es necesario enjuagar tres veces consecutivas el envase de muestreo antes de tomar la muestra definitiva y recién proceder a efectuar el análisis de estos parámetros.

2.2.10 MÉTODOS EMPLEADOS PARA LOS DIFERENTES ENSAYOS

La Tablas II-12 muestra un detalle de los parámetros y métodos que se utilizan en el presente trabajo.

Tabla II-12. Métodos y parámetros para análisis organolépticos, microbiológicos y fisicoquímicos

PARÁMETROS	MÉTODO DE ANÁLISIS
Parámetros Organolépticos	
Olor	Organoléptico
Color	Organoléptico
Sabor	Organoléptico
Parámetros Microbiológicos	
Coliformes fecales	Tubos Múltiples (Número Más Probable, NMP)
Coliformes totales	Tubos Múltiples (Número Más Probable, NMP)
Parámetros Fisicoquímicos	
pH	Instrumental: Electrométrico
Conductividad	Instrumental: Potenciómetro
Turbiedad	Instrumental: Nefelométrico
Sólidos totales disueltos	Instrumental: Potenciómetro
Temperatura	Instrumental: Termométrico
Cloro residual libre	Visual comparativo: DPD, Espectrofotométrico DPD
Alcalinidad total	Volumétrico: Titulación con ácido sulfúrico
Sulfato	Instrumental: Espectrofotométrico con cloruro de bario
Cloruro	Volumétrico: Titulación con nitrato de mercurio
Dureza total	Volumétrico: Titulación con EDTA tetrasodio
Calcio	Volumétrico: Titulación con EDTA tetrasodio
Magnesio	Cálculo
Manganeso	Instrumental: Espectrofotométrico
Hierro total	Instrumental: Espectrofotométrico
Nitrato	Instrumental: Espectrofotométrico
Nitrito	Instrumental: Espectrofotométrico
Aluminio	Instrumental: Espectrofotométrico con cloruro de bario
Fluoruro	Instrumental: Espectrofotométrico
Cobre	Instrumental: Espectrofotométrico
Zinc	Instrumental: Espectrofotométrico

Fuente: Elaboración propia, 2010

2.3 TRABAJO EXPERIMENTAL

2.3.1 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS PREFIJADOS

El objeto del análisis es producir datos exactos que describan las características fisicoquímicas y bacteriológicas de una muestra de agua. La garantía de calidad descansa en la confiabilidad de los datos analíticos, es decir de las técnicas

empleadas, desde el lavado del material hasta la utilización de los métodos normalizados. Además se debe contar con un ambiente de trabajo adecuado para garantizar el desenvolvimiento del analista.

Existen parámetros que se deben medir en el punto de evaluación como cloro residual libre, temperatura, pH, conductividad y sólidos totales disueltos por su posible cambio con el paso del tiempo.

Los resultados son anotados en un libro de datos de agua potable apropiados para su fácil y rápida interpretación. El resumen de la evaluación debe ser estadísticamente presentado, a fin de realizar el seguimiento en el tiempo.

2.3.2 CAPACITACIÓN TÉCNICA

Antes de la ejecución del presente trabajo se recibe la capacitación necesaria para desarrollar habilidades, destrezas y experiencia en los análisis; aplicando conocimiento teóricos y prácticos durante un mes. Esta capacitación fue supervisada por el Tutor nombrado por el Gerente General de EMAPYC, Ing. Graciela Ruiz.

2.3.3 TRABAJO EXPERIMENTAL EN CAMPO (IN SITU)

Se realizan mediciones de pH, conductividad, sólidos totales disueltos, temperatura y cloro residual libre con la ayuda de los equipos de campo. En la siguiente tabla se describen los procedimientos utilizados para estos análisis.

Tabla II-13. Descripción de los procedimientos para los análisis en campo

DETERMINACIÓN	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS UTILIZADOS	DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS
pH y Temperatura	Recipiente y pHmetro (Hach)	Análisis Instrumental: Sumergir el electrodo presionar la tecla READ y esperar a que estabilice. Junto al valor del pH se reporta la temperatura de la muestra
Conductividad eléctrica	Recipiente y conductivímetro (Hach)	Análisis Instrumental: Sumergir el electrodo presionar la tecla Cond y luego READ y esperar a que estabilice.
Sólidos totales disueltos (STD)	Recipiente y conductivímetro (Hach)	Análisis Instrumental: Sumergir el electrodo presionar la tecla TDS y luego READ y esperar a que estabilice.
Cloro residual libre	Tubo de ensayo, ortotoluidina y tabla comparativa visual	Análisis visual: Tomar la muestra en el tubo y agregar unas gotas de ortotoluidina y hacer la comparación con las tablas.

Fuente: Elaboración propia, 2010

2.3.4 TRABAJO EXPERIMENTAL EN LABORATORIO

Dentro de las instalaciones del Laboratorio de Calidad de EMAPYC se realizan análisis organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos.

2.3.5 ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS

Se realizan las pruebas organolépticas en el laboratorio basadas exclusivamente en la percepción de los sentidos.

Tabla II-14. Descripción de procedimientos realizados para análisis organolépticos

PARÁMETROS	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS USADOS	DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS
Olor	Ninguno	Se percibe el olor de la muestra
Sabor	Ninguno	Examen degustativo
Color	Ninguno	Examen visual, además este parámetro fue realizado en la laboratorio YACULAB para comprobar.

Fuente: Elaboración propia, 2010

2.3.6 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

Los análisis fisicoquímicos se dividen en dos partes: análisis realizados en el espectrofotómetro donde se determinaron: Fe, Mn, sulfatos, nitratos, nitritos, etc. Y análisis volumétricos para determinar dureza total, calcio, cloruros y alcalinidad total. Las tablas II-14 y II-15 describen estos análisis.

Para la determinación de algunos de los parámetros fisicoquímicos se utiliza el espectrofotómetro DR 2400 Marca Hach, que da los resultados en mg/l.

Las lecturas de absorbancia se registran en una base de datos del espectrofotómetro con un número de programa específico para cada parámetro.

FIGURA II- 2. Espectrofotómetro HACH

Fuente: Elaboración propia, 2010

Tabla II-15. Procedimientos para la determinación de parámetros en el Espectrofotómetro DR 2400

PARÁMETRO	No PROGRAMA	PROCEDIMIENTO
Hierro	265	Buscar la longitud de onda requerida Medir 10 ml de muestra Agregar una pastilla de FERROVER Shift Timer (3 min) Medir 10 ml de muestra (blanco) La muestra blanco poner a Cero Dar lectura de la muestra, tecla leer.
Manganeso	295	Buscar la longitud de onda requerida Medir 10 ml de muestra Agregar una pastilla de BUFFER POWDER PILLOW Agregar una pastilla de SODIUM PERIODATE Shift Timer (2 min) Medir 10 ml de muestra (blanco) La muestra blanco poner a Cero Dar lectura de la muestra, tecla leer.

PARÁMETRO	No PROGRAMA	PROCEDIMIENTO
Cobre	135	Buscar la longitud de onda requerida Medir 10 ml de muestra Agregar una pastilla de CUVER1 Shift Timer (2 min) Medir 10 ml de muestra (blanco) La muestra blanco poner a Cero Dar lectura de la muestra, tecla leer.
Sulfato	680	Buscar la longitud de onda requerida Medir 25 ml de muestra Agregar una pastilla de SULFAVER4 Shift Timer (5 min) Medir 25 ml de muestra (blanco) La muestra blanco poner a Cero Dar lectura de la muestra, tecla leer.
Nitrito	371	Buscar la longitud de onda requerida Medir 10 ml de muestra Agregar una pastilla de NTRIVER3 Shift Timer (20min) Medir 10 ml de muestra (blanco) La muestra blanco poner a Cero Dar lectura de la muestra, tecla leer.
Nitrato	355	Buscar la longitud de onda requerida Medir 25 ml de muestra Agregar una pastilla de NITRAVER 5 Agitar shift timer (1min) Reposo shift Timer (5 min) Medir 25ml de muestra (blanco) La muestra blanco poner a Cero Dar lectura de la muestra, tecla leer.
Fluoruro	190	Buscar la longitud de onda requerida Medir 10 ml de muestra Medir 10 ml de agua desionizada (blanco) A ambos: 2 ml SPANDS Shift Timer (1 min) La muestra blanco poner a Cero Dar lectura de la muestra, tecla leer.

Fuente: EMAPYC, 2010

Para los Análisis Volumétricos se utiliza un Titulador Digital Hach que nos da las unidades en mg/l (ppm).

Figura II-3. Titulador Digital HACH

Fuente: Elaboración propia, 2010

Tabla II-16. Procedimientos para la determinación de algunos parámetros con el Titulador Digital

PARÁMETRO	PROCEDIMIENTO
Dureza Total	<p>Seleccionar un volumen de 100 ml de muestra en un erlenmeyer para análisis.</p> <p>Instalar el Titulador Digital Hach con una solución de EDTA 0.80 o 0.08 N</p> <p>Agregar 1 ml o 2 ml de solución Buffer Hardness</p> <p>Agregar una bolsita de MAN VER 2 en el erlenmeyer</p> <p>Proceder a titular hasta que vire de color</p> <p>Dar lectura en el Titulador Digital Hach el valor de la concentración.</p>
Calcio	<p>Seleccionar un volumen de 100 ml de muestra en un erlenmeyer para análisis.</p> <p>Instalar el Titulador Digital Hach con una solución de EDTA 0.80 o 0.08 N</p> <p>Agregar 1 ml o 2 ml de solución de Hidróxido de Potasio 8 N.</p> <p>Agregar una bolsita de CAL VER 2 en el erlenmeyer</p> <p>Proceder a titular hasta que vire de color</p> <p>Dar lectura en el Titulador Digital Hach el valor de la concentración.</p>
Cloruro	<p>Seleccionar un volumen de 100 ml de muestra en un erlenmeyer para análisis.</p> <p>Instalar el Titulador Digital Hach con una solución de NITRATO DE MERCURIO 0.2256 N</p> <p>Agregar 1 ml o 2 ml de solución de Hidróxido de Potasio 8 N.</p> <p>Agregar una bolsita de DIFENILCARBEZONE en el erlenmeyer</p> <p>Proceder a titular hasta que vire de color</p> <p>Dar lectura en el Titulador Digital Hach el valor de la concentración.</p>
Alcalinidad total	<p>Seleccionar un volumen de 100 ml de muestra en un erlenmeyer para análisis.</p> <p>Instalar el Titulador Digital Hach con una solución de ÁCIDO SULFÚRICO 1.6 N</p> <p>Agregar una bolsita de BROMOCRESOL en el Erlenmeyer con FENOLFTALEINA</p> <p>Proceder a titular hasta que vire de color</p> <p>Dar lectura en el titulador digital el valor de la concentración</p>

Fuente: EMAPYC, 2010

La medición de Magnesio se obtiene de la diferencia de Dureza total – Dureza de calcio y se expresa como mg/l de CaCO₃:

$$\text{Mg} = \text{Dureza total} - \text{Dureza de Calcio}$$

La turbiedad se mide en el Turbidímetro Portátil Hach de la siguiente manera:

- En una celda especial que tiene el equipo se llena hasta el nivel que tiene la misma.
- Se coloca dentro del compartimiento del turbidímetro.
- Se enciende y se presione la tecla READ.
- Esperar que el aparato se estabilice.
- Los resultados se expresa como NTU (Unidades Nefelométricas de Turbiedad)

2.3.7 ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

Se realizan los análisis bacteriológicos dentro del área de microbiología de EMAPYC.

La determinación de estos parámetros se hace por el método de Tubos Múltiples o Número Más Probable (N.M.P.), y se ejecuta usando tubos con medio de caldo preesterilizado. Cada uno de los tubos contiene un tubito invertido (tubo dirham) para colectar gas.

El método NMP consiste en poner muestra en el tubo de Caldo Lauryl Tryptosa e incubar. Si hay coliformes presentes, se produce gas en el tubo Dirham (tubo interno). Este es un método cuantitativo.

El procedimiento para la determinación de coliformes totales es el siguiente:

- a. Lavarse las manos y esterilizar el mesón donde se trabajará.
- b. Preparar 5 tubos de Caldo Lauryl Tryptosa (identificar cada uno de ellos colocando punto de muestreo, cloro residual, fecha, etc.).

Figura II-4. Tubos de caldo etiquetados.



Fuente: Elaboración propia, 2010

- c. Quitar la tapa y con una pipeta de plástico desechable y estéril que se flamea en mechero para que no se contamine se adiciona 10 ml de muestra dentro de cada tubo. (No tocar la boca del tubo ni el interior de la tapa).

Figura II-5. Adición de la muestra en el tubo de caldo



Fuente: Elaboración propia, 2010

- d. Cerrar con la tapa el tubo después de haber realizado la adición de la muestra. Invertir el tubo varias veces y revolver para eliminar cualquier burbuja atrapada en el tubo Dirham.

- e. Se coloca los tubos en el Incubador Portátil Hach a 35 °C durante 24 horas.

Figura II-6. Incubador Portátil



Fuente: Elaboración propia, 2010

- f. Después de las 24 horas se procede a observar alguna alteración en las muestras.
- g. Si éstas presentan alteraciones como cambio de color, concentración en forma de lechosidad, turbiedad o formación de gas indica presencia de coliformes si no presenta ninguna alteración verifíquelos de nuevo durante 48 horas. Los tubos que contengan gas, son positivos. Los que no lo contienen, son negativos.
- h. El resultado se expresa como NMP (Número Más Probable).

Tabla II-17. Resultados del método de NMP

Tubos Positivos	NMP/100 mL
0	<2.2
1	2.2
2	5.1
3	9.2
4	16.0
5	>16.0

Fuente: EMAPYC, 2010

Figura II-7. Resultados de las pruebas



Fuente: Elaboración propia, 2010

Para la determinación de coliformes fecales y *E. coli* se utiliza un método confirmativo. Las pruebas de confirmación se usan para eliminar resultados positivos falsos. El procedimiento es el siguiente:

- a. Los tubos de Lauryl Triptosa que salieron positivos son los que se emplea para hacer este método.
- b. Con un asa de plástico desechable y estéril, se transfiere de cada tubo positivo de Lauryl Triptosa a un tubo de medio EC con MUG (4-metilumbroiliferil- β -D-glucuronida). Cerrar el tubo e incubar a 44.5 ° C durante 24 horas.
- c. Después de las 24 horas se observa cada tubo si hay formación de gas en el tubo Durham. Verifique cada tubo por fluorescencia. Los tubos que contengan gas en el tubo Durham son positivos para coliformes fecales. Los tubos que fluorescen bajo la luz U.V. de onda larga son positivos para *E. coli*. Los tubos sin gas son negativos para coliformes fecales. Los tubos que no fluorescen están confirmados negativos para *E. coli*.
- d. El resultado se expresa como NMP (Número Más Probable), ver la tabla II-17.
Resultados del método de NMP

3.1 RESULTADOS

Los resultados que se obtienen después de los análisis realizados en la red de distribución en cada uno de los sistemas de distribución seleccionados para el presente trabajo de control de calidad se muestran en el **ANEXO C-I**. Y los resultados de los análisis de salida de los sistemas de abastecimiento se muestran en el **ANEXO C-II**.

A continuación se muestran en las siguientes tablas el resumen de los resultados obtenidos de los diferentes análisis realizados en la Red de Distribución de los sistemas de distribución:

Tabla III-1. Resultados del sistema Planta de Tratamiento

Parámetro	Código de Muestra y Fecha de Muestreo								
	PT-01 15/09/10	PT-02 17/09/10	PT-03 01/10/10	PT-04 11/10/10	PT-05 20/10/10	PT-06 27/10/10	PT-07 05/11/10	PT-08 05/11/10	PT-09 08/11/10
pH	8,03	7,65	7,56	7,3	6,92	7,35	7,21	7,34	7,87
Conductividad	753	933	1065	1075	1038	965	1103	962	812
TDS	376	468	533	538	519	483	556	480	408
Turbiedad	0,27	0,4	0,38	0,42	0,27	0,17	0,39	0,39	0,2
Cloro Residual	0,06	0	0,45	0,51	0,08	0,1	0,68	0,22	0,07
Dureza Total	230	312	416	445	431	396	431	355	306
Calcio	48	55,2	78	64,4	66,8	70	68,4	56	46,8
Magnesio	26,4	41,76	53,04	68,16	63,36	53,04	62,4	51,6	45,36
Alcalinidad T.	254	326	429	654	496	376	480	424	263
Sulfato	54	53	72	66	68	51	120	61	52
Fluoruro	0.38	0,15	0,49	0,51	0,85	0,07	0,65	0,2	0,27
Hierro Total	0.01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	0,02	0,02
Cobre	0.02	0,08	0,05	0,02	0,09	0,03	0,01	0,11	0,08
Manganeso	0.5	1,4	0,2	0,1	0,5	0,2	0,2	0,2	0,1
Nitrito	0.001	0,009	0,002	0,002	0,001	0,006	0,001	0,001	0,002
Cloruros	44	38	78	67	32	60	97	36	32
Nitrato	3.4	13,2	7,2	8,4	7,3	13,3	9,8	7,6	4,3

Fuente: Elaboración propia, 2011

Tabla III-2. Resultados del sistema Tanque 1500

Parámetro	Código de Muestra y Fecha de Muestreo									
	TM-01 13/09/10	TM-02 17/09/10	TM-03 29/09/10	TM-04 11/10/10	TM-05 15/10/10	TM-06 22/10/10	TM-07 25/10/10	TM-08 09/11/10	TM-09 11/11/10	TM-10 12/11/10
pH	7,73	7,65	7,41	7,27	7,14	7,39	7,13	7,74	7,11	7,21
Conductividad	1060	933	1071	1087	1070	1066	1119	1093	1085	802
TDS	530	468	535	543	534	532	564	547	546	401
Turbiedad	0,48	0,46	0,32	0,22	1	0,28	0,38	0,2	0,74	0,17
Cloro Residual	0,1	0,4	0	0,43	0,56	0,45	0,35	0,52	0,03	0
Dureza Total	428	408	388	424	434	438	480	438	431	315
Calcio	74	72	56	63,6	67,6	69,2	65,2	68,4	62,4	78
Magnesio	58,32	51,12	59,24	63,6	63,6	63,6	76,08	64,08	66	28,8
Alcalinidad T.	415	352	442	450	463	500	490	462	375	343
Sulfato	75	74	138	69	67	68	72	69	155	26
Fluoruro	0,29	0,25	0,53	0,41	0,28	0,41	0,17	0,45	0,39	0,38
Hierro Total	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01
Cobre	0,1	0,07	0,06	0,04	0,04	0,03	0,13	0,05	0,11	0
Manganeso	1	0,2	0,3	0,6	0,5	0,3	0,1	0,6	0,2	0,3
Nitrito	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,019	0,005	0,002	0,001
Cloruros	35	53	98	76	49	53	40	35	56	45
Nitrato	8,7	5,8	5,3	7,8	7,6	7,4	10,6	9,3	4,5	5,8

Fuente: Elaboración propia, 2011

Tabla III-3. Resultados del sistema Tanque 200

Parámetro	Código de Muestra y Fecha de Muestreo						
	TD-01 15/09/2010	TD-02 9/09/2010	TD-03 01/10/2010	TD-04 11/10/2010	TD-05 18/10/2010	TD-06 27/10/2010	TD-07 09/11/2010
pH	7,27	7,8	7,44	7,68	6,83	7,42	7,79
Conductividad	1137	1058	1091	820	1077	931	1067
TDS	569	531	546	410	538	468	534
Turbiedad	0,62	0,59	0,38	0,28	0,4	0,29	0,49
Cloro Residual	0,2	0,2	0,4	0,91	0,43	0,17	0,23
Dureza Total	426	388	464	327	452	306	410
Calcio	71,2	54	80,4	52	68,4	60,4	76
Magnesio	59,52	60,72	63,12	47,28	67,44	37,2	52,8
Alcalinidad T.	329	410	398	389	550	347	408
Sulfato	66	55	66	48	65	66	60
Fluoruro	0,7	0,19	0,31	0,27	0,61	0,57	0,33
Hierro Total	0,03	0,04	0,02	0,01	0,04	0,04	0,03
Cobre	0,04	0,06	0,04	0,03	0,08	0,07	0,06
Manganeso	0,6	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
Nitrito	0,005	0,005	0,002	0,001	0,007	0,008	0,001
Cloruros	60	21	64	90	39	56	53
Nitrato	8,5	8,1	7,2	4,7	6,4	12,2	8,4

Fuente: Elaboración propia, 2011

Tabla III-4. Resultados de los Pozos N° 2, 4, 6

Parámetro	Código de Muestra y Fecha de Muestreo							
	PD-01 13/09/2010	PD-02 24/09/2010	PD-03 09/11/2010	PC-01 22/09/2010	PC-02 11/11/2010	PS-01 04/10/2010	PS-02 01/11/2010	PS-03 08/11/2010
pH	7,94	8,81	7,75	8,56	7,18	7,18	8,5	7,28
Conductividad	1064	1066	1083	948	946	1170	1087	1189
TDS	532	531	542	473	472	585	543	596
Turbiedad	0,41	0,79	0,41	0,24	0,28	0,52	3,39	0,35
Cloro Residual	0	0	0	0	0	0	0,67	0,88
Dureza Total	410	407	459	368	234	362	431	466
Calcio	74,8	67,6	77,6	57,2	75,6	56	68,4	91,6
Magnesio	53,52	57,12	63,6	53,04	10,8	53,28	62,4	56,88
Alcalinidad T.	462	409	432	281	584	527	509	368
Sulfato	69	69	72	47	44	80	72	134
Fluoruro	0,21	0,39	0,61	0,19	0,26	0,7	0,33	0,33
Hierro Total	0,001	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03
Cobre	0,8	0,06	0,12	0,06	0,05	0,19	0,08	0,08
Manganeso	0,6	0,52	0,1	0,5	1,1	0,63	0,3	0,1
Nitrito	0,005	0,002	0,009	0,002	0,002	0,001	0,004	0,003
Cloruros	55	53	42	31	57	38	97	40
Nitrato	10,2	8	10,8	13,3	3,8	6,6	9,1	8,1

Fuente: Elaboración propia, 2011

3.1.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1.1.1 DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

Todas las muestras analizadas en la red de distribución y salida de los sistemas de abastecimiento tienen buen aspecto, cumpliendo así con lo que exige la NB 512.

3.1.1.2 DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

En las muestras analizadas no se detectó la presencia de gas en ningún tubo de caldo Lauryl Tryptosa analizado para la determinación de coliformes totales por lo tanto no fue necesario la determinación de coliformes fecales y E. coli ya que se utiliza un método confirmativo. En el Anexo F se muestra el Procedimiento para la determinación de coliformes totales y fecales.

Por lo tanto las muestras contienen 0 UFC/ml de coliformes totales.

