

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y PARÁMETROS DE CALIDAD DEL
AGUA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTOS DE AGUA POTABLE DE
BARRANCABERMEJA**

MANUEL ONOFRE OJEDA CUADROS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y PARÁMETROS DE CALIDAD DEL
AGUA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTOS DE AGUA POTABLE DE
BARRANCABERMEJA**

MANUEL ONOFRE OJEDA CUADROS

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Químico

Director:

JOSÉ ANDRÉS PÉREZ MENDOZA

Ingeniero Químico

Tutor (a):

ANDREA MARCELA PINTO

COORDINADORA LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2012

DEDICATORIAS

A Dios por toda la sabiduría y la fortaleza en los momentos difíciles, de tristeza y soledad...A él le dedico este gran logro.

A mis padres, en especial a mi madre por su apoyo, esfuerzo, consejos, y compromiso durante toda mi carrera universitaria.

A mi hermana, por recibirme y brindarme el calor de hogar en los momentos de adaptación en la ciudad.

A mis sobrinos por las alegrías que me brindaban en los momentos tristes y melancólicos.

A mi abuelita que en paz descansa, porque quería ver a su nieto graduado como profesional.

A mis profesores por todas sus enseñanzas.

A mis amigos, compañeros, conocidos, porque a través de parciales, trabajos, trasnochos, y alegrías aprendí una lección de cada uno de ellos.

Manuel Onofre Ojeda Cuadros

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Aguas de Barrancabermeja S.A.E.S.P por brindarme la oportunidad de trabajar mi tesis de grado como modalidad práctica empresarial.

A la Gerente Rosalía Solórzano, que gracias a ella pude realizar mi práctica empresarial en el laboratorio fisicoquímico en el área de control de calidad.

A la Analista Química Yurany Estella Flórez y a la Microbióloga y tutora Andrea Marcela Pinto, por todas las enseñanzas y orientaciones durante la realización de la práctica.

A los operadores de planta, Yenised Ahumada, Jasmet Moya, por compartir momentos agradables dentro y fuera de la empresa.

Al profesor José Andrés Pérez Mendoza, por atender todas las inquietudes y lograr a encaminarme a ser un buen profesional para la vida.

A todas y cada una de las personas que hicieron parte de mi formación durante la carrera universitaria.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	15
1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	16
1.1 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA.....	16
1.1.1 COLOR.....	16
1.1.2 SABOR.....	17
1.1.3 OLOR.....	17
1.1.4 TURBIEDAD.....	17
1.1.5 pH.....	17
1.1.6 CONDUCTIVIDAD.....	18
1.1.7 TEMPERATURA.....	18
1.1.8 DUREZA TOTAL.....	18
1.1.9 CLORUROS.....	18
1.1.10 NITRITOS.....	18
1.1.11SULFATOS.....	19
1.1.12 ALCALINIDAD.....	19
1.1.13 ALUMINIO.....	19
1.1.14 HIERRO.....	19
1.1.15 CLORO RESIDUAL.....	19
1.2 NORMATIVIDAD.....	20
1.2.1 LINEAMIENTOS PARA CALIDAD DE AGUA.....	20

2. METODOLOGÍA.....	21
2.1 METODOLOGÍA DE PROCESO.....	21
2.1.1 EQUIPOS.....	21
2.1.2 CALIBRACIÓN DE EQUIPOS.....	22
2.2 ANÁLISIS FISCOQUÍMICAS DE MUESTRAS.....	23
2.2.1 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS A MUESTRAS PUNTUALES EN LA PTAP.....	23
2.2.2 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS-MICROBIOLÓGICOS EN RED DE DISTRIBUCIÓN.....	24
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	24
3.1 MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS.....	24
3.2 MEDICIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS.....	29
CONCLUSIONES.....	35
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características del agua.....	16
Tabla 2. Resultado de promedios mensuales y desviación en Red de Distribución 3.....	25
Tabla 3. Resultado de promedios mensuales y desviación en PTAP.....	30

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología para la caracterización de aguas.....	21

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfica 1. Turbiedad. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	25
Gráfica 2. Color. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	26
Gráfica 3. pH. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	27
Gráfica 4. Temperatura. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	27
Gráfica 5. Cloro Residual. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	28
Gráfica 6. Conductividad. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	29
Gráfica 7. Aluminio. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	30
Gráfica 8. Hierro. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	31
Gráfica 9. Dureza Total. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	32
Gráfica 10. Dureza Cálcica. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	32
Gráfica 11. Cloruros. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	33
Gráfica 12. Sulfatos. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	33
Gráfica 13. Alcalinidad. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	34
Gráfica 14. Nitritos. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.....	34

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Lineamientos para calidad de Agua potable.....	40
Anexo B. Lista equipos de laboratorio.....	43
Anexo C. Procedimiento y recolección de muestras en la PTAP y ciudad.....	44
Anexo D. Gráficos de color y turbiedad a la entrada de la PTAP.....	51

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTOS DE AGUA POTABLE DE BARRANCABERMEJA.*

AUTOR: MANUEL ONOFRE OJEDA CUADROS.**

PALABRAS CLAVES: Características fisicoquímicas, Parámetros, Análisis, Turbiedad, Color, pH, Dureza, Cloro, Aluminio, Control Estadístico.

DESCRIPCIÓN:

AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A.E.S.P, como parte de su misión, establece brindar un servicio eficiente y seguro de agua potable para el consumo humano. Para ello, y con el propósito de cumplir con la normatividad actual colombiana, la empresa implementa un sistema para el análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua distribuida, que le permita determinar las acciones a prevenir o corregir con el fin de cumplir con los criterios de calidad establecidos.

Para tales fines se comienza con una descripción de las principales características del agua, calibración de equipos y análisis fisicoquímicos de muestras de agua recolectadas en la planta de tratamientos de agua potable en el municipio de Barrancabermeja, y en diferentes puntos de la ciudad establecidos por la empresa y los entes de control de vigilancia, que establecen los lineamientos del agua potable en Colombia.

Este trabajo de grado muestra los procedimientos para el análisis de muestras de agua potable basadas en estándares internacionales. También se hace un seguimiento a aquellos parámetros que se encuentren por fuera de los límites reportándolos al personal operativo para luego iniciar con su respectiva acción correctiva.

Se presentan los procedimientos, métodos, resultados, y equipos utilizados, que validan la calidad del agua suministrada, así como las conclusiones y recomendaciones para lograr una mejora en el proceso.

* Práctica Empresarial

** Facultad de Fisicoquímica. Escuela De Ingeniería Química. Director: Ing. José Andrés Pérez Mendoza, Tutor: Mic. Andrea Marcela Pinto.

ABSTRACT

TITLE: CHARACTERIZATION PHYSICOCHEMICAL AND QUALITY PARAMETERS OF WATER OF TREATMENT PLANT DRINKING WATER OF BARRANCABERMEJA.*

AUTHOR: MANUEL ONOFRE OJEDA CUADROS.**

KEY WORDS: Physicochemical characteristics, Parameters, Analysis, Turbidity, Color, pH, Hardness, Chlorine, Aluminum, Statistical control.

DESCRIPTION:

BARRANCABERMEJA OF WATER S.A.E.S.P, as part of mission, sets offer an efficient service and safe drinking of water for human consumption. For this, and in order of to comply with the current regulations in Colombia, the company implements a system for the analysis of physicochemical and microbiological characteristics of the water distributed, enabling him to identify the actions to prevent or correct in order of to comply with the established quality criteria.

To this end we start with a description of the main characteristics of the water, equipment calibration and physicochemical analysis of water samples collected on the plant drinking water treatment in the municipality of Barrancabermeja, and in different parts of the city established by the company and the firm control monitoring control, which provide drinking water guidelines in Colombia.

This degree work shows the procedures for analysis of drinking water samples based on international standards. It also keeps track of those parameters that are outside the limits operational staff reporting them and then start with the respective corrective action.

Here present in the project the procedures, methods, results and equipment used to validate the quality of water supplied, and the conclusions and recommendations to achieve an improvement in the process.

* Business Practice.

** Physical- Chemistry Engineering Faculty, Chemical School, Director: Eng. José Andrés Pérez Mendoza. Tutor: Mic. Andrea Marcela Pinto.

INTRODUCCIÓN

El agua es el fluido más valioso en el mundo, sin embargo el manejo de este recurso tan importante en nuestras vidas no ha sido el mejor. Por esta razón es necesario controlar la calidad de agua que es suministrada a determinada población, con la finalidad de garantizarle propiedades adecuadas aptas para el consumo humano.

Este trabajo de grado analiza la calidad y propiedades optimas del agua potable en la ciudad de Barrancabermeja. Se hace un monitoreo previo al agua en distintos puntos dentro de la planta y en red de distribución; luego se procede a una revisión teórica de los parámetros a medir en el laboratorio, se presenta los resultados obtenidos de los diferentes análisis como turbiedad, color, pH, conductividad, dureza entre otros. También se detallan las diferentes actividades desarrolladas en la práctica; como calibración de equipos utilizados.

