

NOTA TÉCNICA

DETERMINACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DEL AGUA EN LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO EN PLANTA DE POTABILIZACIÓN.

Mora, Víctor

Cedeño, Jorge

Resumen: La presente investigación tuvo como objetivo determinar si fisicoquímica y bacteriológicamente el agua es potable y corrosiva en las etapas de tratamiento para agua cruda, sedimentada y filtrada de la Planta Angostura de Ciudad Bolívar Estado Bolívar. La investigación fue descriptiva y analítica y se realizó mediante toma de muestras de aguas, entre la estación de bombeo en el río Orinoco y la mezcla rápida en planta. Las muestras fueron analizadas de acuerdo al Método Estándar determinándose el número de coliformes totales (CT) mediante la técnica de fermentación en tubos múltiples. Los resultados obtenidos para sólidos disueltos, CO₂, alcalinidad, dureza, calcio, magnesio, cloruro, sulfato, y nitrato se encuentran en el rango de los valores permisibles. Sin embargo, pH y mg/l de aluminio para muestras sedimentadas y filtradas están fuera de los valores límites de la Norma de Calidad de Agua Potable. El descenso de coliformes fecales en muestras de aguas sedimentadas y la ausencia en muestras filtradas, da lugar a que la potabilidad del agua se encuentre dentro de la escala aceptable. La dosificación de coagulante y los mecanismos de mezclado operan inadecuadamente dando lugar a inestabilidades químicas con tendencias de corrosión.

Palabras clave: Agua Corrosiva/ Agua potable/ Agua Sedimentada/ Determinación bacteriológica/ Determinación fisicoquímica/ Planta de tratamiento de agua/ Potabilización.

WATER PHYSICO-CHEMICAL AND BACTERIOLOGICAL DETERMINATION IN THE TREATMENT STAGES IN A POTABILIZATION PLANT

Summary: The purpose of this research was to determine if water is physicochemically and bacteriologically drinkable and corrosive in the treatment stages for raw, settled and filtered water at the Angostura Plant of Ciudad Bolivar, Bolivar State. The research was descriptive and analytical and was made by means of water sampling between the pumping station in the Orinoco River and the rapid mixture in the plant. Samples were analyzed according to the Standard Method and the total number of bacillus coli (BC) was determined through the fermentation technique in multiple tubes. The results obtained for dissolved solids, CO₂, alkalinity, hardness, calcium, magnesium, chloride, sulfate and nitrate are in the range of acceptable values. However, the pH and mg/l of aluminum for settled and filtered samples are out of the limit values of the Quality Standards for Drinkable Water. The decrease of fecal bacillus coli in settled water samples and their absence in filtered samples, allows for water potability to be within the acceptable scale. The dosage of coagulant and the mixing mechanisms operate inadequately causing chemical instability with tendency to corrosion.

Keywords: Bacteriological Determination / Corrosive Water / Drinkable Water / Physicochemical Determination / Potabilization/ Settled Water / Water treatment Plant.

I. INTRODUCCIÓN

Es conocido que la calidad del agua cruda varía con la fuente y si es superficial, variará estacionalmente. Por ejemplo, la mayoría de los patógenos transportados en el agua se introducen a través de la contaminación fecal, siendo el *Escherichia coli* un organismo indicador en un medio acuático. Químicamente, la presencia de

cloruros puede sugerir un origen de agua contaminada por agua residual, altos valores de calcio y magnesio representan una medida de los potenciales efectos de incrustación en caldera y niveles excesivos de aluminio pueden asociarse con la enfermedad de Alzheimer [1].

El Dr. Víctor Mora es Profesor Titular (Jubilado) en la Sección Bioquímica, Departamento de Ciencias Fisiológicas de la Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Ciudad Bolívar, Venezuela, Telef. 0285-6543613, correo electrónico victormoraudo9@hotmail.com. El Ing. Jorge Cedeño es Consultor Privado, Av. Libertador, Urb. Vista Hermosa, Ciudad Bolívar, Edo. Bolívar, Venezuela, teléfono, 0285-6547860, correo electrónico corrosivity@hotmail.com

Para la tercera parte de la población de Ciudad Bolívar, Estado Bolívar, el agua de consumo es suministrada por la planta de potabilización Angostura adscrita a la Gerencia de Obras Sanitarias e Hidráulicas Sistema Bolívar (CVG - GOSH), como el ente responsable para tratar el agua cruda, proveniente de la toma en balsa superficial del río Orinoco, mediante sistema completo de tratamiento para tipo "C" [2]. La calidad del agua potable no es buena; los resultados de un estudio realizado reportan alteraciones en las concentraciones (mg/l) de hierro, de sólidos suspendidos y de niveles de pH ácidos para muestras de aguas en la red de distribución [3].

