

**ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE  
DE CHUCURI**

**MIGUEL ÁNGEL VARGAS GUARÍN**

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

**2010**

**ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE  
DE CHUCURI**

**MIGUEL ÁNGEL VARGAS GUARÍN**

**Proyecto de grada para optar al título de Ingeniero Químico**

**Director:  
MARIO ÁLVAREZ CIFUENTES  
PH.D. en Ingeniería Química**

**Codirector:  
GABRIEL AMAURI DURAN G.  
Gerente APC Manantiales de Chucuri**

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

**2010**

## DEDICATORIA

*No tan solo este trabajo, si no toda mi carrera se la dedico a la escultora de mi vida, a mi madre, que con el sudor de su frente y las obras de sus manos me ayudo a estar en el lugar que ahora ocupo.*

*Igualmente a la memoria de mi padre y de mi nonita marina, a mi tío Heli, mis hermanas Mónica, Lorena y Daniela, al chiquitín de la familia Juan José y a Juan que siempre han estado ahí en las buenas y en malas.*

*También va dedicado a la persona que sin conocerme me tendió la mano y con la cual siempre estaré agradecido, gracias Martha por darme la oportunidad de crecer y gracias a todos los de la casa por adoptarme entre ustedes y darme la opción maravillosa de conocerlos.*

*A la niña que ha iluminado mi vida, mi hermosa, un ser maravilloso que desde hace algún tiempo ha estado acompañando mis mejores momentos.*

*A todos mis amigos y amigas que me acompañaron e hicieron más interesante el camino inolvidable de la universidad.*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco inmensamente a Oscar Plata por colaborarme en la construcción de mi futuro, a todo el gran equipo de APC Manantiales de Chucuri, don Amauri, Ceci, Oniris, Viviana y todos los demás que me colaboraron en todo mi proceso y que son parte importante de mi formación académica y personal.

A la señora Emilce Suarez y el señor Gilberto Camargo por tener confianza en este hijo de chucuri que dejó el azadón y el machete y demostró a muchos que hacer cosas grandes es posible y volver al nido a tropezarse con el azadón que dejo es una obligación.

A toda mi familia, los que quieren y esperan mucho de mí y los que ni siquiera lo piensan, gracias por ser mi familia, y de seguro no decepcionare los buenos deseos de los que lo hacen y definitivamente no me olvidaré de nadie, los buenos recuerdos siempre viajan en el corazón.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO	16
1.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA	18
1.1.1 Olor	18
1.1.2 Sabor	18
1.1.3 Color	18
1.1.4 Turbidez	19
1.1.5 Alcalinidad	20
1.1.6 Dureza	20
1.1.7 pH	20
1.1.8 Conductividad	20
1.1.9 Temperatura	20
1.1.10 Cloro (residual)	21
1.1.11 Hierro	21
1.1.12 Nitrógeno (Nitritos)	21
2 DESARROLLO EXPERIMENTAL	23
2.1 ETAPA DE DIAGNOSTICO	23
2.2 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA	25
2.3 PROPUESTA A APC MANANTIALES DE CHUCURI	26
2.3.1 Dotación de Laboratorio	26

2.3.2 Métodos de análisis fisicoquímicos	27
2.4 CRONOGRAMA DE ANÁLISIS PARA AGUA TRATADA	27
2.5 HOJA DE VIDA DE EQUIPOS DEL LABORATORIO	28
3 RESULTADOS	29
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	37
5 CONCLUSIONES	38
6 RECOMENDACIONES	39
7 BIBLIOGRAFÍA	40

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Requerimiento de Soluciones y equipos para Laboratorio	28
Tabla 2. Estandarización método cloro libre	34
Tabla D1: Cronograma de Análisis LQCI UIS	54
Tabla D2: Paquetes de Análisis para la PTAP	55

## LISTA DE IMÁGENES Y FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Imagen 1. Tanque de mezclado del Coagulante.....	23
Imagen 2. Floculador 1 de la PTAP de San Vicente de Chucuri. ....	24
Figura H 1. Entrada de Análisis Lab.....	63
Figura H 2. Modulo de identificación de usuarios.....	64
Figura H 3. Modulo administrador.....	64
Figura H 4. Informe generado por Analisis Lab.....	65
Figura H 5. Sección de Gestión de Usuarios en Análisis Lab.....	65
Figura H 6. sección Usuarios de Análisis Lab.....	65
Figura H 7. Generador de Horarios de Operarios.....	66
Figura H 8. Modulo de Operario-Laboratorista.....	66

## LISTA DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
Grafica 1. Turbiedad de salida en la PTAP. Fuente: Programa Análisis Lab.....	30
Grafica 2. Resultados de los análisis de Color en la PTAP. Fuente: Análisis Lab.....	31
Grafica 3. Resultados análisis de pH. Fuente: Análisis Lab.....	32
Grafica 4. Comportamiento de la conductividad en el agua tratada de la PTAP. Fuente: Análisis lab.....	33
Grafica 5. Curva de Calibración Conductímetro.....	34
Grafica 6. Comportamiento del Cloro Residual en la PTAP. Fuente: Análisis Lab.....	34
Grafica 7. Alcalinidad del agua tratada en la PTAP. Fuente: Análisis Lab .....	35
Grafica 8. Dureza total del agua tratada de la PTAP. Fuente: Análisis Lab .....	36
Grafica 9. Dureza cálcica del agua tratada de la PTAP. Fuente: Análisis Lab.....	36

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. DISPONIBILIDAD PER CÁPITA DE AGUA ENTRE 1985 Y 2005	41
ANEXO B. DIAGRAMA DE LA PTAP DE SAN VICENTE DE CHUCURI	42
ANEXO C. MÉTODOS USADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA	43
ANEXO D. FRECUENCIA Y TIPOS DE ANÁLISIS DE AGUA PARA LA PTAP DE SAN VICENTE DE CHUCURI EN EL LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES DE LA UIS	53
ANEXO E. MÉTODO PARA RECOLECCIÓN Y TOMA DE MUESTRAS	58
ANEXO F. FORMATO DE HOJA DE VIDA DE LOS EQUIPOS DE LABORATORIO	60
ANEXO G. FORMATO PARA TOMA DE ANÁLISIS DE LABORATORIO	61
ANEXO H. MANUAL DEL PROGRAMA ANÁLISIS LAB.	62

## RESUMEN

**TITULO:** ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE CHUCURI\*

**AUTOR:** MIGUEL ÁNGEL VARGAS GUARÍN \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Estandarización, Tratamiento de Agua, Agua potable, Análisis Lab, APC Manantiales de Chucuri, San Vicente de Chucuri.

## DESCRIPCIÓN

APC Manantiales de Chucuri ha tenido un corto recorrido desde su nacimiento en el mundo de los servicios públicos, sin embargo ha impuesto pautas importantes en este campo. Es así como ha llamado la atención de programas internacionales como la USAID que la han catalogado como la mejor empresa prestadora de servicios públicos con carácter comunitario en Colombia, por su gestión y aporte al cambio en la cultura del pueblo chucureño.

En el marco del procesamiento de agua, APC Manantiales de Chucuri ha venido implementando estrategias para la reducción del consumo de esta, proyecto que busca mejorar la calidad de vida de los chucureños y chucureñas, influyendo directamente en las características del agua que consumen.

Este trabajo de grado muestra las metodologías para el análisis de muestras de agua potable basadas en estándares internacionales. También plantea esquemas de toma de muestras así como cronogramas de análisis y finalmente desarrolla una herramienta, Análisis Lab, para el análisis de datos, gestión de usuarios y administración de Plantas de Tratamiento de Agua Potable.

El seguimiento de los parámetros que califican el agua, permite visualizar la eficiencia en operación de la planta de tratamiento de agua potable, lo cual ayuda en el proceso de optimización de sistema de tratamiento y configura un marco legal claro, oportuno y transparente ante los entes de control que regulan y establecen los lineamientos del agua potable en Colombia.

---

\* Practica empresarial

\*\* Facultad de Físicoquímica. Escuela de Ingeniería Química. Director: Dr Mario Álvarez Cifuentes. Codirector: Gabriel Amauri Duran G

## SUMMARY

**TITLE:** STANDARDIZATION OF THE PURIFICATION PROCESS IN THE TREATMENT OF DRINKING WATER PLANT OF THE MUNICIPALITY OF SAN VICENTE DE CHUCURI\*

**AUTHOR:** MIGUEL ANGEL VARGAS GUARIN\*\*

**KEYWORDS:** standardization, Water treatment, Drinking water, Análisis Lab, APC Manantiales de Chucuri, San Vicente de Chucuri

## DESCRIPTION

APC Manantiales de Chucuri has had a short distance since its birth in the public services world; however it has imposed important guidelines in this area. Thus it has called the attention of the international programs like USAID that it has been catalogued as the best public services company with community character in Colombia by its management and contribution to change in the chucureños' culture.

Under the water processing, APC Manantiales de Chucuri has been implementing strategies for the water reduction consumption, this projects look for improving the life quality of the chucureños and chucureñas, directly influencing in the water characteristic that they consume.

This paper shows methodologies for the analysis of drinking water samples based on international standards. Also it raises schemes of drinking water sampling, analysis schedules and finally it developed a tool, Análisis Lab, for the data analysis, user management, and administration of treatment drinking water plant.

Monitoring of the parameters that describe water, lets see the efficiency in operation of the treatment drinking water plant, that helps in the optimization process of treatment system and configure a clear legal framework, timely and transparent to the authorities for control that regulate and establishing the guidelines of drinking water in Colombia.

---

\* Internship APC Manantiales de Chucuri

\*\* Chemical Engineering Department, Director: Dr. Mario Alvarez Cifuentes. Co-Director: Gabriel Amauri Duran G

## INTRODUCCIÓN

El proceso de potabilización de agua es de gran importancia y responsabilidad, por lo que APC Manantiales de Chucuri, quiere cambiar el manejo de los servicios públicos en la región, posicionándose como una empresa de carácter social no solo con buenos indicadores de gestión, también con un sistema eficiente y moderno de procesamiento del agua cruda y de los residuos sólidos.

En cuanto al manejo del agua APC Manantiales de Chucuri además de contar con programas de disminución de consumo, tiene el interés y la disponibilidad de implementar mejoras en los sistemas de potabilización; es así como nace el programa de estandarización del proceso de potabilización de agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de San Vicente de Chucuri, que pretende implementar herramientas metodológicas en busca de la determinación de la calidad del agua y el mejoramiento de esta. Es la razón por la que se hace un convenio de cooperación entre la APC Manantiales de Chucuri y la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander resultando con esto la ejecución de una práctica empresarial con el objeto de estandarizar los procedimientos para la potabilización del agua.

El desarrollo de los objetivos de esta práctica se enmarcan en estándares internacionales como lo es el Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater, los cuales encaminan metodologías probadas y acondicionadas para el tratamiento de agua por laboratorios internacionalmente acreditados y científicos con gran reconocimiento y experiencia en este campo. Definiciones y metodologías para la realización de análisis como Turbidez, color, sabor, olor, concentración de hierro, nitritos y cloro, al igual que la determinación de Alcalinidad y dureza serán relacionadas y puestas en marcha. Como complemento al propio sistema de potabilización y de seguimiento a la calidad del agua se plantea el desarrollo de una herramienta, Análisis Lab, que permita agilizar el manejo de la información de los análisis, gestionar de manera automática recursos de la planta y el laboratorio y finalmente colaborar con la gestión de operadores y sus actividades rutinarias.

Este es solo un paso más, en el arduo y largo camino a recorrer en busca de una mejor calidad de vida para los chucureños y en el fortalecimiento de una nueva empresa dinámica, competitiva y con reinversión comunitaria, una empresa de sueños inagotables y de expectativas realizables en Colombia.

## 1. MARCO TEÓRICO

El agua es el fluido vital que conduce las riendas del planeta Tierra, sin embargo el manejo de este recurso tan valioso no ha sido el mejor por parte nuestra, los moradores de este hermoso lugar, ni siquiera cuando se sabe que solo el 3 % del agua del planeta es apta para el consumo, es decir es agua dulce, y de esta solo el 1% se encuentra en ríos y lagos que son los lugares donde resulta más económicos realizar la extracción. Garantizar un consumo medianamente sostenible implica hacer cambios en la cultura de la población, no solo apuntando al mejoramiento de los hábitos de consumo de los recursos hídrico, también a la disminución del impacto indirecto que día a día se causa a esta.

Para fortuna de la población, no tanto para los recursos naturales, en Colombia se cuenta con una de las fuentes más grandes de agua dulce del mundo, la oferta hídrica es de 58 L/s km<sup>2</sup>; si se compara esta cifra en el plano mundial, se observa que sextuplica la cantidad de agua promedio y triplica la cantidad de agua en Latinoamérica. Esto hace de Colombia una potencia hídrica del mundo y también un lugar muy atractivo como proveedor de algunos países.