Este proyecto es el resultado de los análisis fisicoquímicos de diversas muestras de agua, realizados durante la práctica empresarial llevada a cabo en la planta de tratamiento de agua potable en el municipio de Barrancabermeja.

Después de un arduo trabajo, los resultados alcanzados son comparados con los valores permitidos para el agua potable establecidos por el decreto 1575 del 2007 y resolución 2115 del 2007 expuestos por el ministerio de protección social de la república de Colombia, para luego manifestar sus fortalezas y los puntos de mejora sobre las características del agua que es distribuida a la comunidad barranqueña.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA [1][2][3][4]

Las características del agua se pueden clasificar como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 1. Características del agua.

Físicas	Químicas	Bacteriológicas
Turbiedad, Olor, Color, Sabor, Conductividad, Temperatura y Sólidos.	Dureza, Alcalinidad, pH, Sulfatos, Nitritos, Nitratos, Acidez, Fosfatos, Cloruro, Amoníaco, Oxígeno disuelto, Cloro, Hg, Mg, Ca, Al, Fe, Mn, Pb, Zn, Cr, Cu, B, Cd, As, Ba, COT, etc.	Coliformes, fecales, Coliformes totales, Mesofilos, Bacterias, etc.

Dado que es necesario conocer el significado y el origen de las características del agua, a continuación se presenta algunas definiciones y sus posibles causas. Estas son el eje central de este trabajo, de las cuáles se presentarán las características fisicoquímicas analizadas en el laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Barrancabermeja.

1.1.1 Color. La presencia de sustancias orgánicas, iones metálicos como hierro y magnesio, plancton y hierba, pueden ser el resultado de aparición de color en el agua. [1, 2, 3, 4]

Se pueden definir dos clases de color:

- Color verdadero: Es el color del agua cuando la turbidez de esta se ha eliminado. Para eliminar la turbidez se recomienda la centrifugación.
- Color aparente: Incluye no solo el color de la solución sino el de la materia suspendida.

Hay dos métodos que se han establecidos para la determinación del color, el método por comparación visual que es aplicable a todas las muestras de agua potable (a excepción de las aguas industriales que usan el método instrumental), y el método espectrofotométrico que permite calcular un único valor representativo de la muestra.

1.1.2 Sabor. Se define como sensaciones gustativas de tipo amargo, salado, ácido o dulce, que resulta de la estimulación química de los sensores nerviosos situados en la lengua que se conocen como papilas gustativas. Las muestras de agua dentro de la boca, para análisis sensorial de la lengua siempre producen un sabor a través del gusto, olor o sensación en la boca que puede ser predominante dependiendo de las sustancias químicas que estén presentes. [1, 2, 3, 4]

1.1.3 Olor. El olor como, el gusto, depende del contacto de una sustancia estimulante de naturaleza química, por ello se suele decir que el olfato y el gusto son “sentidos químicos”. El olor se da conocer como un factor de calidad que afecta a la aceptabilidad del agua potable para el consumo humano. [1, 2, 3, 4]

1.1.4 Turbiedad. La turbiedad es una expresión de las propiedades ópticas que causa la luz al ser dispersada y absorbida, en lugar de la transmitida sin cambios en la dirección o nivel de flujo a través de la muestra. La turbiedad del agua es producido por materias en suspensión, como arcilla o materias orgánicas e inorgánicas. [1, 2, 3, 4]

1.1.5 pH. La medida de pH es una de las más importantes y frecuentes pruebas usadas en el agua. El pH es utilizado en medidas de alcalinidad, dióxido de carbono y muchos otros equilibrios ácido-base. [1, 2, 3, 4]

1.1.6 Conductividad. Es una medida de la capacidad de transportar una corriente eléctrica en una solución acuosa, varía con el tipo y la cantidad de iones que contenga y depende de la temperatura. [1, 2, 3, 4]

1.1.7 Temperatura. Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, ya que influye en el retardo o aceleración de alguna actividad biológica, en la precipitación de compuestos, en la desinfección, en la floculación, sedimentación y filtración. [1, 2, 3, 4]

1.1.8 Dureza total. La dureza total es definida como la suma de sus concentraciones de calcio y magnesio en una muestra de agua, expresada en unidades de mg/l de CaCO_3 . Tiene dos tipos de dureza, dureza temporal y permanente. La dureza temporal contiene carbonatos, bicarbonatos de calcio y magnesio mientras que la dureza permanente solo contiene sales de calcio y magnesio. [1, 2, 3, 4]

1.1.9 Cloruros. El ión cloruro (Cl^{-1}) es uno de los iones inorgánicos que más se encuentra en mayor cantidad en aguas. En agua potable, el sabor salado producido por la concentración de cloruros es variable. Un elevado contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de las plantas. [1, 2, 3, 4]

1.1.10 Nitritos. El nitrito (NO_2^-) aparece como un estado intermedio de la oxidación de descomposición biológica de compuestos que contienen nitrógeno orgánico. El nitrito es producido por la oxidación del (N_2), mientras el nitrato se produce por medio de oxidación de (NH_3). La presencia de nitritos afecta la potabilidad del agua, debido a que su presencia indica una contaminación y existencia de microorganismos patógenos. [1, 2, 3, 4]

1.1.11 Sulfatos. El ión sulfato (SO_4^{-2}) es uno de los compuestos que se presentan en mayor cantidad en aguas naturales. La determinación de sulfato es importante porque se han reportado casos que cuando el ión está presente en exceso alrededor de los 250 mg/L en aguas potables, causan una acción laxante en el cuerpo (en especial en niños). [1, 2, 3, 4]

1.1.12 Alcalinidad. Se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos y representa la suma las bases que pueden ser titulables. Cuando su pH disminuye el carbonato se precipita, y cuando aumenta se disuelve. Es expresada en unidades de mg/L de CaCO_3 . [1, 2, 3, 4]

1.1.13 Aluminio. El aluminio es el tercer elemento en abundancia en la corteza terrestre, formando parte de minerales, rocas y arcillas. El aluminio soluble coloidal e insoluble puede encontrarse también en aguas tratadas o en aguas residuales, como residuo de la coagulación. [1, 2, 3, 4]

1.1.14 Hierro. En muestras de agua el hierro puede estar en forma de solución auténtica, en estado coloidal, o en partículas suspendidas relativamente gruesas. El hierro total es aquel que está presente tanto en suspensión como en solución en una muestra de agua. [1, 2, 3, 4]

1.1.15 Cloro residual. Se le denomina cloro residual a la sumatoria entre el cloro libre y el cloro combinado presentes en una muestra de agua después de cierto tiempo de reacción. El cloro es el mayor desinfectante de mayor uso por tres razones, es económico de fácil comercialización y tiene sobre el agua un efecto residual. El cloro libre reacciona fácilmente con el amoníaco y ciertos compuestos de nitrógeno, formando cloro combinado. Tanto el cloro libre como el combinado pueden estar presentes simultáneamente. La determinación del contenido de cloro residual, tanto libre como combinado, es de gran interés y debe hacerse diariamente en las aguas de distribución para el consumo humano. [1, 2, 3, 4]

1.2 NORMATIVIDAD

Este capítulo presenta la reglamentación general de los trámites requeridos de potabilización del agua, las características fisicoquímicas enfocadas al respectivo estudio y los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de calidad del agua para el consumo. [7-8]

1.2.1 Lineamientos para calidad de agua

Por medio de la cual se presentan los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras del servicio de acueducto señalan características, lugares y puntos de muestreo [7-8]. Los principales lineamientos son los siguientes:

- ❖ Características físicas con sus respectivos valores máximos aceptables para el consumo humano.
- ❖ Características químicas de sustancias con sus respectivos valores máximos aceptables, que tienen reconocido efecto adverso, consecuencias económicas e indirectas, e implicaciones sobre la salud humana.
- ❖ Localización de los puntos de muestreo en red de distribución.
- ❖ Números mínimos de puntos de muestreo en red de distribución.
- ❖ Identificación del punto de muestreo.
- ❖ Acta de concertación de puntos y lugares de muestreo.
- ❖ Recolección de muestras de vigilancia.

Los lineamientos mencionados se pueden observar con mayor claridad en Anexo A.

2. METODOLOGÍA

La metodología implementada para la caracterización de aguas se muestra en la figura 1. La cual comprende la recolección de muestras de aguas en la planta y la ciudad, el traslado al laboratorio para realizar sus análisis fisicoquímicos con sus respectivos resultados y reportes. [2, 3, 4][13, 14, 15,16]

Figura 1. Metodología para la caracterización de aguas.