3.1.1.3 DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

Los puntos de muestreos seleccionados en la red de distribución y salida de los sistemas de abastecimientos se muestran en las siguientes tablas con sus respectivas fechas en que fueron realizados los análisis, además indica el número que representan en las gráficas de los parámetros realizados:

Tabla III-5. Puntos de muestreos identificados en el sistema

“Planta de Tratamiento”

Nº	DIRECCIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN	FECHA TOMA DE MUESTRA EN LA “RED DISTRIBUCIÓN”	SALIDA PLANTA DE TRATAMIENTO	FECHA TOMA DE MUESTRA “SALIDA PLANTA DE TRAT.”
1	Libertad esq. Jacinto Delfín	15/09/10	SALIDA	16/09/10
2	Ibibobo esq. Uyuni	17/09/10		17/09/10
3	Comercio e/ Sucre y Campero (Mercado Central)	01/10/10		01/10/10
4	Sucre e/ Martín Barroso y Av. San Martín (Distrital de Educación)	11/10/10		11/10/10
5	Av. San Martín esq. 27 de Mayo	20/10/10		20/10/10
6	Ibibobo e/ Cornelios Rios y Vía Férrea	27/10/10		27/10/10
7	Sucre e/ Martín Barroso y Av. San Martín (Distrital de Educación)	05/11/10		01/11/10
8	Av. San Martín (Plazuela Magariños)	05/11/10		05/11/10
9	Av. Libertadores e/ Daniel Campos y Colón	08/11/10		08/11/10

Fuente: Elaboración propia, 2010

Tabla III-6. Puntos de muestreos identificados en el sistema

"Tanque 1500 m³"

Nº	DIRECCIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN	FECHA TOMA DE MUESTRA "RED DISTRIBUCIÓN"	SALIDA PLANTA DE TRATAMIENTO	FECHA TOMA DE MUESTRA "SALIDA PLANTA DE TRAT."
1	Davide Cattaneo esq. Ing. Mora	13/09/10	SALIDA	20/09/10
2	Fortín Muñoz esq. Innominada B.	17/09/10		23/09/10
3	6 de Octubre esq. Pasaje A	29/09/10		29/09/10
4	Avaroa I e/ Chañares y Cebiles (Mercado Campesino)	11/10/10		08/10/10
5	Av. Km. 7 e/ Teolinda Catacora y Franco Barrero	15/10/10		21/10/10
6	Davide Cattaneo esq. Ing. Mora	22/10/10		28/10/10
7	Ballivian e/Arayanes y Cedrones	25/10/10		-
8	Avaroa I e/ Chañares y Cebiles (Mercado Campesino)	09/11/10		09/11/10
9	Bernardino Bilbao esq. Floriran Tejerina	11/11/10		11/11/10
10	Camino a ENDE (U. E. San Isidro)	12/11/10		-

Fuente: Elaboración propia, 2010

Tabla III-7. Puntos de muestreos identificados en el sistema

“Tanque 200 m³”

Nº	DIRECCIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN	FECHA TOMA DE MUESTRA “RED DISTRIBUCIÓN”	SALIDA PLANTA DE TRATAMIENTO	FECHA TOMA DE MUESTRA “SALIDA PLANTA DE TRAT.”
1	27 de Mayo e/ Bolívar y Beni	15/09/10	SALIDA	20/09/10
2	27 de Mayo e/ Santa Cruz y Ballivian	29/09/10		-
3	Libertad esq. Sirecuas	01/10/10		08/10/10
4	Ballivian esq. Beneméritos (Cementerio Gral.)	11/10/10		21/10/10
5	Ballivian e/ Eustaquio Mendez y 21 de Enero	18/10/10		04/11/10
6	Ballivian esq. Beneméritos (Cementerio Gral.)	27/10/10		11/11/10
7	27 de Mayo e/ Santa Cruz y Ballivian	09/11/10		09/11/10

Fuente: Elaboración propia, 2010

Tabla III-8. Puntos de muestreos identificados en el sistema

“Pozo N°2”

Nº	DIRECCIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN	FECHA TOMA DE MUESTRA “RED DISTRIBUCIÓN”	SALIDA PLANTA DE TRATAMIENTO	FECHA TOMA DE MUESTRA “SALIDA PLANTA DE TRAT.”
1	Hugo Salazar esq. Davide Cattaneo	13/09/10	SALIDA	13/10/10
2	Cecilio Choque (Oficina Central EMAPYC)	24/09/10		10/11/10
3	Cecilio Choque (Oficina Central EMAPYC)	09/11/10		-

Fuente: Elaboración propia, 2010

Tabla III-9. Puntos de muestreos identificados en el sistema

“Pozo N°4”

Nº	DIRECCIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN	FECHA TOMA DE MUESTRA “RED DISTRIBUCIÓN”	SALIDA PLANTA DE TRATAMIENTO	FECHA TOMA DE MUESTRA “SALIDA PLANTA DE TRAT.”
4	Santa Cruz e/ Chorolque y Palos Blancos	22/09/10	SALIDA	13/10/10
5	Martín Barroso e/ Boquerón y Hernando Siles (Mercado Abasto)	11/11/10		12/11/10

Fuente: Elaboración propia, 2010

Tabla III-10. Puntos de muestreos identificados en el sistema

“Pozo N°6”

Nº	DIRECCIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN	FECHA TOMA DE MUESTRA “RED DISTRIBUCIÓN”	SALIDA PLANTA DE TRATAMIENTO	FECHA TOMA DE MUESTRA “SALIDA PLANTA DE TRAT.”
6	Pasaje M casi Av. Gaseoducto	04/10/10	SALIDA	13/10/10
7	Martín Barroso e/ 10 de Noviembre y 24 de Julio (Terminal de Buses)	01/11/10		04/11/10
8	Av. Gaseoducto esq. Pasaje K.	08/11/10		-

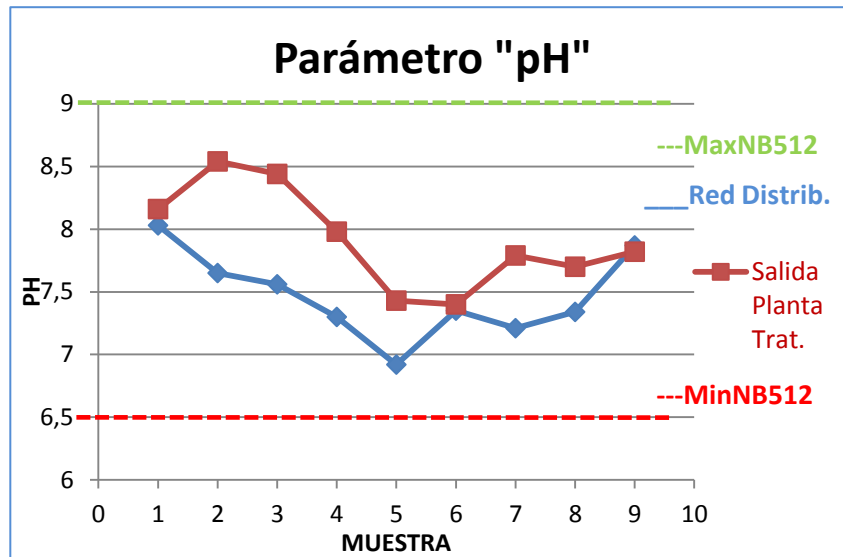
Fuente: Elaboración propia, 2010

A continuación se muestran las gráficas de los resultados de los análisis de los diferentes parámetros realizados a los sistemas de abastecimiento seleccionados.

PH

Para este parámetro la NB512 indica que el rango de pH que debe tener el agua potable es de 6,5 – 9,0.

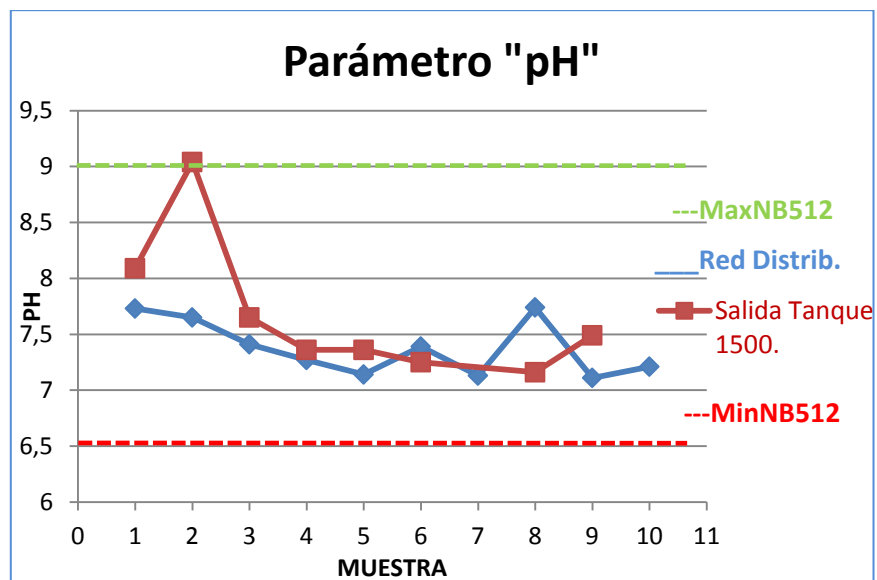
Figura III-1. Representación gráfica de pH “Planta de Tratamiento”



Fuente: Elaboración propia, 2010

En esta gráfica se muestra que el pH varía de 8,54 a 7,21 valores que se encuentran dentro del rango de lo que exige la NB 512. También se observa que el pH en la red de distribución son menores que los de la salida de la planta de tratamiento, debido al efecto de la acidificación del cloro.

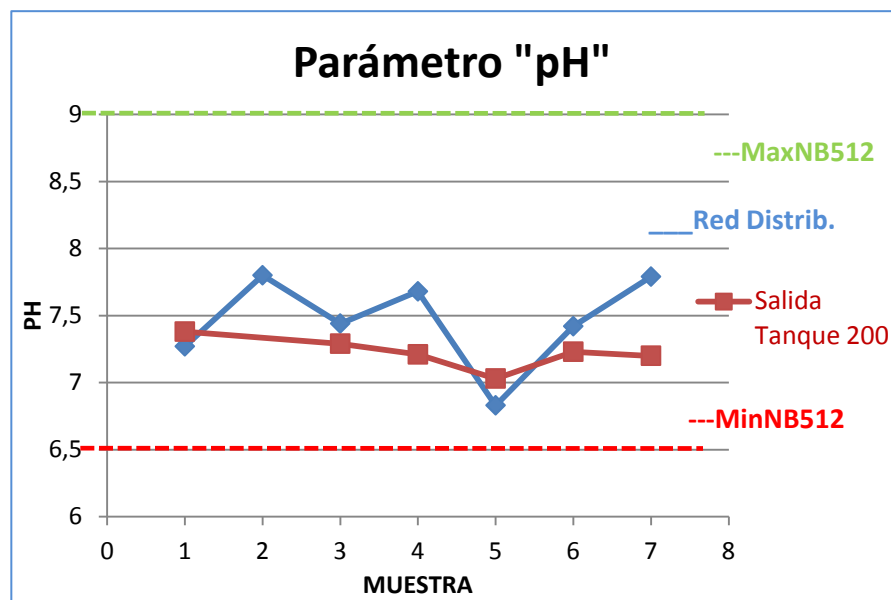
Figura III-2. Representación gráfica de pH “Tanque 1500 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

En las muestras del Tanque 1500, se observa que en la salida del mismo existe un valor máximo de 9,04 y no cumpliendo así lo que indica la NB 512, pero podría atribuirse a una lectura fallida. El pH es un parámetro muy importante ya que influye en los procesos de la coagulación química, en el proceso de desinfección de las aguas y en el control de la corrosión.

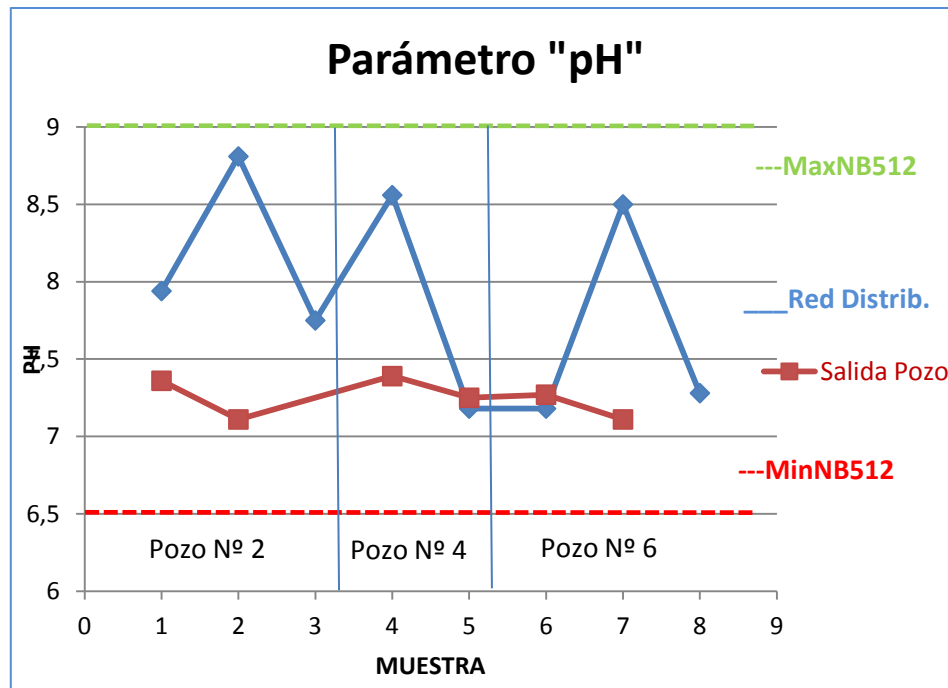
Figura III-3. Representación gráfica de pH “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

En esta gráfica se observa un valor máximo 7,79 y un mínimo de 6,83 cumpliendo con lo que indica la norma.

Figura III-4. Representación gráfica de pH “Pozo N° 2, 4,6”



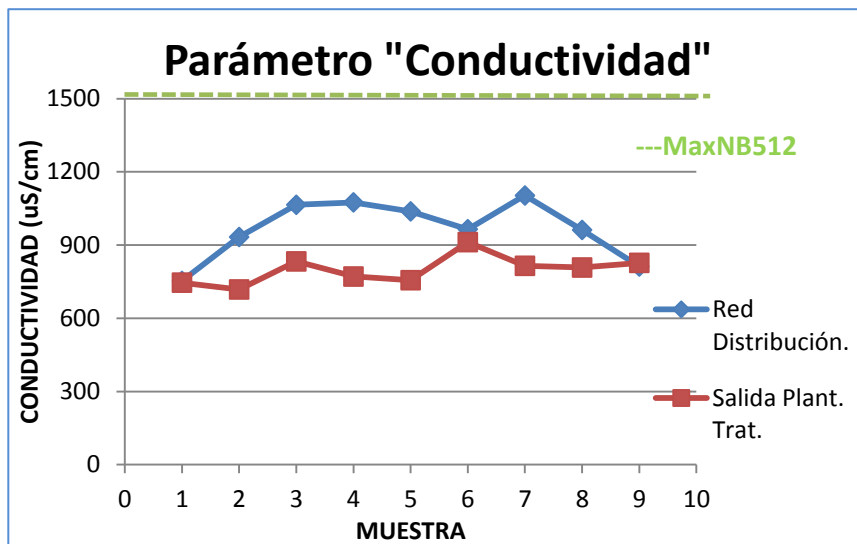
Fuente: Elaboración propia, 2010

Las muestras analizadas de los Pozos N° 2, 4 y 6 están dentro del rango que indica la norma.

CONDUCTIVIDAD

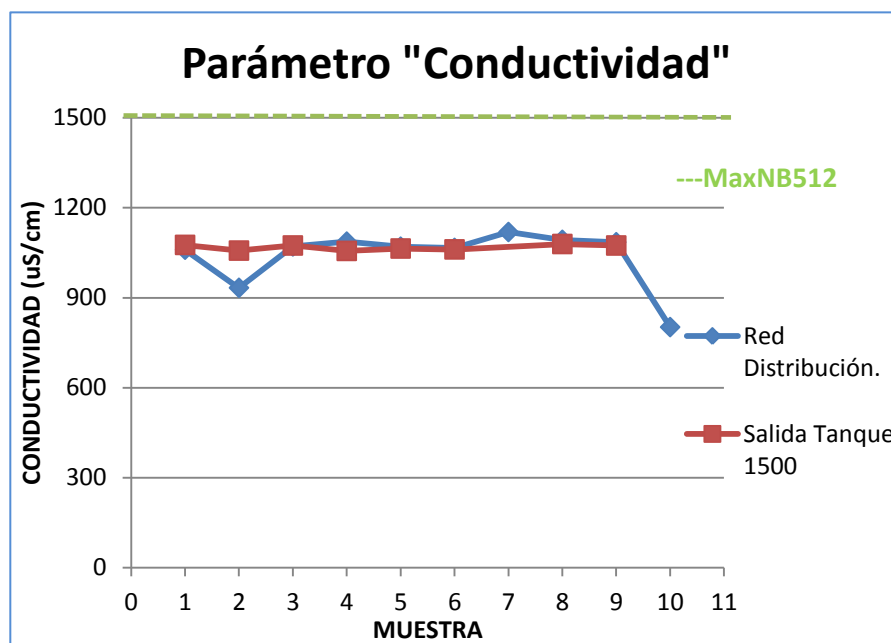
La conductividad es un parámetro importante porque nos indica la pureza de un agua, es también un indicador del agotamiento de las resinas de intercambio iónico.

Figura III-5. Representación gráfica de conductividad “Planta de Tratamiento”



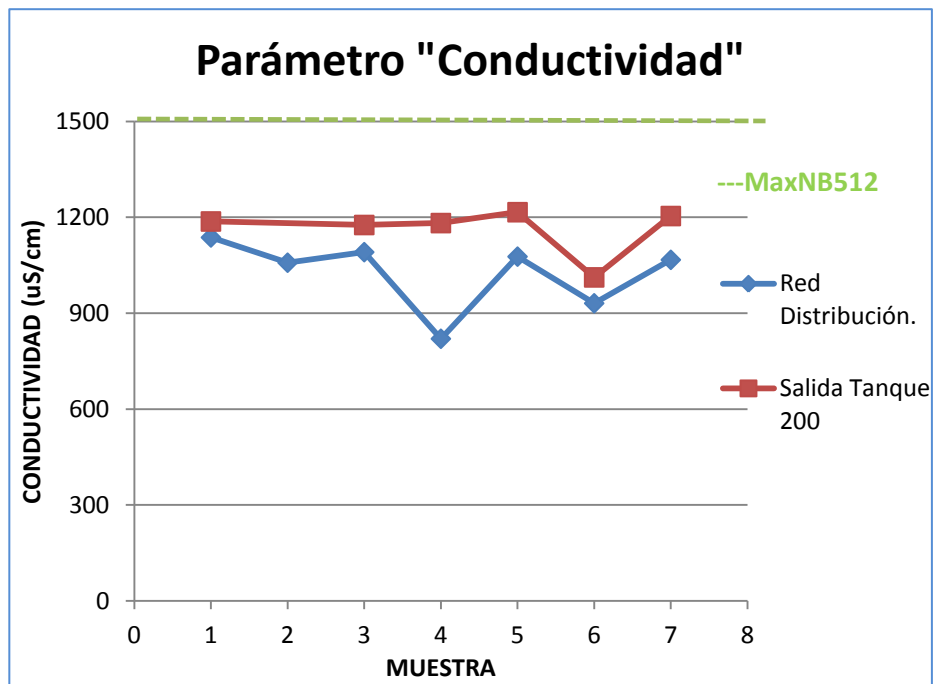
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-6. Representación gráfica de la conductividad “Tanque 1500 m³”



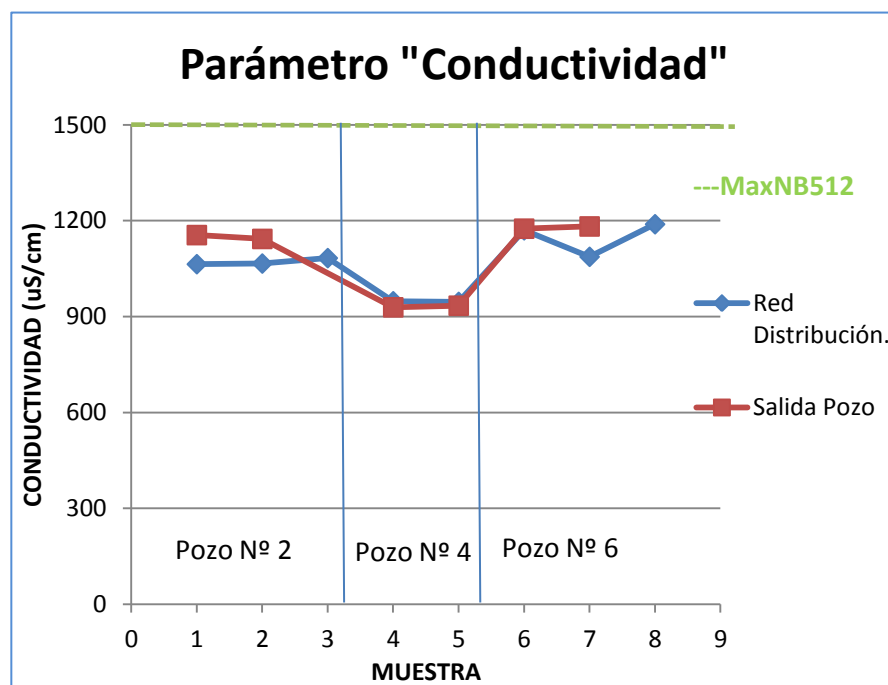
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-7. Representación gráfica de la conductividad “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-8. Representación gráfica de la conductividad “Pozo N° 2, 4, 6”



Fuente: Elaboración propia, 2010

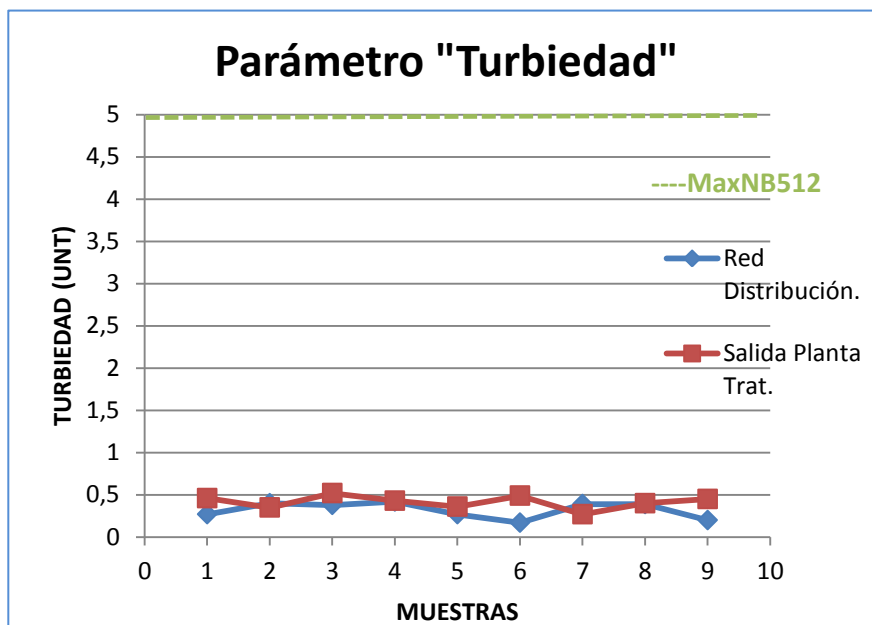
Los valores obtenidos de conductividad de las muestras que fueron analizadas están dentro de la NB512, la misma indica un máximo de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

TURBIEDAD

En el abastecimiento público de agua potable, la turbidez es una consideración importante, por las siguientes tres razones: estética, poder de filtración y desinfección.

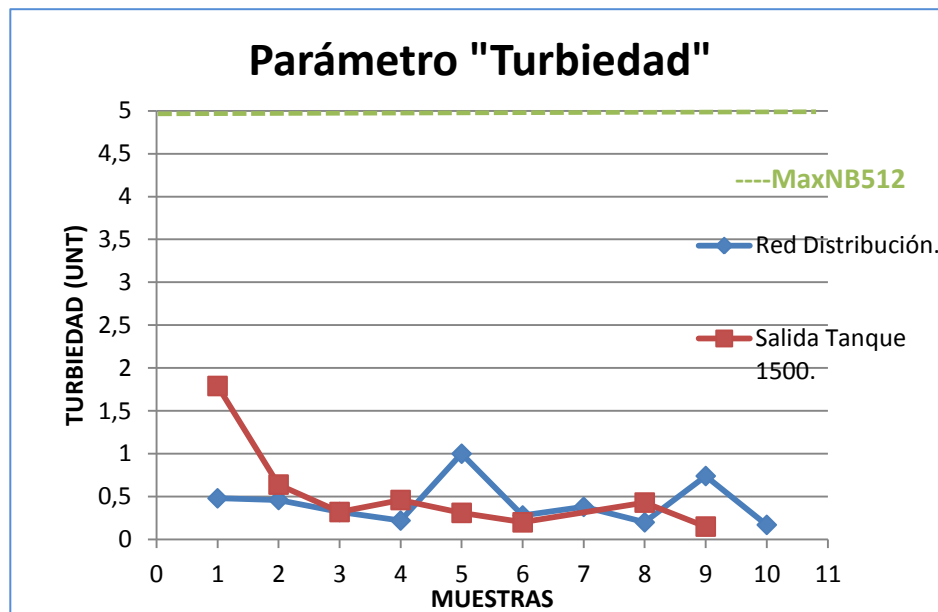
La NB 512 nos indica un valor máximo aceptable de 5 UTN.