La realidad colombiana en términos de accesibilidad a agua potable es muy crítica, debido a que un alto porcentaje de los colombianos no tienen la posibilidad de acceder a este recurso. Esto se debe a que si se relacionan los recursos hídricos por relieve se puede notar que la mayoría de la población colombiana está concentrada en la zona de montaña que posee una hidrología insuficiente en comparación con otras regiones menos pobladas como la Pacífica, la Amazonia y la Orinoquia. Los centros más poblados, Eje Cafetero, Sabana de Bogotá, Valle de Aburrá, Valle del Cauca, etc., ocupan una tercera parte del área continental cuyos ejes son las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca que abarcan escasos 300.000 km<sup>2</sup>. En esta zona solo existe una precipitación entre mil quinientos (1500) y dos mil (2000) milímetros, lo que ubica los excesos del recurso hídrico del país en la zona extraandina. Si a toda esta situación se le suma que el índice de disponibilidad per cápita en los últimos 20 años ha venido disminuyendo, se obtiene un ambiente deficitario para las próximas generaciones.

El índice de disponibilidad per cápita (ver anexo A), es un indicador sencillo que permite, en el marco mundial, detectar los países con crisis agudas de agua. De acuerdo con estos valores, en los países en los que la disponibilidad de agua per cápita por año solo alcanza los 1.700 m<sup>3</sup> hay una situación de estrés hídrico, cuando esta disponibilidad es de 1.000 m<sup>3</sup> se tiene una situación de escasez de agua y cuando solo se dispone de 500 m<sup>3</sup> se manifiesta una escasez severa del líquido<sup>1</sup>. De acuerdo con las estimaciones realizadas en el IDEAM, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 2006 la disponibilidad per cápita de agua se redujo de 60.000 a 40.000 m<sup>3</sup> de agua por año para cada habitante, disminuyendo con una tasa aproximada de 1.000 m<sup>3</sup> por año<sup>2</sup>. En el caso hipotético de que se mantuviese en Colombia el crecimiento poblacional e industrial actual y de mantener los hábitos de uso y consumo vigentes, en el término de 40 años el país alcanzaría los valores críticos de este indicador.

---

<sup>1</sup> Falkenmark, 1999

<sup>2</sup> IDEAM

En San Vicente de Chucuri la realidad del agua y la contaminación se ve a simple vista, solo se necesita notar los tres cuerpos de agua que atraviesan el casco urbano, los cuales reciben toda el agua servida del municipio y la vierten directamente en el río Chucuri, el cual irriga los cultivos de cientos de familias aguas abajo. Sin embargo los órganos de control y administrativos han tomado la iniciativa de crear cultura en términos de manejo del recurso hídrico, lo que ha ocasionado un cambio radical que se refleja en la producción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), la cual ha disminuido 42 L/s en tan solo ocho meses, lo que corresponde en un ahorro del 42% en el consumo de agua potable del caso urbano y por ende una disminución importante en la contaminación de los ríos y quebradas aledaños. Sin embargo este no es el objetivo que tienen previsto los programas implementados ya que el consumo de una familia conformada entre 4 y 5 personas es de 20 m<sup>3</sup>/mes<sup>3</sup> y la PTAP abastece alrededor de 3500 usuarios, lo que indicaría un consumo de 27 L/s, caudal inferior al promedio que se está manejando hasta ahora.

Históricamente el casco urbano de San Vicente de Chucuri ha sido abastecido 24 horas/día, 365 días/año por el Borbo, bocatoma de la PTAP, por la que fluyen hacia la quebrada las Cruces en promedio 500 L/s de agua de unas muy buenas propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas según estudios realizados a estas.

El estudio de las propiedades organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas es fundamental en el tratamiento del Agua ya que estos parámetros dan la pauta para establecer la potabilidad del agua, equilibrando los procesos y los requerimientos de químicos de la planta. Dentro de los análisis que se realizan a una muestra de agua se destacan la turbiedad, el color, la dureza, la alcalinidad y el cloro residual, los cuales son parámetros importantes para conocer la calidad del agua, no solo para el consumo humano, también lo son para el riego de cultivos, para el uso industrial en calderas, para la fabricación de productos farmacéuticos, para la expedición de licencias ambientales, para el diseño y ejecución de programas de monitoreo, para adecuarla a las múltiples aplicaciones analíticas de los laboratorios y como herramienta de control para regular y optimizar el funcionamiento de las plantas de purificación y tratamiento de aguas, entre muchos otros fines.

Cualquiera que sea el propósito cuando se investiga la calidad de un cuerpo de agua, una de las primeras tareas que se deben resolver, consiste en obtener “una muestra representativa” del cuerpo de agua que se desea investigar. Aunque la mejor representatividad de un análisis se obtiene cuando se realizan las pruebas directamente en la fuente, las operaciones de muestreo son necesarias, por cuanto muchos de los análisis involucran equipos o métodos cuyo traslado o ejecución directa en campo simplemente no es posible. El propósito de las operaciones de muestreo consiste en extraer del cuerpo de agua que se investiga, una cantidad de muestra representativa, suficiente como para poder realizar en ella todas las pruebas que se requieran, no tan grande 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.

---

<sup>3</sup> Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA)

## 1.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA

**1.1.1 Olor** El olor en el agua puede utilizarse de manera subjetiva para describir cualitativamente su calidad, estado, procedencia o contenido. Aun cuando esta propiedad pueda tener un amplio espectro de posibilidades, para propósitos de calidad de aguas existen ciertos aromas característicos que tipifican algunas fuentes u orígenes.

<b>Tipo de Olor</b>	<b>Tipo de Agua</b>
Inodoro:	Típico de aguas dulces y frescas
Olor metálico:	Típico de aguas subterráneas
Olor a Sulfuro:	Típico de ARD, MO y en general de sistemas anaeróbicos
Olor vegetal:	Típico de aguas poco profundas, de humedales y estuarios.
Olor Pítrico:	Típico de lixiviados de RS. y de aguas procedentes de PTARs
Olor a Pescado:	Típico de aguas oceánicas y de cultivos piscícolas

Además de estos aromas característicos, existen otras fragancias que tipifican un origen particular, pero que son menos frecuentes en los estudios de calidad de aguas. Por ejemplo, las aguas residuales de industrias vinícolas, de industrias cerveceras, de industrias lecheras y de empresas relacionadas con la explotación o procesamiento del petróleo, tienen olores distintivos que son fácil y rápidamente perceptibles.

**1.1.2 El Sabor** se refiere solo a la sensación de gusto llamado agrio, salado, ácido o dulce, que resulta de la estimulación química de los sensores nerviosos localizados en las papilas de la lengua y el paladar. Las muestras de agua dentro de la boca, para análisis sensorial siempre producen un sabor a través del gusto, olor o sensación en la boca que puede ser predominante dependiendo de las sustancias químicas presentes.

Tres métodos han sido desarrollados para la evaluación organoléptica de muestras de agua dentro de la boca, el test de umbral de sabor o Flavor Threshold Test (FTT), el de valoración por clasificación de sabor o Flavor Rating Assessment (FRA) y el análisis de perfil de sabor o Flavor Profile Analysis (FPA). El FTT es el más antiguo, y ha sido usado extensivamente y es particularmente útil para determinar si el sabor en general de la muestra de agua tratada posee diferencias detectable del estándar definido. El FRA es especialmente útil para determinar si la muestra de agua tratada es aceptable para el consumo diario y el FPA es más usado para la identificación y caracterización individual de sabores en una muestra de agua. Realizar una prueba de sabor de una muestra de agua puede ser peligroso, por lo que se recomienda hacerla solo cuando el agua sea conocida y no ingerir la muestra. De igual forma, no se deben usar muestras que puedan contener bacterias, virus, parásitos o peligrosos químicos.

**1.1.3 El Color** en el agua puede ser resultado de la presencia de iones metálicos como hierro y magnesio, compuestos orgánicos, plankton, hierba y desechos industriales. El color se debe remover para hacer el agua adecuada para usos generales e industriales o en el caso de las aguas de desecho el color debe ser removido antes de la descarga en los cauces de agua.

Se pueden definir dos clases de color, el color verdadero (o color para efectos prácticos) que es el color del agua cuando la turbidez de esta se ha eliminado y el color aparente que incluye no solo el color de la solución si no también el de la materia suspendida, este último se determina en las muestras originales sin ningún tipo de filtrado o centrifugado. Para la eliminación de la turbidez antes de la medición del color se usa la filtración, a pesar que algunos procedimientos pueden remover algo de color de la muestra, esta ha sido probada por muchos laboratorios en todo el mundo. También se usa la centrifugación como operación para la eliminación de turbidez pues esta evita la interacción del color con el material filtrado, pero los resultados varían con la naturaleza de la muestra, el tamaño y la velocidad de centrifugado.

Se han establecido dos métodos para la determinación de color. El método por comparación visual es aplicable a casi todas las muestras de agua potable. Por otra parte, la polución por aguas industriales puede producir colores inusuales que no pueden ser comparados, en estos casos se usa el método instrumental. El método espectrofotométrico permite calcular un único valor representativo de la muestra, incluso en medios no uniformes y cuando las muestras exhiben color significativamente diferente de los estándares de Platino-Cobalto.

**1.1.4 Turbidez** La claridad del agua es importante en la elaboración de productos destinados para el consumo humano. En La producción de bebidas, el procesamiento de alimentos y las plantas de tratamiento de agua potable extraen agua de corrientes superficiales y frecuentemente usan para el proceso de separación fluido-partícula, como la sedimentación y filtración para incrementar la claridad y asegurar un producto aceptable. La turbidez en el agua es causada por material suspendido y coloidal como arcillas, cieno, finalmente divididos en materia orgánica e inorgánica, plantón y otros organismos microscópicos. La turbidez 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. Cuando presenta una significativa concentración de partículas de materiales que absorben luz como carbón activado causan una interferencia negativa. En bajas concentraciones estas partículas tienden a tener una influencia positiva porque contribuyen a la turbiedad. La presencia de disolventes, sustancias que causan color y que absorben luz podrían causar una interferencia negativa.

Los turbidímetros mas comercializados son diseñados para medir bajas turbiedades y dan, comparativamente, buenas indicaciones de la intensidad de la luz dispersada en una dirección particular, predominantemente ángulos rectos a la luz incidente. Los turbidímetros con detectores de luz dispersa localizados a 90° del haz incidente son llamados nefelómetros. Los nefelómetros son relativamente no afectados por pequeñas diferencias en parámetros de diseño y por consiguiente son especificados como el instrumento estándar para la medición de bajas turbiedades. Los instrumentos de diferentes marcas y modelos pueden variar en su respuesta. Sin embargo la variación del instrumento podría ser efectivamente despreciable si las técnicas de medidas son buenas y las características de las partículas en la suspensión medida son similares. Malas técnicas de medición pueden tener mayores efectos en el error de medida que pequeñas diferencias en el diseño de los instrumentos. La precisión, sensibilidad y aplicabilidad sobre un gran intervalo de turbiedades hacen que el método nefelométrico sea más preferido que el método visual.

**1.1.5 La Alcalinidad** del agua es su capacidad de neutralizar ácidos. Esto es la suma de todas las bases titulables. El valor medido podría variar significativamente con el punto final del pH usado. La alcalinidad es la medida de una propiedad total del agua y podría interpretarse en términos de sustancias específicas solo cuando la composición química de la muestra es conocida. La alcalinidad es importante en muchos usos y tratamiento de agua natural o de desecho, debido a que la alcalinidad de mucha agua superficial es principalmente una función del carbonato, bicarbonato y contenido de hidróxidos, esto se toma como un indicador de la concentración de estos constituyentes. Los valores medidos solo pueden incluir contribuciones de boratos, fosfatos, silicatos u otras bases si están presentes. Las mediciones de alcalinidad son usadas en la interpretación y control de los procesos para el tratamiento de agua y agua residual. Los residuos de agua doméstica tiene una alcalinidad menor o ligeramente mayor que el agua de consumo.

**1.1.6 La Dureza** Originalmente, es entendida como una medida de la capacidad del agua para precipitar jabón. El jabón es precipitado principalmente por los iones de calcio y magnesio presentes. Otros cationes polivalentes también pueden precipitar jabón, pero estos a menudo están en formas complejas. En conformidad con las prácticas actuales, la dureza total está definida como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, juntas expresadas como Carbonato de Calcio, en miligramos por litro. La dureza tiene un gran intervalo que va desde cero hasta miles de miligramos por litro, dependiendo de la fuente y el tratamiento al cual haya sido sometida el agua.

**1.1.7 pH** La medida de pH es una de las más importantes y frecuentes pruebas usadas en el agua. Prácticamente todas las fases del suministro de agua y tratamiento de agua residual como neutralización ácido-base, agua blanda, precipitación, coagulación, desinfección y control de corrosión dependen del pH. El pH es usado en medidas de alcalinidad, dióxido de carbono y muchos otros equilibrios ácido-base. A una temperatura dada la intensidad de las características ácidas o básicas de una solución es indicado por el pH o la actividad del ion Hidrogeno. El pH es definido como  $-\log[H^+]$ . El agua pura es ligeramente ionizada, a 25 °C, el pH es neutral, es decir 7.0, lo que indica que la actividad del ion Hidrogeno e Hidroxilo son iguales, y cada uno corresponde a una actividad aproximada de  $10^{-7}$  moles/L. el punto neutral depende de la temperatura por lo que a 0 °C el pH neutral es 7.5 y a 60 °C es 6.5. El agua natural usualmente tiene un pH entre 4 y 9.