FUENTE: EL AUTOR

2.1 METODOLOGÍA DE PROCESO

2.1.1 Equipos

Se usaron de forma permanente desde el inicio de vinculación hasta el final de la práctica. Las actividades realizadas se presentan a continuación. [2, 3, 4]

2.1.2 Calibración de equipos

La calibración y verificación de lecturas de los equipos de laboratorio se realizó diariamente. Los equipos a los cuales se les efectuó calibración y/o verificación de lecturas fueron los siguientes:

- ❖ **PH-metro HACH SENSION (PH31).** La calibración se realizó con tres soluciones patrón de pH, 7.00, 4.01, y 10.01. La verificación de lecturas se realizó sobre las mismas soluciones. [10]
- ❖ **Conductímetro ORION 3 STAR.** El conductímetro fue calibrado con una solución patrón de NaCl con un valor de conductividad de 1000 μ S/cm. La verificación de lecturas se realizó sobre el mismo patrón utilizado en la calibración. [12]
- ❖ **Turbidímetro HACH modelo 2100AN.** El turbidímetro se calibró con seis patrones de turbiedad, <0.1, 20, 200, 1000, 4000, 7500 NTU¹. La verificación de lecturas se realizó sobre los mismos patrones utilizados en la calibración. [9]
- ❖ **Espectrofotómetro HACH modelo DR 2800.** El espectrofotómetro es un equipo, que mide una gran variedad de parámetros como color, hierro, nitritos etc. [6]
- ❖ **Colorímetro II POCKET marca HACH.** Es aplicable para determinación de cloro residual y aluminio. El equipo viene calibrado en fábrica y no hay necesidad de ser calibrado por el usuario. [11]

Las imágenes de cada uno de los equipos utilizados en el laboratorio son mostrados en el Anexo B. Los procedimientos realizados para este propósito se

¹ Unidades nefelométricas de turbiedad (NTU).

pueden encontrar en los manuales de usuario con las especificaciones de cada equipo.

2.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICAS DE MUESTRAS

Se tomaron muestras en diferentes puntos dentro de la planta desde su entrada hasta su salida, también se realizó muestreo por fuera de la planta en varios puntos de la ciudad. Se llevó a cabo la caracterización de propiedades físicas, químicas y microbiológicas para obtener valores que después fueron sometidos y comparados con estándares de calidad regidos por las normas, decretos y leyes legales vigentes colombianas. Ver anexo C. [1, 2, 3, 4]

2.2.1 Recolección y análisis de parámetros fisicoquímicos a muestras puntuales tomadas PTAP

Los puntos, el procedimiento y la periodicidad de recolección de muestras son presentados en el anexo C.

Dentro de la planta se hace muestreo en seis localizaciones: Punto de agua cruda, agua cruda más cal, agua sedimentada, agua sedimentada más cal, agua filtrada, y por último agua tratada. A cada uno de estos puntos diariamente se le hacen análisis de olor, color, aluminio, turbiedad, hierro, pH, cloro residual, temperatura, y conductividad. [1, 2, 3, 4]

Los demás parámetros como dureza total, alcalinidad, cloruros, sulfatos, nitritos, se les realizan sus respectivos análisis de dos a tres veces a la semana. El cloro residual junto con el aluminio solo se mide en el punto denominado agua tratada; el hierro en el punto de agua cruda y tratada, y por último se analizaron parámetros de temperatura en los puntos agua cruda, cruda mas cal y tratada. [1, 2, 3, 4]

2.2.2 Recolección y análisis de parámetros fisicoquímicos-microbiológicos en red de distribución

Se procedió a la recolección de muestras para análisis fisicoquímicos y microbiológicos en algunas zonas de la ciudad. Los puntos, el procedimiento y la periodicidad de recolección de muestras son presentados en el anexo C. [1, 2, 3, 4]

Adicionalmente a la recolección de las muestras, en sitio se valoraron, aspecto, olor del agua y el cloro residual. [1, 2, 3, 4]

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de los análisis realizados en el laboratorio de la planta de tratamiento.

3.1 MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS

En las gráficas de la 1 a la 7 representan los resultados de la medición de los parámetros físicos para las muestras puntuales tomadas en la (PTAP), y también para las muestras de red de distribución. Los valores presentados son los promedios calculados para cada mes desde comienzos de septiembre de 2011 hasta finales de marzo del presente año.

En la gráfica 1, observamos que la turbiedad de salida no supera el límite actual de 2 NTU establecido por el decreto 1575 de 2007², pero sí superó el límite en uno de los puntos de la ciudad (Red de distribución 3) en el mes de diciembre con una media de $\mu = 2.4$ NTU y una desviación de $\sigma = 1.2$ NTU, considerándose un proceso que está fuera de control estadístico debido a que en este mes tiene una mayor variabilidad a diferencia que los demás meses como se muestra en la tabla 2. También podemos decir que una de las causas principales de la variabilidad de

² MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución Número 2115: Por medio de la cual señalan, características, instrumentos básicos, y frecuencia del control del sistema de vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá 2007.

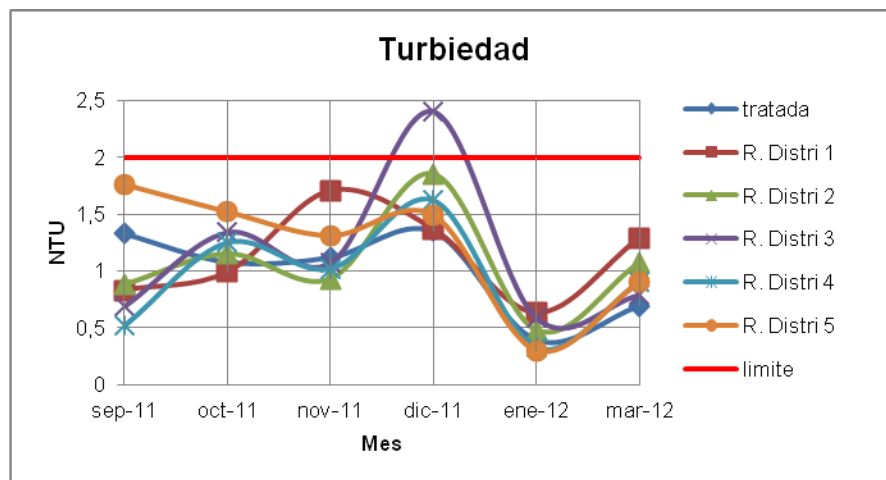
la turbiedad en el mes de diciembre es por las altas turbiedades de agua cruda a la entrada de la planta, todo ocasionado por la época de lluvias que atravesaba la región entre los meses de septiembre y diciembre que en los meses comprendidos entre enero y marzo. (Ver anexo D). Para lograr una estabilidad dentro del proceso se propone un mayor control de limpieza en las redes, para así disminuir la variabilidad de los datos y mantenerlos dentro de los límites. Por último las demás muestras analizadas están sobre el intervalo permitido, considerándose un control de proceso estadístico.

Tabla 2. Resultados de promedios mensuales y desviación en red de distribución 3.

Mes	μ [NTU]	σ [NTU]	Límite Decreto [NTU]
Septiembre	0.69	0.42	2
Octubre	1.34	0.76	2
Noviembre	1.07	0.37	2
Diciembre	2.4	1.2	2
Enero	0.85	0.59	2
Marzo	0.79	0.16	2

FUENTE: EL AUTOR

Gráfica 1. Turbiedad. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.

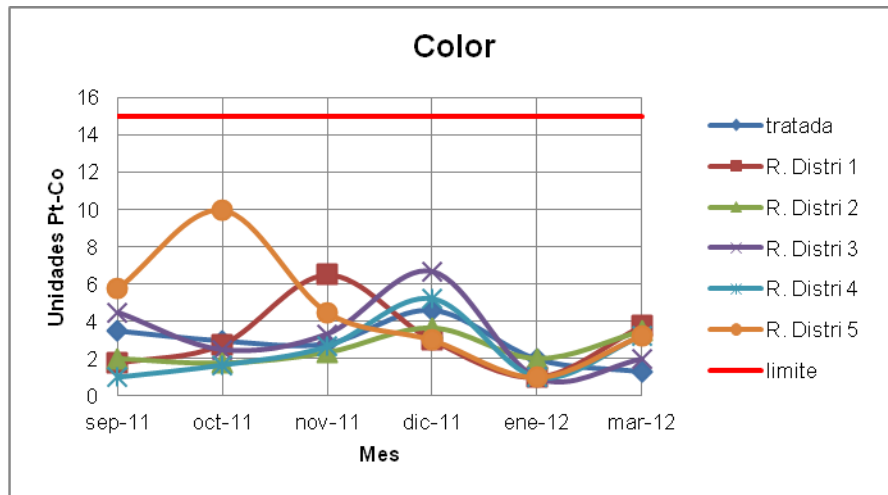


FUENTE: EL AUTOR

De la gráfica 2 presenta la misma tendencia de la gráfica 1, dada la relación que existe entre estos parámetros. A turbiedades altas, color aparente alto y a

turbiedades bajas, color aparente bajo (Ver anexo D). Para el color de salida y en red de distribución, se encuentran dentro del límite de 15 (pt-Co), considerándose un proceso que está en control estadístico.