En virtud de lo expuesto y dada la importancia de la calidad del agua en términos de salud para la población, la presente investigación tiene como objetivo determinar si fisicoquímica y bacteriológicamente el agua es potable y corrosiva en las etapas de tratamiento para agua cruda, sedimentada y filtrada de la Planta Angostura de Ciudad Bolívar, Estado Bolívar. En el desarrollo del artículo se presentan los pasos a seguir en el proceso de tratamiento de agua en una planta de potabilización, la importancia de los componentes y de las propiedades del agua en el proceso de corrosión, los materiales y métodos utilizados, resultados, discusión de resultados, conclusiones y referencias.

II. DESARROLLO

1. Aspectos teóricos de las operaciones y procesos de tratamiento de agua en planta de potabilización

En las operaciones y procesos unitarios existen cuatro clases de tratamiento para diferentes aguas crudas. Para zonas urbanas o industriales se aplica el tratamiento tipo C correspondiente a aguas de las zonas de cauces bajos y embalses con pretratamiento, tratamiento estándar (sedimentación y filtración) y desinfección. Además, se aplica tratamiento especial tipo D con procesos adicionales que incluyen tecnología de membranas, separación de hierro, manganeso, oxidación química y adsorción en carbón, etc. [2].

El pretratamiento del agua implica, desbaste (sistema de barras inclinadas o microtamices usados para evitar la entrada de materiales gruesos y finos flotantes a la planta de tratamiento) y almacenamiento con equalización y neutralización, aireación y pretratamiento químico que incluye ablandamiento, separación de algas y precloración. La aireación es un aspecto importante dado que el suministro de oxígeno atmosférico al agua se utiliza para liberar el exceso de CO₂ con tendencias corrosivas en los materiales rígidos (concreto armado) y metálicos. El tratamiento estándar es el conjunto de procesos unitarios y operaciones que reducen el color, la turbidez y las impurezas particuladas a niveles aceptables, (Ejemplo, reducciones en las concentraciones de hierro, manganeso, patógenos y algas entre otros). Este tipo de tratamiento consiste en sedimentación de partículas, coagulación y floculación, y filtración. Los sólidos suspendidos son decantados por gravedad, y las operaciones utilizadas son: Tipo I: Sedimentar partículas discretas no floculadas en una suspensión diluida antes del tratamiento por filtros de arena. Tipo II: Sedimentar partículas floculadas en una suspensión diluida, después de la coagulación química y floculación para partículas no discretas químicamente.

El proceso de coagulación se realiza con un coagulante químico (sal de aluminio o hierro) para promover la agregación de partículas, previa clasificación y carga eléctrica que pueden originar desestabilización produciendo aglomeración y decantación de partículas. [2].

El agua se filtra al pasar a través de un medio poroso de arena y el sistema de filtración incluye gravedad o presión, velocidad de filtración rápida, lenta o variable y filtración de torta o en profundidad. Filtraciones lentas operan a velocidades entre 0,1 y 0,2 m/h, y en filtros rápidos entre 5 y 20 m/h. La filtración de

torta es una operación con filtros lentos de arena y en su superficie (interfase arena/aire) se desarrollan mecanismos físicos y biológicos. En la filtración en profundidad parte del espesor del medio filtrante está activo para el proceso.

Mediante el uso de desinfectantes se eliminan los microorganismos patógenos, el no debe presentar características de toxicidad para los humanos y animales superiores. Factores tales como turbidez, organismo resistente (Giardia), exceso de materia orgánica, compuestos oxidables y depósitos de hierro y manganeso, pudieran dar lugar a una baja eficiencia de desinfección.