**1.1.8 La Conductividad** es una medida de la habilidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica. Esta habilidad depende de la presencia de iones. Las soluciones de compuestos inorgánicos son relativamente buenos conductores. Por otro lado, las moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas conducen muy poco la corriente. En el Sistema Internacional de Unidades (SI) el recíproco de ohm es el siemens (S) y la conductividad es reportado el milisiemens por metro (mS/m);  $1 \text{ mS/m} = 10 \mu\text{mhos/cm}$  y  $1 \mu\text{S/cm} = 1 \mu\text{mho/cm}$ .

**1.1.9 La Temperatura** es usada en cálculos de varias formas de alcalinidad, en estudios de saturación y estabilidad con respecto al carbonato de calcio, en el cálculo de la salinidad y en general en operaciones de laboratorio. En estudios limnológicos, la

temperatura del agua como función de la profundidad a menudo es necesaria. Elevadas temperaturas resultantes de descargas de agua caliente pueden tener un impacto ecológico significativo. La identificación de la fuente de agua como pozos profundos, a menudo es posible identificarlos solo midiendo la temperatura. Plantas industriales frecuentemente requieren información sobre la temperatura del agua para procesos o cálculos de transferencia de calor.

**1.1.10 Cloro (residual)** La cloración del suministro de agua y el agua contaminada sirve, fundamentalmente, para destruir o desactivar microorganismos productores de enfermedades. Un segundo beneficio, particularmente en el tratamiento de agua para bebidas, es el mejoramiento en la calidad del agua como resultado de la reacción del cloro con el amoníaco, hierro, manganeso, sulfuro y otras sustancias orgánicas. La cloración puede producir efectos adversos. Sabor y olor característicos de fenoles y otros compuestos orgánicos presentes en un suministro de agua puede ser intensificado. También es potencialmente cancerígeno, compuestos cloro-orgánicos tal como el cloroformo pueden formarse. El cloro combinado formado en la cloración de agua con amoníaco o aminas puede tener efectos adversos en la vida acuática. Realizar el propósito principal de la cloración y minimizar algunos efectos adversos es el objetivo de analizar el agua tratada, para esto es esencial que los procedimientos de testeo sean usados con un limitador o de una determinación analítica confiable

**1.1.11 El Hierro (Fe)** es el primer elemento en el grupo VIII de la Tabla Periódica; tiene un número atómico de 26, una peso atómico de 55.85 y valencias de 2 y 3 (ocasionalmente valencias de 1,4 y 6). El promedio de hierro en la corteza terrestre es 6.22%, como elemento solido entre 0.5 y 4.3%; en corrientes las concentraciones están alrededor de 0.7 mg/L y en el agua subterránea está entre 0.1 y 10 mg/L. El hierro se encuentra en el mineral hematite, magnetita, taconita y pirita. Este es extensamente usado en acero y otras aleaciones. La solubilidad de los iones férricos ( $Fe^{2+}$ ) es controlada por la concentración de carbonato. Debido a que el agua subterránea es frecuentemente anóxica, nada del hierro soluble en el agua subterránea esta, usualmente, en estado ferroso. Por otro lado, en exposición al aire o adición de oxidantes, el hierro es oxidado al estado férrico ( $Fe^{3+}$ ) y puede hidrolizar para formar oxido férrico hidratado, el cual es rojo e insoluble. En ausencia de formación de complejos iónicos, el hierro férrico no es significativamente soluble a menos que el pH sea muy bajo. Elevados niveles de hierro en el agua pueden causar manchas en las tuberías, lavadoras y utensilios de cocina y puede producir sabores y colores diferentes en la comida. La Organización para la Alimentación y la agricultura de las Naciones Unidas (UNFAO) recomendó que el agua para irrigación debiera contener 5 mg/L. y el estándar de agua para bebidas es de 0.3 mg/L.

**1.1.12 Nitrógeno (Nitritos)** En el agua y el agua de desecho las formas de nitrógeno de mas interés son, en orden decreciente de estado de oxidación, nitratos, nitritos, amoníaco y nitrógeno orgánico. Todas estas formas de nitrógeno así como el nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ), son bioquímicamente interconvertibles y son componentes del ciclo del nitrógeno. Los nitritos son un estado de oxidación intermedio del nitrógeno, tanto en la oxidación del amoníaco en nitrato y en la reducción del nitrato. Cada oxidación y reducción podría ocurrir en las plantas de tratamiento de agua residual, sistemas de distribución de agua y agua natural. El nitrito puede entrar en el sistema de suministro de agua a través de su

uso como inhibidor de corrosión en la industria del procesamiento de agua. El ácido nítrico, que es formado del nitrito en una solución ácida, puede reaccionar con aminas secundarias ( $RR'NH$ ) a nitrosaminas ( $RR'N-NO$ ), muchas de las cuales se sabe que son cancerígenas.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de la práctica empresarial en la PTAP dirigida por la APC Manantiales de Chucuri, se propuso seguir una metodología de tres etapas. La primera consta de la elaboración de un diagnóstico de la PTAP, con el fin de percibir las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de la planta. En la segunda etapa se desarrolló y propuso un plan estratégico de mejoramiento, enfocado en las necesidades de la empresa y sesgado por los objetivos del proyecto, para finalmente desarrollarse el plan, focalizando los aspectos que APC Manantiales de Chucuri propusiera.

### 2.1. ETAPA DE DIAGNOSTICO

En la primera etapa se realizó un diagnóstico del estado de la planta, de los sistemas de potabilización y de los análisis realizados para el monitoreo del agua, paralelo a esto se hizo un inventario de los equipos y químicos que se encontraban en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de San Vicente de Chucuri.

La PTAP de San Vicente de Chucuri es una planta tipo convencional compacta, esto hace que el sistema de tratamiento de agua sea muy rápido y en ciertos momentos no funcione adecuadamente, en especial con turbiedades intermedias (100- 300 NTU). El transporte de masa se produce por efecto de la gravedad, desde la bocatoma hasta la distribución, exceptuando dos barrios, para los cuales se tienen dos sistemas de bombeo, uno con una sola bomba que está en línea con el resto de la red de distribución y otro que consta de dos bombas alternadas el cual es independiente y se encuentra conectado al tanque 3 en las instalaciones de la PTAP.

La primera etapa del proceso es la recepción de agua, la bocatoma, llamada el Borbos,



Imagen 1. Tanque de mezclado del Coagulante

ubicada a 5 Km.

toma alrededor del 12% del caudal del riachuelo del mismo nombre. Este sistema maneja un cribado de fondo el cual conduce a un tanque de almacenamiento temporal para la conducción por tubería hasta los desarenadores, ubicados a 18 m. El desarenador consta de dos tanques comunicados con fondos inclinados cuya capacidad nominal es de 45 m<sup>3</sup> cada uno. En esta etapa la velocidad del agua es disminuida por una serie de baffles en concreto, permitiendo así la sedimentación de los sólidos pesados. Desde este punto el agua es conducida por dos tubos, uno de 8" y otro de 10", hasta la planta de tratamiento,



En la entrada de la PTAP se encuentra ubicado un tanque abierto en el cual se produce la mezcla con el coagulante-floculante, Policloruro de Aluminio (PAC) (ver imagen 1) que se agrega con una concentración de 20% p/v y con un caudal de acuerdo con las propiedades del agua de entrada, también se usa el tanque como aforador, con el cual se calcula el caudal de agua de entrada. A continuación, la mezcla rápida se realiza en una canaleta Parshall, la cual no tiene las dimensiones estándar por lo que se presume no se hizo con el fin de calcular el caudal de entrada, solo para aprovechar el salto hidráulico y conseguir una mejor mezcla. Seguido a la canaleta está un canal de conducción abierto, el cual alimenta los dos sistemas de floculación paralelos; para el sistema de floculación 2 el tiempo de mezcla rápida es aproximadamente 2 veces el tiempo del sistema 1, esto se da debido a la distancia de la canaleta, pues

esta se posiciona a un costado del floculado 1 como se puede observar en el anexo B

La corriente de agua ya dividida llega a cada uno de los floculadores de forma independiente. Los módulos de floculación son un sistema de flujo vertical modificado sobre un canal en U en concreto de 1.25 m de ancho por 6.2 m de largo y una altura de 2.3 m. La primera etapa del sistema de floculación consta de una secuencia de bafles de

Imagen 2. Floculador 1 de la PTAP de San Vicente de Chucuri.

fibra de vidrio posicionados consecutivamente a 0.5 m en sentido horizontal, uno a 0.3 m y el siguiente a 0 m del fondo como se puede observar en la imagen 2, formando así, el flujo vertical, el cual aumenta el recorrido de agua, permitiendo una mejor aglomeración de las partículas cargadas y posteriormente una buena sedimentación. La segunda parte del modulo de floculación consiste en un etapa de flujo libre, la cual actúa como presedimentador. Para inhibir el levantamiento de lodos suspendidos en esta etapa, se elaboró en madera un baffle en la curva del sistema, el cual altera las condiciones de flujo en el fondo del floculador, permitiendo así que los lodos se depositen en él. Finalmente el flujo se encuentra con un canal en concreto que recoge únicamente la corriente superficial del sistema y la deposita en las "flautas"<sup>4</sup> para su distribución a los sedimentadores. Si bien la etapa de presedimentado altera las condiciones de diseño, los operarios insisten en que es la conformación mas óptima del sistema, por lo que no se han hecho cambios debido a la ardua experiencia que tienen en esta planta, dado que algunos llevan más de 10 años manejándola.

El modulo de sedimentación se divide en cuatro tanques de fondo plano de 2.95 m del ancho por 3.95 m de largo y una altura de 2.3 m. El sistema de entrada de agua se ubica a 15 cm del fondo y consta de un sistema de tubos perforados llamados flautas. Ya que las partículas agrupadas son, en promedio, más densas que el agua, estas precipitan por acción gravitacional. Ahora, la velocidad del agua realiza una fuerza en contra de la gravedad por lo que se dispone de 81 paneles ondulados de fibra de vidrio, colocados a 60° respecto a un eje horizontal, posicionados a 0.9 m del fondo, los cuales inhiben el efecto que tiene la velocidad del fluido y precipitan los floculos. Finalmente en la parte

<sup>4</sup> Sistema de tubos que distribuyen el agua en el fondo del sedimentador

superior se recoge el agua ya clarificada con una canaleta que la dispone en la entrada del filtro destinado para cada sedimentador.

El modulo de filtrado consta de 4 filtros retrolavables paralelos alimentados cada uno por un sedimentador, los cuales actúan bajo el efecto de la presión del sistema, es decir, están diseñados para que el cambio de presión que tiene efecto cuando el lecho, conformado por 7 tipos de gravilla, se satura active el retrolavado y así se limpie el mismo. El retrolavado se activa dependiendo de la cantidad de agua procesada, la eficiencia del sedimentador y la cantidad de sólidos que contenga el líquido. Cada filtro está construido en un tanque rectangular de concreto y el sistema de filtrado, conducción y retrolavado se fabrico en fibra de vidrio. Luego de filtrada el agua, sale por un conducto en la superficie de cada uno de los filtros y se mezcla en una tubería para dirigirse a la sala de cloración.

El sistema de cloración de la PTAP de San Vicente de Chucuri es totalmente manual y no tiene un sistema de dosificación de relevante precisión pues este se hace a través de una válvula terminal de ½", alimentada de un tanque con capacidad de 500 L. El cloro usado para la desinfección del agua ya clarificada es un compuesto granulado a base de Cl, el  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ , el cual se mezcla directamente en el tanque de dosificación con ayuda de un mezclador mecánico de dos aspas verticales. La solución de cloro se vierte en una canaleta tipo Parshall, sin dimensiones especificas, de nuevo solo con el ánimo de usar el resalto hidráulico como mezclador.

Finalizado el proceso de cloración, el flujo de agua se distribuye en tres tubos que van directamente a tres tanques ubicados en el costado norte de la Planta, dos con capacidad de 509 m<sup>3</sup> y uno de 699 m<sup>3</sup>, desde allí se realiza la distribución a todo el casco urbano de San Vicente de Chucuri

## **2.2. LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA**

El laboratorio de la PTAP de San Vicente de Chucuri, es básicamente un cuarto dotado con los medios para realizar los análisis para la determinación de la calidad de agua, permeable a humedad y a organismos, es decir, con espacios claramente abiertos. Este se encontró dotado con un Espectrofotómetro Hach DR-2700, un fotómetro MN PF-11, un nefelómetro Hach, un equipo de jarras, dos autoclaves, una bomba de vacío, un horno, una incubadora, un Conductímetro WTW cond 315i, un pH-metro WTW cond 315i, vidriería necesaria para los análisis y en buen estado, lámpara UV, sistema de filtrado para análisis microbiológico y nevera, todos los anteriores en buen estado, aunque sin certificados de calibración, adicional a esto se encuentra un destilador de agua el mal estado.

Con relación a las sustancias químicas necesarias para el análisis de las muestras de agua y la calibración de los equipos, se encontró solo con un recipiente con Murexida y otro con Negro de Eriocromo T (NET) en aparente buen estado, las demás soluciones necesarias no se encontraron o estaban en mal estado.

Respecto a su infraestructura, el laboratorio está ubicado dentro de las instalaciones de la PTAP, no cuenta con sistema de ventilación, ni de estabilización de temperatura, por lo cual los cultivos microbiológicos solo se pueden realizar dentro de la incubadora.