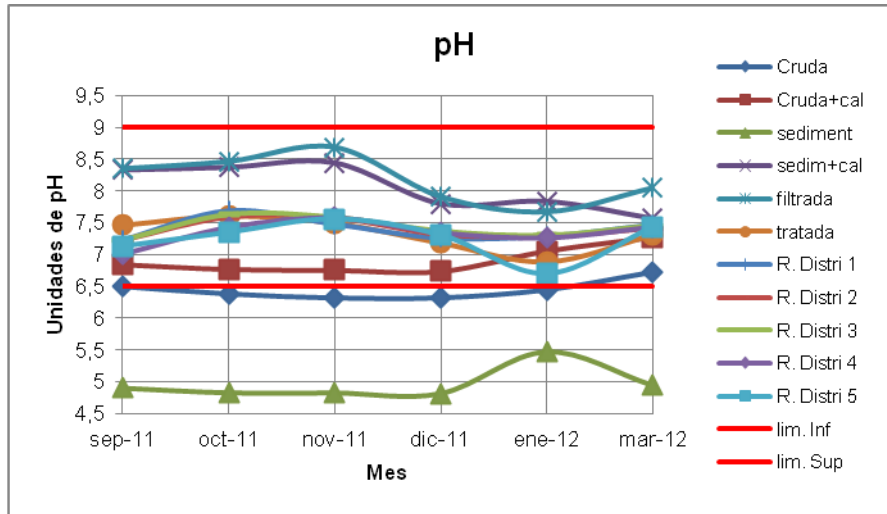
Gráfica 2. Color. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.



FUENTE: EL AUTOR

El valor de pH medido para los diferentes puntos de muestreo es presentado en la gráfica 3. De ésta se puede observar que las unidades de pH para el agua de salida de la planta en relación con los de redes de distribución son estables, y se encuentran sobre el intervalo establecido lo cual significa un proceso que está en control estadístico.

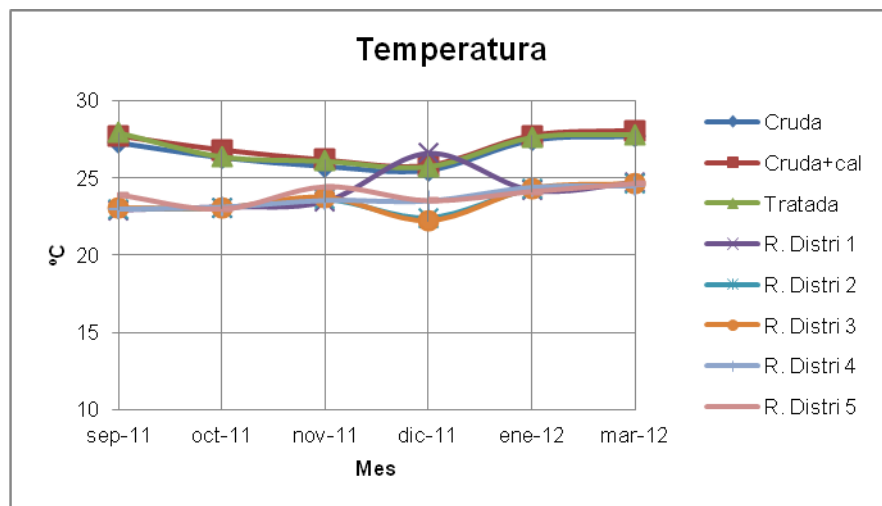
Gráfica 3. pH. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.



FUENTE: EL AUTOR

Los valores de temperatura son mostrados en la gráfica 4. La temperatura fluctúa de acuerdo con el clima, sin embargo permanece alrededor de unos 23°C a 28° como lo indica en la gráfica. Este parámetro no es aplicable para el decreto pero si es importante para el análisis de aguas tratadas, ya que puede influir en algunas ocasiones en el retardo o aceleración de alguna actividad biológica, en la precipitación compuestos, ó en la desinfección.

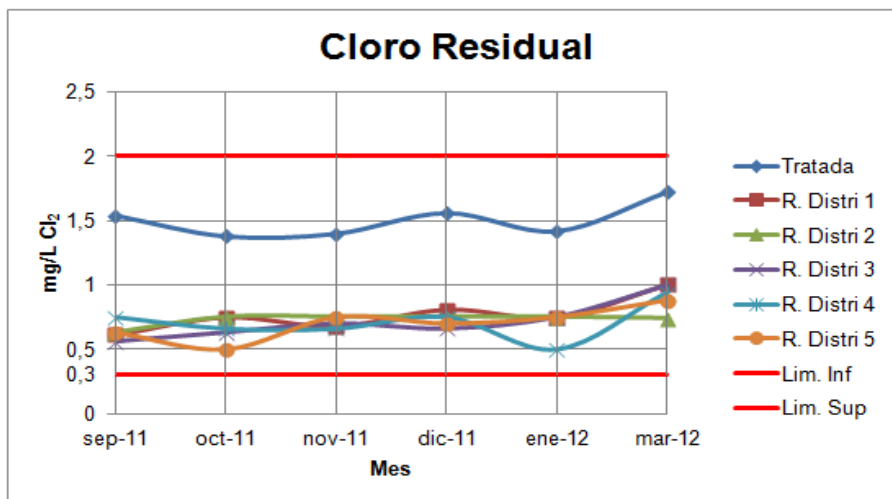
Gráfica 4. Temperatura. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.



FUENTE: EL AUTOR

El cloro residual es tal vez el parámetro más importante en el agua potable, dado que éste es el que ejerce la acción desinfectante, evitando gran cantidad de enfermedades en la población. Los valores de cloro residual medidos en las muestras tratadas y en redes de distribución se presentan en la gráfica 5. De esta se puede observar que el promedio mensual para cada uno de los puntos de muestreo se encuentran aproximadamente en el centro de los límites permitidos, lo cual se considera un proceso que está en control estadístico. También se puede apreciar que la concentración en el punto agua tratada es mayor que en redes de distribución, esto es debido a que el cloro libre tiende a reaccionar con una variedad de compuestos presentes en el agua, razón por la cual con el tiempo disminuye su concentración.

Gráfica 5. Cloro Residual. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.

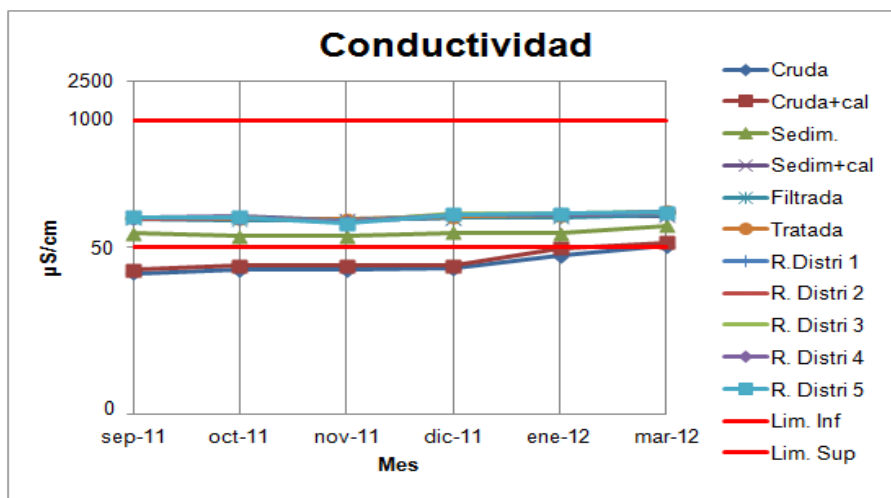


FUENTE: EL AUTOR

La conductividad es un parámetro importante en la determinación de la concentración iónica del agua y va asociada con la temperatura. En la gráfica 6 se presenta el valor de conductividad para las muestras analizadas. De esta grafica se puede ver que el valor medido de conductividad para todas las muestras analizadas se encuentran en el centro de los límites permitidos por el decreto, a excepción de la muestra de agua de entrada su conductividad está por debajo del

límite inferior indicando que no son buenos conductores. Se puede decir que se encuentra en un proceso que está en control estadístico.

Gráfica 6. Conductividad. Muestras puntuales (PTAP) y en redes de distribución.



FUENTE: EL AUTOR

3.2 MEDICIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS

A continuación se presentan los resultados de los parámetros químicos a algunas muestras puntuales de la PTAP y en red de distribución. Los resultados representan el promedio de todos los valores para cada mes desde septiembre de 2011 hasta marzo de 2012 y son plasmados en las gráficas 7 a 14.