2. Componentes y propiedades del agua, su importancia en el proceso de corrosión.

Los componentes del agua inciden en la rapidez con que se corroen los metales en los sistemas hidráulicos. Así por ejemplo, aguas suaves (< 60 mg/l de dureza), altas en cloruros o sulfatos, o ambos (> 150 mg/l), pH bajo (< 6,0) y conductividad alta (> 500 µS/cm), presencia de cloro libre (> 1 mg/l) y de cloramina (> 2 mg/l) y la presencia de sólidos suspendidos (arena o sedimentos) provocan tendencias de erosión – corrosión en la red de distribución de agua [4].

3. Materiales y Métodos

El marco metodológico del presente trabajo se realizó de acuerdo a los aspectos descritos por Balestrini Acuña [5]. El tipo de investigación realizada fue descriptiva y analítica. El estudio permitió conocer cuáles son los valores actuales de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en muestras de aguas (crudas, sedimentadas y filtradas), provenientes de la planta de tratamiento Angostura, Ciudad Bolívar, Estado Bolívar, que forma parte del complejo hidráulico del Municipio Heres con una capacidad operativa del 20 %, bombeado mediante una red de distribución de agua a los sectores siguientes: Perú, La Sabanita y sector central Caja de Agua. La planta Angostura se encuentra ubicada en el sector Perro Seco, entre las coordenadas U.T.M.: Norte 900.000 Este:438.000, MINFRA [6]. La investigación se realizó en el lapso septiembre – noviembre de 2003.

El desarrollo del trabajo siguió las siguientes etapas:

- 3.1 Consulta bibliografía relacionada con el tema en diferentes revistas especializadas, información suministrada por CVG GOSH Sistema Bolívar y revisión y visitas a trabajos en Sitio Web.
- 3.2 Selección de puntos (sitios) para la captación de muestras de agua que se ubicaron entre la estación de bombeo balsa toma y mezcla rápida, correspondientes a la entrada de agua cruda a la planta de tratamiento y el punto salida de los filtros (desinfección) agua tratada.
- 3.3 El muestreo estuvo conformado por frascos de vidrio esterilizados, de 500 ml. de capacidad. Las muestras recogidas llenaron _ partes de su capacidad (375 ml). Los puntos de toma de muestras estuvieron conformados por grifos, en los cuales se dejó fluir el agua 5 minutos para apreciación de su calidad con tendencia homogénea.
- 3.4 Toma y transporte de las muestras de aguas. Se tomaron un total de 54 muestras que fueron transportadas al laboratorio del Centro de Geociencias de la Escuela de Ciencias de la Tierra, Núcleo Bolívar, UDO, para su determinación fisicoquímica y bacteriológica. En el procedimiento analítico se consideró el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y la entrega al laboratorio de control, pues se especifica un tiempo máximo de 6 horas para las aguas crudas o sin tratar y de 12 horas para las aguas tratadas. Las muestras de agua que sobrepasaron este límite de tiempo no fueron evaluadas.
- 3.5 Determinación fisicoquímica y de parámetros biológicos de muestras de aguas realizados de acuerdo a Standard

Methods for the Examination of Water and Wastewater [7], ver Tabla I.

Tabla I. Métodos estándar de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos para muestras de aguas.

Parámetros	Métodos
Temperatura (Grados Celsius)	Termómetro (en sitio)
Sólidos disueltos totales (mg/l)	Gravimétrico
pH (unidades)	Electrométrico (en sitio)
Dióxido de carbono (mg/l)	Titulación
Alcalinidad (mg/l como CaCO ₃)	Potenciómetro
Calcio (mg/l como CaCO ₃)	EDTA
Magnesio (mg/l como CaCO ₃)	Análítico complexométrico
Cloruro (mg/l)	Nitrato mercuríco
Sulfato (mg/l)	Turbidimétrico
Nitrato (mg/l)	Electrodo de nitrato
Oxígeno disuelto (mg/l)	Winkler (en sitio)
Número de coliformes totales (NMP/100 ml)	Fermentación en tubos múltiples.

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [7].

- 3.6 Análisis de los resultados: Se presentan histogramas de frecuencias obtenidos de acuerdo al análisis de los resultados promedio de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua cruda y tratada, en las etapas de Tratamiento de la Planta Angostura en Ciudad Bolívar del Estado Bolívar. Se procedió a elaborar histogramas de frecuencia para aquellos parámetros físicos o químicos que no se encontraron en los límites máximos o mínimos permitidos por las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. [8].
- 3.7 En las plantas de tratamiento de agua se presentan procesos de corrosión e incrustación En el presente trabajo se procedió a tomar fotografías de espécimen (metálico y/o rígido), degradado, con mayor tendencia corrosiva en la sección correspondiente a la etapa de mezclado rápido de reactivos químicos con acción oxidante.
- 3.8 Resultados y discusión de la información. Esta etapa consistió en organizar los resultados con la finalidad de analizarlos e interpretarlos mediante tablas, imágenes fotográficas y su representación gráfica mediante histogramas de frecuencia, donde se indica marca de clase como el punto medio de intervalo de clase representativo de ella y la clase que corresponde a la agrupación y ordenamiento de los datos.