Se encontró que los análisis realizados por los operarios, como rutina, consistían en tomar la turbidez, color, pH, olor y el sabor, debido a la inexistencia de reactivos, no se podía

hacer análisis de cloro residual, dureza, ni alcalinidad. También se pudo notar que estos análisis eran poco rigurosos y que en algunas ocasiones no se tomaban las precauciones ni la medidas necesarias para un análisis confiable.

### **2.3. PROPUESTA A APC MANANTIALES DE CHUCURI**

Dentro del marco del objetivo de la practica se propuso algunos métodos, para los cuales había disponibilidad física, y de equipos en el laboratorio, lo cuales eran recurrentes con la resolución 2115 de 2007 y mejoraban los indicadores que en la misma se implementan. También se propuso cambios en la estructura de los ya existentes, enfocándolos al marco del *Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater* (SMEWW). Por otro lado, se propuso un cronograma (ver anexo D) de muestreo y análisis teniendo en cuenta lo dispuesto en el decreto 1575 y la resolución 2115 de 2007, los cuales indican la regularidad de los análisis en una PTAP dependiendo del número de usuarios que esta tiene. Igualmente se propuso la creación un sistema de monitoreo de cada equipo.

A continuación se anotan las propuestas que se pusieron a disposición de APC Manantiales de Chucuri y fueron aceptadas. Se aclara que aproximadamente el 96% de las propuestas presentadas fueron aprobadas y puestas en marcha y de estas, cerca del 90% sin modificaciones

#### **2.3.1. Dotación De Laboratorio**

Luego del análisis del diagnostico se notó la falta de pruebas importantes en el desarrollo del sistema de potabilización de agua en la PTAP de San Vicente de Chucuri. Para algunos casos, como el del Cloro residual, son de gran importancia en la producción de agua potable, dada la responsabilidad que implica la etapa de desinfección y el gran riesgo que representa alguna deficiencia en este sistema, por lo que dentro de la propuesta se hizo énfasis en la adquisición de un kit de referencia MN931215 para el análisis de cloro residual y total que requiere el Fotómetro PF-11.

En cuanto a químicos se hizo el requerimiento a APC Manantiales de Chucuri para la adquisición de soluciones para la determinación de (ver Tabla 1):

- Dureza cálcica por titulación: NaOH 1 N.
- Dureza total por titulación: Buffer pH 10, EDTA 0.02 N
- Alcalinidad: Metil Naranja (indicador) y HCL 0.022N

En lo que hace referencia a instrumentos, como kits para análisis, soluciones para la calibración y mantenimiento de equipos se requirieron:

- Fotómetro MN PF-11: kit para la determinación de Cloro, Hierro y Nitritos
- pH-metro WTW 315i: Buffer pH 4 y 6 para la calibración del equipo y solución de KCL 3 M para el mantenimiento del electrodo.
- Conductímetro WTW 315i: solución de KCL como patrón de conductividad. 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25 °C.

Adicional a lo ya mencionado también se hizo referencia en el pedido a los recipientes para la toma de muestras, para lo cual se solicitaron recipientes de 600 mL para los

análisis fisicoquímicos y de 100 mL para los análisis microbiológicos, así como agua desmineralizada como blanco para algunas pruebas y ajuste de otras. En cuanto a equipos se solicitó una balanza analítica con capacidad de 400 g y sensibilidad de 0.1 g, al igual que una Pera Pipeteadora convencional.

Como se desconoce el estado de la Murexida y el Negro de Eriocromo T, y ya que laboratorio de la PTAP de San Vicente de Chucuri no posee los medios para comprobar que tan útiles son estos indicadores en las condiciones descritas en el diagnóstico (sección 2.1), se hace la gestión ante el Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la UIS (LQCIUIS), quienes constataron el buen estado de estos.

### **2.3.2. Métodos De Análisis Fisicoquímico**

En el laboratorio de la PTAP se encontraron métodos bien estructurados, sin embargo la metodología usada daba como resultado errores en la medición y demasiada incertidumbre en los resultados, por lo que se decidió cambiar las prácticas realizadas en los análisis.

Uno de los procesos importantes para la determinación de la calidad de agua es la toma de muestras. De esta depende en gran medida la veracidad de los resultados obtenidos y la eficiencia del proceso de potabilización como lo describe el Anexo C.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la cantidad de experimentos que se debe hacer de una prueba a la muestra de agua, dado que entre mayor sea la cantidad, el error por medición es menor, lo que mejora la precisión de los análisis. Para este caso, por cuestión de tiempo y recursos, una prueba se repite tres veces en el mismo equipo y en lo posible bajo las mismas condiciones, lo que nos debería arrojar mejores resultados. Es posible que uno de los resultados de los análisis realizados, no se encuentre dentro de los intervalos de los valores anteriores, por lo que es posible descartar esta muestra y realizar otras comprobatorias.

En el anexo C se muestran los procedimientos para la realización de los análisis, los métodos están basados en el SMEWW.

## **2.4. CRONOGRAMA DE ANÁLISIS PARA AGUA TRATADA**

La caracterización del agua en una PTAP es el proceso que le da veracidad y satisfacción al proceso que en esta se realiza. Es importante conocer las variables de entrada del sistema, sin embargo para el cumplimiento de los objetivos de este trabajo, monitorear la variables de salida fue prioritario, dado que los resultados del trabajo de todo el sistema se reflejan en el producto final. Sin embargo se revisaron los sistemas de análisis para el agua cruda y se notó que estos se realizan cada 3 horas, 24 horas al día, revisando aspectos importantes como turbiedad, color, pH y prueba de jarras, parámetros suficientes para tener un control eficiente de la planta pues ya con esto se cuenta con información importante para dosificar PAC y caudal, que son los elementos del conjunto de operaciones que controlan el comportamiento de la planta, debido a que para la cloración se maneja un esquema de control feedback manual.

**Tabla 3. Requerimiento de Soluciones y equipos para Laboratorio**

<b>EQUIPO-MÉTODO</b>	<b>DETALLE</b>	<b>CANT.</b>
Calibración PH-metro	buffer ph4	500 mL
	buffer ph7	500 mL
WTW cond 315i	Solución de KCL para calibración. 1413 $\mu$ S/cm	500 mL
Fotómetro PF-11 Macherey-Nagel	kit cloro libre y total 931 215	150 determ.
	kit hierro 914 217	100 determ.
	kit nitrito 931 244	150 determ.
Dureza total (titulación)	Buffer Ph 10	500 mL
	EDTA 0,02 N	1000 mL
Dureza Cálcica (titulación)	NaOH 1 N	1 L
Alcalinidad	Indicador Mixto (Metil Naranja)	250 mL
	HCL 0,022 N	1000 mL
pH metro WTW 315i	KCl solución 3M	250 mL
	Agua desmineralizada	1 Gal
	Frascos desechables para toma de muestras de 600 mL	100 unid
	Frasco para toma de muestras de orina	100 unid
	Pera pipeteadora universal	1
	Balanza electrónica portátil cap: 400g, sensibilidad: 0,1 g	1

Para un manejo equilibrado entre el sistema administrativo, el operativo y el de control, este ultimo ejercido por los entes de control estatales en cumplimiento de las normas que regulan la calidad del agua potable y la regularidad de los análisis, se planteo un esquema de análisis expuesto en su totalidad en el Anexo C, el cual advierte la necesidad de hacer análisis exhaustivos cada dos días como lo enmarca la resolución 2115 de 2007 en el artículo 21. Adicional a esto se propone enviar a una muestra mensual a un laboratorio acreditado, posteriormente se determino que el Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la UIS (LQCIUIS) cumplía con las características deseadas. El cronograma planteado esquematiza todo el proceso de muestreo y análisis, tanto del laboratorio de la PTAP como el de la LCIUIS para el año 2010.

## 2.5. HOJA DE VIDA DE EQUIPOS DEL LABORATORIO

Dada la poca información que se tiene acerca de los equipos de laboratorio, se creó un esquema, donde se recoge información técnica del equipo, así como características administrativas que lo identifican. También se plantea llevar un registro de las eventualidades del equipo, como mantenimientos y calibraciones. En el anexo F se puede observar el esquema que se lleno con cada uno de los dispositivos del laboratorio, anexo a esta información también existe un registro de los reactivos disponibles allí junto con los certificados de estos.

### 3. RESULTADOS

Realizado el diagnóstico al sistema de potabilización de agua se encuentran varias evidencias de modificaciones al sistema teórico, sin embargo los operarios advierten que es la conformación con mejores resultados que han encontrado, sin embargo, respecto a la eliminación del 50% de los baffles de floculación de los dos sistemas de floculación, se debe tener en cuenta que las partículas tienen 50 % menos de distancia para conformar las aglutinaciones de partículas cargadas, esto puede provocar un desprendimiento en la zona de sedimentación, lo cual se ve reflejado en un aumento de la turbidez en la salida del sedimentador y una saturación rápida del sistema de filtrado. También es de cuidado el volumen de producción de agua con respecto al tamaño del sedimentador. El caudal promedio de entrada es de 60 L/s, por otro lado las dimensiones internas de cada sedimentador, según los diseños de estos, aportados por APC Manantiales de Chucuri son: 2 m de alto; 2.56 m de ancho y 3.35 m de largo, lo que es equivalente a un volumen de 17.14 m<sup>3</sup>. Con estos datos ya se puede calcular el tiempo de retención  $\tau$  en cada tanque con un flujo promedio, de esta forma:

$$\tau = \frac{1s}{60L} * \frac{1000L}{1m^3} * 4 * 17.14m^3 * \frac{1min}{60s} = 19.04min$$

Cabe destacar que se asume que el caudal total de entrada se divide en cuatro partes iguales, que corresponde a los cuatro tanques sedimentadores existentes.

Se advierte también la falta de regulación en el sistema de dosificación del PAC, ya que los elementos usados, un tanque y una manguera en el fondo, similar a las usadas para dosificar suero en las clínicas, no garantiza un flujo constante, lo que puede provocar dificultades en el sistema.

Por otro lado, ya planteadas y aprobadas las órdenes de compra, se procedió a realizar las cotizaciones y a continuación la compra de todos los insumos requeridos. Este proceso junto con el análisis tuvo una duración aproximadamente de 10 semanas, tiempo en el cual se realizó el diagnóstico, se pasó la propuesta, la empresa APC Manantiales de Chucuri aprobó la compra, se hicieron las cotizaciones y el análisis respectivo para proceder a comprar y finalmente recibir todos los reactivos y equipos listados en la tabla 1. Sin embargo los análisis del LQCIUIS se iniciaron el 25 de Noviembre de 2009 fecha de la aprobación de esta propuesta, y se han venido haciendo mensualmente conforme al cronograma planteado (Ver anexo D).

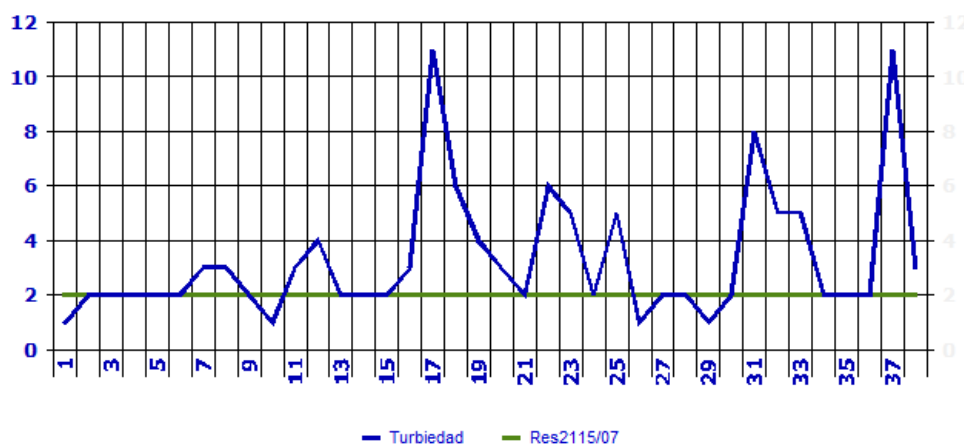
Antes de comenzar con el proceso de análisis en la PTAP fue necesario crear un formato de toma de muestras (ver anexo G), con el fin de llevar un registro físico de los análisis.

Las pruebas se empezaron a realizar el 22 de Enero de 2010, cada dos días conforme lo estipula en anexo D.

Como resultado del trabajo, también se realizó un programa para gestionar todos los métodos del laboratorio y con capacidad de generar informes, gestionar usuarios, organizar personal y verificar horarios de entrada y salida entre otras herramientas reportadas en el manual del anexo H. Todos los datos y las graficas reportadas abajo fueron generadas con el programa Análisis Lab realizado para este procedimiento.

La turbiedad es el parámetro que merece más atención en la PTAP pues es un regulador del PAC y dado que en la planta hay serios problemas de sedimentación, el manejo que se le dé al coagulante es de bastante interés para los operarios. Sin embargo como se puede notar en la Grafica 1. La turbiedad de salida normalmente es más alta que el máximo permitido por la ley, esto se da debido al temporal lluvioso por el cual estaba atravesando la región para la época de lluvias, dado que la época de poca lluvia, entre octubre y diciembre el LCIUIS realizó un análisis al agua cruda con el cual se pudo constatar que en época de verano, solo se necesitaría la desinfección para tener agua potable, sin embargo este tipo de análisis solo pretende presentar un precedente de la excelente calidad del agua en San Vicente de Chucuri.