Figura III-9. Representación gráfica de la turbiedad “Planta de Tratamiento”



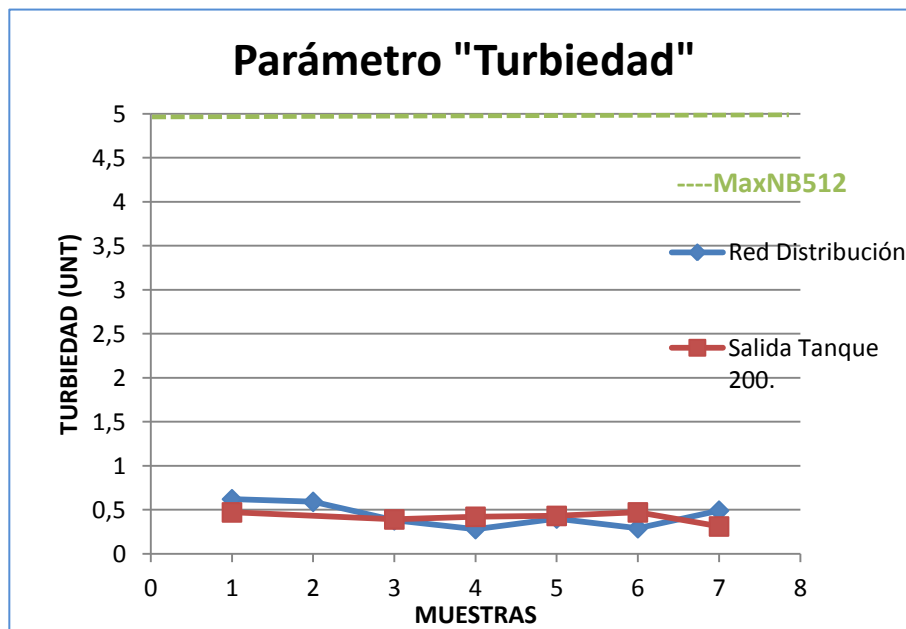
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-10. Representación gráfica de la turbiedad “Tanque 1500 m³”



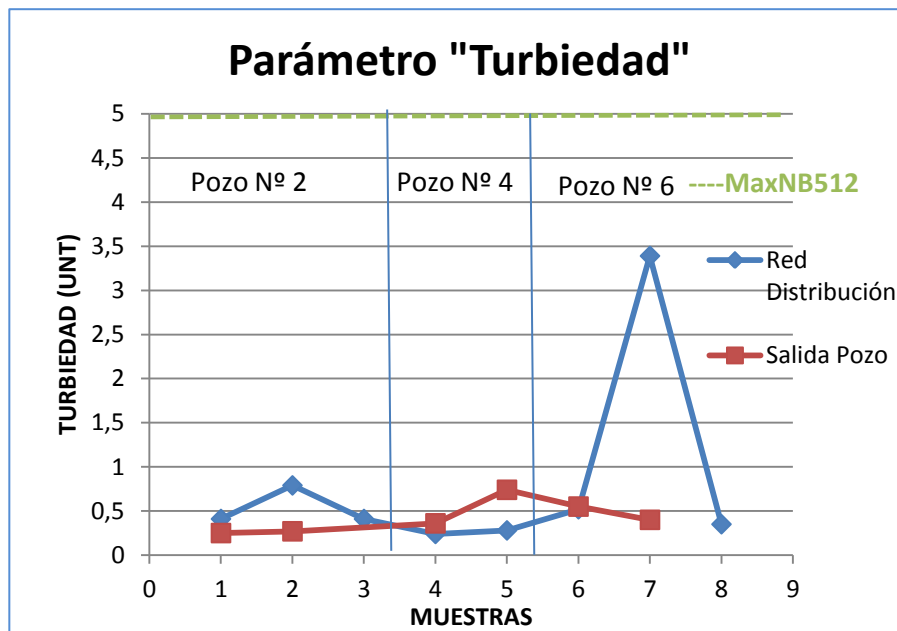
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-11. Representación gráfica de la turbiedad “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-12. Representación gráfica de la turbiedad “Pozo N° 2, 4, 6”



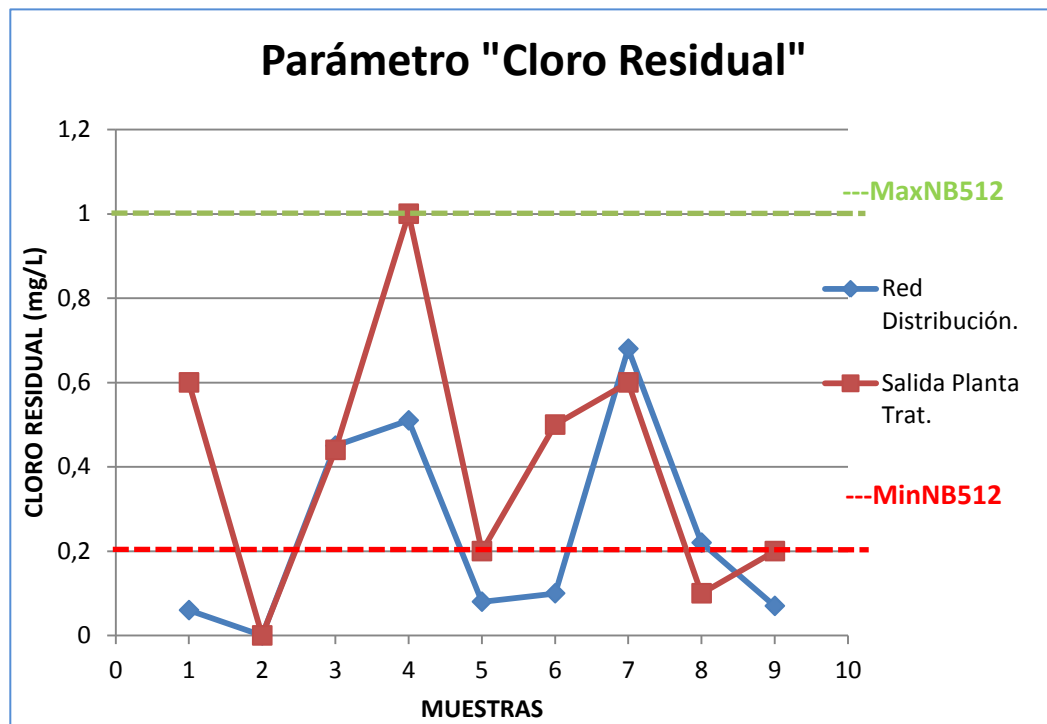
Fuente: Elaboración propia, 2010

El análisis de este parámetro fue realizado por espectrofotometría, los resultados que se obtuvieron de las muestras analizadas están dentro de lo que indica la norma, cumpliendo así con este requisito.

CLORO RESIDUAL

La NB512 indica un valor máximo de 1mg/L y un mínimo de 0,2 mg/L.

Figura III-13. Representación gráfica del cloro residual “Red Planta de Tratamiento”

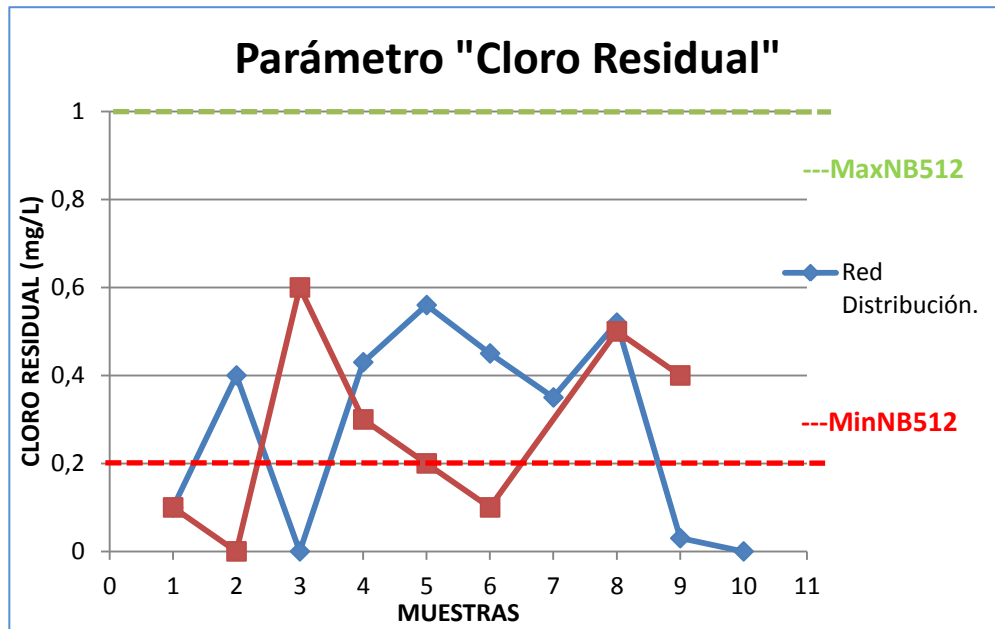


Fuente: Elaboración propia, 2010

Se observa que 8 resultados de las muestras analizadas en la salida y red de distribución pertenecientes al sistema de abastecimiento de Planta de Tratamiento están por debajo de lo que exige la norma, esto significaría que existen problemas en el sistema de desinfección provocando una inadecuada dosificación.

Esto podría dar lugar a un crecimiento microbiano trayendo graves problemas de contaminación y provocar problemas en la salud de los consumidores. Pero de acuerdo a los resultados de los análisis microbiológicos no existe la presencia de estos microbiológicos.

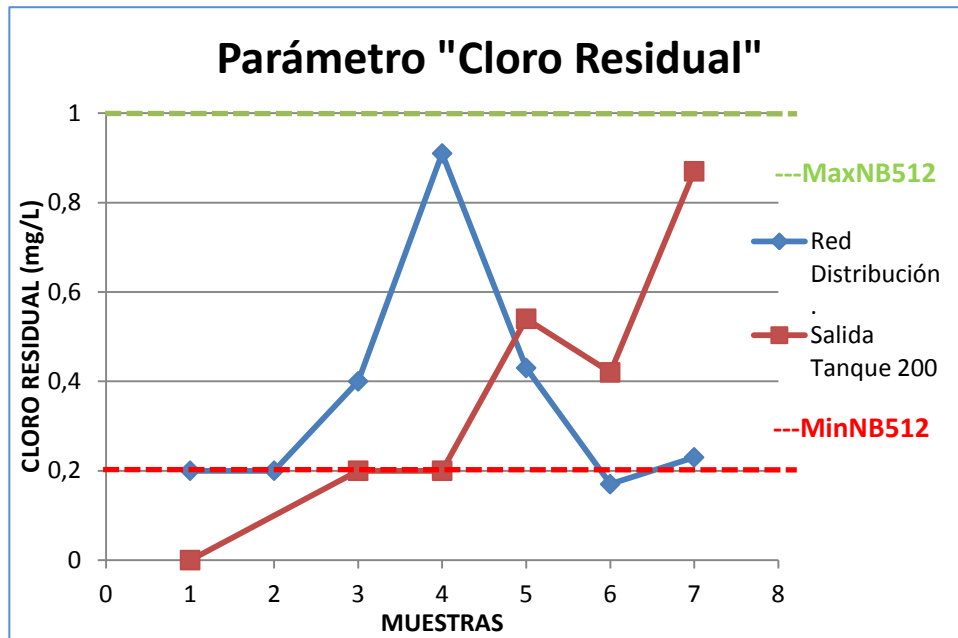
Figura III-14. Representación gráfica del cloro residual “Tanque 1500 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Al igual que en la Planta de Tratamiento en el Tanque 1500 se observa que 8 resultados de las muestras analizadas en la salida y red de distribución están por debajo de lo que exige la norma. Pero también es importante anotar que en varias muestras el valor del Cloro Residual es mayor en la Red que a la salida del Tanque, lo cual hace presuponer que no existe un adecuado control en la dosificación del Cloro; es decir, que se sigue dosificando sin existir caudal de abastecimiento de agua a la Red.

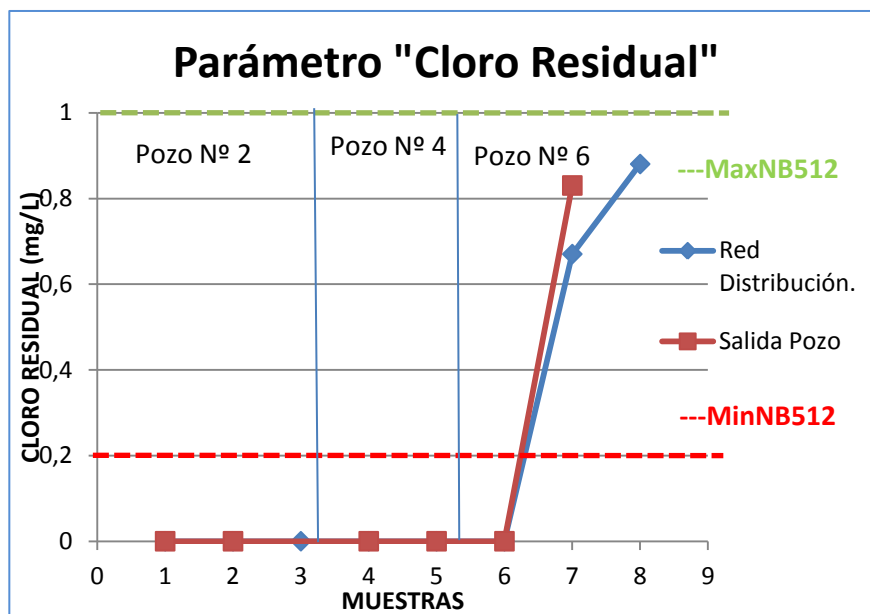
Figura III-15. Representación gráfica del cloro residual “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Al igual en Planta de Tratamiento como en el Taque 1500, se observa que en el Tanque 200 también existen problemas de dosificación de cloro.

Figura III-16. Representación gráfica del cloro residual “Pozo N° 2, 4, 6”



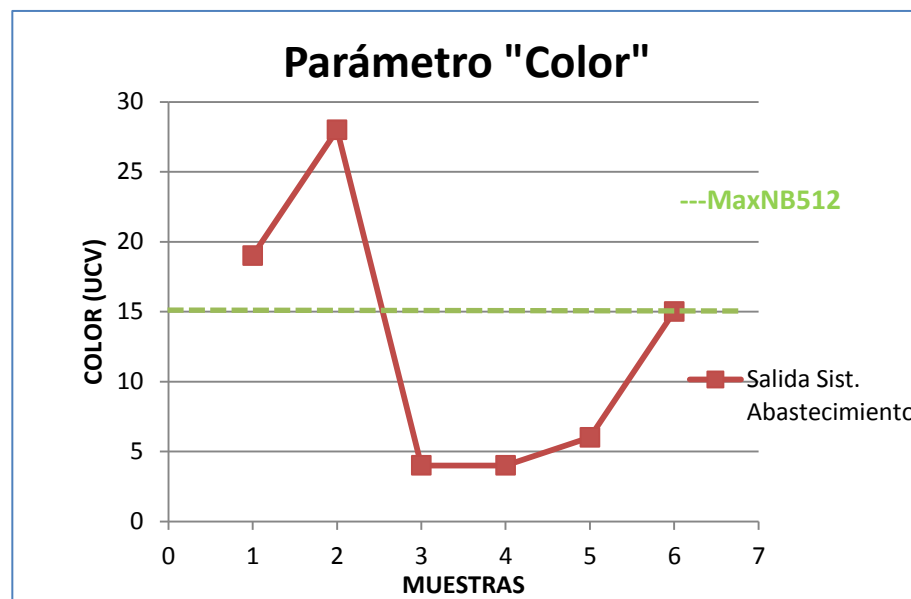
Fuente: Elaboración propia, 2010

La falta de cloración en los Pozos N° 2 y 4 se debe a que no se instalaron los dosificadores destinados a estos pozos pero en fecha 4 de Noviembre del 2010 se instaló una bomba dosificadora automática modelo F-MA en el pozo N° 6 ya que este pozo descargaba sus caudales directamente a la red de distribución sin la previa cloración que es obligatoria según la norma boliviana. Desde esa fecha el pozo descarga sus aguas a la red de distribución previamente cloradas.

La instalación de las bombas dosificadoras automáticas en los Pozos N° 2 y 4 se procedió en el presente año, dando buenos resultados.

COLOR

Figura III-17. Representación gráfica de color de los Sistemas de Abastecimiento



Fuente: Elaboración propia, 2010

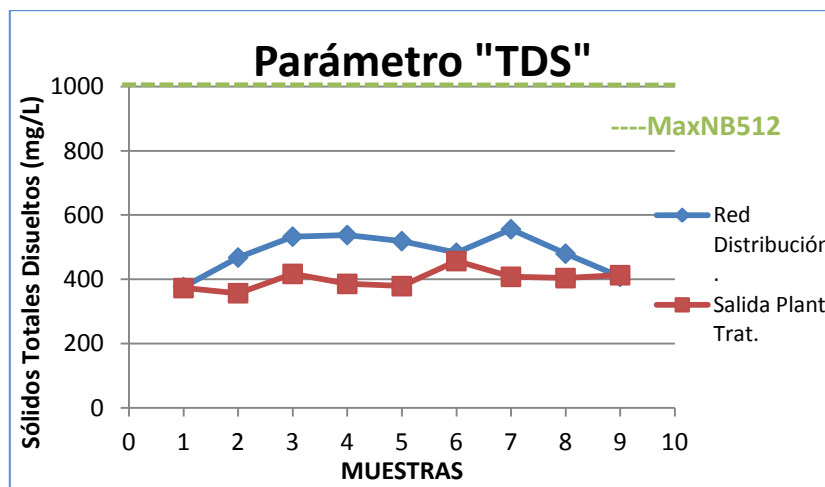
Este parámetro al igual que el sodio fueron analizados por YACULAB, que es un laboratorio privado; ya que no se contaba con lo necesario para poder realizarlo en el laboratorio de EMAPYC, estos resultados se detallan en el **ANEXO D**.

Los resultados de las muestras de Planta de Tratamiento y Tanque 1500 están fuera del valor máximo aceptable que exige la norma. El color del agua tiene importancia desde el punto de vista higiénico, ya que es un indicativo de donde procede el agua.

SOLIDOS TOTALES DISUELTOS

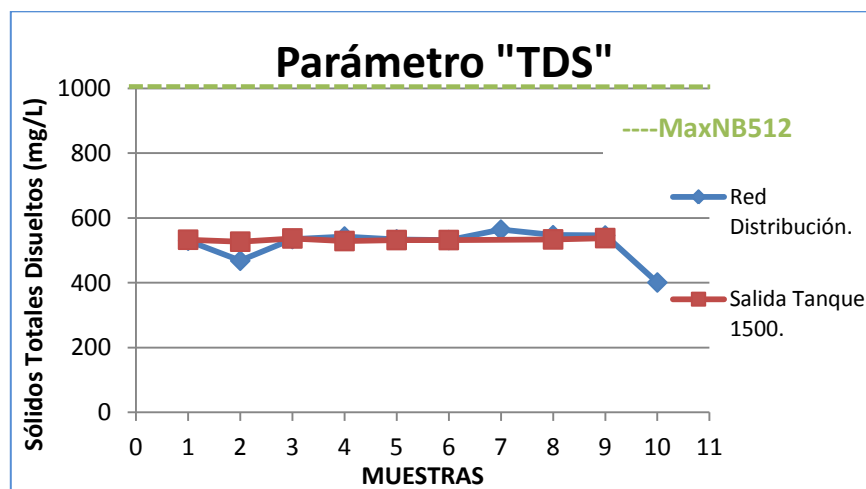
Aguas de alto contenido de sólidos pueden ser laxantes pierden cualidades organolépticas y pueden ocasionar otras molestias en personas no acostumbradas a su ingestión. Un agua destinada al uso doméstico no debe contener más de 500 mg/l de sólidos totales, fijándose un límite de 1000 mg/l.

Figura III-18. Representación gráfica de Sólidos Totales Disueltos “Planta de Tratamiento”



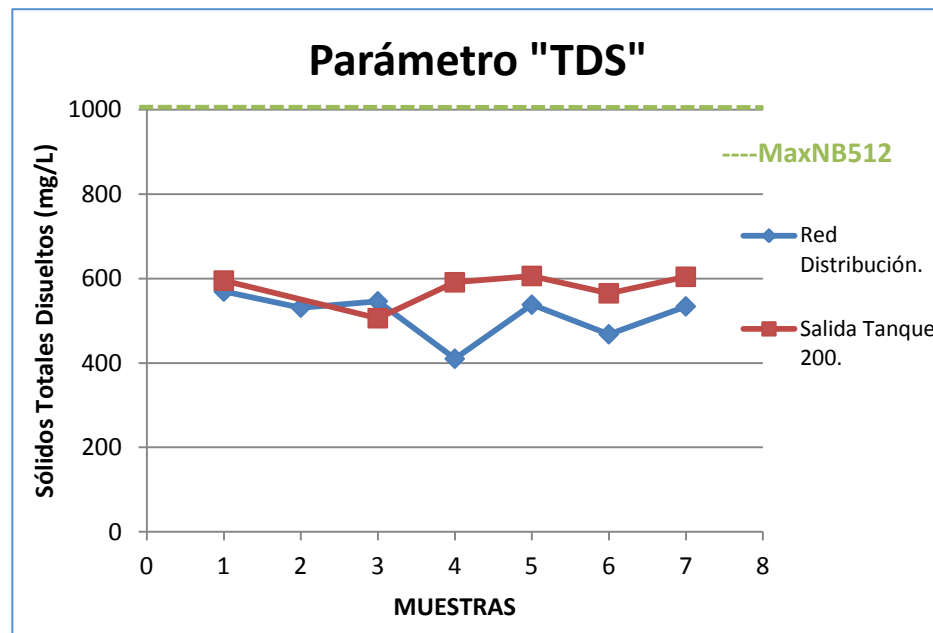
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-19. Representación gráfica de Sólidos Totales Disueltos “Tanque 1500m³”



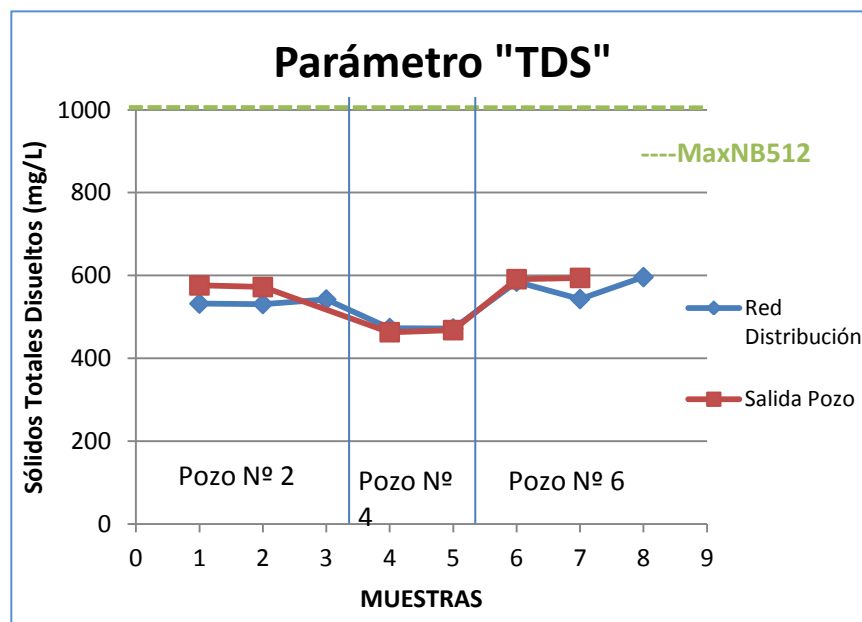
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-20 Representación gráfica Sólidos Totales Disueltos “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-21. Representación gráfica Sólidos Totales Disueltos “Pozo N° 2, 4, 6”



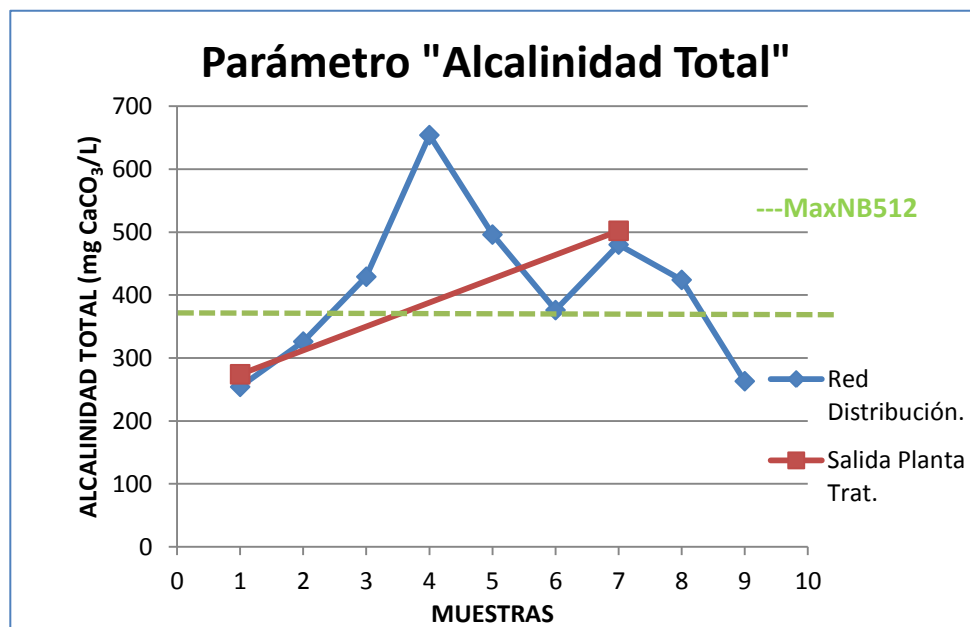
Fuente: Elaboración propia, 2010

Los resultados obtenidos de las muestras analizadas están dentro del rango que exige la NB512, que es de 1000 mg/L. Existe un valor máximo de 604 mg/l que pertenece al Tanque 200.