4. Resultados

En la Tabla II, se presentan los resultados promedio obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos estudiados en 18 muestras de agua cruda provenientes del río Orinoco, 18 muestras de agua sedimentada y 18 muestras de agua filtrada de la planta de potabilización Angostura, Ciudad Bolívar, Estado Bolívar.

Tabla II. Resultados promedio de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua cruda y tratada en las etapas de Tratamiento de la Planta Angostura Ciudad Bolívar Estado Bolívar.

Parámetros fisicoquímicos y bacteriológico	Toma de muestras de aguas		
	Cruda	Sedimentada	Filtrada
Temperatura (°C)	26,83	26,83	26,83
Sólidos disueltos (mg/l)	352,33	42,50	19,00
pH (unidades)	6,78	4,93	4,97
CO ₂ (mg/l)	4,00	13,33	12,33
Alcalinidad (mg/l como CaCO ₃)	8,00	4,66	4,33
Dureza (mg/l)	10,00	10,33	10,00
Calcio (mg/l como CaCO ₃)	2,16	2,26	2,31
Magnesio (mg/l)	0,78	0,69	0,71
Cloruros (mg/l)	12,30	19,00	19,00
Sulfatos (mg/l)	55,16	36,16	19,83
Nitrato (mg/l)	0,24	0,03	0,00
Aluminio (mg/l)	0,005	0,720	0,215
Oxígeno disuelto (mg/l)	4,78	5,47	5,07
Coliformes totales (NMP/100 ml)	3,33	0,50	0,00

En las Figuras 1 y 2 se tienen los histogramas de frecuencias para valores de pH y de aluminio para las muestras de aguas cruda, sedimentada y filtrada captadas en planta Angostura, Ciudad Bolívar, Estado Bolívar.

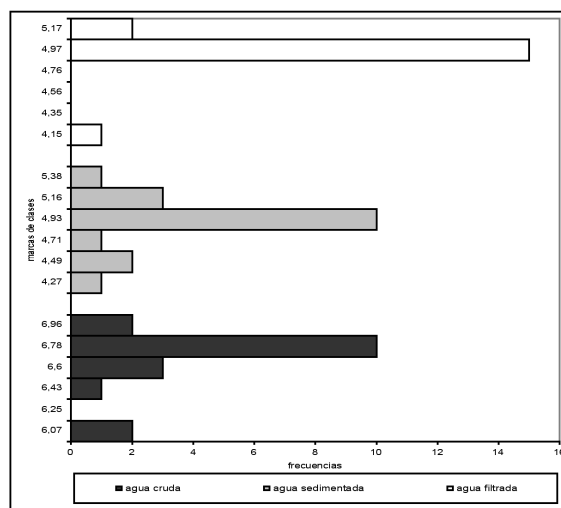


Figura 1. Histogramas de frecuencias de pH (unidades), en agua cruda, sedimentada y filtrada planta Angostura, Ciudad Bolívar, Estado Bolívar.

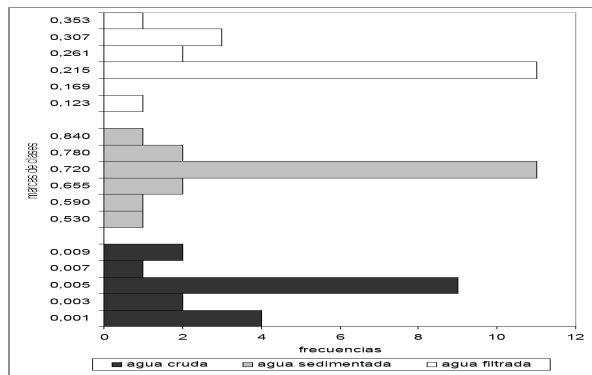


Figura 2. Histogramas de frecuencias de Aluminio (mg/l), en agua cruda, sedimentada y filtrada planta Angostura, Ciudad Bolívar, Estado Bolívar.