### Turbiedad



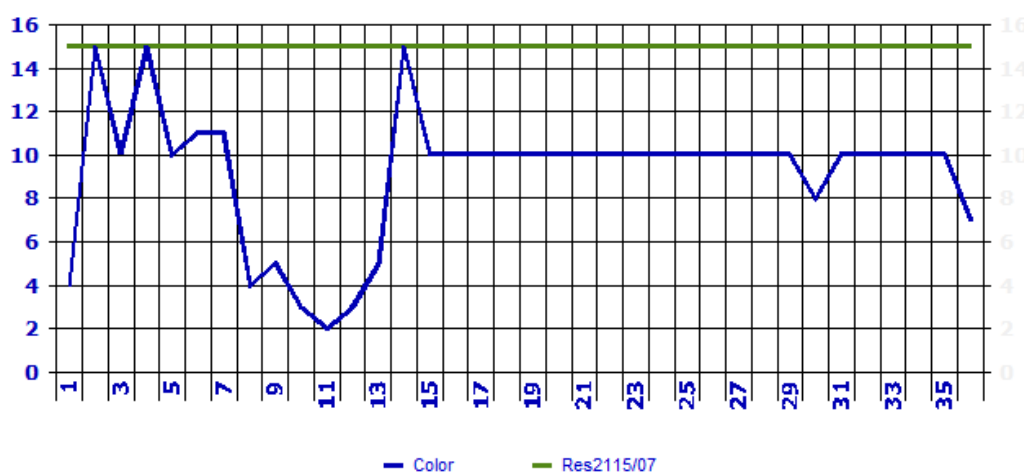
**Grafica 1. Turbiedad de salida en la PTAP. Fuente: Programa Análisis Lab.**

Ya que la medida del coagulante utilizado depende de turbiedad de entrada, se hacen pruebas de jarras periódicamente, y la frecuencia de este se aumenta dependiendo de las condiciones del agua cruda, a mayor turbiedad la frecuencia de pruebas aumenta. Se conoce que la PTAP trabaja muy bien cuando el agua cruda presenta turbiedades menores que 15 y mayores de 300 NTU, sin embargo con turbiedades entre los 15 y los 300 NTU el caudal se tiene que disminuir hasta aproximadamente 30 L/s, lo que genera una disminución importante del nivel de los tanques, para poder manejar regularmente la planta, esto se debe a que los floculos producido a estas turbiedades no son lo suficientemente estables y tienden a desagruparse en el sedimentador, lo que genera un alza en la turbiedad del agua, si a esto se le suma que normalmente las turbiedades altas alcanzan 800 NTU, el sistema ya está saturado de sedimentos, por lo que se debería realizar un drenaje de fondos, sin embargo el sistema de drenaje del floculador, que actúa

como presedimentador, y el sedimentador , no están diseñados para este tipo de actividades, por lo que es inútil realizar esta actividad. Como elemento de emergencia, se tiene una tabla que indica la cantidad de coagulante dependiendo de la turbiedad de salida, sin embargo dada las condiciones cambiantes del agua se hace necesario realizar pruebas de jarras con el objetivo de constatar lo implementado, el programa Análisis Lab, cuenta con un sistema de monitoreo de prueba de jarras, que consiste en primero retomar datos almacenados por los mismos operarios y luego dada la turbiedad de entrada generar un dato de la cantidad de coagulante. Este herramienta de Análisis Lab, se retroalimenta conforme los operarios inserten resultados de las pruebas de jarras realizadas.

Como se puede observar en la grafica 2, el color permanece normalmente por debajo de la norma, 15 UPC.

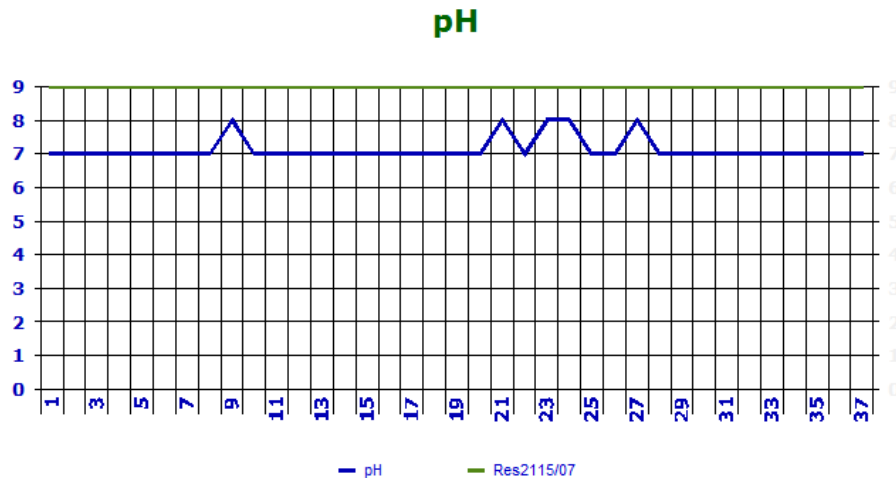
### Color



**Grafica 2. Resultados de los análisis de Color en la PTAP. Fuente: Análisis Lab**

En los primeros análisis, la prueba de color se hacía con el Espectrofotómetro DR 2700, sin embargo este equipo tuvo una deficiencia en la lámpara, lo cual imposibilitó hacer los análisis en este por lo que se realizaron en el Fotómetro PF-11 el cual tiene un intervalo de medida desde 10 UPC hasta 500 UPC, dado que el color es muy probable que esté por debajo del mínimo del equipo, los resultados no ofrecen mucha información, sin embargo el intervalo de trabajo es útil por estar por debajo del máximo permitido por la legislación colombiana. Para un color menor que 10 UPC el fotómetro reporta <10 UPC

Salvo algunas fluctuaciones (ver grafica 3), el pH del agua de salida de la PTAP es muy estable y está dentro del intervalo de trabajo del floculante-coagulante usado, PAC, lo cual indica una buena acción de este dentro del sistema. A pesar que el equipo presenta problemas en la estabilización de la medida, contrastado con las muestras tomadas de los análisis enviados al LQCIUIS, y las calibraciones hechas con buffers certificados, este presenta resultados aceptable, ya que converge efectivamente al pH estándar de cada uno de los buffers usados (pH 4.01, 7 y 10).



**Grafica 3. Resultados análisis de pH. Fuente: Análisis Lab.**

La conductividad es un parámetro importante en la determinación de la concentración iónica del agua. El agua cruda de la PTAP es bastante aceptable (ver grafica 4), dado que en promedio la conductividad es de 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y la norma indica que el máximo permitido es de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Para la estandarización de este equipo se tuvo que realizar una curva de calibración pues el dispositivo no permite una calibración, este solo permite ajuste de parámetros, los cuales no son útiles para obtener un buen resultado. Se aclara que dado que no se cuenta con una bandeja de calentamiento, la prueba de conductividad no se puede realizar a una temperatura fija de 25  $^{\circ}\text{C}$ , como lo indica el SMEWW. En la grafica 5 se puede observar el comportamiento esperado de la conductividad del estándar o conductividad nominal ( $y_n$ ), el mostrado por el equipo o conductividad tomada ( $y_t$ ) y la conductividad corregida ( $y_c$ ), en función de la temperatura; también se puede observar el comportamiento medio lineal obtenido mediante el método de mínimos cuadrados. Para obtener los comportamientos lineales se obtuvo una ecuación para cada grupo de datos, y con estas funciones se calculo el parámetro de desviación porcentual respecto a la línea nominal ( $k$ ) de las conductividades tomadas. Los datos tomados corresponden al patrón de conductividad, con esto se asume que el comportamiento del Conductímetro es similar cuando se trata con agua.

$$y_n(T) = 0.0258T + 0.7668$$

$$y_t(T) = 0.0277T + 0.7228$$

$$k(T) = 1 - \frac{19T - 440}{277T + 7228}$$

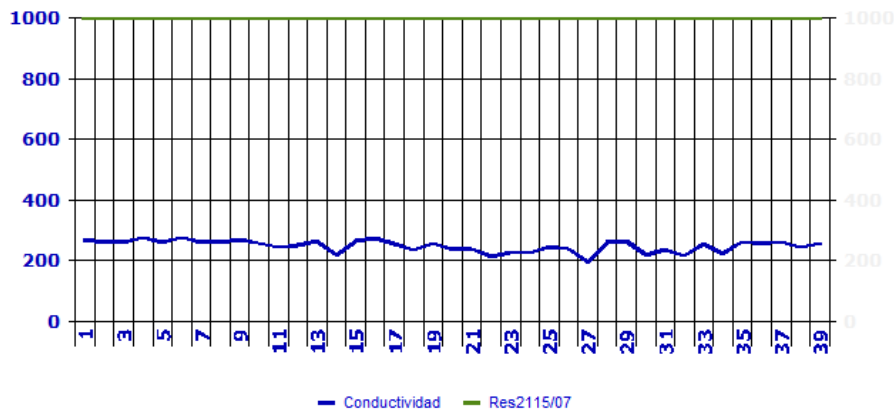
Donde  $T$  es la temperatura en  $^{\circ}\text{C}$ .

De esta forma la conductividad corregida es:  $y_c = y_t * k(T)$ . por lo que son necesarios los datos de temperatura y conductividad para cada análisis.

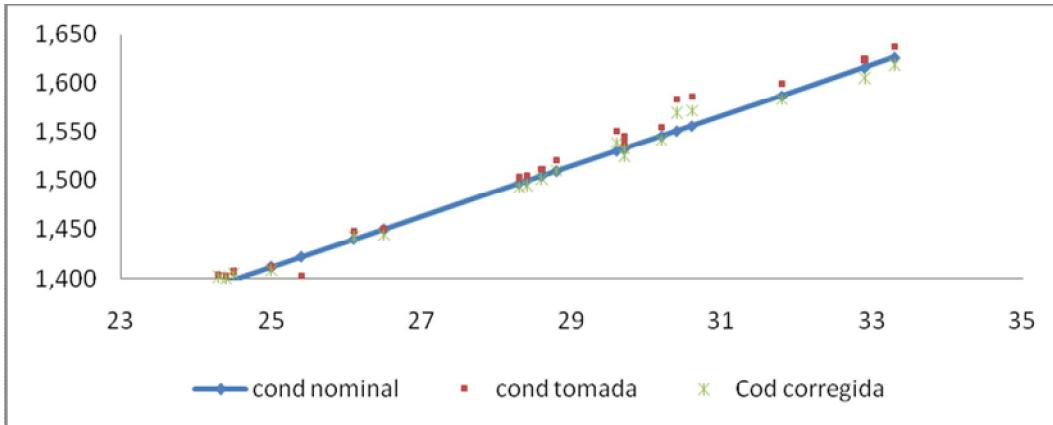
La temperatura de la muestra, es la encontrada en la fuente al momento de la recolección, sin embargo si esta es refrigerada, se reporta la temperatura a la cual se tomaron los análisis, dado que en este momento, la muestra se atempera. La temperatura fluctúa de acuerdo con el clima, sin embargo permanece alrededor de 23 °C. Esta temperatura establece la temperatura a la que se hicieron los análisis y se toma desde dos equipos diferentes, el pH metro y el Conductímetro, luego se calcula la media de los datos tomados.