ALCALINIDAD TOTAL

La NB 512 indica un valor máximo aceptable de 370 mg/l ya que a valores más altos pueden influir en el olor y color además de perjudicar otros usos, ya que su presencia produce corrosión en tuberías.

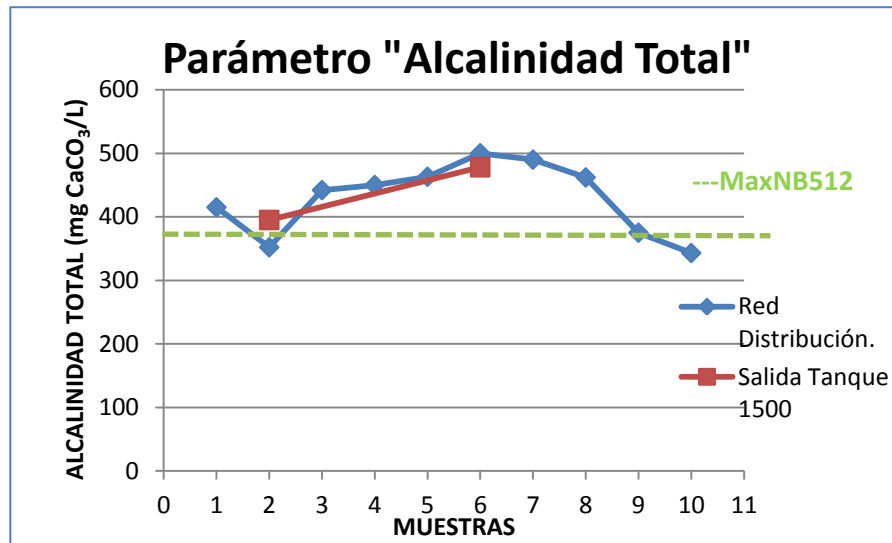
Figura III-22. Representación gráfica de la alcalinidad total “Planta de Tratamiento”



Fuente: Elaboración propia, 2010

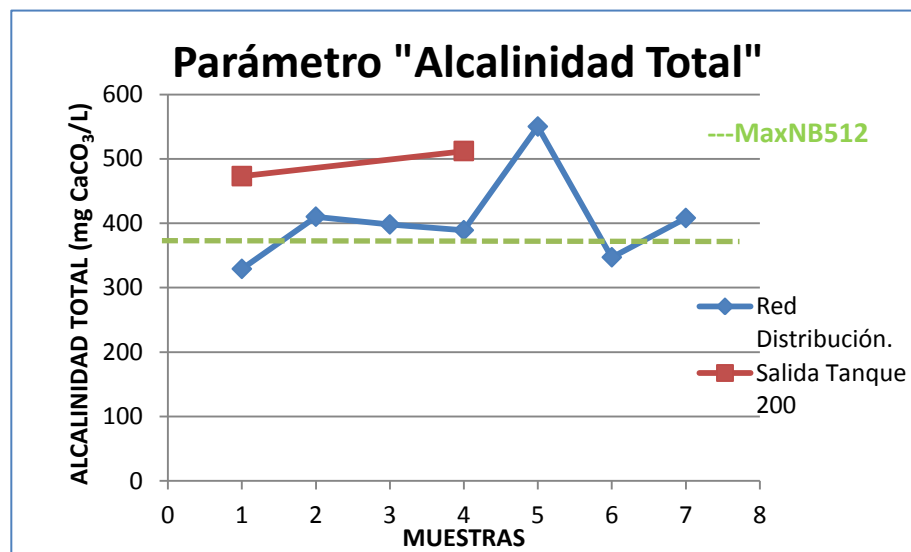
Según los resultados de alcalinidad en la planta de Tratamiento, existen 7 resultados de muestras muy por encima del valor máximo establecido por la NB512, la cual indica que este parámetro no debe exceder de 370 mg/l.

Figura III-23. Representación gráfica de la alcalinidad total “Tanque 1500 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

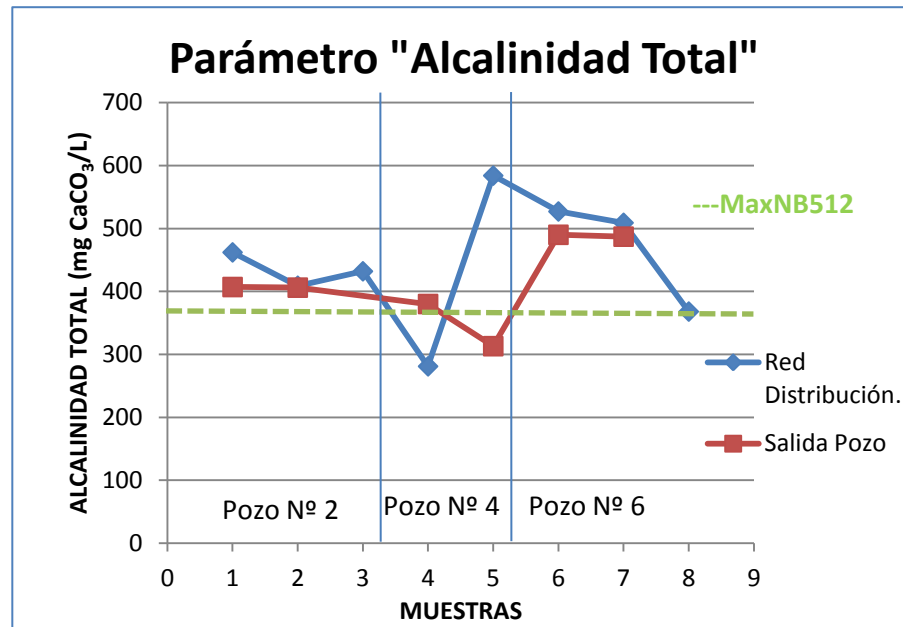
Figura III-24. Representación gráfica de la alcalinidad total “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

En esta gráfica se observa que siete de los nueve resultados de las muestras analizadas están fuera del valor máximo aceptable que indica la norma.

Figura III-25. Representación gráfica de la alcalinidad total “Pozo N° 2, 4, 6”



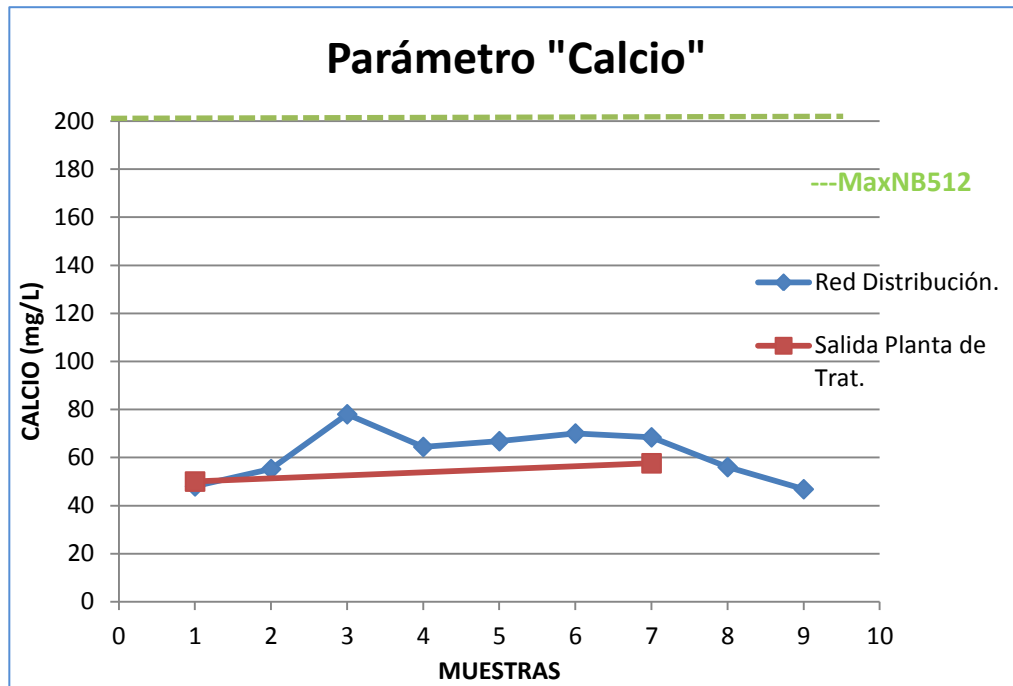
Fuente: Elaboración propia, 2010

En resumen la mayoría de los resultados de las muestras están fuera del rango; la alcalinidad total es un aspecto que debemos tener muy en cuenta ya que limita su utilidad y puede repercutir en severos daños en nuestro cuerpo.

CALCIO Y MAGNESIO

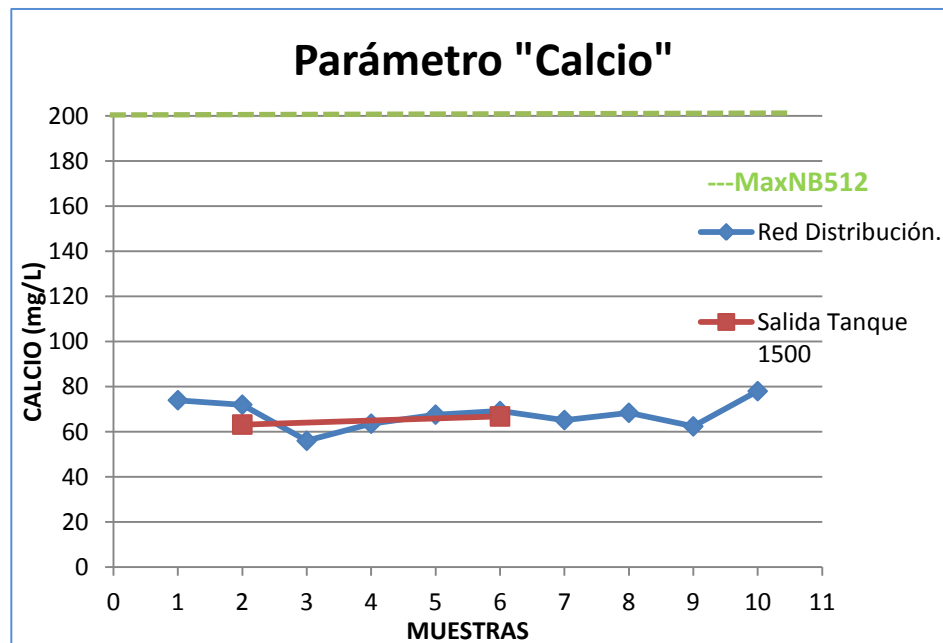
El valor máximo aceptable de la NB512 para el magnesio es de 150 mg/L y para el Calcio de 200 mg/L.

Figura III-26. Representación gráfica del calcio “Planta de Tratamiento”



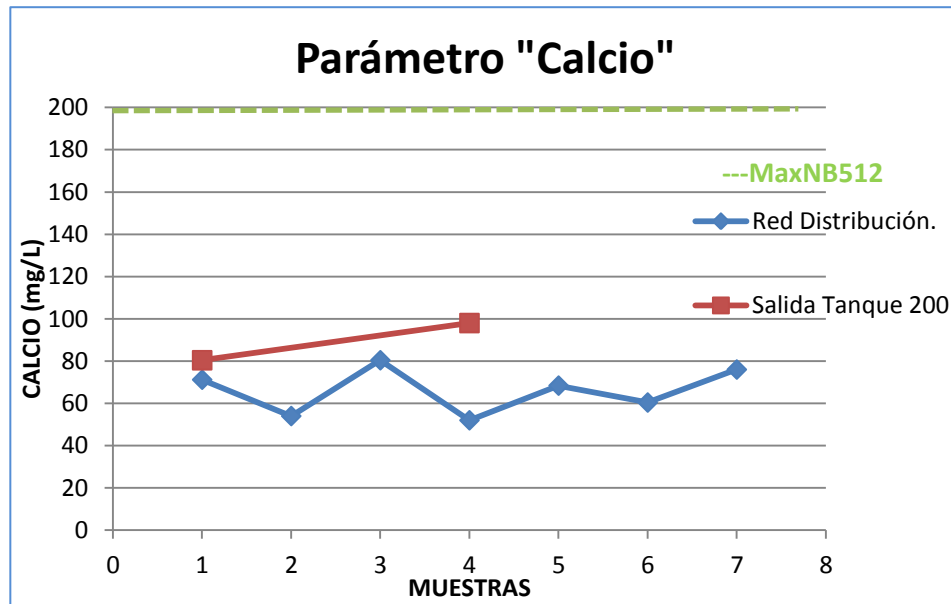
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-27. Representación gráfica del calcio “Tanque 1500 m³”



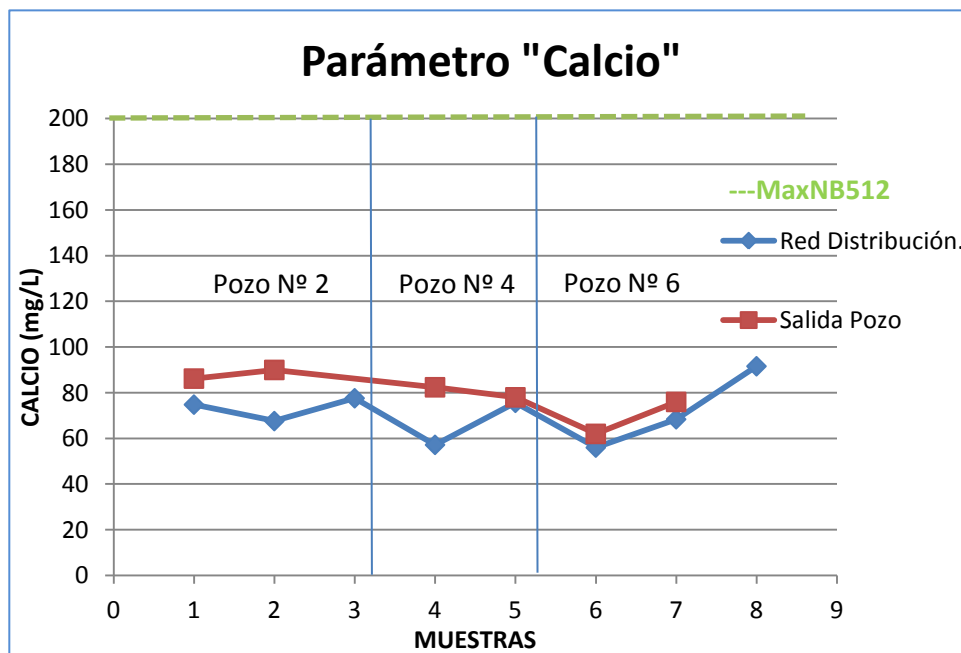
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-28. Representación gráfica del calcio “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

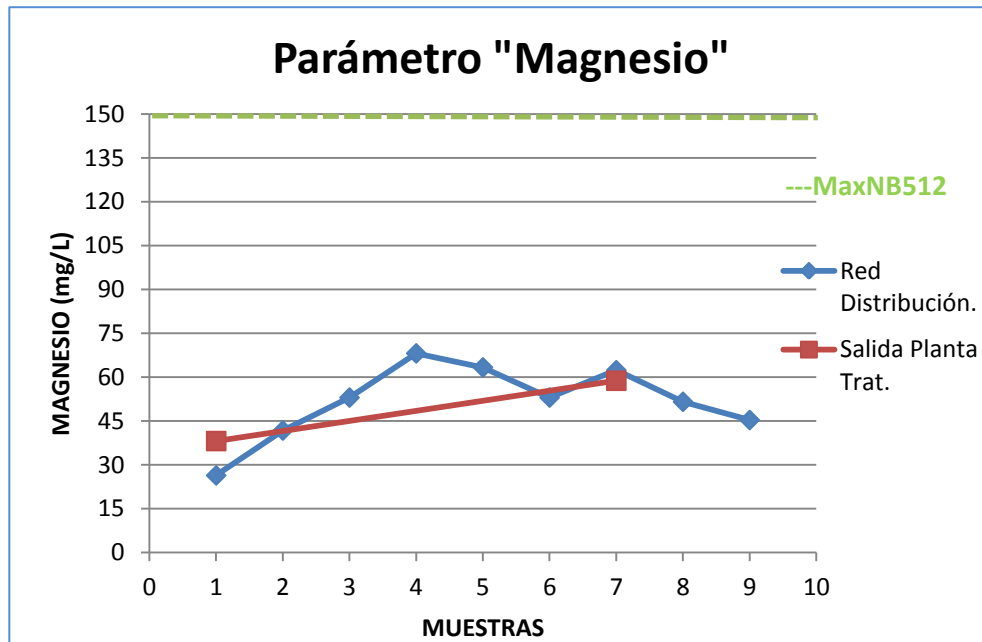
Figura III-29. Representación gráfica del calcio “Pozo N° 2, 4, 6”



Fuente: Elaboración propia, 2010

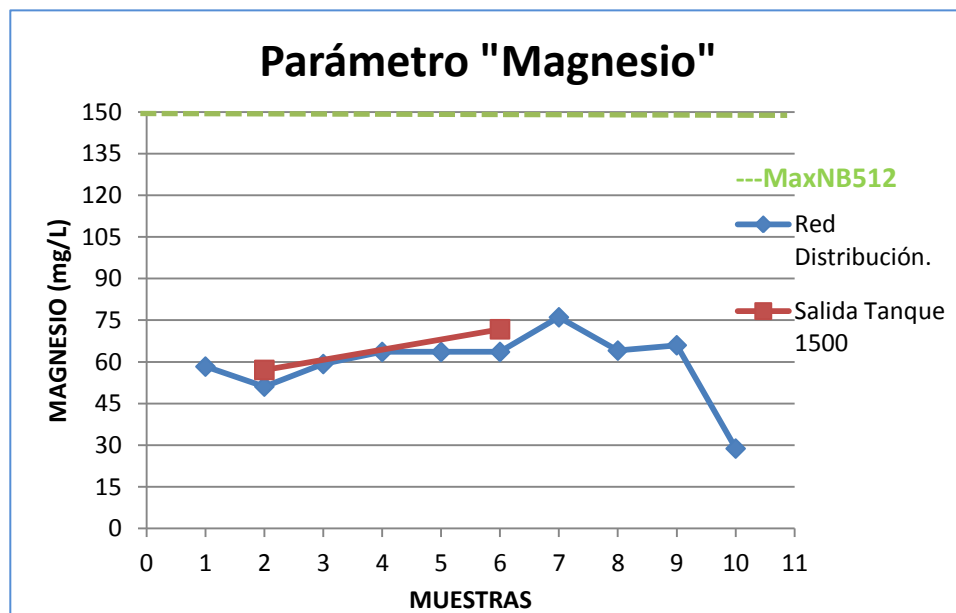
Cinco del total de las muestras analizadas sobrepasan lo que exige la norma.

Figura III-30. Representación gráfica del magnesio “Planta de Tratamiento”



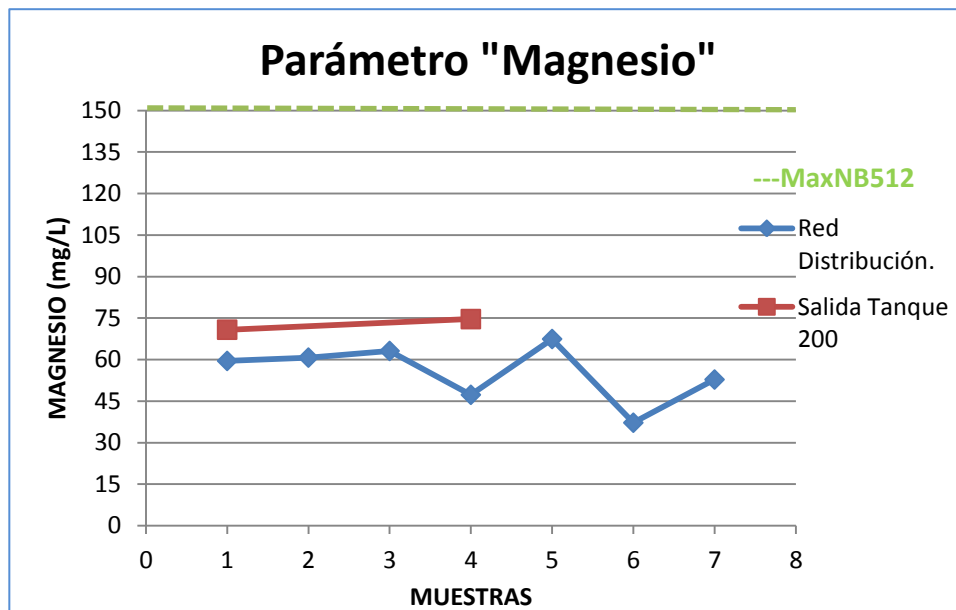
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-31. Representación gráfica del magnesio “Tanque 1500 m³”



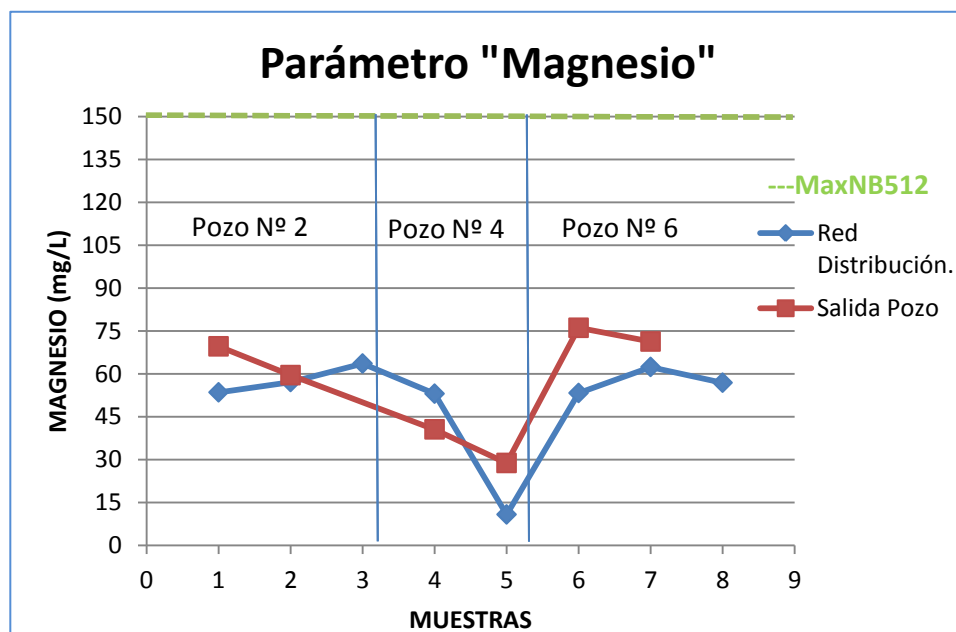
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-32. Representación gráfica del magnesio “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-33. Representación gráfica del magnesio “Pozo N° 2, 4, 6”



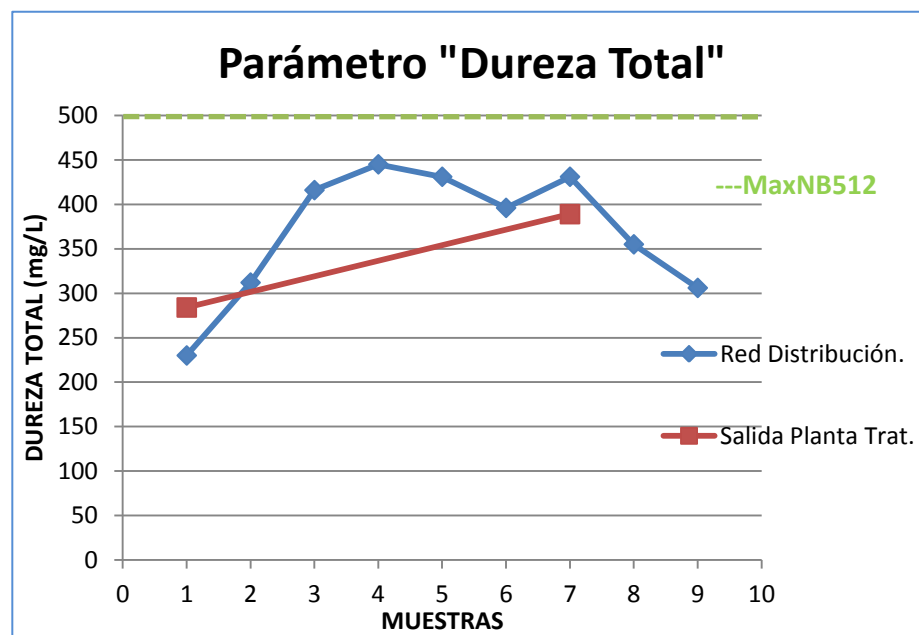
Fuente: Elaboración propia, 2010

Todos los resultados de las muestras analizadas están dentro del rango que indica la norma. Haciendo una comparación del aporte de estos dos parámetros a la dureza total, podemos decir que el calcio es el que mayor aporte tiene.