En la Figura 3. Se muestra una vista parcial de la sección donde se realiza el mezclado de reactivos (sulfato de aluminio, cal hidratada), usados en el tratamiento primario (coagulación y mezclado) en la planta de tratamiento Angostura, Ciudad Bolívar, pudiéndose observar la corrosión del material metálico de la tanquilla.



Figura 3. Vista parcial de tanquilla de mezcla rápida corroída, observada en la planta Angostura Ciudad Bolívar, Estado Bolívar.

5. Discusión de Resultados

Los valores promedio de temperatura para las muestras de aguas estudiadas se ubica alrededor de 26,83 °C. De igual manera, se presentan los resultados promedio 352,33 mg/l, 42,5 mg/l, y 19 mg/l de sólidos disueltos, para muestras de aguas en las tres condiciones referidas que se encuentran por debajo de 600 mg/l deseables aceptados por las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable [8], valores que posteriormente con el proceso de tratamiento se reducen hasta 19 mg/l de sólidos disueltos. Comparativamente, estos últimos son similares a los valores de sólidos disueltos reportados por García et al, [3]. El pH 6,78 del agua cruda se encuentra cercano al valor de pH 6,5 deseable para la calidad de agua, por el contrario los valores de pH 4,93 y 4,97 para aguas sedimentadas y filtradas, están fuera de lo establecido [8]. Según García et al, [3] obtienen pH 4,07 y 4,99 para muestras de aguas en la red de distribución en los sectores Medina Angarita, Negro Primero y Paseo Gaspari en Ciudad Bolívar, Estado Bolívar.

Los valores promedio (4; 13,33 y 12,33) mg/l para CO₂ en muestras de aguas crudas, sedimentadas y filtradas, mostrados en la Tabla II, posiblemente pueden relacionarse con la adición de cal durante el proceso de mezcla rápida (tratamiento primario) [9]. Cuando se presenta un desequilibrio en la relación de carbonato de calcio y CO₂ libre, hace que este último actúe como corrosivo.

La alcalinidad juega un papel primordial en la práctica de la aeración para eliminar el dióxido de carbono en el tratamiento de agua para calderas, otros usos industriales y en el control de crecimiento de algas. En la Tabla II, los resultados promedio (8; 4,66 y 4,33) mg/l como CaCO₃ de alcalinidad para muestras de aguas cruda, sedimentada y filtrada, están en concordancia con los resultados de alcalinidad [3] y se encuentran por debajo de los valores deseables (250 mg/l como CaCO₃) [8]. La dureza total 10 mg/l presente en agua cruda, sedimentada y filtrada, es similar al valor de 10 mg/l de dureza total [3], valores que están por debajo de 250 mg/l de dureza total de acuerdo a la Norma de Calidad de Agua Potable [8].

Calcio y Mg son los principales componentes de la dureza en el agua y generalmente se les encuentra en el rango de 5 – 500 mg/l, como CaCO₃, y 2 - 200mg/l como Ca. En la Tabla II se reportan (2,16; 2,26 y 2,31) mg/l como CaCO₃ de calcio para las muestras de aguas analizadas cruda, sedimentada y filtrada respectivamente que son valores mayores al compararlos con (0,96; 0,76; 0,40; 0,08) mg/l como CaCO₃ [3]. Sin embargo, dichos valores están muy por debajo de 75 mg/l como CaCO₃ según la norma vigente establecida [8].

La dureza de magnesio de un agua es, por lo general, aproximadamente una tercera parte de la dureza total, siendo las dos terceras partes restantes dureza de calcio. El magnesio varía en forma típica entre (10 – 50) mg/l aproximadamente (40 – 200) mg/l como CaCO₃. En las muestras de agua cruda, sedimentada y filtrada estudiadas, se obtuvieron (0,78; 0,69; y 0,71) mg/l de Mg. Comparativamente son similares a los valores de Mg reportados por García et al, [3], valores que son menores a 30 mg/l de Mg para la condición deseable, de acuerdo a las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable del Ministerio de Sanidad y Desarrollo Social.