El cloro residual se tomó con soluciones ya estandarizadas (Ver grafica 6), de acuerdo con las referencias del kit ya especificado, sin embargo se realizaron unas pruebas con agua desmineralizada obteniendo los resultados esperados, para esta se diluyeron 0.1 g de cloro granulado en un litro de agua destilada, el cual tiene 70% de cloro el cual es el componente activo, por lo que la concentración de cloro es en la solución es de 0.07 g/L lo que equivale a 70 mg/L ya que el intervalo del método es de 0.1 – 2.0 mg/L de Cl<sub>2</sub> es necesario diluirlo por lo que se toman 2 mL de la solución muy bien agitada y se afora a 0.1 L con agua destilada con lo que se obtiene una solución de 1.4 mg/L Cl<sub>2</sub>, dado que el cloro se degrada con el tiempo, por efecto de la radiación y la evaporación, estas soluciones se usaban solo para una prueba en la que se realizaban dos análisis. Y esta se realizo dos veces durante todo el periodo de prueba, dado que se obtuvieron resultados favorables como se muestra en la tabla 2

### Conductividad

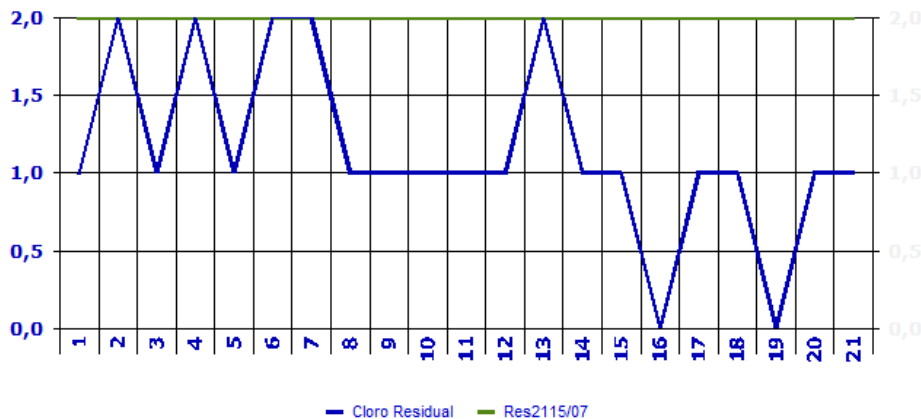


**Grafica 4. Comportamiento de la conductividad en el agua tratada de la PTAP.**  
Fuente: Análisis lab



**Gráfica 5. Curva de Calibración Conductímetro.**

### Cloro Residual



**Gráfica 6. Comportamiento del Cloro Residual en la PTAP. Fuente: Análisis Lab**

**Tabla 4. Estandarización método cloro libre**

Solución Estándar	Medida del Fotómetro
1.4 mg/L Cl <sub>2</sub>	1.37 mg/L Cl <sub>2</sub>
1.4 mg/L Cl <sub>2</sub>	1.42 mg/L Cl <sub>2</sub>
1.4 mg/L Cl <sub>2</sub>	1.39 mg/L Cl <sub>2</sub>
1.4 mg/L Cl <sub>2</sub>	1.48 mg/L Cl <sub>2</sub>

La alcalinidad se medía cada 4 días, como lo indica la resolución 2115 de 2007. En la grafica 7, se puede observar el comportamiento de esta. Los análisis fueron tomados entre enero y abril de 2010, se puede observar que para marzo las condiciones no fueron las mejores, pues está suficientemente elevada, con respecto al marco legal. Este fenómeno tiende a pasar en la temporada lluviosa, dado que el sistema de potabilización no funciona correctamente, dejando sustancias aun disueltas en el agua, lo cual aumenta la Alcalinidad proporcionalmente a la ineficiencia de la PTAP. Para este método solo se realizo la estandarización del método como lo indica el SMEWW sin embargo no se

utilizo ninguna solución estándar para comprobar la efectividad de este, dado que el laboratorio no posee los reactivos necesarios para esto, sin embargo las soluciones usadas para la titulación fueron certificadas por el laboratorio proveedor.

En la grafica 8 se puede observar el comportamiento de la Dureza total. Este análisis se llevo a cabo cada 4 días, la razón de la poca cantidad de pruebas, es que debido a inconsistencias administrativas, la compra se retraso, alrededor de un mes en comparación a los demás reactivos. Para la estandarización se hizo una solución de Carbonato de Calcio, de la siguiente forma: se adquirió  $\text{CaCO}_3$  anhidro bajo en metales pesados, y se dejo durante 12 horas en el horno a  $70^\circ\text{C}$ , luego se peso 1 g de este compuesto, se agrego a un balón aforado de 1 L, en el se diluyo el carbonato de calcio en HCl 1 N, este último se agrego gota a gota hasta que diluyo totalmente el carbonato de calcio, a continuación se agregaron 200 mL de agua destilada y se hirvió por unos minutos en un recipiente limpio y seco para expeler el  $\text{CO}_2$  de la solución, se ha dejado enfriar y finalmente se afora a 0.5 L. En caso que se presente alguna precipitación, se puede agregar algunas gotas de HCl y agitar, con esto se aumenta la solubilidad. Esta solución tiene una concentración de 2 mg de  $\text{CaCO}_2/\text{L}$ . Con esta solución se hicieron las pruebas necesarias para ajustar la titulación. La mejor combinación encontrada para determinar la dureza total se logro agregando a 30 mL de la muestra 2 mL de buffer pH 10 y cuatro cucharadas medidoras de NET o lo suficiente para obtener un vino tinto oscuro, luego titular con EDTA 0.04 N hasta obtener un color Azul oscuro.

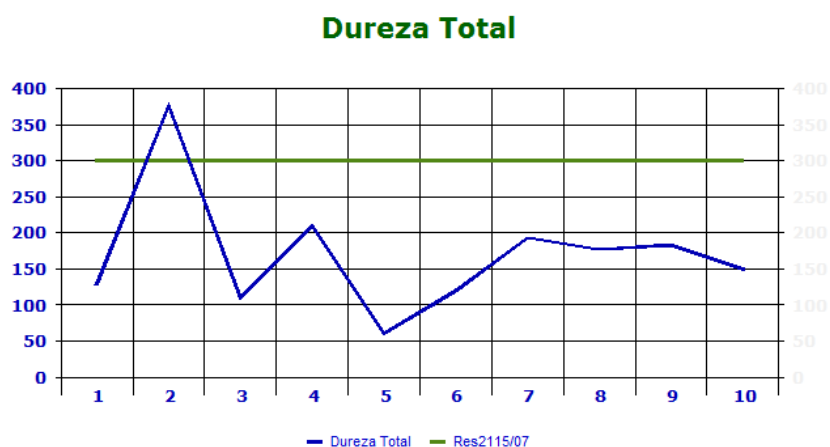


**Grafica 7. Alcalinidad del agua tratada en la PTAP. Fuente: Análisis Lab**

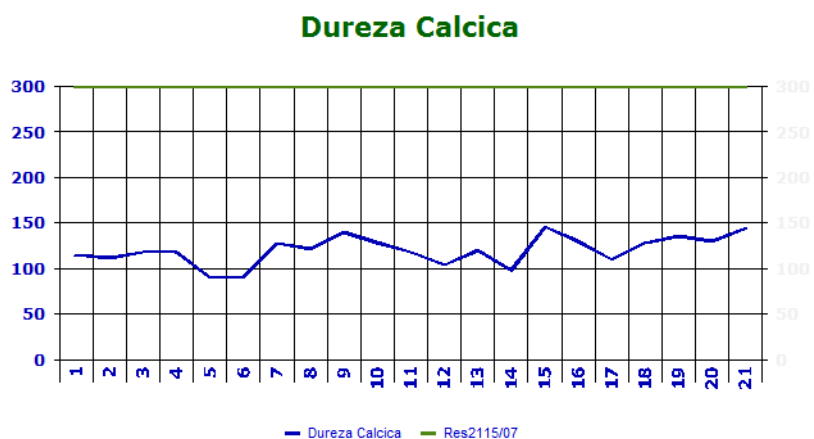
En el caso de la Dureza Cálcica (ver grafica 9) se pude notar que se mantuvo relativamente constante durante todo el periodo de pruebas, lo que implica que las variaciones en el sistema son debidas principalmente a los iones de Magnesio presentes en el agua. Para la estandarización de este método, se uso la misma solución de carbonato de calcio, usada para la Dureza total. En este caso se pudo establecer que la combinación de reactivos con mejores resultados se obtuvo al adicionar 50 mL de muestra en un erlenmeyer limpio y seco, a esta adicionarle 1 mL de NaOH y después 1 o dos cucharada medidora de Murexida, después titular con solución EDTA 0.04 N.

Las pruebas para la determinación de la mezcla de reactivos para los análisis titrimétricos se hicieron con el método de error, con lo que se tuvo en cuenta la cantidad de reactivos y muestra usada.

Para el caso de determinación de Hierro y Nitritos se usó el fotómetro PF 11 y un kit de determinación estándar para cada uno de los parámetros. Dado que estos kits están desarrollados basados en estándares internacionales se realizó el análisis conforme con la casa matriz del fotómetro, estos métodos no se pudieron comprobar debido a deficiencias en el stock de químicos del laboratorio, sin embargo los cotejos con las pruebas realizadas en el LQCIUIS mostraban valores más bajos a los mínimos reportados para cada análisis. En el caso del hierro la concentración más baja permitida por el método es de 0.1 mg Fe /L, valor que se encontró en cada uno de los análisis que se hicieron en el periodo en prueba. De igual forma, la concentración de nitritos permitida por el método es entre 0.02 y 0.050 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L. Por lo que la concentración en todos los casos fue <0.02 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L lo que no contrasta con los análisis de hechos en el LQCIUIS pues los vales allí encontrados fueron de 0.011 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L en promedio.



**Grafica 8. Dureza total del agua tratada de la PTAP. Fuente: Análisis Lab**



**Grafica 9. Dureza cálcica del agua tratada de la PTAP. Fuente: Análisis Lab**

En el caso de los métodos organolépticos como lo son el sabor y el olor, se monitoreo cada prueba con los métodos arriba descritos, dando en todos los casos resultados satisfactorios.

Todos los métodos expuestos fueron sensibilizados y retroalimentados con los operarios, los que adoptaron las los métodos y los pusieron en práctica. En el caso del programa Análisis Lab, fue la empresa quien tomo las medidas para la implementación de este en la PTAP comprando un computador para disponerlo para esta labor. En este cada operario tendrá su usuario con el que tomara nota de todos los datos obtenidos. Ver anexo H

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se puede notar una deficiencia importante de infraestructura en el sistema de potabilización. En primer lugar la falta de tiempo de floculación altera el desarrollo de los floculos, lo que los hace más débiles y menos densos, propensos a un desagrupamiento y reactivación de la turbiedad.

El modulo de sedimentación tiene grandes deficiencias debido al tiempo de retención que es de solo 19.04 min para cada uno de los tanques, suponiendo una entrada global de 60 L/s, lo cual es muy bajo, permitiendo el paso de floculos hacia la zona de filtros colmatando estos y obligando al paso de partículas suspendidas hacia la zona de desinfección, lo cual se convierte en un problema cuando se combina material orgánico con cloro pues puede formar compuestos potencialmente cancerígenos.

Una mala dosificación de PAC y solución de cloro puede contribuir negativamente al bueno manejo de la planta, y hacer que la planta deje de producir agua potable, lo que implica una supervisión constante al flujo de los dos mecanismos

Respecto a la dotación del laboratorio, se puede observar que este aumento su dotación de químicos en un gran porcentaje, también se reactivaron algunos equipos que no se les estaba dando el uso adecuado, esto contribuye directamente a un mejoramiento en la calidad del agua, pues al tomar datos más certeros se puede hacer mejor manejo de los recursos y de la PTAP.

Se nota en los análisis de salida la deficiencia de la planta, principalmente en época lluviosa, donde se sobreestima, lo que la hace trabajar forzada y los procesos se realizan incompletos.

Se cuenta con una muy buena fuente abastecedora de agua pues esta a pesar que en verano disminuye el caudal considerablemente, nunca ha sido necesario parar la planta por problemas en el abastecimiento. Además se pudo notar en los análisis, la buena calidad del agua cruda dado que en ocasiones esta solo requiere desinfección.

Los procesos demandados por la legislación son bastante rigurosos y de estricto cumplimiento, tener una visualización general del sumario de muestreo puede limitar la importancia de este y también agilizar vía administrativa la compra de elementos que permita su mejoramiento. De igual forma tener una mirada global del proceso de muestreo del agua potable también hace notar la gran cantidad de datos que se manejan para llevar un seguimiento oportuno y veraz, por lo que el desarrollo de herramientas que permitan agilizar este proceso y disminuir los costos que esto acarrea, son un elemento muy importante en el proceso de consolidación y acreditación de una empresa.

## 5. CONCLUSIONES

El trabajo con el personal de la APC Manantiales de Chucuri en pro del mejoramiento de los servicios públicos en San Vicente de Chucuri permite concluir:

- La readecuación del sistema de potabilización puede mejorar sustancialmente el proceso de potabilización, puesto que las deficiencias en el sistema son fundamentalmente un problema de infraestructura,
- El proceso de muestreo y análisis del agua potable regula el gasto de químicos y la composición del agua por ser un proceso con filosofía Feedback. Lo que implica una inversión importante en el laboratorio de la planta, con el objetivo de dotarlo de nuevos y mejores equipos y/o mejorar los ya existentes aplicando periódicamente actividades de mantenimiento y calibración, así como también mantener un stock de reactivos, que garantice la continuidad de lo programa de análisis de agua.
- El proceso de potabilización de agua para consumo humano requiere una supervisión constante, no solo porque la vida de un gran número de personas depende de las condiciones del producto si no porque las entidades reguladoras del estado tiene en servicio herramientas y programas que permiten verificar las condiciones de proceso en cualquier momento.
- La implementación de herramientas que agilicen el proceso de sistematización de los datos permiten poseer un compendio de estructuras de información fundamentadas en el mejor y más eficiente entendimiento, y que mejoran el proceso de producción por la versatilidad y la agilidad que estos pueden ofrecer al operario.

## 6. RECOMENDACIONES

- Agilizar la readecuación de sistema de floculación y sedimentación de la PTAP para garantizar en todo momento agua de buena calidad.
- Readecuar el laboratorio, adicionando sala de microcultivos, depósito de reactivos, ventilación adecuada, cámara extractora de gases y sala de dispositivos de alta sensibilidad.
- Continuar con el proceso de análisis conforme lo disponen las normas vigentes.
- Gestionar la certificación del laboratorio ante las entidades correspondientes, con lo cual se pueden ofrecer servicios de extensión, lo que traerá beneficios a la empresa y a la comunidad.
- Implementar sistemas automáticos de dosificación, estos mejoran la producción y con sumen menos recursos.
- En caso de demora en la readecuación del sistema de sedimentación y floculación, analizar la viabilidad de contratar personal para ayudar en esta etapa de la coagulación.
- Capacitar adecuadamente a los operarios, en nuevas metodologías en la potabilización, ya que esto mejora el rendimiento de los empleados.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

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.