DUREZA TOTAL

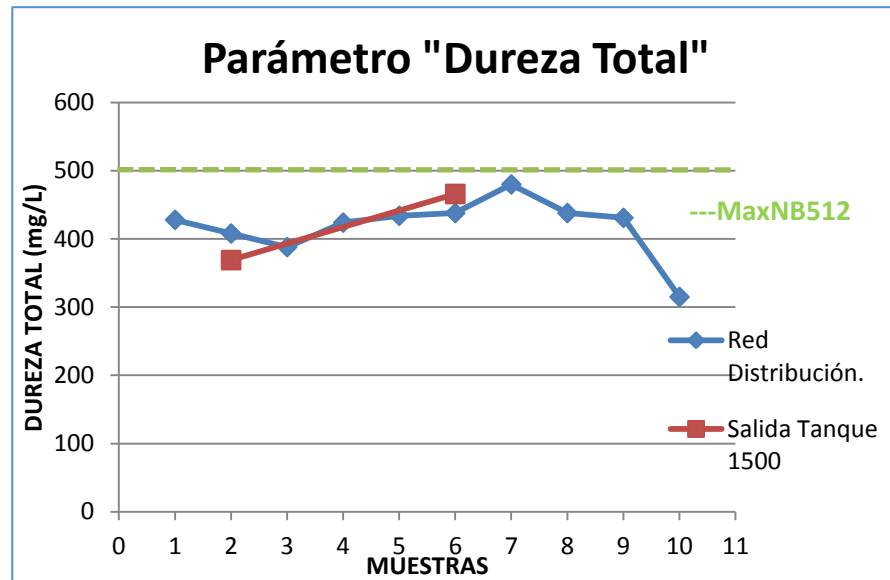
El valor máximo aceptable de la NB512 para la dureza total no debe ser mayor a 500 mg/L.

Figura III-34. Representación gráfica de la dureza total “Planta de Tratamiento”



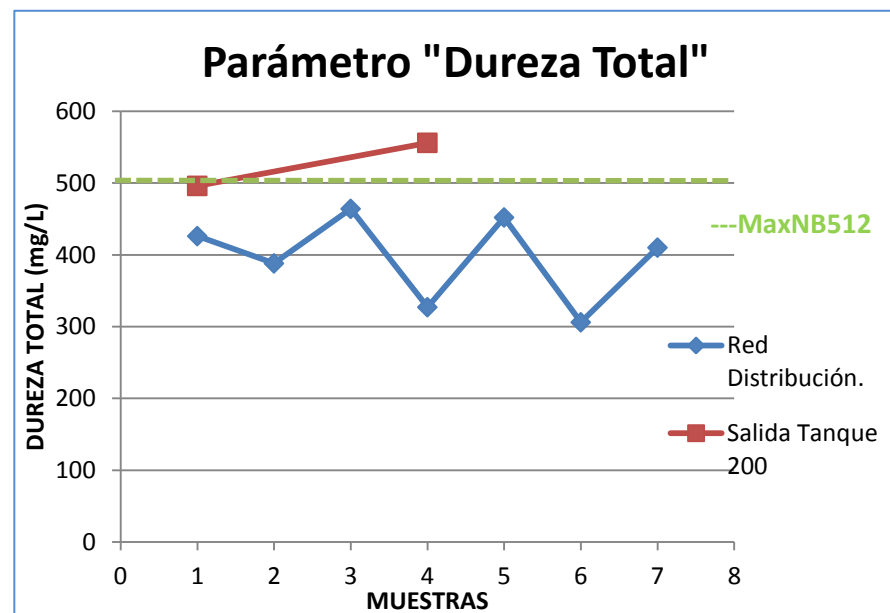
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-35. Representación gráfica de la dureza total “Tanque 1500 m³”



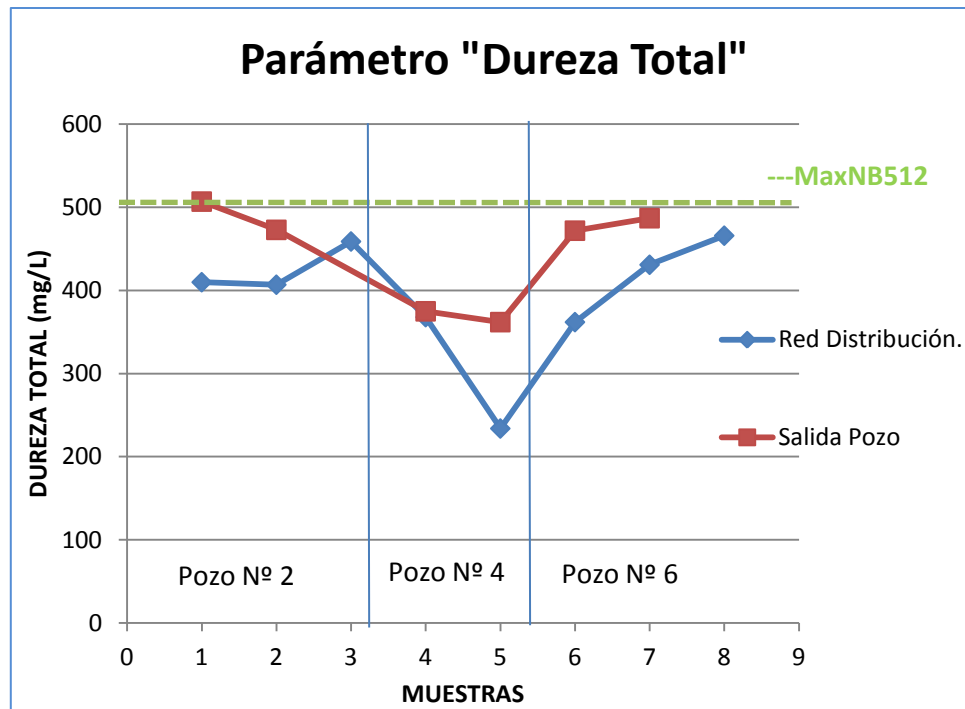
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-36. Representación gráfica de la dureza total “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-37. Representación gráfica de la dureza total “Pozo N° 2, 4, 6”



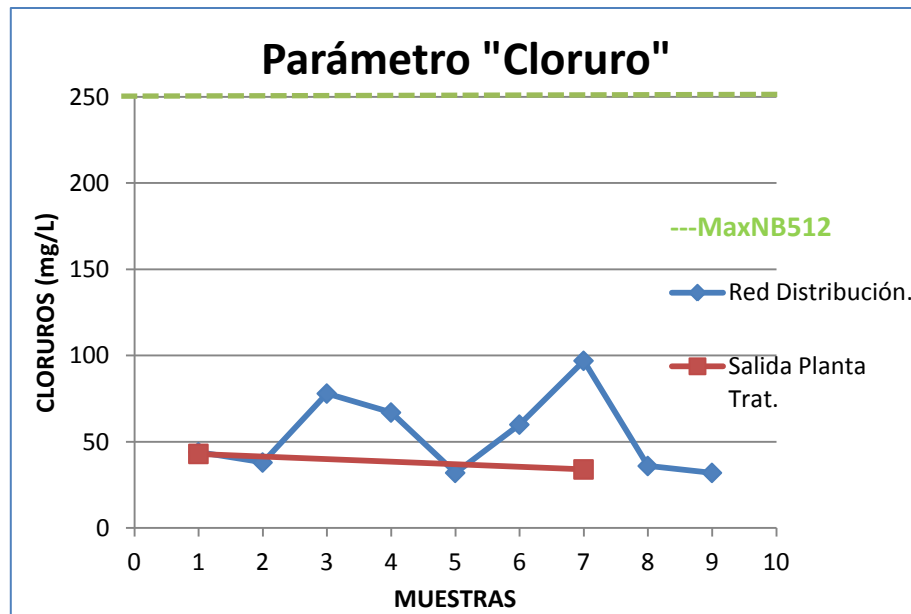
Fuente: Elaboración propia, 2010

De todas las muestras analizadas sólo dos muestras están fuera de este rango. Pero las otras muestras analizadas en términos del grado de dureza se clasifican en “aguas muy duras”.

CLORUROS

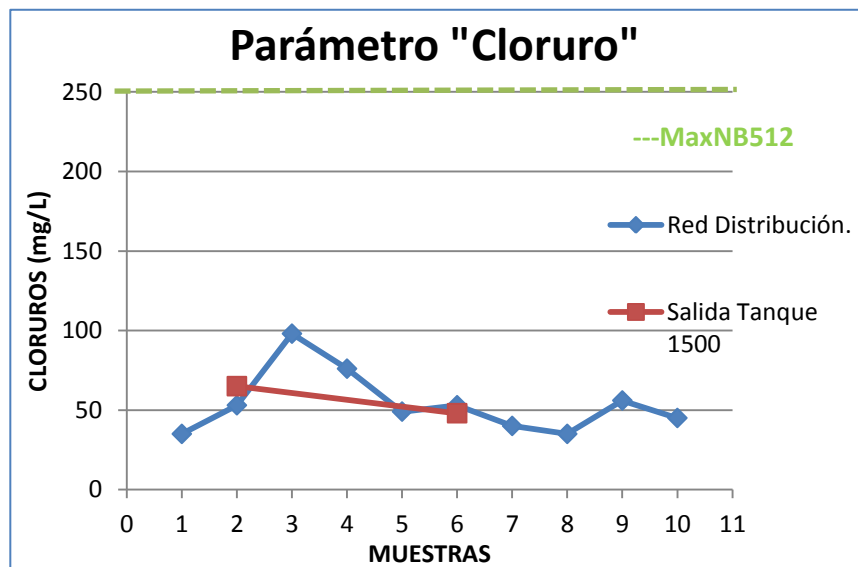
El límite máximo para cloruros en la NB512 es de 250 mg/l.

Figura III-38. Representación gráfica de cloruros “Planta de Tratamiento”



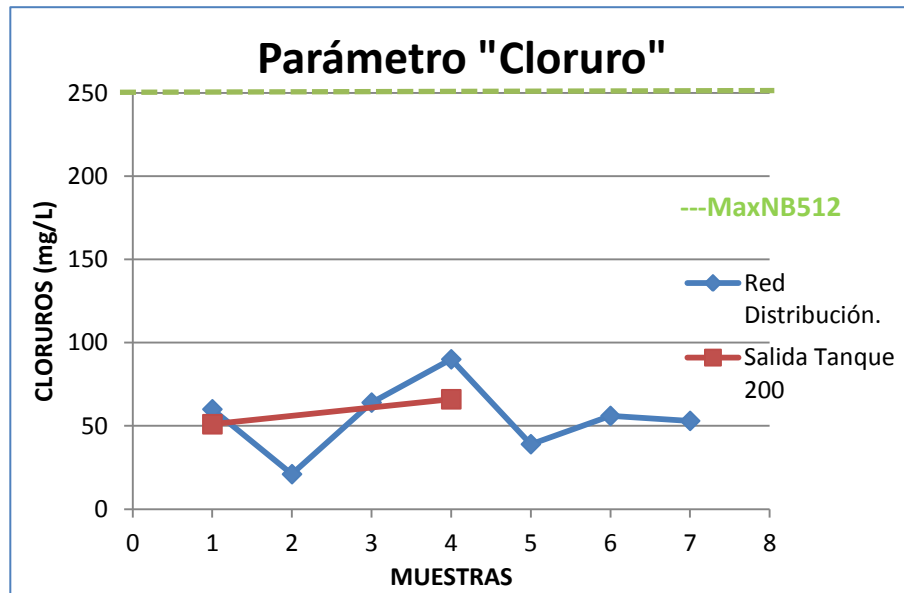
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-39. Representación gráfica de cloruros “Tanque 1500 m³”



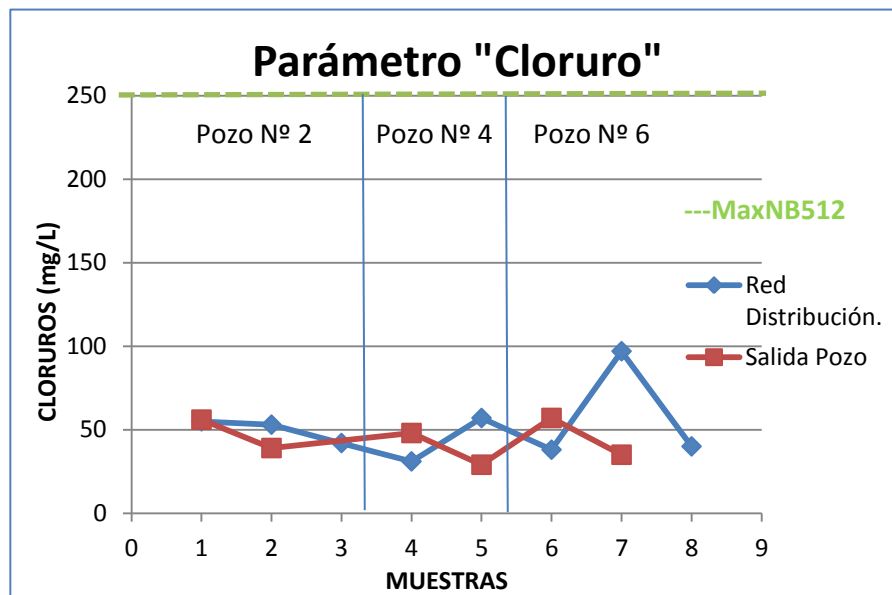
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-40. Representación gráfica de cloruros “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-41. Representación gráfica de cloruros “Pozo N°2, 4, 6”



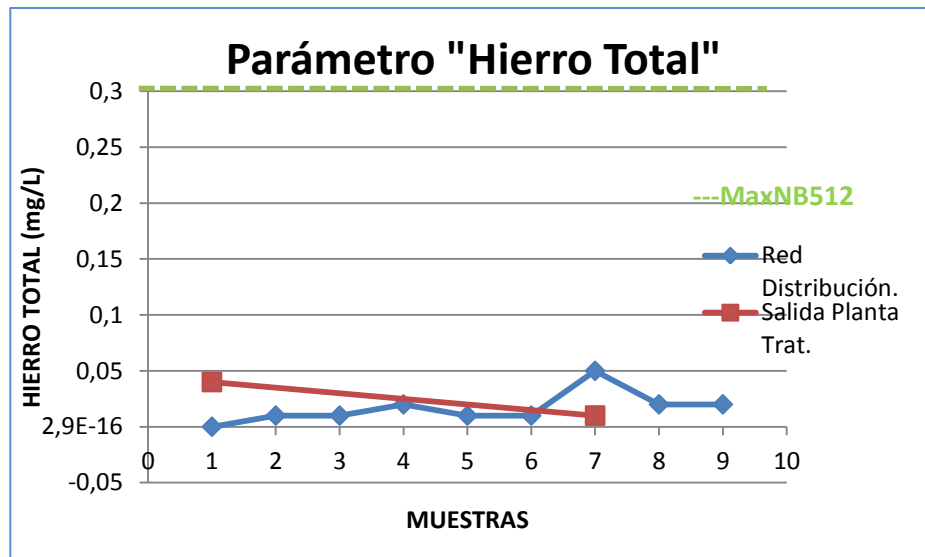
Fuente: Elaboración propia, 2010

En todas las gráficas se observó que los resultados están dentro de lo que exige la norma. Obteniéndose valores menores a 100 mg/l.

El agua siempre lleva cierta cantidad de cloruros y su cantidad da idea de la bondad del agua. Siempre que detectemos cifra elevada de cloruros hace sospechar que el agua es mala. El agua contaminada con letrinas será rica en cloruro.

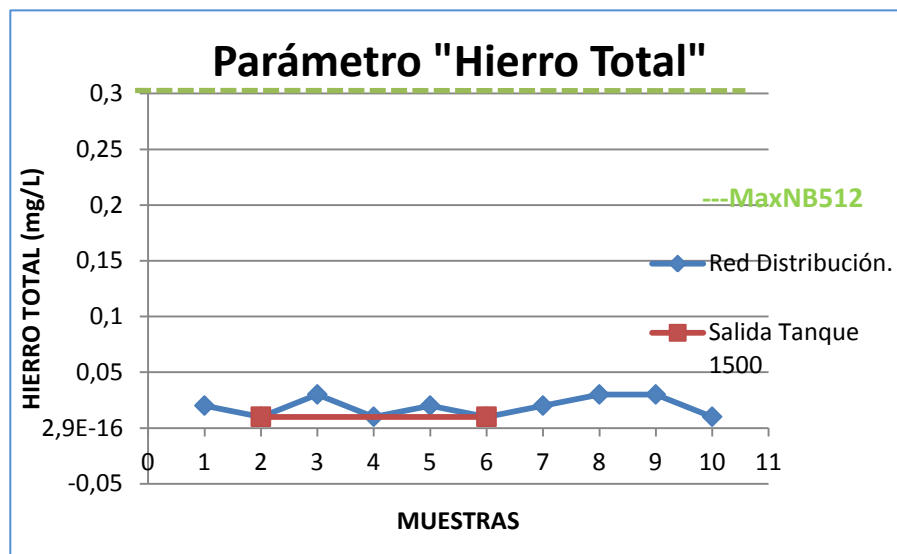
HIERRO TOTAL

Figura III-42. Representación gráfica del hierro total “Planta de Tratamiento”



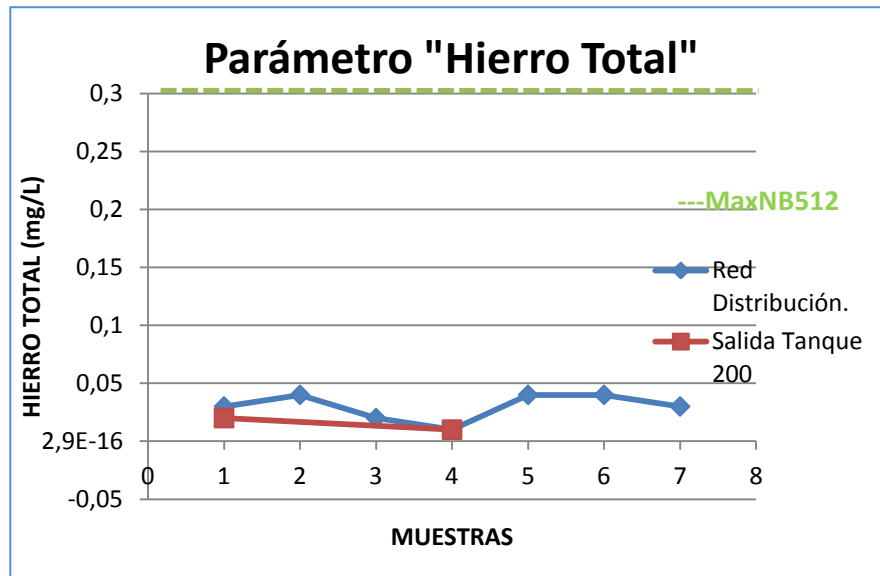
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-43. Representación gráfica del hierro total “Tanque 1500 m³”



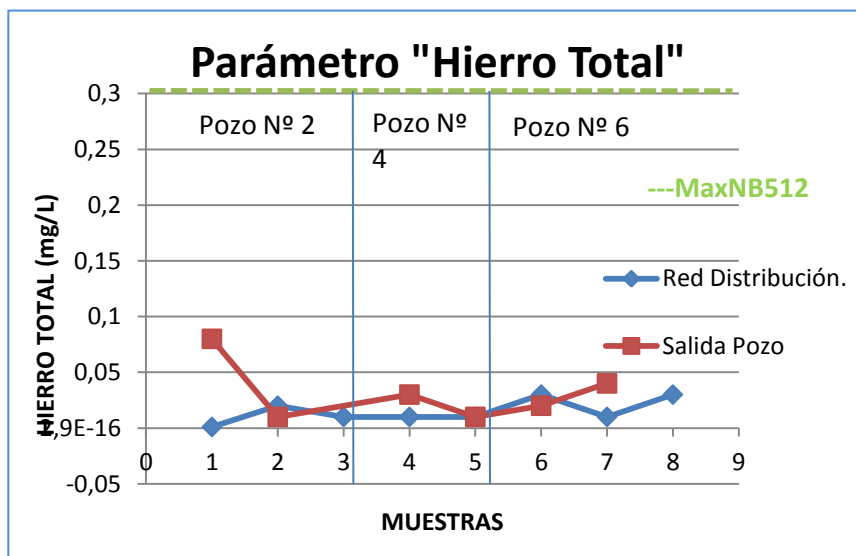
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-44. Representación gráfica del hierro total “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-45. Representación gráfica del hierro total “Pozo N° 2, 4, 6”



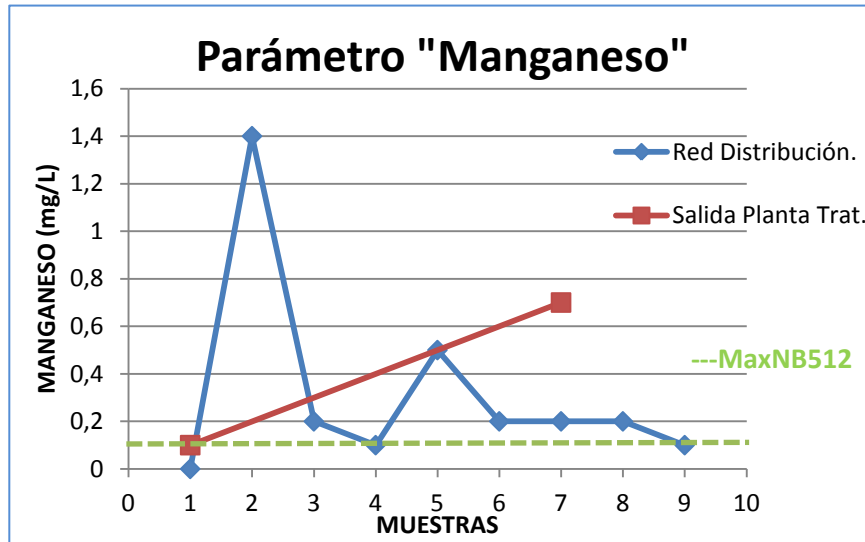
Fuente: Elaboración propia, 2010

Las muestras de aguas de los respectivos sistemas analizados tienen una concentración de hierro por debajo de 0,3 mg/l, cumpliendo así con la NB 512.