La gráfica 7, el contenido de aluminio en los meses de septiembre ($\mu= 0.25$ mg/L, $\sigma= 0.09$ mg/L), octubre ($\mu= 0.22$ mg/L, $\sigma= 0.11$ mg/L) y marzo ($\mu= 0.23$ mg/L, $\sigma= 0.11$ mg/L) tiene una mayor variabilidad a diferencia que los otros meses como se muestra en la tabla 3, sobrepasando los límites del decreto de 0.2 mg/L en la (PTAP) considerándose el proceso fuera de control. Un factor determinante de la variabilidad de los resultados es el factor climático que comprendió en esos meses, sumándole las altas dosificaciones de sulfato de aluminio tipo B (65-ppm) que se manejaron debido a que entraban turbiedades y colores muy altos (Ver Anexo D). Para lograr una mejora con respecto a la variabilidad, se propone

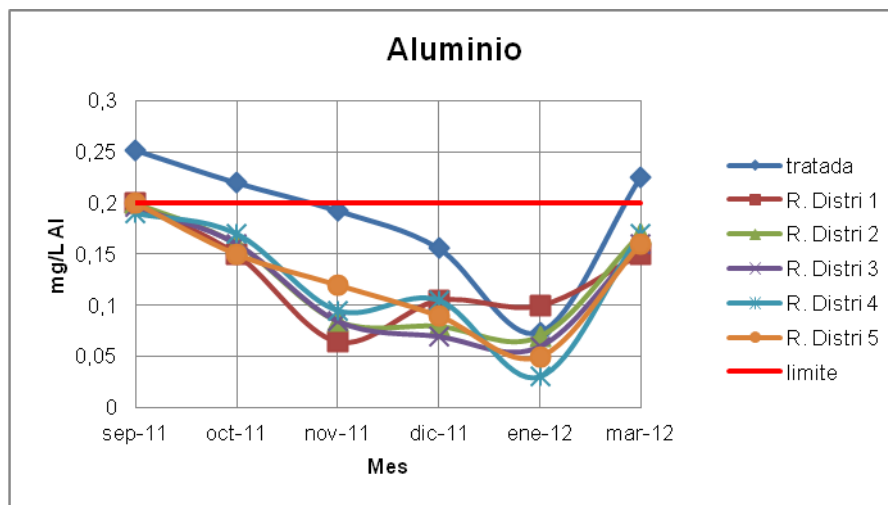
realizarle constantemente lavados a los filtros para evitar saturaciones y disminuir la variación de aluminio residual dentro de la PTAP, también seguir con la ejecución de pruebas de jarras, supervisión diaria de los resultados de las muestras de agua a la entrada ya que el color y la turbiedad son parámetros importantes para la dosificación de aluminio. Por último, las muestras analizadas en redes de distribución, están sobre el intervalo permitido considerándose un proceso de control estadístico.

Tabla 3. Resultados de promedios mensuales y desviación en PTAP

Mes	μ [mg/L]	σ [mg/L]	Límite decreto [mg/L]
Septiembre	0.25	0.09	0.2
Octubre	0.22	0.11	0.2
Noviembre	0.19	0.01	0.2
Diciembre	0.16	0.07	0.2
Enero	0.07	0.05	0.2
Marzo	0.23	0.11	0.2

FUENTE: EL AUTOR

Gráfica 7. Aluminio. Muestras puntuales (PTAP) y en red de distribución.

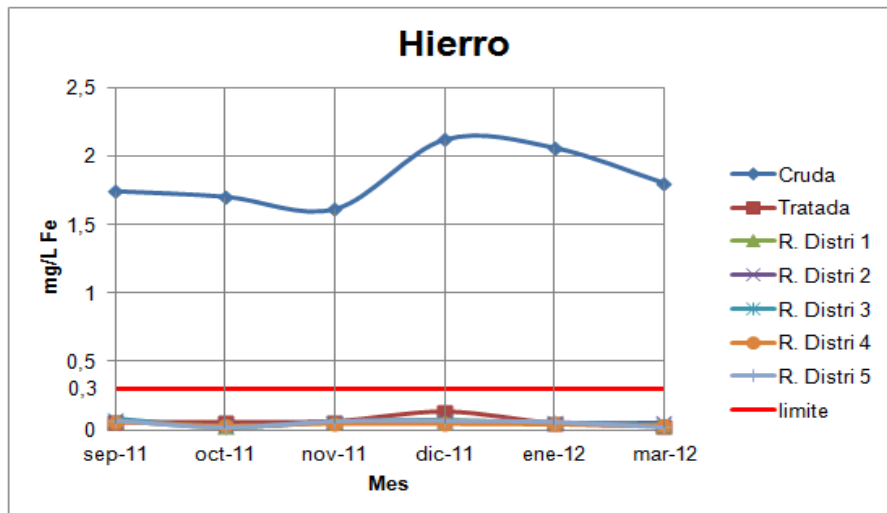


FUENTE: EL AUTOR

Para la gráfica 8, la cantidad de hierro de entrada es alto sobrepasando el límite y se encuentra fuera de control, sin embargo para las muestras analizadas en agua

tratada y en redes de distribución están sobre los intervalos permitidos, lo que significa un proceso que está en control estadístico.

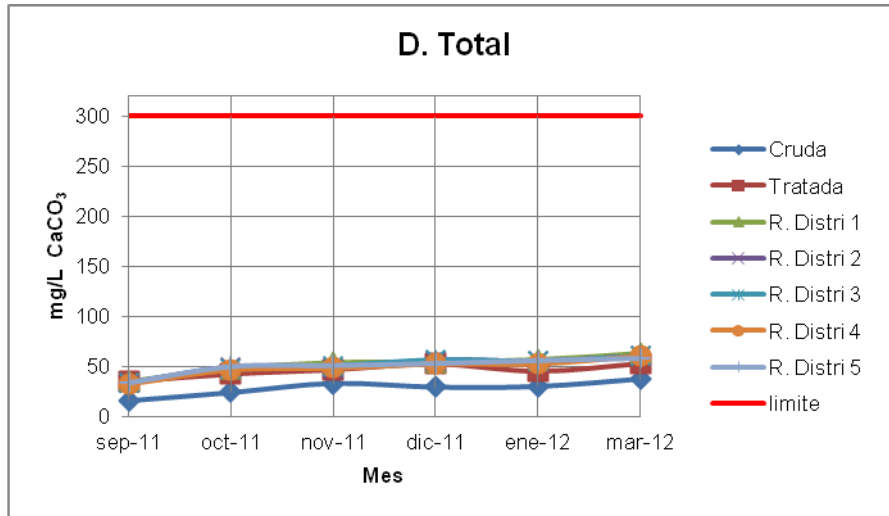
Gráfica 8. Hierro. Muestras puntuales (PTAP) y en red de distribución.



FUENTE: EL AUTOR

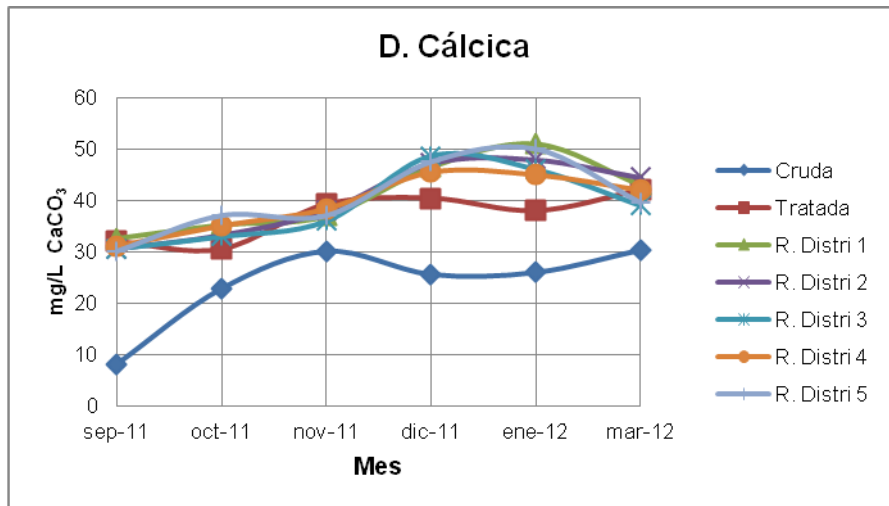
En las gráficas 9 y 10 tenemos la dureza total y la dureza cálcica. Se observa que la dureza total de entrada es menor que las demás durezas de las muestras analizadas, estando todas sobre el valor permitido considerándose que se encuentra en un proceso de control estadístico. Para el caso de la dureza cálcica, no aplica en el decreto, sin embargo juegan un rol importante en las durezas del agua ya que entre menor sea el resultado de las durezas obtenemos un agua blanda y apta para el consumo humano.

Gráfica 9. Dureza Total. Muestras puntuales (PTAP) y en red de distribución.