HACH COMPANY; Browser by parameters. Obtenidos en enero de 2010, de <http://www.hach.com/hc/browse.parameter>

\_\_\_\_\_. Manual de usuario DR 2700, edición 1. Junio de 2007

UNIVERSIDAD DISTRITAL; Proyecto Fluorescencia, Calidad de Agua. Obtenido en enero de 2010, de <http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia>

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS AMBIENTALES. programa regional hpe/ops/cepis de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano.

CHAMORRO, Andrés Felipe y ANDRADE, Luis Alejandro. Volumetría con formación de complejos, determinación de la dureza en el agua natural. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

DAG HONGVE y GUNVOR AKESSON (1996). Spectrophotometric determination of water colour in hanzen unit. Pergamon, Vol. 30, p 2771-2775

MENÉNDEZ, M. Determinación de calcio en aguas naturales y efluentes industriales, método titulométrico con EDTA. DINAMA

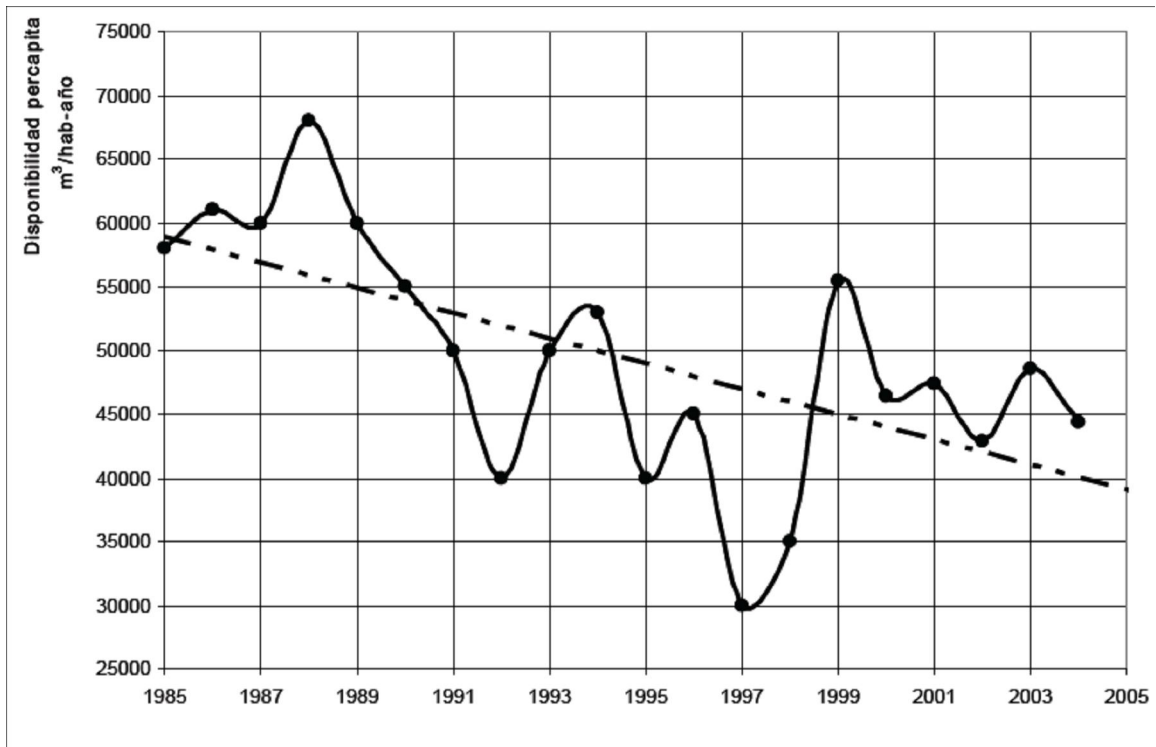
BUITRAGO LÓPEZ, Rosdany M. Diagnostico y mejora de la planta de tratamiento de agua de Aguas del Paraíso S.A ESP. Proyecto de grado. Dir. Dr. Carlos Fernando Guerra H. Universidad Industrial de Santander, 2007

MACHEREY-NAGEL. Fotómetro de filtros PF-11 para evaluación de ensayos Visocolor y de los ensayos de tubo Nanocolor, Manual de usuario.

\_\_\_\_\_. Visocolor ECO, Colorimetric test, obtenido en noviembre de 2009, de <http://www.mn-net.com/tabid/4648/Default.aspx>

## ANEXO A

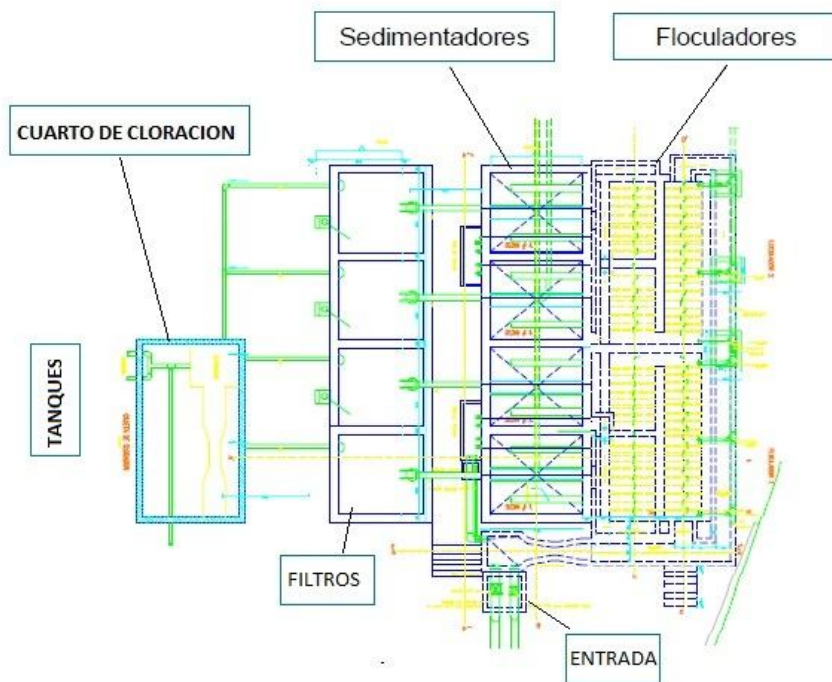
### DISPONIBILIDAD PER CÁPITA DE AGUA ENTRE 1985 Y 2005



Disponibilidad de agua per cápita. Fuente: IDEAM

## ANEXO B.

### DIAGRAMA DE LA PTAP DE SAN VICENTE DE CHUCURI



## ANEXO C

### MÉTODOS USADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

**Olor Y Sabor** El olor y el sabor son características físicas del agua que indica que sustancias como ácidos, sales, gases entre otras, están disueltas en el agua. Medir este parámetro es importante ya que en muchos casos es el único recurso que se tiene para verificar la presencia de algún compuesto indeseado en el agua.

El SMEWW propone el uso del método del umbral de olor y sabor por dilución de la muestra, sin embargo para este caso, debido a las características del agua, la cual normalmente no presenta ningún tipo de olor ni sabor, se hace una modificación a este método.

Los equipos necesarios para realizar una prueba satisfactoria son un recipiente libre de olor y sabor. Antes de usar el recipiente, limpie rápidamente con jabón inodoro y solución de ácido para el lavado y enjuague con agua libre de olor a alta temperatura, repita esta última varias veces, si es necesario agregue agua hirviendo al recipiente y tápelo durante algunos minutos; para realizar estas actividades no use guantes de caucho. Se recomienda reservar el recipiente de vidrio únicamente para la prueba de olor y sabor. No use caucho, corcho o tapones plásticos ni tampoco recipientes de boca angosta, preferiblemente use tapones de vidrio o tapas recubiertas con TFE.

Los reactivos que se debe tener en disposición es agua libre de olor, esta se consigue destilándola, desionizándola o pasando agua tratada a través de un lecho con carbón activado, esta se usa como blanco de comparación.

La persona que realice el test no tiene que tener una sensibilidad extrema a los olores y/o sabores, solo tiene que ser un buen observador quien tenga sincero interés en realizar el test. Se debe evitar olores y sabores extraños tales como los causados por cigarrillo o comida antes del test o los olores de jabones con aroma, perfumes y lociones de afeitar. También es necesario asegurar que la persona que vaya a hacer el test esté libre de resfriados o alergias que afecten la respuesta natural. Es importante mantener la temperatura de la muestra para que los parámetros medidos no se alteren. Para el agua dulce fresca esta prueba siempre debe dar inodora y el sabor debe ser el aceptable para ese tipo de agua, refrescante y sin sabores extraños, cualquier otro resultado es indicador de alerta y se tiene que tomar las estrategias correctivas de inmediato y hacer los análisis respectivos para determinar la causa.

**Color (SM 2120C)** El color de una mezcla es expresada en términos que describe la sensación cuando se ve la muestra. La tonalidad es designada por el término “Longitud de onda dominante”, el brillo por luminosidad y la saturación por pureza. Estos valores son mejor determinados de las características de transmisión de luz de las muestras filtradas por el espectrofotómetro. Este método es aplicable a agua potable, superficial y de desecho, doméstica e industrial. Existen interferencias que pueden causar problemas en

la medicación del color, estas son normalmente causadas por la turbiedad, la cual es removida por filtración, de ser necesario.

Los equipos, reactivos y materiales necesarios son: Espectrofotómetro o fotómetro, un vaso precipitado de 50 mL, un vaso de precipitados de 100 mL, Dos Pipetas de 10 mL, Muestra de Agua, y Agua destilada

*Estabilización de Ph:* para lo que se toman dos muestras de 50 mL de agua a temperatura ambiente. Use una para conocer el pH original y ajuste la otra muestra a 7.6 usando Acido Clorhídrico (HCl) e Hidróxido de Sodio (NaOH). La variación del volumen de la muestra no debe exceder el 3% con la adición de las soluciones. Estandarizar el pH es necesario porque el color varía significativamente con el pH.

*Preparación de los elementos:* limpie muy bien la celda de absorción con detergente y enjuague con agua destilada, luego enjuague un par de veces con la muestra de agua, limpie la superficie externa con papel para lentes y llene la celda con la muestra de agua. Repita el mismo procedimiento con otra celda de absorción pero esta llénela con agua destilada a temperatura ambiente, si el equipo fotométrico trae una celda con solución estándar utilice esta en vez del agua destilada.

*Medición:* determine el programa en el equipo (fotómetro o espectrofotómetro) para la determinación del color. Coloque la celda de absorción llena con agua destilada o el blanco estándar del equipo en el compartimiento de cubetas y determine el cero en el equipo. Luego coloque la celda con la muestra de agua en el compartimiento de cubetas y realice tres mediciones.

*Cálculos:* ya que el programa determina el color de la muestra en UPC , solamente resta calcular la media con los datos obtenidos de las mediciones.

**Cloro Residual Y Total Fotométrico (SM 4500-Cl G)** El principio activo del análisis de color fotométrico, es similar al método fotométrico sin embargo para este en vez del estándar de Sulfato de amonio ferroso (FAS) se utiliza el fotómetro u espectrofotómetro para medir la longitud de onda a 515 nm. Para este método se usa el N,N-dietil-1,4-fenilendiamina (DPD) el cual reacciona a un pH entre 5-6 formando un colorante rojo-violeta para la determinación del Cloro libre, después de esto se le adiciona iones de yoduro para determinar el cloro total. En ausencia de iones de yoduro, el cloro libre reacciona con el DPD. A continuación se agrega una pequeña cantidad de iones de yoduro que actúan como catalizador para producir monocloramina la cual actúa como colorante. La adición de iones de yoduro en exceso evoca una rápida respuesta del dicloramina. Ahora en presencia del ion yoduro, parte del tricloruro de nitrógeno es incluido con dicloramina y parte con el cloro libre. Dos aspectos importantes a controlar es el pH y la temperatura de la solución, dado que bruscos cambio en estos parámetros podría modificar los resultados por lo que se recomienda tomar las mediciones tan pronto como se haga la mezcla en el caso del cloro libre y par el caso del cloro total solo se tiene que esperar 2 minutos a partir de la mezcla con los iones de yoduro.

Los equipos y reactivos requeridos son: un Fotómetro equipado con un filtro con un máximo de transmisión en longitudes de onda entre 490 y 530 nm y que proporciones un haz de luz de 1 cm o más. Foto celdas aptas para el fotómetro, limpias y secas y Kit para

la determinación de cloro residual y total, el cual incluye la solución de DPD, buffer, iones de yoduro y solución de Yoduro de Potasio KI

El procedimiento para el análisis es el siguiente.

El primer paso para la determinación de cloro es la calibración del fotómetro, para esto elegimos el programa que se va a usar en la determinación de cloro y luego de esto introducimos una foto celda con agua sin cloro, el blanco, calibramos el cero con esta solución y luego tomamos un par de mediciones para comprobar que el equipo determina que la cantidad de cloro en la muestra es 0 mg/L o dependiendo del equipo menor que el mínimo en capacidad de medida. Si es un equipo con filtros, se debe tener en cuenta el filtro disponible para ese método, normalmente el programa indica el número de filtro.

El volumen de la muestra depende del tamaño de la foto celda usada en el equipo y del kit que se está usando para este, normalmente un volumen de 5 a 10 mL es adecuado para este tipo de mediciones. Par el caso del fotómetro MN PF 11 el volumen propuesto es de 5 mL. Ahora si el cloro en la muestra excede los 4 mg/L diluya la muestra con agua libre de cloro.