Algo parecido a lo anterior se reporta en muestras de aguas sedimentadas y filtradas con 19 mg/l del ión cloruro (Cl⁻) y 12,30 mg/l del ión cloruro en agua cruda, valores que están por debajo de 250 mg/l de cloruro según las Normas de Calidad de Agua Potable [8].

Se practica el análisis del contenido de sulfato en el agua con el objeto de conocer su concentración debido a sus efectos fisiológicos catárticos en las personas y otros inconvenientes [9]. En la Tabla II se reportan (56,16; 36,16 y 19,83) mg/l de sulfato para muestras de agua cruda, sedimentada y filtrada. Significativamente estos valores encontrados están por debajo de 250 mg/l de sulfato de acuerdo a la Norma Vigente. De igual manera, se reportan valores promedio (0,24; 0,03; y 0,0) mg/l para el ión nitrato, en las muestras de aguas analizadas, que están por debajo del valor máximo de 45 mg/l de nitrato según el artículo 14, Gaceta Oficial N° 36.395 [8]. Debido a la solubilidad baja del aluminio en el agua, este elemento por lo general no es un problema en aguas municipales o industriales. Por ello cuando el aluminio se localiza en los sistemas de aguas tratadas, se le asocia a residuos coloidales del tipo alúmina (Al₂O₃) por el empleo de alumbre o aluminato como coagulante. Los valores promedio (0,005; 0,720; y 0,215) mg/l de aluminio, ver Figura 2, obtenidos para las muestras de agua cruda, sedimentada y filtrada, aunque representan pequeñas cantidades de trazas de aluminio, pueden interpretarse como una deficiencia en el proceso filtrante que podría ser mejorado para que se ajuste al valor máximo aceptable de 0,2 mg/l de aluminio, de acuerdo a Gaceta Oficial N° 36.395 [8].

El Oxígeno disuelto (OD), puede deberse a aguas naturales que

reciben desechos, filtros biológicos, sistemas de aireación con fines de purificación, laguna de oxidación e interviene en la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_{5,20}) y como factor significante en los problemas de corrosión por aguas. En el presente trabajo, se reportan los valores promedios (4,78; 5,47 y 5,07) mg/l para oxígeno disuelto en las muestras de agua cruda, sedimentada y filtrada que posiblemente pueda atribuirse a diversos factores como: ligeros diferenciales de incremento de temperatura, presión atmosférica, velocidad de oxidación biológica y baja solubilidad del oxígeno en las aguas [11].

Para el parámetro bacteriológico, se reportan (3,33 y 0,50) de coliformes totales (NMP/100 ml), para la muestra de agua cruda proveniente del río Orinoco y de agua sedimentada de la planta Angostura respectivamente. En las muestras de aguas filtradas provenientes de la red de distribución no se detectó la presencia de coliformes totales (NMP/100 ml).

Los valores mostrados en la Figura 1, histograma de frecuencias de pH en muestras de agua cruda, sedimentada y filtrada de la planta Angostura, Ciudad Bolívar, respectivamente, permiten conocer las diferencias de pH entre las distintas marcas de clases para agua cruda, con un máximo de 6,78 unidades y una frecuencia de 10. En la etapa de tratamiento, el agua sedimentada presenta una marca de clase de pH 4,93 unidades, para la mayor frecuencia y para la etapa filtración se señala una marca de clase de pH 4,97 unidades con la mayor frecuencia de 15. Estas variaciones de pH señaladas desde el momento de entrada y salida de planta pueden explicarse teóricamente por el excedente de coagulante agregado (sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃), usado en aguas crudas de alta turbidez > a 5 NTU y baja alcalinidad > a 50 mg/l de HCO₃ [2]. Posiblemente en la práctica caso planta Angostura se están presentando aguas crudas de alta turbidez > a 5 NTU y baja alcalinidad < a 50 mg/l de HCO₃, y por lo tanto para que las aguas crudas alcancen un valor óptimo, además de la adición de cal requieren de un polielectrolito esencial [2].