FUENTE: EL AUTOR

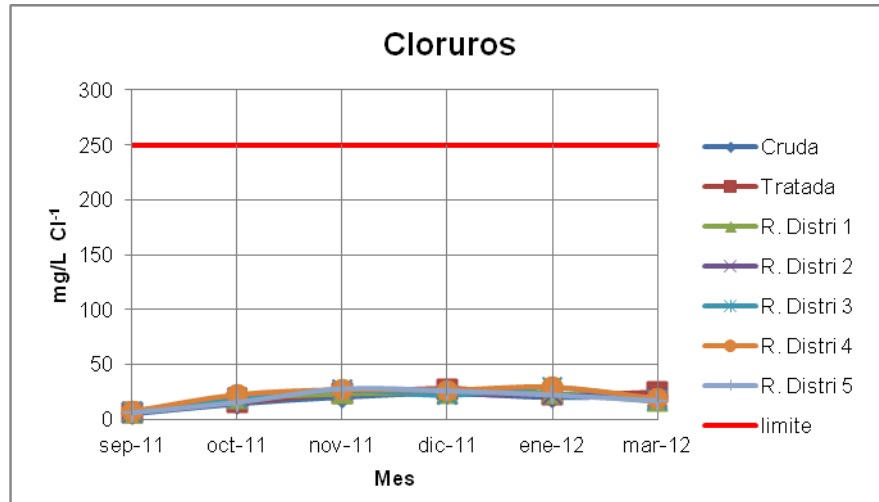
Gráfica 10. Dureza Cálctica. Muestras puntuales (PTAP) y en red de distribución.



FUENTE: EL AUTOR

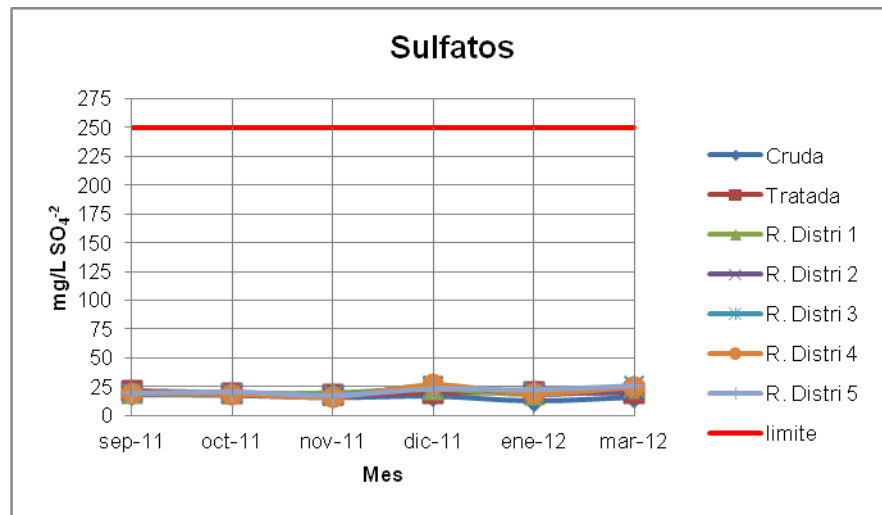
La concentración de cloruros, sulfatos y alcalinidad como se observa en las gráficas 11, 12 y 13 a la entrada de la planta; tienden a ser menores que las de salida y no presentan cambios significativos durante los seis meses. Sus valores están sobre el límite permitido como lo rige el decreto, y a su vez se considera que se encuentran en un proceso de control estadístico.

Gráfica 11. Cloruros. Muestras puntuales (PTAP) y en red de distribución.



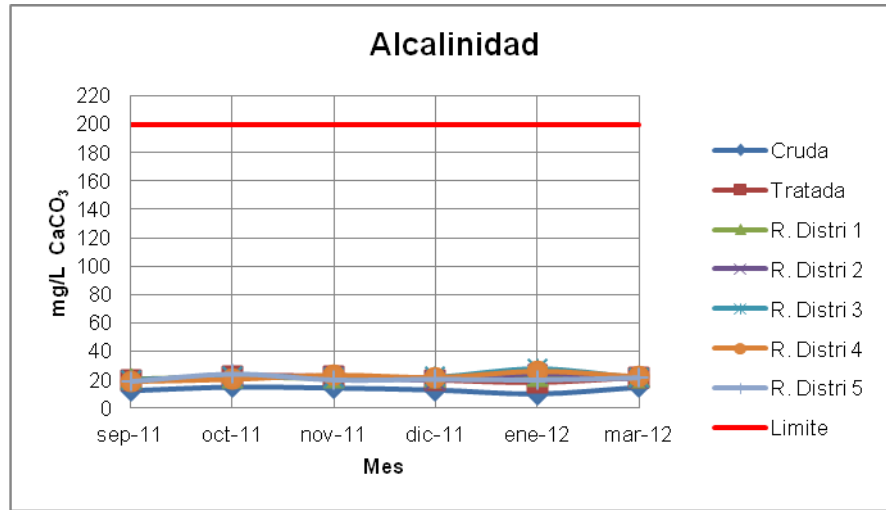
FUENTE: EL AUTOR

Gráfica 12. Sulfatos. Muestras puntuales (PTAP) y en red de distribución.



FUENTE: EL AUTOR

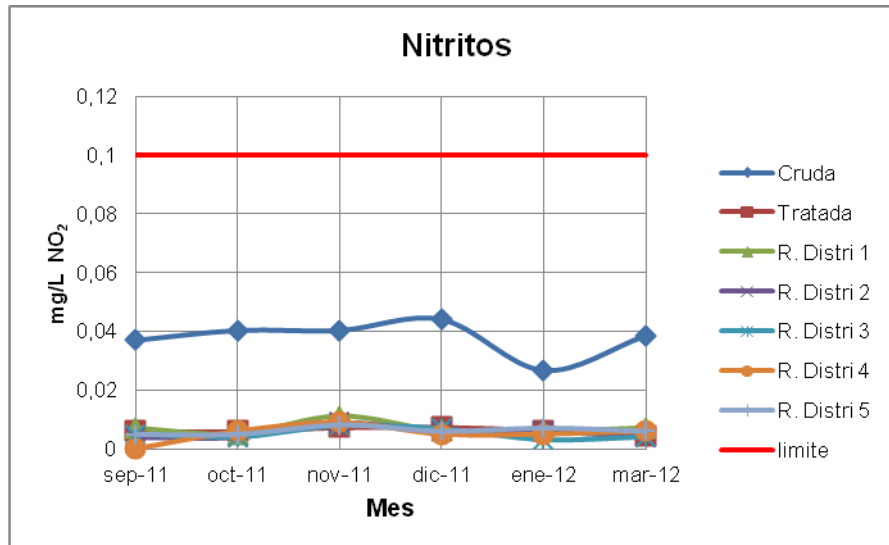
Gráfica 13. Alcalinidad. Muestras puntuales (PTAP) y en red de distribución.



FUENTE: EL AUTOR

Para los nitritos en la gráfica 14, contiene más altos nitritos a la entrada que a la salida. No hay cambios significativos para las muestras de salida con respecto al límite, todo sobre el intervalo establecido considerándose un proceso que está en control estadístico.

Gráfica 14. Nitritos. Muestras puntuales (PTAP) y en red de distribución.



FUENTE: EL AUTOR

CONCLUSIONES

El análisis de los parámetros fisicoquímicos realizados en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Barrancabermeja permite concluir:

- ✓ En épocas de lluvias, la turbiedad del agua que es suministrada a la comunidad en el mes de diciembre tuvo un promedio mensual que supera el límite permitido de 2 [NTU] como lo establece la resolución 2115 de 2007, mostrando la necesidad de una supervisión constante en las redes de distribución para disminuir la variabilidad y mejorar el proceso de potabilización.
- ✓ El incremento de aluminio en los puntos de agua tratada para los meses de septiembre, octubre y marzo sobrepasan el límite permitido de [0.2 mg/L] establecido por el decreto 1575 del 2007, reflejando un descuido en el proceso. Se propone como alternativa un mayor control de lavado en los filtradores, una supervisión constante de dosificación de aluminio y pruebas de jarras para así disminuir la variabilidad y lograr una mejora en el proceso.
- ✓ Todos los promedios mensuales de los parámetros, a excepción del aluminio en algunos puntos de agua tratada y la turbiedad en el punto de red de distribución, estuvieron dentro de los límites permitidos, todo esto al tratamiento de agua cruda en la planta.

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de los parámetros fisicoquímicos a las muestras de agua potable presentó algunos resultados desfavorables por lo cual es recomendable:

- ✓ Seguir implementando constantemente la prueba de jarras, esto con el fin de determinar la concentración óptima de coagulante a utilizar y de esta forma realizar un mejor proceso de potabilización de agua, disminuyendo un gran porcentaje en el color, la turbiedad y la concentración de aluminio en el agua que es distribuida a la población.
- ✓ Implementar sistemas automáticos de dosificación, estos mejoran la producción y consumen menos recursos.
- ✓ Utilizar polímeros ayudantes de coagulación, para lograr un agua con menos color y turbiedad y disminuir el uso de sulfato de aluminio como coagulante.
- ✓ Gestionar la certificación del laboratorio ante las entidades correspondientes, con lo cual se pueden ofrecer servicios de extensión, beneficiando a la empresa y a la comunidad en particular.