MANGANESO

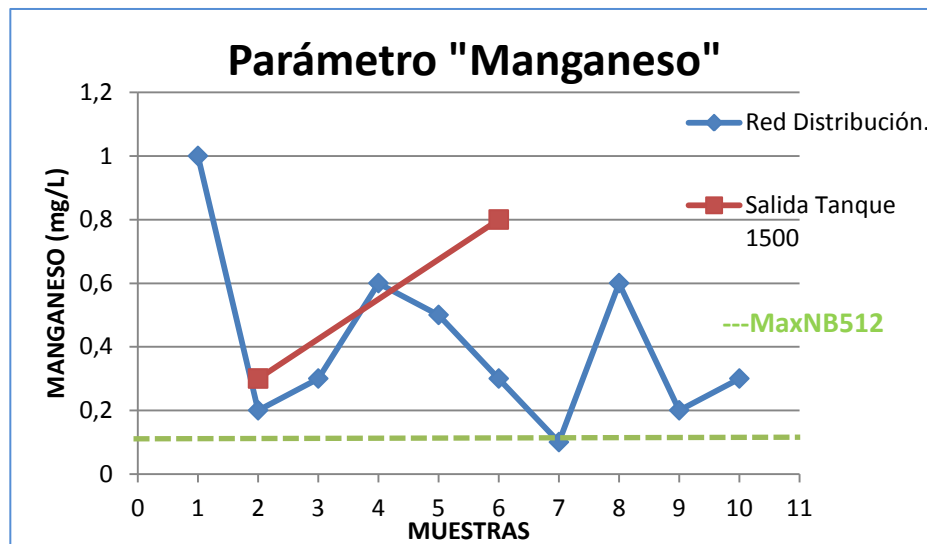
La NB512 exige una concentración de manganeso no mayor a 0,1 mg/l.

Figura III-46. Representación gráfica del manganeso “Planta de Tratamiento”



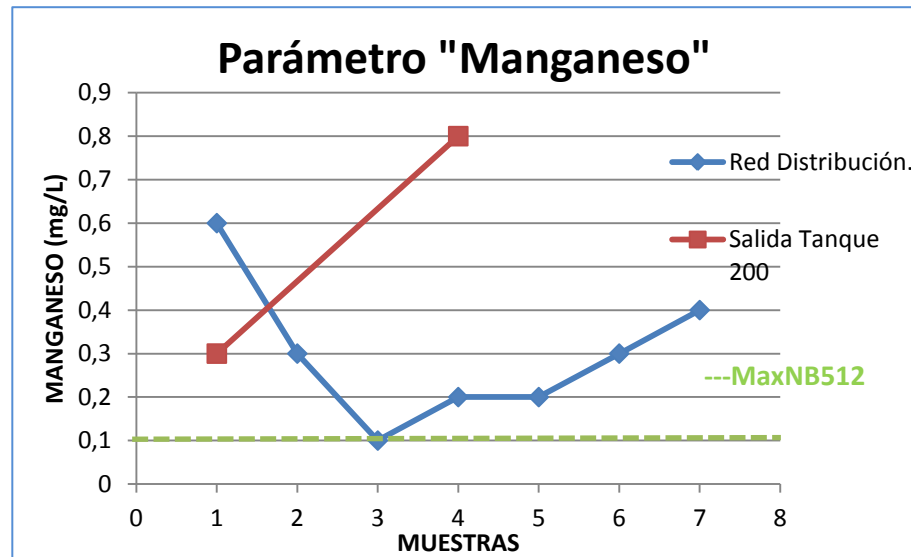
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-47. Representación gráfica del manganeso “Tanque 1500 m³”



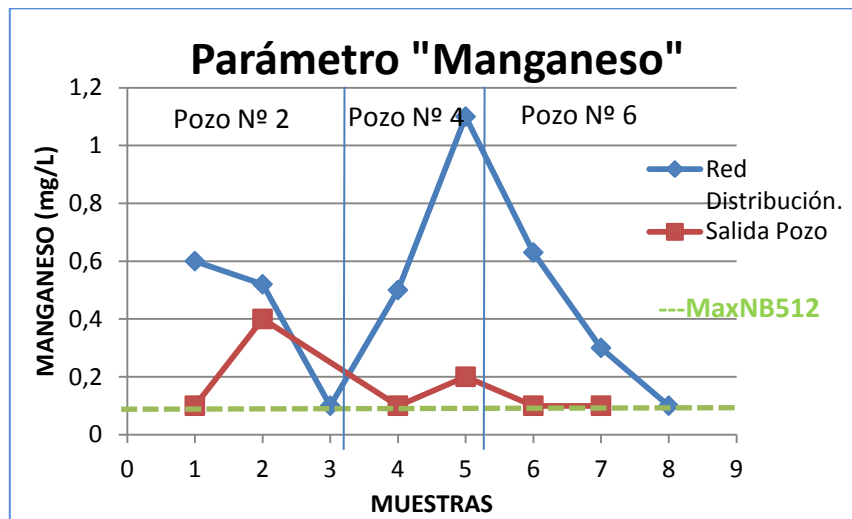
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-48. Representación gráfica del manganeso “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-49. Representación gráfica del manganeso “Pozo N° 2, 4, 6”



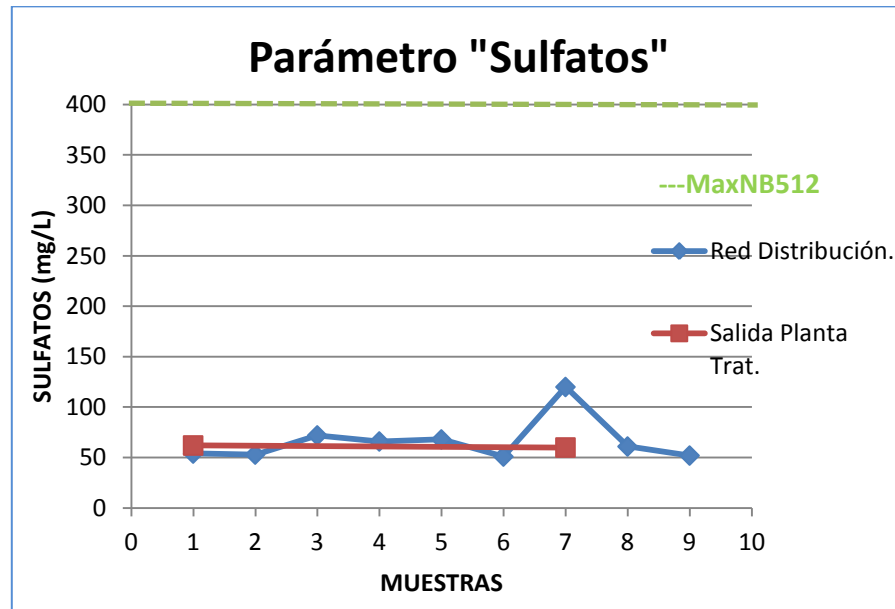
Fuente: Elaboración propia, 2010

La mayoría de las muestras que fueron analizadas sus valores están por encima del valor máximo exigido por la norma. El manganeso en concentraciones elevadas provoca manchas en la ropa de lavado, sabores desagradables a las bebidas, formación de depósitos color negro en las tuberías.

SULFATOS

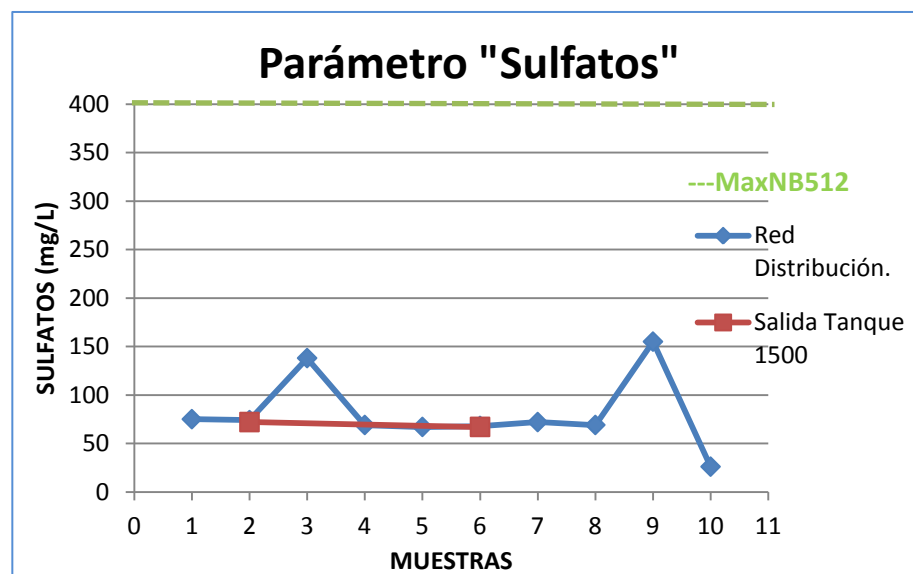
La NB512 exige una concentración de sulfatos no mayor a 400 mg/l.

Figura III-50. Representación gráfica de sulfatos “Planta de Tratamiento”



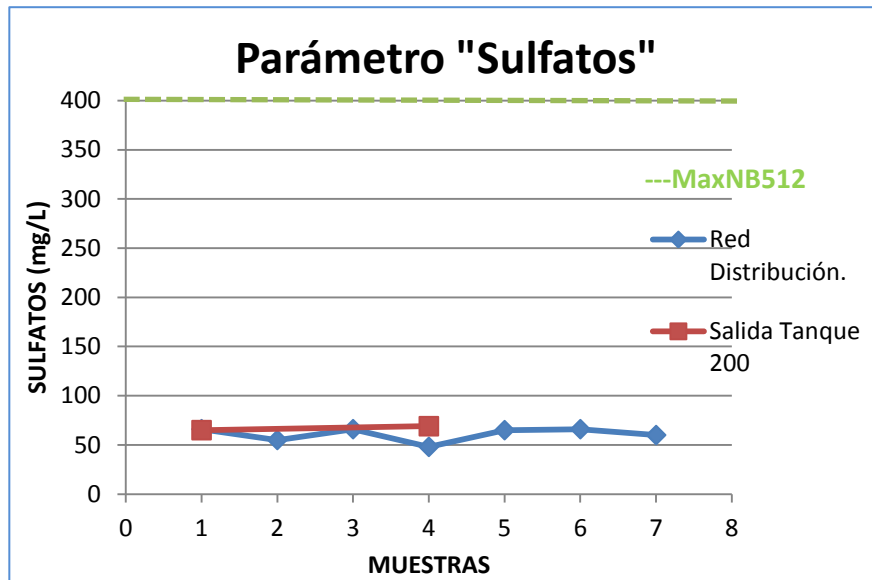
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-51. Representación gráfica de sulfatos “Tanque 1500 m³”



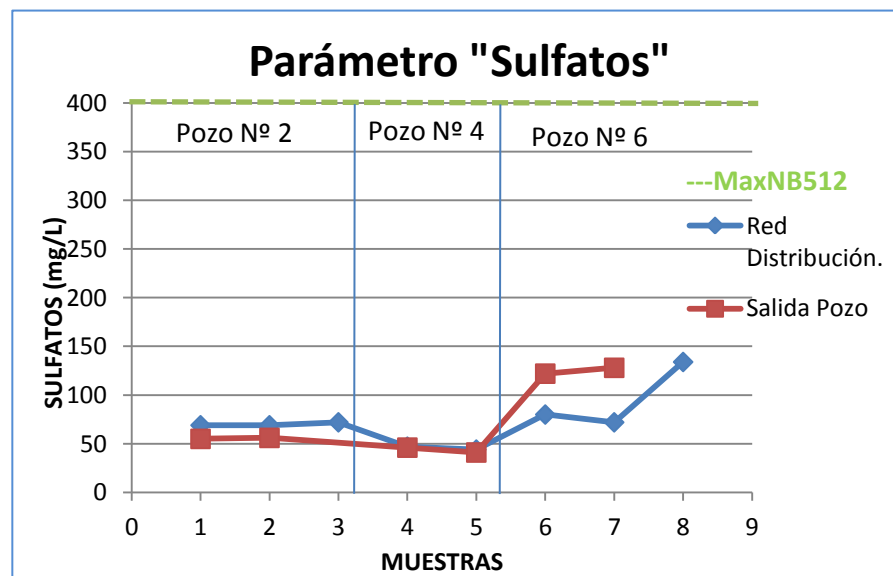
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-52. Representación gráfica de sulfatos “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-53. Representación gráfica de sulfatos “Pozo N° 2, 4, 6”

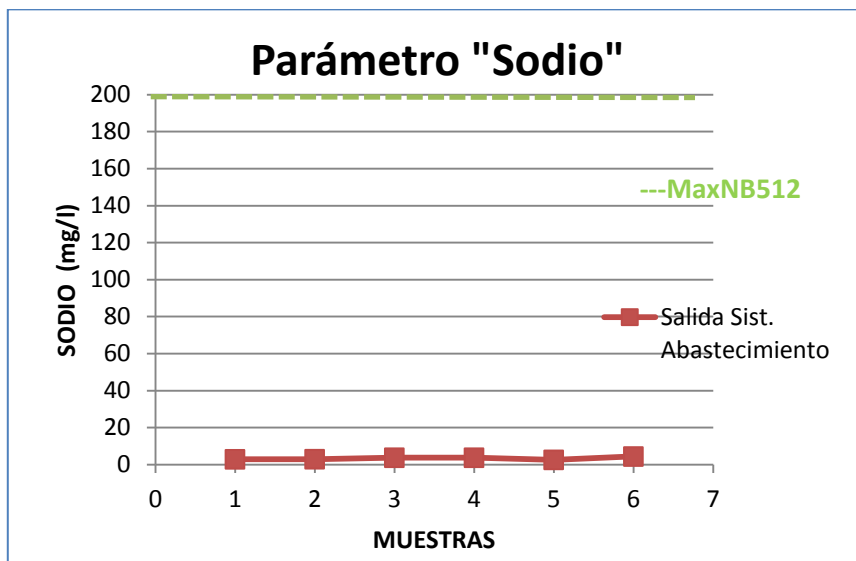


Fuente: Elaboración propia, 2010

Los resultados de las muestras que fueron analizadas están dentro de lo que exige la norma.

SODIO

Figura III-54. Representación gráfica de sodio de los Sistemas de Abastecimiento



Fuente: Elaboración propia, 2010

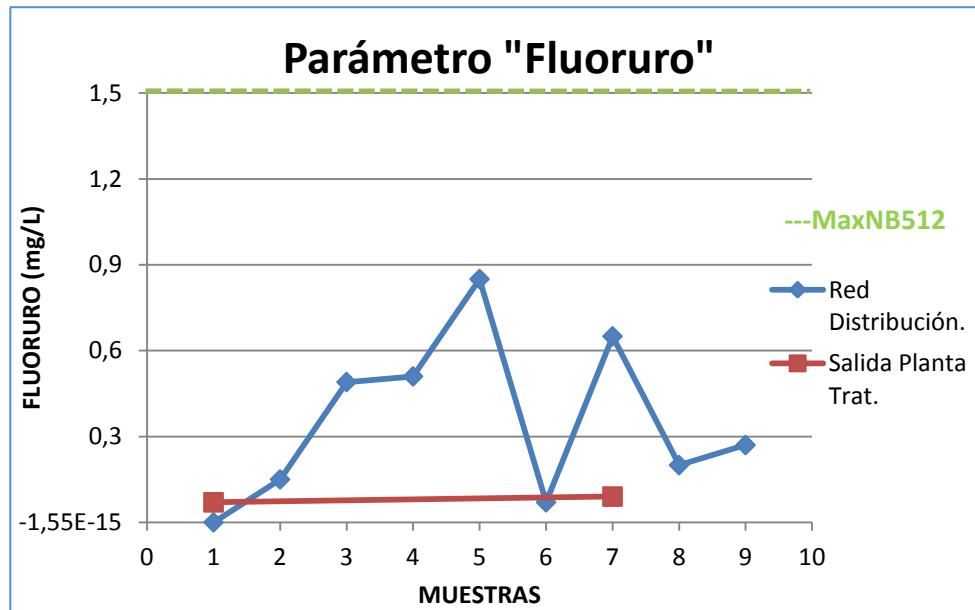
Todos los resultados de las muestras analizadas están muy por debajo de lo máximo permitido por la norma. Este parámetro al igual que el color se determinan en el Laboratorio YACULAB y se detallan en el **ANEXO D**.

Además de los parámetros de control mínimo y básico, también se analizan otros parámetros de control complementario; estos parámetros son: fluoruro, cobre, nitrito y nitrato

FLUORURO

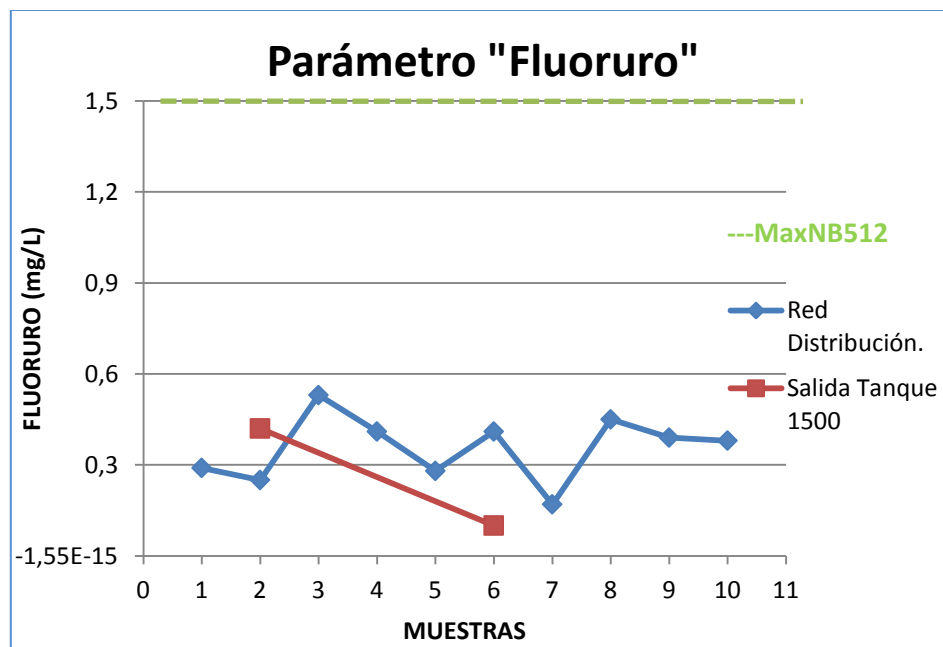
El valor máximo aceptable para este parámetro según la NB512, es de 1,5 mg/l.

Figura III-55. Representación gráfica del Fluoruro “Planta de Tratamiento”



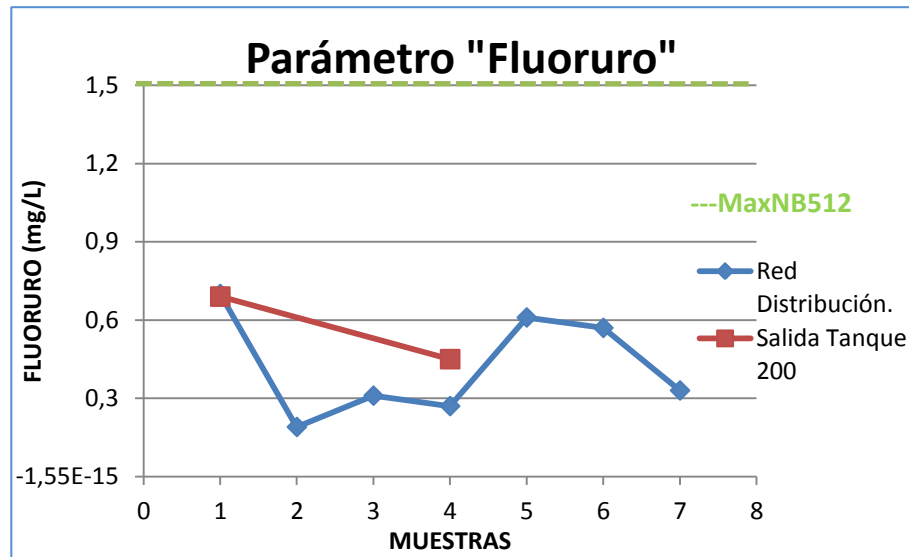
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-56. Representación gráfica del Fluoruro “Tanque 1500 m³”



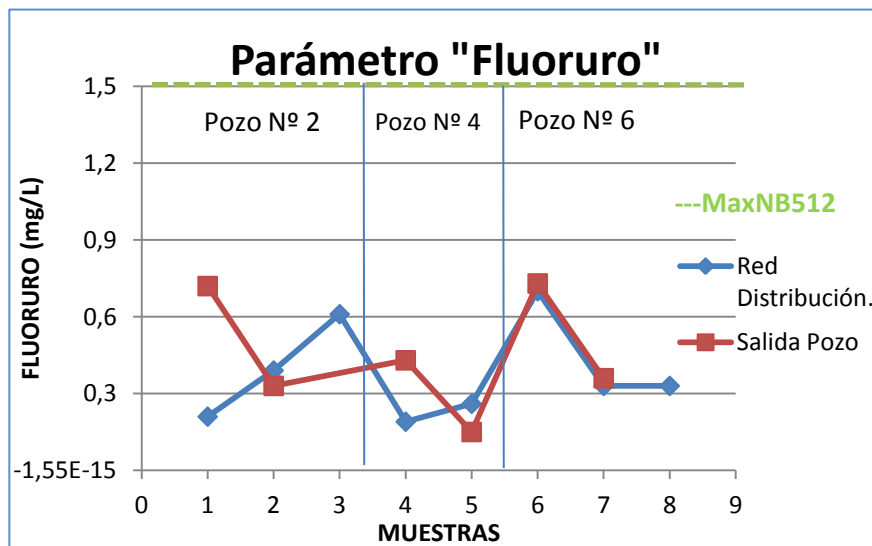
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-57. Representación gráfica del Fluoruro “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-58. Representación gráfica del Fluoruro “Pozo N° 2, 4, 6”

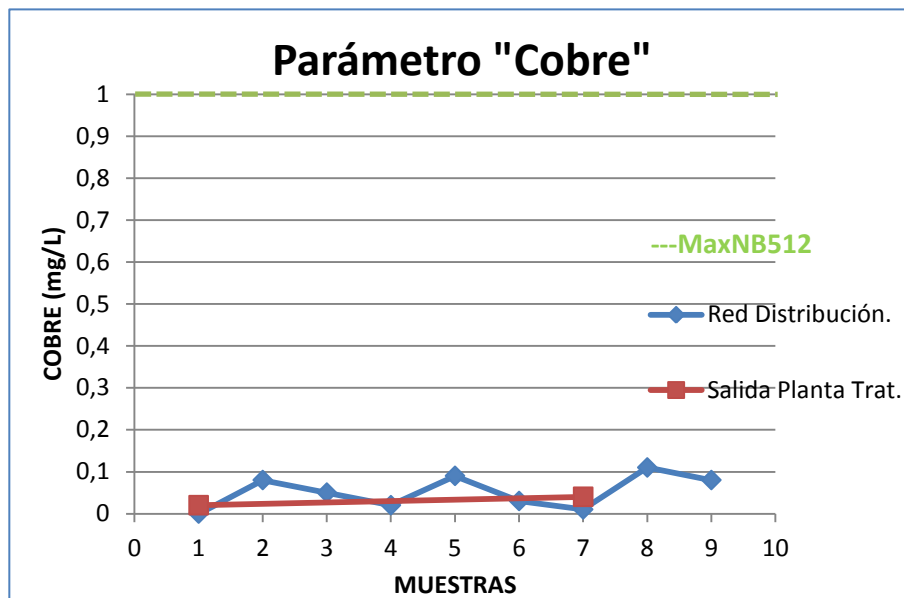


Fuente: Elaboración propia, 2010

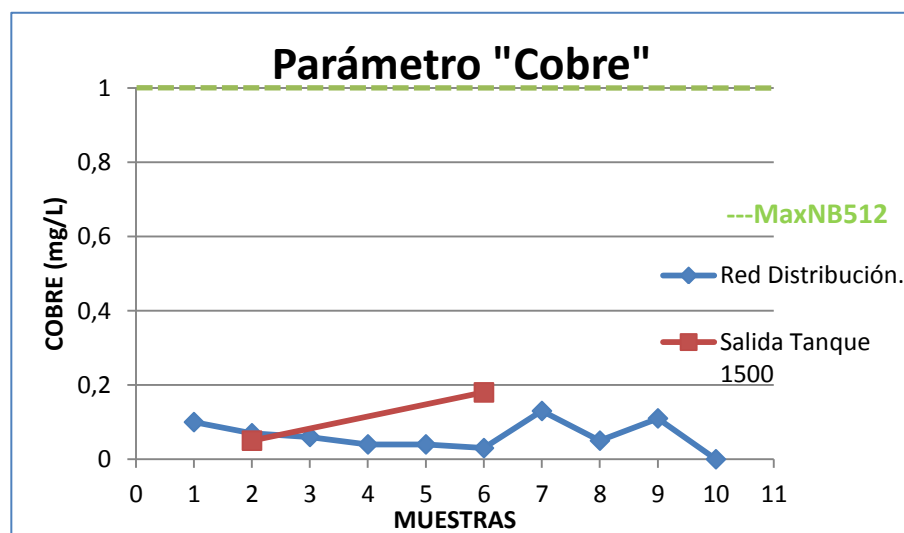
En el caso de las muestras analizadas, todas tienen concentraciones bajas en fluoruro.