En el histograma de frecuencias Figura 2, se muestran los valores para Aluminio (mg/l) en agua cruda, sedimentada y filtrada respectivamente, en planta Angostura, Ciudad Bolívar. Para las muestras de agua cruda se presenta el valor 0,005 mg/l de aluminio con una mayor frecuencia de 9, para la muestras de aguas sedimentada hay un aumento hasta 0,720 mg/l de aluminio con una frecuencia de 15, que disminuye a 0,215 mg/l de aluminio con la misma frecuencia para muestras de agua filtrada. Se pueden interpretar estos valores relacionándolos con el proceso de tratamiento del agua cuando se hace la adición de sulfato de aluminio en el proceso de coagulación, por lo que el valor detectado 0,215 mg/l de aluminio a la salida de planta representa un aumento de 2,32% con respecto al valor promedio detectado en las muestras de agua cruda de entrada a planta Angostura, por lo que todo ello está relacionado con los valores de pH del agua, la carga eléctrica que presenta el elemento como Al⁺³, formas hidroxílicas y la forma del residuo coloidal de la coagulación [11].

El sulfato de aluminio es corrosivo en sí mismo. Durante el tratamiento del agua hay factores que influyen en el proceso de corrosión de los especímenes metálicos y rígidos y en el caso de la planta Angostura se está presentando corrosión de acuerdo a lo observado en la fotografía de la Figura 3, en la que se aprecia un mezclador rápido y la adición de coagulante (sulfato de aluminio) que puede dar lugar a las siguientes reacciones [2] que intervienen en los procesos de óxido reducción.

$$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{Ca}(\text{SO}_4) + 14\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2$$

Alúmina + hidróxido de calcio → hidróxido de aluminio + sulfato cálcico

III. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos para: sólidos disueltos, CO₂, alcalinidad, dureza, calcio, magnesio, cloruro, sulfato, nitrato y oxígeno disuelto se encuentran en el rango de los valores permisibles de acuerdo a la Normas de Calidad de Agua Potable.
2. Las muestras de aguas sedimentadas y filtradas, presentan valores de pH con tendencia ácida y concentraciones mg/l del ión aluminio, ligeramente incrementados por encima del valor de referencia a lo establecido en la Normas de Calidad de Agua Potable.
3. Los valores de mg/l de aluminio registrados en el histograma corresponden a formas remanentes no tratadas debidamente en el proceso de coagulación y sedimentación.
4. El sistema de dosificación de coagulante y el mecanismo de mezclado rápido y lento operan inadecuadamente, dando lugar a inestabilidades químicas con tendencias de corrosión en especímenes metálicos y rígidos en los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración.
5. El descenso de carga bacteriana de coliformes fecales en muestras de aguas sedimentadas y la ausencia del índice coliforme en muestras de aguas filtradas establece que el sistema de tratamiento potabiliza el agua a escala aceptable.

IV. REFERENCIAS

1. Craig, F. and P. Craig. Britain's Poisoned Water, Harmondsworth, Penguin Books, 1989, pp. 25 – 37.
2. Kiely, G. Ingeniería Ambiental, Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión, Madrid, Mc Graw Hill/Interamericana de España, 1999., pp. 593 – 666.
3. García, A; Mora, V; Abud, J. Diagnóstico de la Calidad del Agua Potable de Ciudad Bolívar, SABER, V Congreso Científico Universidad de Oriente, Pérez, A, Medina, J, Ciudad Bolívar, Estado Bolívar, Venezuela, Octubre 2004., p. 82.
4. Herro, H. y Port, R. Guía Nalco para Análisis de Fallas en los Sistemas de Enfriamiento por Agua. Ciudad de México, Mc Graw Hill/Interamericana de México, 1995., pp. 159 – 183.
5. Balestrini, A. El Proyecto de Investigación, Caracas, BL Consultores Asociados, 2001., p.27.
6. MINFRA. Levantamiento aerofotogramétrico Ciudad Bolívar – Soledad, Esc.1:25000 Vuelo, Caracas, Venezuela, Ministerio de Infraestructura, 2000.
7. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19 th Edition, Washington, APHA, AWWA, WPCF, 1995, pp. 115 – 267.
8. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, Gaceta Oficial N° 36.395, Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable, Capítulo III, Artículo 14, Caracas, Venezuela, 1998.
9. Trillos, C. y Marciales, L. Análisis de Aguas y Líquidos Residuales y Ensayos de Laboratorio, Caracas, Facultad de Ingeniería UCV, 1998., 158 pp.
10. Reynolds, T. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Boston, PWS - Kent Publishing, Company, 1982., pp. 42 – 81.
11. Kemmer, F. y McCallion, J. Manual de Agua Nalco, 1erTomo, Ciudad de México, Mc Graw –Hill /Interamericana de México, 1998., pp. 6-13.