BIBLIOGRAFÍA

[1] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION AND WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed., New York, 1998.

[2] VARGAS GUARÍN, MIGUEL ÁNGEL. Estandarización del proceso de potabilización en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de San Vicente de Chucuri. Trabajo de Grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.2010.

[3] PÉREZ LÓPEZ, JHEAN ELEISON. Caracterización de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable y en la red de distribución en la ciudad de Yopal. Trabajo de Grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.2010.

[4] MENDOZA GÓMEZ, MONICA MARCELA y IBAÑES PINEDO, WILLIAM. Módulo recurso del agua III: tratamiento de agua potable, operación, procesos, talleres y monitoreos, especialización en Ingeniería Ambiental. Especialista en Ingeniería Ambiental (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.2006.

[5] GARCIA REY-SANTOS, MARGARITA ROSA. Ajuste matemático del comportamiento de la turbiedad residual en los procesos de coagulación-floculación del agua realizados en la planta la flora del A.M.B. S.A E.S.P empleando policloruro de aluminio líquido. Trabajo de Grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.2011.

[6] HACH COMPANY. DR 2800: user manual. Edition 3. Germany, 2009 126 p.

[7] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 2115: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá 2007.

[8] PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA (Colombia) y MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL (Colombia). Decreto 1575: Por el cual se establece el sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para consumo humano. Bogotá 2007.

[9] Manual de instrucciones del turbidímetro de laboratorio modelo 2100AN. Segunda edición 2006.

[10] Medidor portátil de pH SENSION1: Manual del instrumento. EE.UU. 2000. 32p.

[11] Pocket colorimeter II Analysis systems: instruction manual. 7th edition. EE.UU. 2009. 119p.

[12] Manual de instrucciones del conductivímetro de laboratorio modelo ORION STAR 3.

[13] Montgomery, Douglas. Runger, George. "Probabilidad y Estadística Aplicada a la Ingeniería". Mc Graw Hill 1996.

[14] Camara, C., Fernández P. "Toma y Tratamiento de Muestras" Colección Biblioteca de Químicas, 3. Ed. Síntesis, 2002.

[15] Vijay P. Singhad and A. Ghosh Gobba. "Advanced in Water Science Methodologies". Edited by U. Aswhatanarayana Taylor and Francis 2005.

[16] Spellman, Frank R. "The Science of Water Concepts and Applications". Second Edition. Pages 289-323.


[17] Drinan, Joanne E. "The Drinking Water Handbook". Second Edition. Pages 229-258.

[18] Tompeckand, Mark A and Jones Phillip H. "Encyclopedia of Environmental Science and Engineering". Fifth Edition, Volumes One And Two. Pages 1311-1328.

[19] Ketrick, Bruce T. "The Science and Technology of Industrial Water Treatment". Edited by Zahid Amjad in 2010. Pages 297-317.

Anexo A. Lineamientos para calidad de Agua potable.

Tabla A1. Lineamientos para calidad de agua. Características fisicoquímicas con sus respectivos valores máximos aceptables como lo rige el decreto 1575/07.

 <p>AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A. E.S.P.</p>	FORMATO DE INFORME MENSUAL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA PTAP		TIPO DE DOCUMENTO	
			FORMATO	
			PAGINA	1 DE 1
DATOS DE REFERENCIA				
TIPO DE ANÁLISIS	Químico	X	FECHA DE MUESTREO:	
	Físico	X	DIRECCIÓN:	
	Microbiológico	-	ZONA:	
Parámetro	Expresados como	Método utilizado	Valor máximo	
Olor y sabor	A o N.A	Organoléptico	Aceptable	
Color aparente	UPC	Espectrofotométrico	15	
Turbiedad	UNT	Nefelométrico	2	
Conductividad	($\mu\text{S/cm}$)	Electrométrico	50-1000	
pH	Unidades	Electrométrico	6.5-9.0	
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	Electrométrico	-----	
Alcalinidad total	CaCO_3 [mg/L]	Titulador digital	200	
Dureza total	CaCO_3 [mg/L]	Titulador digital	300	
Cloruros	Cl^- [mg/L]	Titulador digital	250	
Aluminio	Al^{+3} [mg/L]	Colorimétrico	0.2	
Hierro	Fe [mg/L]	Espectrofotométrico	0.3	
Sulfato	SO_4^{-2} [mg/L]	Espectrofotométrico	250	
Nitritos	NO_2^- [mg/L]	Espectrofotométrico	0.1	
Cloro residual	[mg/L]	Colorimétrico	0.3-2.0	

FUENTE: EL AUTOR

COORDINADORA DE CALIDAD.

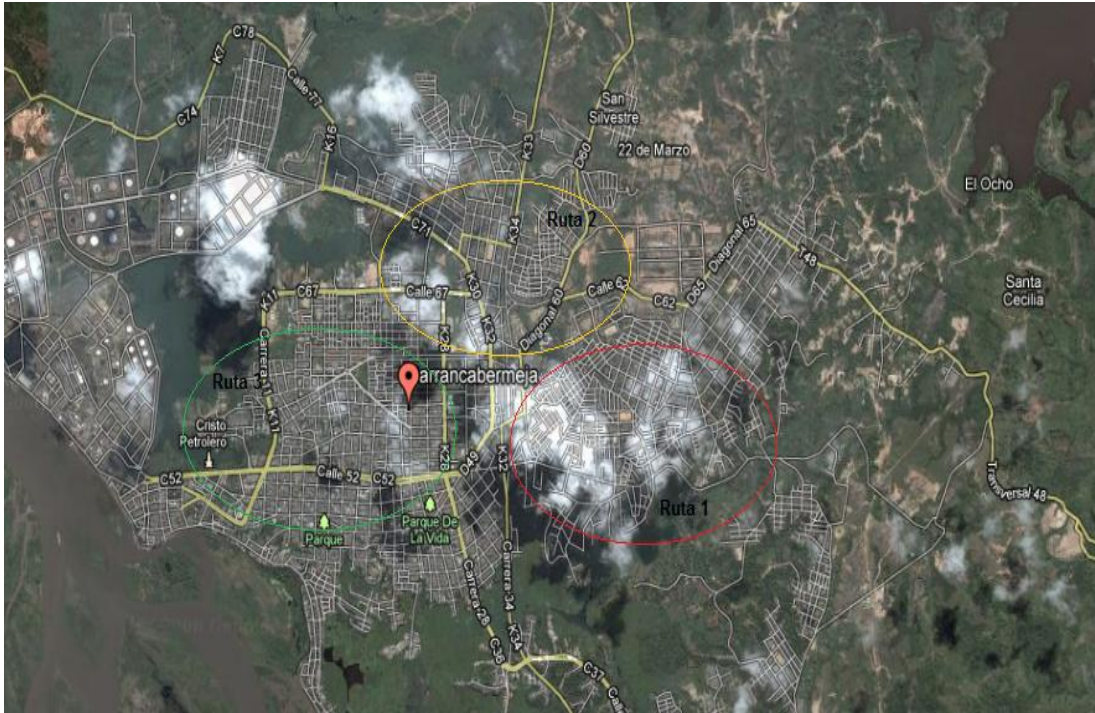
PRACTICANTE PROFESIONAL

Tabla A2. Rutas e identificación de los puntos de muestreo y números mínimos puntos de muestreo en red de distribución.

RUTAS DE MUESTREO EN LA CIUDAD (2011)		
RUTA Nº 1	(ENERO, ABRIL, JULIO, OCTUBRE)	
PUNTO	BARRIO	PUNTO DE REFERENCIA
0001	RECREO	COLEGIO INTECOBA
0002	COMERCIO	ESCUELA CARDALES
0003	ARENAL	SALÓN COMUNAL
0012	PRIMERO DE MAYO	CANCHA FUTBOL
0013	VERSALLES	PUESTO DE SALUD
RUTA Nº 2	(FEBRERO, MAYO, AGOSTO, NOVIEMBRE)	
PUNTO	BARRIO	PUNTO DE REFERENCIA
0008	BUENA VISTA	CANCHA DE FUTBOL
0009	LOS PINOS	CANCHA DE FUTBOL
0010	CAMPIN	SALÓN COMUNAL
0011	SANTA BARBARA	ESCUELA
0015	DANUBIO	PUESTO DE SALUD
RUTA Nº 3	(MARZO, JUNIO, SEPTIEMBRE, DICIEMBRE)	
PUNTO	BARRIO	PUNTO DE REFERENCIA
0004	PUEBLO NUEVO	COL. JOSE ANTONIO GALÁN
0005	PARNASO	PARQUE
0006	LIBERTAD	COL. BEHTLEMITAS
0007	CIUDAD PIPATÓN	PARQUE
0014	PROGRESO	PUESTO DE SALUD

FUENTE: EL AUTOR

Grafica A1. Localización de los puntos de muestreo en la ciudad.