COBRE

Figura III-59. Representación gráfica del cobre “Planta de Tratamiento”

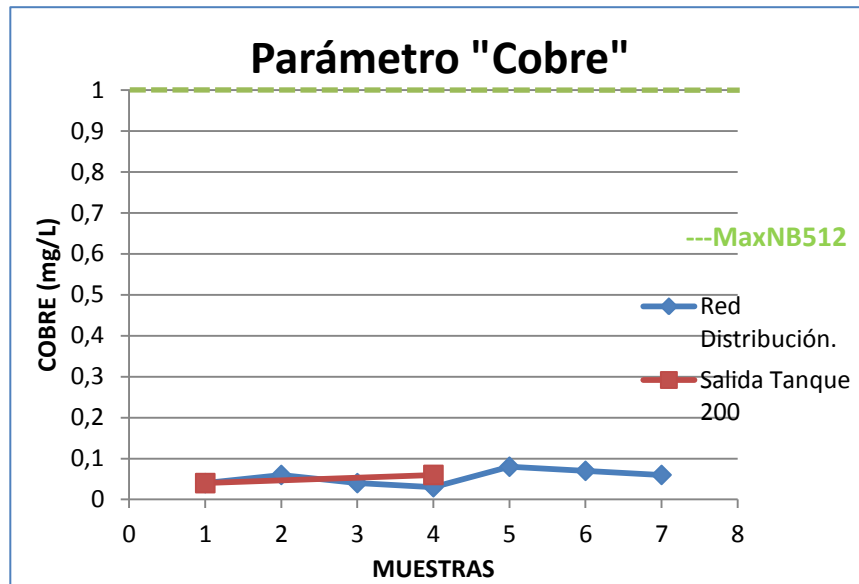


Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-60. Representación gráfica del cobre “Tanque 1500 m³”

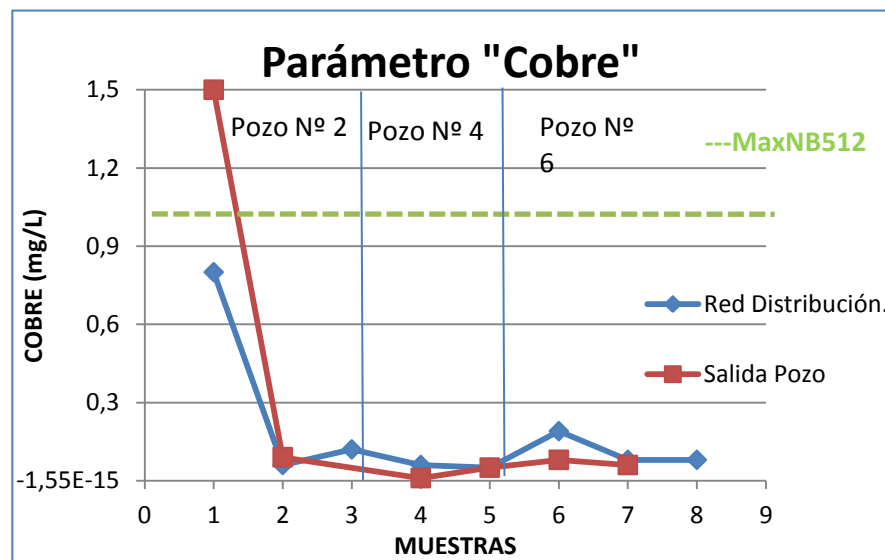
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-61. Representación gráfica del cobre “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-62. Representación gráfica del cobre “Pozo N° 2, 4, 6”



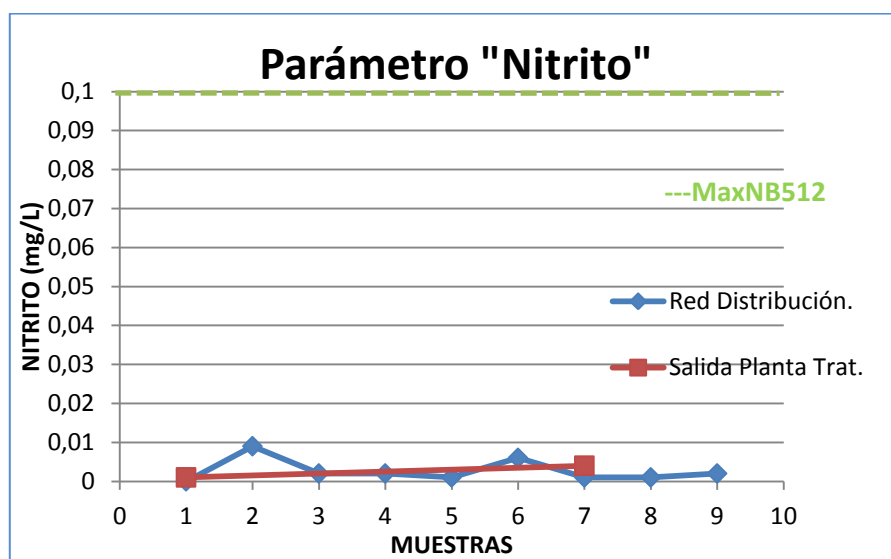
Fuente: Elaboración propia, 2010

Solo una muestra de todas las analizadas está fuera de los límites exigidos por la norma, esta muestra corresponde al Pozo N° 2.

La exposición a corto plazo de concentraciones elevadas provocan molestias gastrointestinales, y la exposición a largo plazo provoca lesiones hepáticas o renales.

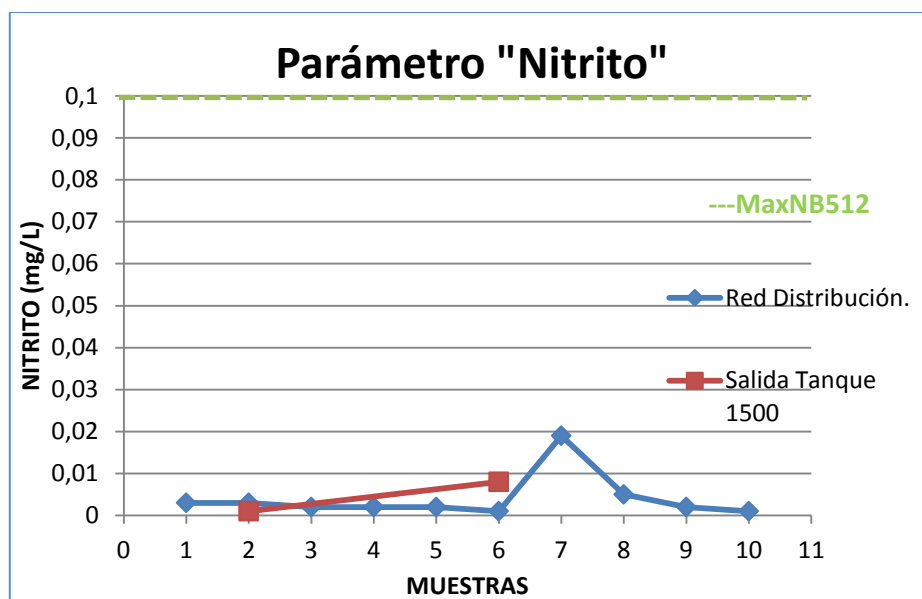
NITRITOS Y NITRATOS

Figura III-63. Representación gráfica de nitritos “Planta de Tratamiento”



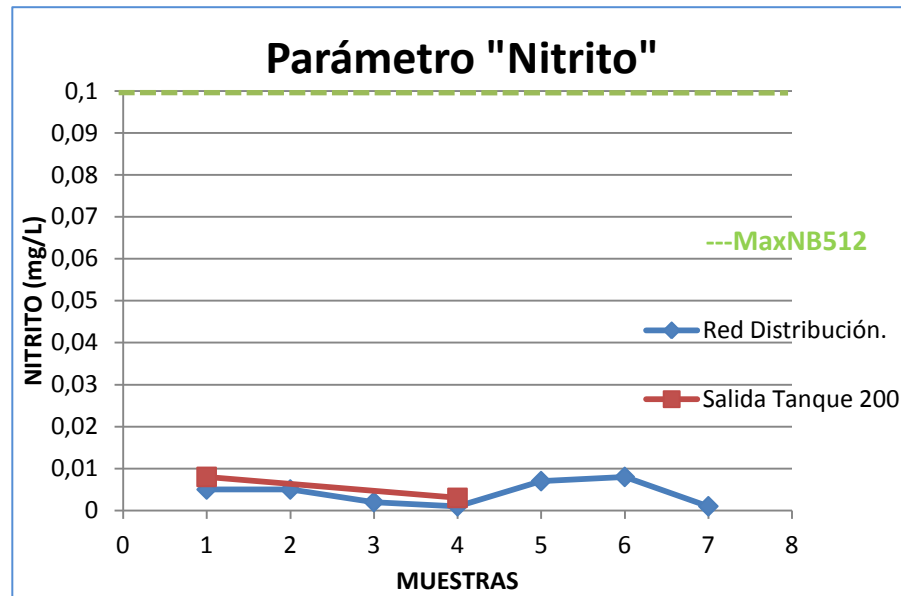
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-64. Representación gráfica de nitritos “Tanque 1500 m³”



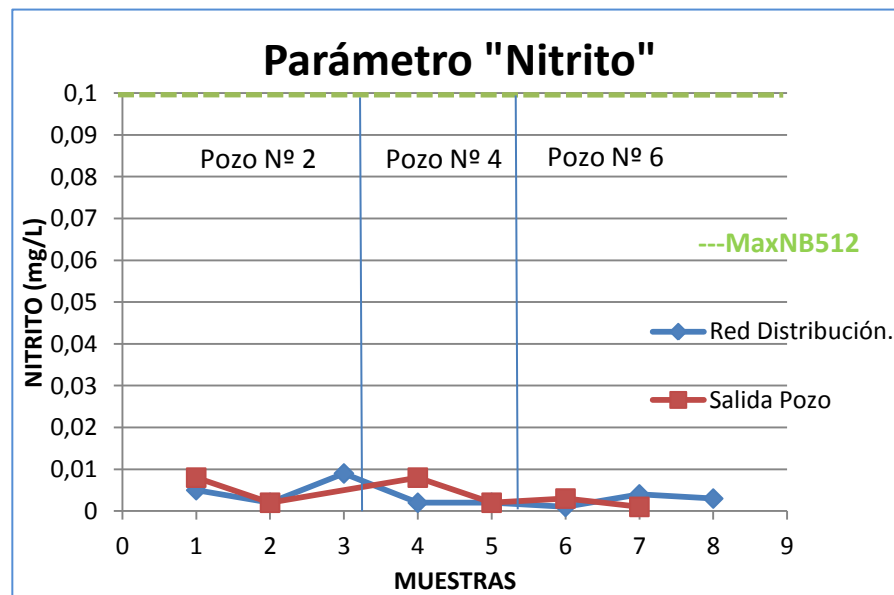
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-65. Representación gráfica de nitritos “Tanque 200 m³”



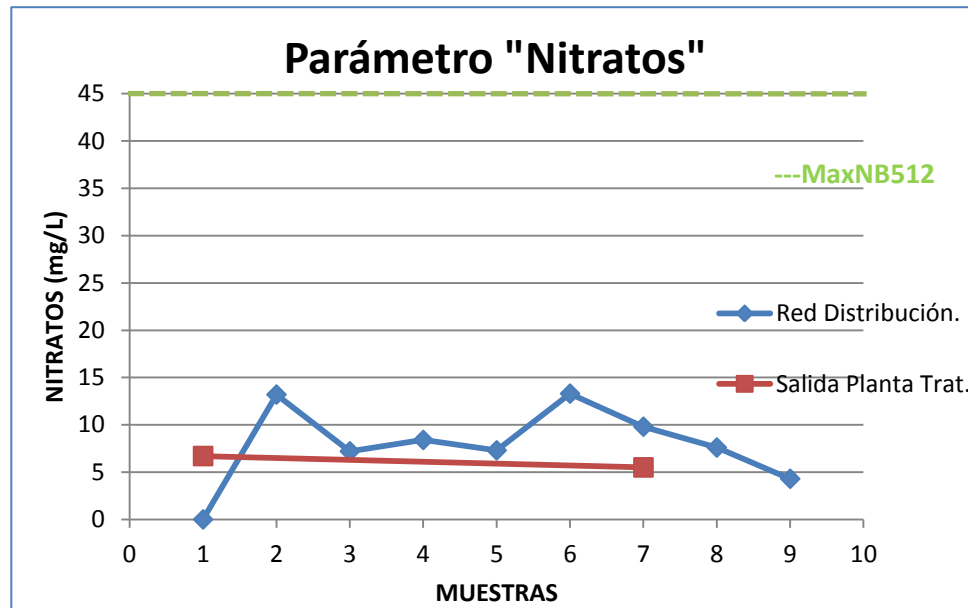
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-66. Representación gráfica de nitritos “Pozo N° 2, 4, 6”



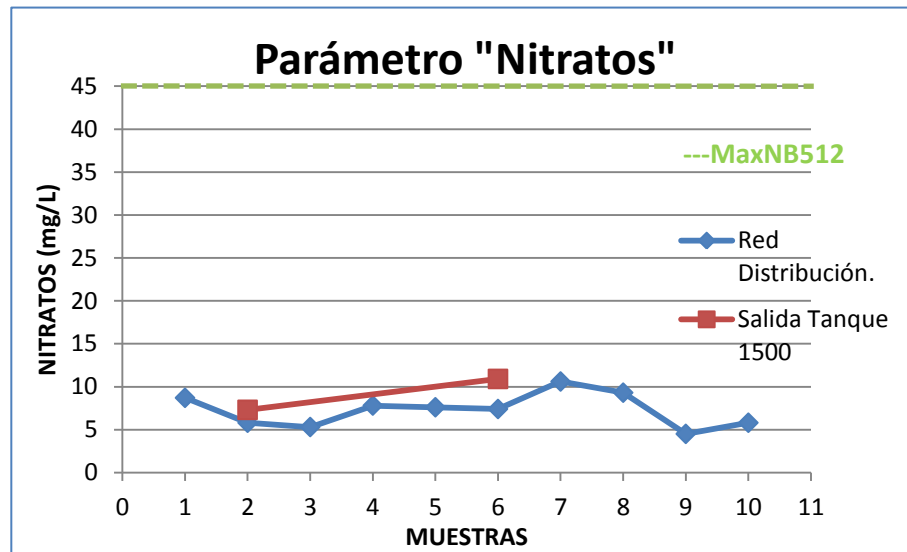
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-67. Representación gráfica de nitratos “Planta de Tratamiento”



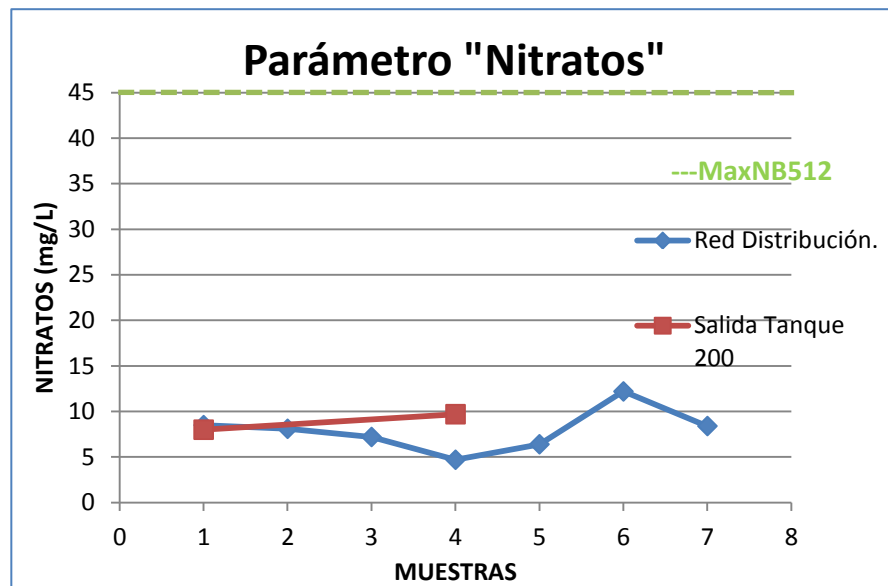
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-68. Representación gráfica de nitratos “Tanque 1500 m³”



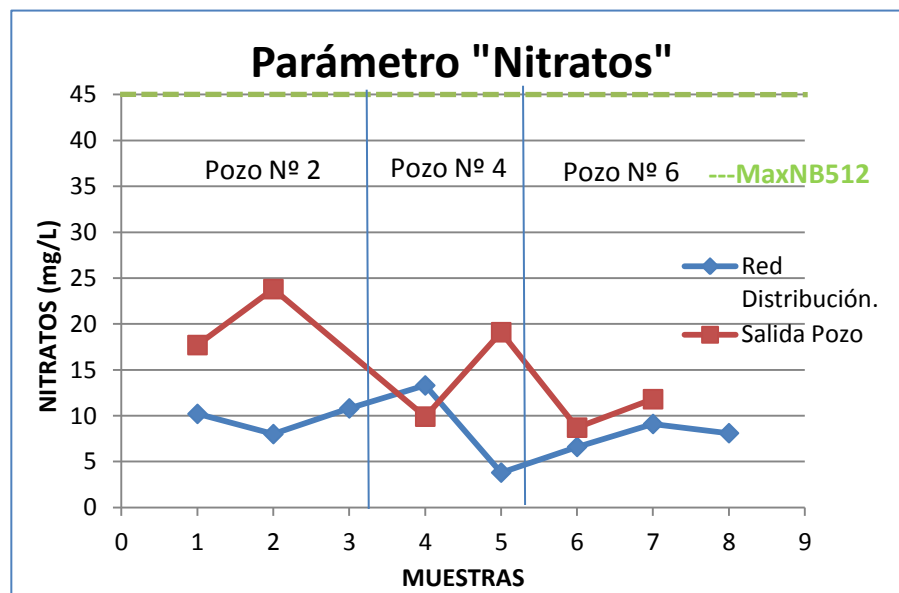
Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-69. Representación gráfica de nitratos “Tanque 200 m³”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Figura III-70. Representación gráfica de nitratos “Pozo N° 2, 4, 6”



Fuente: Elaboración propia, 2010

Tanto las concentraciones de nitritos y nitratos de las muestras analizadas están dentro de los valores de la NB512, la cual establece una concentración máxima de nitritos de 0,1 mg/l y 45 mg/l de nitratos.

Estos dos factores son suma importancia porque la presencia y cantidad de estas sustancias es indicio de contaminación. Los nitratos a veces no suponen peligro salvo que sea agua para niños, el pH del estomago del niño es diferente al de los adultos y hay riesgo de que se produzcan nitrosaminas (pueden proceder del terreno). Pero los nitritos son fuente de contaminación.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE DOSIFICADORES

La selección del dosificador para la Planta de Tratamiento, Tanque 1500 y Tanque 200 se hace sobre la base del desinfectante utilizado por la empresa EMAPYC, en este caso dosificadores de Hipoclorito de Sodio.

En el caso del Tanque 200 se recomienda la instalación de una bomba dosificadora de accionamiento automático Modelo F-MA de Acquatron S.A. instalada en el Pozo N°6 dando excelentes resultados, esto debido a que tanto el Pozo N° 6 como el Tanque 200 poseen caudales similares, necesitándose un caudal similar de dosificación.

Seguidamente se hace una descripción detallada de los sistemas de dosificación para hipoclorito de sodio a tomar en cuenta para la selección del dosificador a utilizar en la Planta de Tratamiento y Tanque 1500.

Estos Sistemas de dosificación son:

- Sistema de tanque con válvula de flotador
- Sistema de tubo con orificio en flotador
- Sistema de Vaso/Botella
- Sistema de dosificación con bomba a diafragma
- Dosificador por succión (Tipo Venturi)

Tabla IV-1. Características de los dosificadores para Hipoclorito de Sodio

Dosificadores Características	Sistema de Tanque con válvula de flotador	Sistema de tubo con orificio en flotador	Sistema de Vaso/Botella	Sistema de dosificación con bomba a diafragma	Dosificador por succión (Tipo Venturi)
Rango de servicios (habitantes)	< 2000	< 2000	< 2000	2000-300000	2000-300000
Caudal de dosificación	-	-	2 a 10 lts/h	1 a 200 lts/h	1 a 25 lts/h
Instalación y requerimientos	<p>El corazón de este sistema es una válvula de flotador, similar a la que se usa en los inodoros. El sistema es sencillo, barato y bastante exacto.</p> <p>La instalación debe incluir la posibilidad de que el contenido del tanque de solución se descargue accidentalmente en el canal de mezcla o la cámara de contacto.</p>	<p>Este equipo es sencillo de instalar, como todos los equipos de carga constante.</p>	<p>El elemento de dosificación es un sistema sencillo compuesto de un envase con un dispositivo flotante y se construye con una botella cilíndrica de vidrio o plástico con paredes lisas y con una capacidad entre 1,5 y 1,0 litros.</p>	<p>La instalación debe proteger los productos químicos contra la luz solar, así como proporcionar condiciones para manejar y mezclar fácilmente las soluciones químicas. También debe estar bien ventilada y evitar temperaturas y humedad muy altas.</p>	<p>Pueden instalarse en una pared o directamente sobre las tuberías, dependiendo del diseño. La instalación es suficientemente sencilla como para no requerir un especialista. Todas las tuberías y tubos de plástico flexible deben instalarse adecuadamente para facilitar su operación y mantenimiento.</p>

<p style="text-align: center;">Dosificadores</p> <p style="text-align: left;">Características</p>	<p style="text-align: center;">Sistema de Tanque con válvula de flotador</p>	<p style="text-align: center;">Sistema de tubo con orificio en flotador</p>	<p style="text-align: center;">Sistema de Vaso/Botella</p>	<p style="text-align: center;">Sistema de dosificación con bomba a diafragma</p>	<p style="text-align: center;">Dosificador por succión (Tipo Venturi)</p>
<p style="text-align: center;">Operación y mantenimiento</p>	<p>Fáciles de operar pero requieren un mantenimiento continuo para su correcto funcionamiento.</p>	<p>Estos equipos son fáciles de operar, mantener y reparar, y no requieren operadores especializados. Sin embargo, se requiere vigilancia constante para cerciorarse de que el de orificio sumergido, se mantenga limpio.</p>	<p>La operación de este equipo es sencilla.</p>	<p>La operación y mantenimiento de este tipo es sencilla, pero requiere de un mantenimiento continuo y adecuado. La exactitud y la uniformidad de la dosificación pueden obtenerse si el equipo se mantiene libre de precipitados y depósitos en las válvulas.</p>	<p>No son muy precisos, especialmente cuando el flujo varía mucho; en consecuencia, es necesario ajustar con frecuencia la dosificación.</p>
<p style="text-align: center;">Eficiencia en el funcionamiento</p>	<p>Bastante eficiente</p>	<p>Bastante eficiente</p>	<p>Bastante eficiente</p>	<p>Muy eficiente</p>	<p>No muy preciso</p>
<p style="text-align: center;">Ventajas</p>	<p>Muy barato. Confiable. No necesita energía eléctrica. Permite dosificaciones para caudales mínimos. Puede usarse en cualquier situación, excepto en pozos tubulares cerrados.</p>	<p>Carga constante. Sumamente sencillo. Muy barato. Pueden construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica.</p>	<p>Sumamente sencillo. Muy barato. Puede construirse localmente. Ideal para comunidades pequeñas. Error de dosificación menor del 10%. No necesita energía eléctrica.</p>	<p>Sumamente confiable. Sencillo de operar. Uno de los pocos sistemas para trabajar bajo presión. Puede introducir la solución directamente en tuberías de agua presurizada.</p>	<p>Muy sencillo. La solución más barata para una alimentación en tuberías presurizadas.</p>

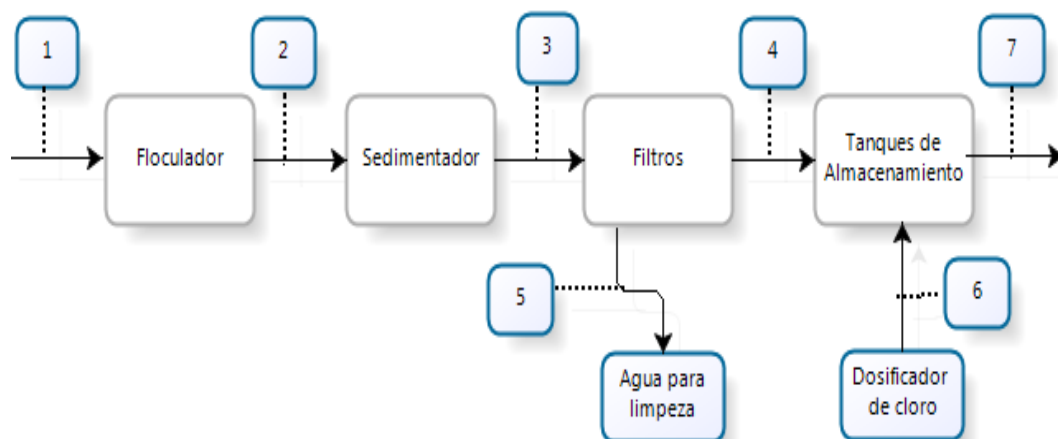
Dosificadores Características	Sistema de Tanque con válvula de flotador	Sistema de tubo con orificio en flotador	Sistema de Vaso/Botella	Sistema de dosificación con bomba a diafragma	Dosificador por succión (Tipo Venturi)
Desventajas	La dosificación no es muy precisa. Error de alrededor de 10%. Exige un control constante debido a la variación de las dosificaciones. El material se puede corroer.	Según la manera en que el sistema fue construido, puede llegar a tener un error de dosificación de hasta un 20%.	Debe mantenerse limpio.	Personal capacitado en la operación y mantenimiento. Costo de intermedio a elevado. Requiere energía eléctrica. Debe vigilarse. Puede haber corrosión en el rotor de la bomba.	Requiere vigilancia y mantenimiento para evitar obstrucciones en dispositivo Venturi.

Fuente: Elaboración propia, 2011

4.2 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Para la selección del dosificador apropiado es necesaria la realización del balance de materia y energía (consumo de energía eléctrica) de los sistemas de distribución.

Figura IV-1. Diagrama en Planta de Tratamiento



Fuente: Elaboración propia, 2011

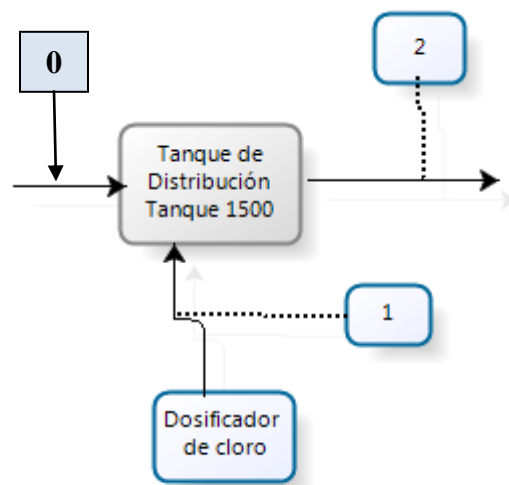
Tabla IV-2. Resultados del Balance de Materia y Energía en Planta de Tratamiento

Parámetro	1	2	3	4	5	6	7
Q (l/s)	33,77	33,77	33,77	33,5605	0,2095	$3,467 \cdot 10^{-4}$	33.5608
pH	8,35	-	-	-	-	-	7,85
Turbiedad (UTN)	10,14	-	-	-	-	-	0,56
Cloro residual (mg/l)	0						0,35
Potencia (kw/h)	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2011

En la Planta de Tratamiento no se consume energía eléctrica para la captación del agua ya que esta es transportada hacia la planta de tratamiento desde las quebradas por gravedad (energía potencial) tampoco se consume energía eléctrica para el tratamiento de la misma por este motivo la potencia en todas la etapas es cero como se muestra en la tabla IV-2.

Figura IV-2. Diagrama en Tanque 1500



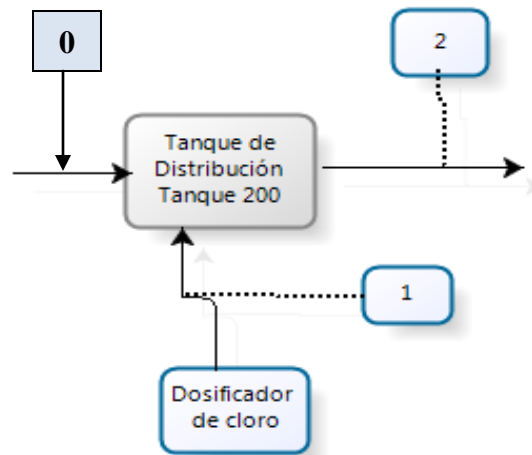
Fuente: Elaboración propia, 2011

Tabla IV-3. Resultados del Balance de Materia y Energía en Tanque 1500

Parámetro	0	1	2
Q (l/s)	54,410048	$5,62 \cdot 10^{-4}$	54,4106
pH		-	7,675
Turbiedad (UTN)		-	0,5375
Cloro residual (mg/l)		-	0,275
Potencia (kw/h)	39.857	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2011

Figura IV-3. Diagrama en Tanque 200



Fuente: Elaboración propia, 2011

Tabla IV-4. Resultados del Balance de Materia y Energía en Tanque 200

Parámetro	0	1	2
Q (l/s)	7,3	$7,541 \cdot 10^{-5}$	7,3001
pH	-	-	7,22
Turbiedad (UTN)	-	-	0,415
Cloro residual (mg/l)	-	-	0,372
Potencia (kw/h)	4.808		

Fuente: Elaboración propia, 2011

4.3 SELECCIÓN DEL DOSIFICADOR APROPIADO

Para la selección del dosificador apropiado para la Planta de Tratamiento y Tanque 1500 se toman en cuenta las siguientes características:

- Rango de Servicios (habitantes)
- Caudal de dosificación
- Eficiencia en el funcionamiento

- Consumo energético
- Operación y mantenimiento
- Costo de inversión

La calificación se la realizará de la siguiente manera:

En cuanto al parámetro de caudal de dosificación se refiere:

- ✓ No satisface para su diseño: 0
- ✓ Se puede diseñar con dificultades: 1
- ✓ Se diseña sin problemas: 2
- ✓ Diseño óptimo: 3

El grado de efectividad de los costos de consumo energético, operación y mantenimiento y costo de inversión son:

- ✓ Costos muy elevados: 0
- ✓ Costos elevados: 1
- ✓ Costos económicos: 2
- ✓ Costos bajísimos: 3

Para la selección del dosificador más apropiado se procederá a la calificación de las diferentes características, esta calificación es válida tanto para la Planta de Tratamiento y Tanque 1500 a excepción del tanque 200.

Tabla IV-5. Criterios de Selección

Dosificador	Rango de Servicios (habitantes)	Caudal de dosificación	Eficiencia funcionamiento	Consumo energético	Operación y mantenimiento	Costo inversión	Ptos. total
BAJO PRESIÓN ATMOSFÉRICA, DE CARGA CONSTANTE							
Tanque con válvula de flotador	1	3	2	3	2	2	13
Tubo con orificio en flotador	1	3	2	3	2	2	13
Sistema vaso/botella	1	3	2	3	2	2	13
BAJO PRESIÓN POSITIVA O NEGATIVA							
Bomba de diafragma (positiva)	3	3	3	2	2	1	14
Dosificador por succión (negativa)	3	3	1	2	2	1	12

Fuente: Elaboración propia, 2011

Según el resultado final de calificación es apropiada la bomba a diafragma tanto para la planta de Tratamiento como para el Tanque 1500.

Tabla IV- 6. Descripción de los dosificadores seleccionados

Sistema de Distribución	Dosificador recomendado	Especificación técnica	Justificación / razones
Planta de Tratamiento	Bomba de diafragma	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba Dosificadora a diafragma de accionamiento directo. • Accionamiento mediante motor eléctrico monofásico interno. • Regulación continua en todo el rango de operación. 	Se seleccionó esta bomba ya que es apropiada cuando se requiere caudales de dosificación elevados, además son muy eficientes y confiables.
Tanque 1500	Bomba de diafragma		
Tanque 200	Bomba dosificadora de accionamiento automático	<p>Bomba con dosificación constante, con posibilidad de regulación de caudal entre 0 y el 100% del caudal nominal.</p> <p>La regulación del caudal es de tipo electrónico y actúa sobre el número de inyecciones de la bomba.</p>	Se seleccionó esta bomba para este sistema ya que posee un caudal similar al del pozo N° 6 donde se dio excelentes resultados.

Fuente: Elaboración propia, 2011

4.4 ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE CLORO

La dosis de cloro ideal que se aplica al agua debe ser la necesaria para destruir todos los organismos patógenos presentes en ella, antes de que sea consumida por la población.

Según la Agencia para la protección del ambiente de los Estados Unidos (EPA), es necesario el cálculo del valor de Ct, es el producto de la concentración residual del desinfectante expresado en mg/l por el tiempo de contacto expresado en minutos y por tanto tiene las dimensiones mg/l/min. La concentración se toma al final del periodo, y el tiempo en tuberías es el volumen dividido entre el flujo (tiempo de detención), y en reactores, el determinado en prueba de trazados. (OJEDA, Y. 2007).

La norma está, expresada en escala logarítmica, en la que representa:

- 1 log en la escala representa el 90% de remoción
- 1,5 log representa 90,5%
- 2 log representa 99%
- 2,5 log representa 99,5%
- 3 log representa 99,9%
- 3,5 log representa 99,95%
- 4 log representa 99,99%

Los créditos para la desinfección se suman con los créditos por el pretratamiento, que se estima así:

- Planta convencional bien operada: 2,5 log para giardias y 2 log para virus.
- Filtración directa: 2 log para giardias y 1 para virus.
- Filtración lenta: 2 log para guardias y 2 para virus

En estas condiciones, si se trata de una planta convencional, los logs para desinfección se calculan así:

$$\text{logs desinfección} = \text{logs requeridos} - \text{logs pretratamiento}$$

Con el valor de Logs para desinfección se va a tablas de la EPA, que se adjuntan en el ANEXO E, y se hallan, para una temperatura y un pH dando el valor de Ct, y luego se calculará el tiempo mínimo de espera después de la dosificación para la distribución.

Para la difusión de cloro en el agua se lo realizará en la tubería de salida del filtro, mediante un difusor simple que ya está instalado. (OJEDA, Y. 2007)

En la siguiente tabla se mostrará los datos y cálculo de Ct y t (tiempo desde que se inyecta el cloro hasta que recibe el agua el primer consumidor) para Planta de Tratamiento, Tanque 1500 y Tanque 200. Según la NB 512 el valor máximo de cloro residual es 1 mg/l y el mínimo es 0,2 mg/l, pero para el siguiente cálculo se tomará un valor de 0,8 mg/l.

Tabla IV-7. Cálculo de t

Sistema de Abastecimiento	Logs desinfección	Temp.	pH	Ct	Conc. Cloro residual	$t = \frac{Ct}{0,8}$
Planta de Tratamiento	1 logs	25 °C	8,35	29	0,8	36 min
Tanque 1500	3 logs	25 °C	7,68	66	0,8	82 min
Tanque 200	3 logs	25 °C	7,22	55	0,8	69 min

Fuente: Elaboración propia, 2011

Para poder garantizar este tiempo, luego de la desinfección el agua va hacia un tanque de almacenamiento y luego recién a la distribución a los consumidores.

En la siguiente tabla se calcula el caudal de cloro a dosificar en un día.

Tabla IV-8. Caudal de cloro

Sistema de Abastecimiento	Caudal disponible (l/seg)	Dosificación de cloro (mg/L)	Caudal de cloro (l/día)	Caudal de cloro (l/seg)
Planta de Tratamiento	33,561	0.7 – 1.0	28,19	$3,26 \cdot 10^{-04}$
Tanque 1500	54,41	0.7 – 1.0	45,71	$5,29 \cdot 10^{-04}$
Tanque 200	7,3	0.7 – 1.0	6,13	$7,1 \cdot 10^{-05}$

Fuente: Elaboración propia, 2011

4.5 ESPECIFICACIÓN DE LOS DOSIFICADORES SELECCIONADOS

4.5.1 BOMBA DOSIFICADORA A DIAFRAGMA

Estas bombas han sido especialmente diseñadas para la inyección precisa y continua de cualquier aditivo líquido destinado a:

- Tratamiento de agua para potabilización, limpieza, control de pH y bacteriológico.
- Neutralización de agua ácida.
- Tratamiento de agua de calderas.
- Coagulación y remoción de turbidez.
- Tratamiento de agua en piletas de natación.
- Control de algas.
- Tratamientos de efluentes.
- Procesamiento de alimentos.

Características

- Bomba Dosificadora a diafragma de accionamiento directo.
- Accionamiento mediante motor eléctrico monofásico interno.
- Regulación continua en todo el rango de operación.
- Amplia resistencia química de sus partes en contacto con el líquido para mayor vida útil.
- Regulación en marcha mediante dial con bloqueo de seguridad y tapa protectora.

4.5.2 BOMBA DOSIFICADORA MODELO F-MA

Características

Bomba con dosificación constante, con posibilidad de regulación de caudal entre 0 y el 100% del caudal nominal.

La regulación del caudal es de tipo electrónico y actúa sobre el número de inyecciones de la bomba. Es oportuno no regular el caudal de la bomba entre el 0 y el 10 % a causa de una reducción de linealidad. Bomba particularmente indicada para la

dosificación constante en el tiempo o de modo ON/OFF de un instrumento de pH. Si se desea dosificar 0,75 l/h a 9 bares de contrapresión con una bomba F-MA 1,5/12 posicionaremos la manopla % al 50%.

Figura V-4. Bomba dosificadora modelo F-MA



Fuente: Elaboración propia, 2010

5.1 INVERSIÓN

La cantidad de dinero necesaria para poner un Proyecto en operación es conocida como "Inversión" de la empresa. Dicha inversión podrá estar integrada por capital propio, créditos de organismos financieros nacionales y/o internacionales, y de proveedores. El capital total requerido para realizar y operar el proyecto se compone de dos partes:

5.2 CAPITAL FIJO (I_F)

Es la cantidad de dinero necesaria para construir totalmente una Planta de Proceso, con sus servicios auxiliares y ubicarla en situación de poder comenzar a producir. Es básicamente la suma del valor de todos los activos de la Planta.

Los activos fijos pueden ser tangibles o intangibles. Los primeros se integran con la maquinaria (que incluye el costo de su montaje), edificios, instalaciones auxiliares, etc. y los segundos: las patentes, conocimientos técnicos, gastos de organización, puesta en marcha, etc.

5.3 CAPITAL DE TRABAJO (I_w)

También llamado "Capital de Giro", comprende las disponibilidades de capital necesario para que una vez que la planta se encuentre instalada y puesta en régimen normal de operación, pueda operar a los niveles previstos en los estudios técnico-económicos.

El monto de este capital varía dentro de límites muy amplios, dependiendo de la modalidad del mercado al cual va dirigida la producción, de las características del proceso y las condiciones establecidas por la procedencia y disponibilidades de las materias primas. (FAO, 2011).

En la siguiente tabla se especifica los equipos y materiales necesarios para la instalación de las bombas dosificadoras en los sistemas de abastecimiento ya mencionados:

Tabla V-1. Inversión Recomendada

Item	Descripción	Unidades	Cantidad	Valor unitario (Bs)	Monto aproximado (Bs)
1	Bomba dosificadora a Diafragma	Pieza	2	1250	2500
2	Bomba dosificadora modelo F-MA	Pieza	1	1100	1100
3	Térmico de 15 A.	Pieza	3	22	66
4	Manguera 6×9mm de PE	metros	9	4	36
5	Par de conos (macho y hembra) de PE	Pieza	6	4	24
6	Otros (3 % del total)				112
TOTAL					3838

Fuente: Elaboración propia, 2011

El monto aproximado total para la implementación de los dosificadores en los tres sistemas de abastecimiento seleccionados, es 3.838 Bs. Este monto no contempla los gastos de instalación de las bombas dosificadoras ya que existe un técnico en EMAPYC capacitado en estas instalaciones.

6.1 CONCLUSIONES

Al finalizar este trabajo se llega a las siguientes conclusiones:

- La selección de los puntos de muestreos se realizó en función del Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano basado en la Norma Boliviana NB 512 – Agua Potable. Y el procedimiento de muestreo en base a la Norma Boliviana NB 496 Agua Potable-Toma de muestras.
- Para la selección de los puntos de muestreo se aplicaron los siguientes criterios:
 - Ser representativos de la zona de abastecimiento de agua por tanto debe considerarse individualmente cada sistema.
 - Estar uniformemente distribuidos en toda la zona de abastecimiento de agua.
 - Ser proporcional al número de habitantes en cada zona de abastecimiento.
 - Deben estar ubicados en: la salida de la planta de tratamiento y pozos; final de red, zonas críticas (zonas expuestas a riesgos frecuentes) y áreas de alta densidad (mercados, plazuelas, etc.).
- Según los resultados obtenidos de las muestras analizadas, se puede apreciar que el agua distribuida a la ciudad de Yacuiba por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPYC), podría calificarse como agua potable, salvo que no cumple con algunos parámetros establecidos por el Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, estos parámetros son propios del agua que se provee en las fuentes naturales de la zona y no son adicionados en algún punto; los parámetros son:
 - Alcalinidad Total
 - Manganeso
 - Y cloro residual en la mayoría de las muestras
- A pesar de que la dureza se encuentra dentro de lo establecido por la norma, el agua se encuentra clasificada como “aguas duras”, provocando taponamientos en tuberías y conexiones, reduce la eficiencia en los sistemas de calefacción entre otros problemas.

- El manganeso se encuentra fuera del rango establecido por la norma, esto puede provocar serios problemas ya que en concentraciones más elevadas provoca manchas en la ropa de lavado, sabores desagradables a las bebidas y formación de depósitos color negro en las tuberías.
- Se observa que la mayoría de las muestras analizadas en salida de los sistemas de abastecimiento, el cloro residual se encuentra en concentraciones muy bajas o no lo existe, esto no garantiza que al final de la red de distribución se tenga como mínimo una concentración de 0.2 mg/l para garantizar la desinfección. Para garantizar esta desinfección, el cloro residual a la salida de los sistemas de abastecimiento debería tener una concentración de 0.7-1 mg/l. Por esto es fundamental el control de cloro residual constante a la salida de los sistemas.
- Los resultados microbiológicos indican que el agua abastecida no presenta contaminación bacteriana alguna, a pesar de que algunas muestras no presentaban la concentración de cloro residual mínima establecida en la norma.
- Se seleccionó las bombas dosificadoras en función a ciertas características. Esta se realizó para obtener mejores resultados en la desinfección que es un paso muy importante para obtener agua apta para consumo. La bomba seleccionada para la Planta de Tratamiento y Tanque 1500 es una bomba dosificadora diafragma; y para el Tanque 200 es una bomba dosificadora de accionamiento automático.
- Las bombas dosificadoras seleccionadas para los sistemas de abastecimiento son bombas de accionamiento automático, funcionan con energía eléctrica, y para reducir los gastos operativos por el consumo de energía, es aconsejable reducir los costos de consumo de hipoclorito de sodio, para lograr esto se puede distribuir el agua con una concentración de cloro residual entre 0.7-0.8 mg/l en vez de 1 mg/l; para esto es necesario la dilución de la solución madre de hipoclorito y que se tenga un control minucioso de la dosificación.
- La inversión recomendada para la instalación de las bombas dosificadoras seleccionadas en los sistemas de abastecimiento es 3.838 Bs.

6.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se sugieren son:

- Debe hacerse un esfuerzo técnico para que mejore la calidad del agua, para que los parámetros Alcalinidad Total, Manganeseo y cloro residual entren dentro lo establecido en la normativa boliviana.
- Para garantizar la desinfección del agua y el no desarrollo de microorganismos, el cloro residual a la salida para la distribución en cada uno de los sistemas de abastecimiento se recomienda que tenga una concentración de 0.7-1 mg/l. Por esto es fundamental el control de cloro residual constante a la salida de los sistemas.
- El monitoreo continuo de la calidad del agua lleva a asegurar que el sistema de distribución opere satisfactoriamente proporcionando un producto que cumpla con las normas de calidad del agua de consumo humano. Por esto se recomienda que se establezca un Programa de Monitoreo, además este programa permitirá identificar áreas del sistema de distribución de agua con problemas graves y que normalmente coinciden con la necesidad de intervenciones correctivas. Este Programa de Monitoreo debe considerar la población abastecida por cada sistema de distribución.
- Es necesario que se profundizar los estudios para realizar el ablandamiento del agua, ya que esta se encuentra clasificada en “aguas duras”, provocando taponamientos en tuberías y conexiones, reduce la eficiencia en los sistemas de calefacción entre otros problemas.
- Se recomienda el mantenimiento continuo de los tanques elevados de los Pozos N° 2 y 4, ya que se aumenta la posibilidad de la contaminación de las aguas cuando no existe una adecuada limpieza de estos.
- Al haberse identificado que existen problemas en la dosificación por posible deficiencia en los controles operativos, se recomienda delegar funciones a un técnico especializado para la planificación, control de la dosificación y determinación del cloro residual, esto para coadyuvar las funciones desempeñadas por el Encargado de Control de Calidad.

- Se recomienda una permanente capacitación del personal que operan los sistemas de distribución, trabajo que debe ser realizado por el técnico especializado, para que realice de manera planificada y sistemática la verificación de la calidad del agua, las operaciones y la capacitación al personal operativo.
- Como el hipoclorito de sodio es una sustancia corrosiva y se aconseja tomar en cuenta la ficha técnica (**VER ANEXO F**) y capacitar a los operadores para evitar problemas o situaciones de emergencia.
- Se recomienda a la empresa “EMAPYC” considerar la implementación de un sistema de distribución de agua potable tipo “red anillado o cerrado”, ya que esto permitirá garantizar un caudal constante a los consumidores inclusive en horas picos.
- Por último se recomienda implementar un programa de comunicación para informar a los usuarios de agua potable, sobre las características del agua que se distribuye ya que existe una clara confusión entre el cloro dosificado con la dureza del agua. Además de informar sobre los problemas que se pueden generar a través de la mala instalación de un grifo de agua y falta de mantenimiento de tanques de almacenamiento de los domicilios que cuenten con los mismos.