Anexo B. Lista equipos laboratorio



Fig 1. Espectrofotómetro DR HACH 2800



Fig 2. Turbidímetro HACH 2100AN



Fig 3. Medidor de pH HACH SENSION



Fig 4. Conductivímetro ORION 3 STAR



Fig 5. Colorímetro cloro II POCKET HACH



Fig 6. Colorímetro aluminio II POCKET HACH

Anexo C. Procedimiento y recolección de muestras en la PTAT y ciudad.

OBJETIVO

Este documento fue diseñado con el propósito de señalar los aspectos a tener en cuenta en toma de muestra de agua, con el fin de asegurar y conservar sus características previas al análisis.

CONCEPTOS

Muestreo: Aquellas actividades desarrolladas para obtener volúmenes de agua en un sitio determinado del sistema de abastecimiento, de tal manera que sean representativos con el fin de evaluar características físicas, químicas y bacteriológicas.

Muestra puntual o simple: Muestra recolectada en un lugar y tiempo determinado y que refleja las circunstancias particulares del cuerpo de agua para el momento y sitio de su recolección.

Agua cruda: Es el agua natural que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización.

Puntos de muestreo: Son aquellos sitios representativos donde se realiza la recolección de la muestra de agua.

MATERIALES Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD

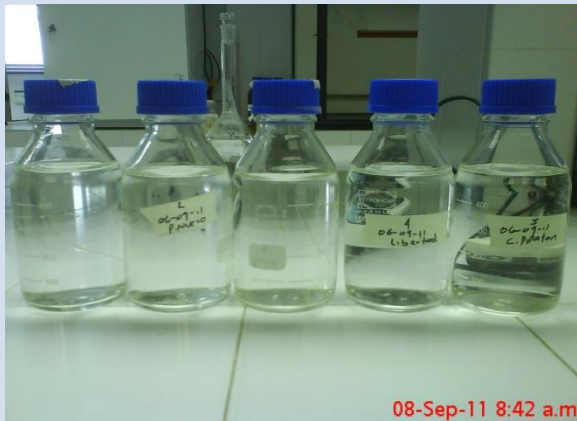
- Bata de laboratorio
- Guantes
- Gafas de seguridad
- Mascara de seguridad para manipulación de ácidos
- Frascos de vidrios con tapa para toma de muestras
- Equipo de medición de cloro residual y aluminio
- Nevera
- Mechero de alcohol
- Alcohol industrial
- Agua des ionizada

Visualización de algunas pruebas realizadas en el laboratorio fisicoquímico de Aguas de Barrancabermeja.

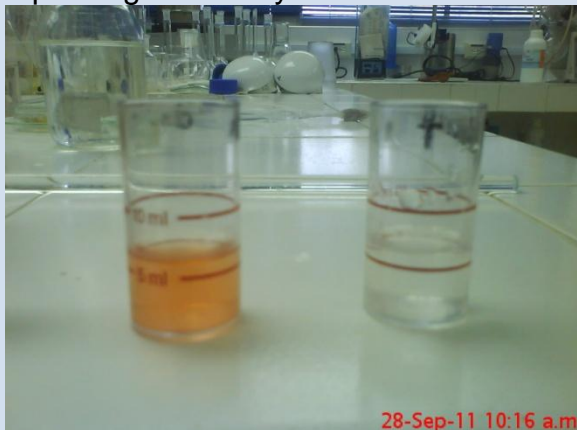
- Recolección de muestras al interior de la planta



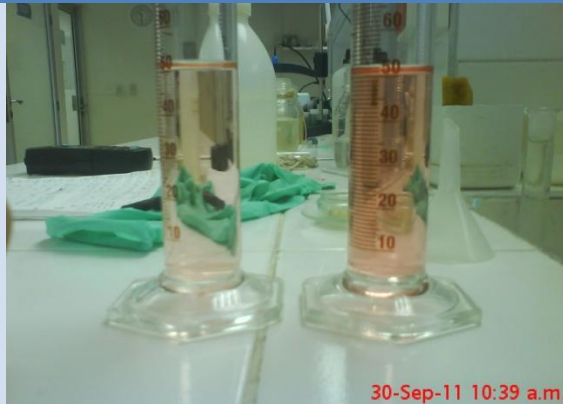
- Recolección de muestras en la ciudad



- Prueba de hierro para agua cruda y tratada



- Prueba de aluminio para agua tratada



Puntos de muestreo en La PTAP y en red de distribución


En la planta de tratamiento de agua potable se hace monitoreo en los siguientes puntos:

Planta de tratamiento	Registro
<ul style="list-style-type: none"> • Toma muestra agua cruda 	
<ul style="list-style-type: none"> • Toma muestra agua cruda+cal 	

<ul style="list-style-type: none"> • Toma de muestra de agua sedimentada 	 <p>19-Sep-11 3:03 p.m.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Toma de muestra de agua sedimentada+cal 	 <p>19-Sep-11 3:06 p.m.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Toma de muestra de agua filtrada 	 <p>19-Sep-11 3:07 p.m.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Toma de muestra de agua tratada 	 <p>20-Sep-11 10:58 a.m.</p>
<p>En la ciudad se hace monitoreo en cajas extradomiciliarias, como se muestra en el siguiente anexo:</p>	

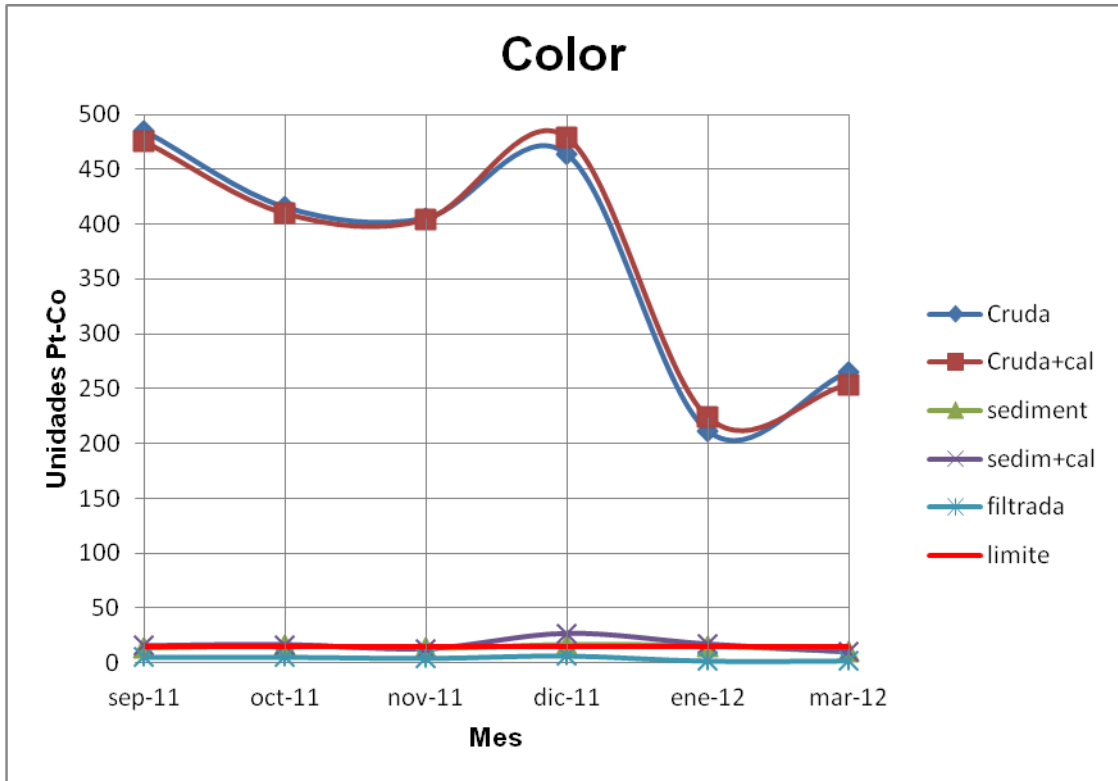
Código punto de muestreo.	Barrio	Punto de referencia	Registro
0001	Recreo	Colegio Intecoba	
0002	Comercio	Escuela Cardales	
0003	Arenal	Salón Comunal	
0004	Pueblo Nuevo	Colegio José Antonio Galán	
0005	Parnaso	Parque	
0006	Libertad	Colegio Behtlemitas	
0007	Ciudad Pipatón	Parque	

0008	Buena Vista	Cancha de futbol	
0009	Los Pinos	Cancha de futbol	
0010	El Campin	Salón Comunal	
0011	Santa Bárbara	Escuela	
0012	Primero de Mayo	Cancha de Futbol	
0013	Versalles	Puesto de Salud	
0014	El progreso	Puesto de Salud	

0015	Danubio	Puesto de Salud	
-------------	---------	-----------------	---

Anexo D. Gráficos de color y turbiedad a la entrada de la planta de tratamientos de agua potable (PTAP).

Grafica D1. Color. Muestras puntuales analizadas en la PTAP.



Grafica D2. Turbiedad. Muestras puntuales analizadas en la PTAP.