Para el cloro libre se agregan tres gotas mL de cada uno de los buffers y del indicador DPD en la foto celda del fotómetro. Luego se agrega la cantidad de agua necesaria (5 mL) y mezcla bien. Inmediatamente se debe analizar la muestra en el fotómetro.

Para analizar el cloro total se agrega la misma cantidad de reactivos y muestra que para el caso del cloro libre y adicional a esto se adicionan tres gotas de solución de KI y luego de 2 minutos de reposo se toma la medida del cloro total en el programa específico para ello.

Para determinar la cantidad de cloro combinado basta con calcular la diferencia entre el cloro total y el cloro libre.

**Turbiedad (SM 2130B)** El polímero Formazin es usado como la suspensión referencia estándar primaria. La interferencia que pueda presentarse al tomar la medición de la turbiedad es un factor muy importante cuando se va a plantear un método de examinación adecuado. La turbiedad puede ser determinada por alguna muestra de agua que esté libre de desechos y rápidamente sedimente la materia gruesa. Otro de los ítems a tener en cuenta cuando se está determinando la turbidez del agua son los equipos y el espacio donde estén ubicados. El proceso nefelométrico consiste en una fuente de luz para iluminación de la muestra y uno o más detectores fotoeléctricos con un dispositivo lector que indica la intensidad de la luz dispersa a 90° de la trayectoria de la luz incidente. Varios rangos pueden ser necesarios para obtener reportes adecuados y suficiente sensibilidad para bajas turbiedades. Guarde las celdas bien limpias, dentro y fuera para descartar ralladuras o grietas. Nunca manipule las celdas cuando el haz de luz del instrumento estuviera impactando en este. Llene las celdas con la muestra y el estándar que ha sido agitada meticulosamente y ha pasado suficiente tiempo para que las burbujas escapen. Limpie las celdas para muestra muy bien, lavando con jabón de laboratorio dentro y fuera seguido por múltiples enjuagues con agua destilada o desionizada; dejar al aire seco. Las celdas pueden ser protegidas del medio ambiente con una fina capa de aceite de silicona para enmascarar las pequeñas imperfecciones y ralladuras que pueden contribuir a desviar la luz. Use aceite de silicona con el mismo índice de refracción del

vidrio, evitar el exceso de aceite porque esto podría atrapar suciedad y contaminar el compartimiento de la muestra del instrumento. Usando una tela suave y sin pelusa difunda el aceite uniformemente y limpie los excesos. Las celdas deberían parecer estar casi secas con poco o no visible aceite, porque pequeñas diferencias entre las celdas causan un significativo impacto en la medida, use los mismos pares de celdas o parecidos para el estándar y la muestra a medir.

Para obtener baja turbiedad en el agua por dilución (el valor nominal es de 0.02 NTU) se requiere pasar el agua a través de un filtro con tamaño de poro suficiente para remover todas las partículas mayores que  $0.1 \mu\text{m}$ ; la membrana comúnmente usada como filtro para exanimación microbiológica no son recomendables. Algunos marcas comerciales de agua desmineralizada tiene baja turbidez, estas pueden ser usadas cuando la filtración es poco practica o no está disponible un buen tipo de agua para filtrar en el laboratorio. Verifique que la turbidez del agua embotellada sea mejor, es decir que sea más baja que el nivel logrado en el laboratorio.

El procedimiento para la realización de esta prueba es.

*Calibración del Nefelómetro:* corra al menos un estándar de cada uno de los rangos del instrumento y cerciore que el nefelómetro da lecturas estables en todos los rangos de sensibilidad usados.

*Medir la turbidez de la muestra:* agite suavemente la muestra y luego espere a que las burbujas de aires desaparezcan y colóquelas en la celda. Luego lea la turbidez directamente de la pantalla del dispositivo. Este proceso se repite tres veces como mínimo para disminuir la probabilidad de error en la medición.

*Resultados:* como el nefelómetro nos arroja los valores de la medición en unidades NTU solo es necesario calcular la media de las mediciones hechas a la muestras. Para el caso de que se hayan realizado tres mediciones basta con sumar los resultados de cada muestra y dividir en tres es decir  $T = \sum m/n$ , donde  $T$  es la turbidez de la muestra,  $m$  la turbidez de muestra en cada análisis y  $n$  el número total de mediciones tomadas a la muestra.

**pH (SM 4500-H<sup>+</sup> B)** El principio básico de la medición electrónica de pH es la determinación de la actividad de los iones de hidrogeno usando una medición potenciométrica con un electrodo estándar de hidrogeno y otro de referencia. El electrodo de hidrogeno consiste de un electrodo de platino a través del cual el gas hidrogeno es burbujeado a una presión de 101 kPa. Debido a la dificultad de usar esto y el potencial para la intoxicación del electrodo de hidrogeno, el electrodo de vidrio se usa comúnmente. La fuerza electromotriz (FEM) produce que el sistema de electrodo de vidrio varíe linealmente con el pH. Esta relación lineal es descrita mediante el trazado de la medida de la FEM comparada con el pH de diferentes buffers. El pH de la muestra es determinado por extrapolación.

Debido a las singulares actividades de los iones no pueden ser medidos, por lo que el pH está definido operacionalmente en una escala potenciométrica. El instrumento para medir el pH es calibrado potenciométricamente con un electrodo indicador y un electrodo de

referencia usando buffers del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) teniendo asignados valores de este modo:

$$pH_B = -\log_{10} a_{H^+} \quad ; \text{Donde: } pH_B = \text{el pH asignado al buffer NIST}$$

Los electrodos de vidrio son relativamente libres de interferencias debido al color, turbiedad, material suspendido, oxidantes, reductores o altas salinidades, excepto por el sodio que puede producir errores hasta de  $pH > 10$ . La medición de pH también se ve afectada por la temperatura de dos formas. Por un lado los efectos mecánicos que son causados por cambios en las propiedades del electrodo y por el otro los efectos causados en el equilibrio químico de la solución. Por lo que es importante mencionar la temperatura a la cual se hace la medición de pH.

Los equipos y reactivos necesarios son: pH metro WTW 315i, vasos, preferiblemente de polietileno, agitador, de preferencia cubierto de TFE, soluciones de calibración, buffers estandarizados pH 4.0 y 7.0 y solución de KCl 3 M

El procedimiento comienza antes de realizar el análisis a la muestra puesto que es recomendable calibrar el instrumento, la casa matriz da instrucciones para llevar adecuadamente el proceso de calibrado del pH metro y para el almacenaje de los electrodos y preparación para su uso. Se recomienda usar una solución para almacenar por corto tiempo los electrodos, una solución saturada de KCl es un buen medio. Antes de usar, remueva los electrodos de la solución de almacenamiento, enjuague y seque con un paño suave, luego coloque en la solución buffer inicial y establezca el punto isopotencial. Ahora seleccione una segunda solución buffer cuyo pH está a menos de 2 unidades del pH de la muestra. Retire los electrodos del primer buffer. Registre la temperatura de medición y ajuste el pH en el equipo. Si tiene una tercera solución buffer, la que puede ser pH 10, es posible ajustarla al igual que las anteriores.

Para analizar la muestra establezca equilibrio entre los electrodos y la muestra, esto se logra agitando la muestra para asegurar la homogeneidad; agite suavemente para minimizar el arrastre dióxido de carbono. Para obtener una medida precisa se recomienda realizar el análisis con tres o más porciones de la muestra.

**Conductividad (SM 2510 B)** Algunos Conductímetro no disponen de métodos para calibrar con un patrón de conductividad estándar, normalmente KCl, midiendo la conductancia o resistencia de este, estos generalmente poseen un dial que permite al usuario ajustar parámetro para marcar la conductividad de un estándar. Para el caso del laboratorio de aguas de San Vicente de Chucuri el dispositivo WTW cond 315i no posee ningún tipo de sistema de calibración, por lo que es necesario realizar una curva de calibración, la cual ajusta los valores medidos y se obtiene de las medición realizadas al patrón de conductividad el cual es una solución de KCl 3 M y posee una conductividad de 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25 °C.

Los Equipos y reactivos necesarios son: Conductímetro WTW cond 315i. Este equipo tiene la capacidad de medir la temperatura de la muestra así como su conductividad y una solución estándar de Cloruro de Potasio 1.23  $\text{mS}/\text{cm}$  a 18 °C

El procedimiento para el equipo WTW cond 315i la constante de celda es fija en  $0.475 \text{ cm}^{-1}$ , y  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  por lo que el cálculo de esta no es necesario. De igual forma el equipo usado tiene compensación automática de temperatura lo que implica no tener que ajustar este parámetro, lo que hace más fiable y fácil de usar. Para tomar la medida de la conductividad de la muestra es necesario enjuagar la celda muy bien con una o más porciones de la muestra, a continuación ajustar la muestra a la temperatura ambiente y finalmente tomar la conductividad y temperatura exacta de la muestra. Como el dispositivo usado tiene compensación de temperatura automático y el dato que arroja es en  $\mu\text{S/cm}$  no se necesita hacer cálculos finales.

**Dureza Total (SM 2340 C)** El EDTA forma un complejo quelante soluble cuando se adiciona a una solución de cationes metálicos determinados. Si una pequeña cantidad de colorante tal como el Negro de Eriocromo T se adiciona una solución acuosa que contenga iones de calcio y magnesio a un pH de  $10.0 \pm 0.1$ , la solución se vuelve vino tinto. Si el EDTA se agrega como titulante, el calcio y magnesio podría formar complejos y cuando todo el magnesio y el calcio ha formado un complejo la solución vira de vino tinto a azul, marcando el punto final de la titulación. Los iones de magnesio deben estar presentes para dar un preciso punto final. Para asegurar esto, una pequeña cantidad de sal de magnesio de EDTA se agrega al buffer; este automáticamente introduce suficiente magnesio y evita la necesidad de una corrección. La nitidez del punto final aumenta con el incremento del pH. Sin embargo el pH no puede ser incrementado indefinidamente debido al peligro de precipitación del carbonato del calcio o el hidróxido de magnesio y porque el colorante cambia de color a valores de pH altos. El pH especificado de  $10.0 \pm 0.1$  es un valor satisfactorio. Un límite de 5 minutos se ajusta a la duración de la titulación para minimizar la tendencia del carbonato de calcio a precipitarse.

Los **reactivos y equipos necesarios son:** Solución buffer pH  $10 \pm 0.1$ , Negro de Eriocromo T (NET), indicador, EDTA estándar a 0.01 M, y un equipo de titulación adecuado.

El Procedimiento inicia Seleccionando 30 mL de la muestra correctamente agitada, agréguelos en un erlenmeyer previamente limpio y seco, la cual debe titularse con un máximo de 15 mL de EDTA. Agregue entre 1 y 2 mL de Buffer pH 10, normalmente 1 mL es suficiente para obtener un pH entre 10.0 y 10.1. Adicione la cantidad necesaria de NET para que la muestra adquiera un color vino tinto solido, tenga en cuenta que debe mezclar la solución una vez eche la primera porción de NET y esperar que esta se disuelva completamente para agregar la siguiente. Titule lentamente con EDTA, agitando la solución constantemente hasta que el último tinte rojizo desaparezca. Las últimas gotas se deben agregar a intervalos de 3 a 5 s, hasta que se encuentre un color azul solido.

Finalmente con el volumen de EDTA usado en la titulación se calcula la dureza como  $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$  de la siguiente forma

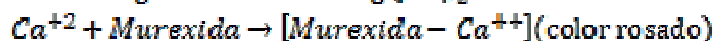
$$\text{Dureza total (EDTA) como mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{A \times N \times 50000}{V}$$

Donde: A= Volumen de EDTA gastado

N=Normalidad del EDTA ( $0.01 \text{ M} \equiv 0.02 \text{ N}$ )

V=Volumen de la muestra de agua (30 mL)

**Dureza Cálctica** La dureza cálcica al igual que la dureza total es una característica que tiene que ver con la composición del agua, solo que para este caso se toma como referencia la cantidad de iones de Calcio que la solución posea. Por lo que se debe evitar que el EDTA forme complejo con el Mg antes que el Ca, lo que se logra utilizando NaOH para aumentar el pH hasta aproximadamente 12, lo que hace que el Mg reacciones con el Hidróxido de Sodio para formar  $Mg(OH)_2$ . Adicional a esto se agrega como indicador la Murexida, la cual es rosada en presencia de iones de calcio y purpura cuando estos no están. El sistema químico de la titulación para la determinación de Dureza Cálctica funciona de la siguiente forma:



Los Reactivos y equipos necesarios son: NaOH estandarizado a 1 N, Murexida Indicador, EDTA estandarizado a 0.02 N

Para proceder con el análisis, en un erlenmeyer limpio y seco se agrega 50 mL de agua de muestra muy bien agitada, eso para evitar acumulaciones de químicos. Luego de tener lista la muestra agregamos entre 1 y 2 mL de NaOH hasta obtener un pH de aproximadamente 12 para luego agregar a la solución incolora, tanta Murexida como sea necesaria para tener un color rosado en la solución, luego de esto se titula con EDTA hasta que la solución viere a purpura y esperamos que el color se estabilice. Es importante no apresurarse en la titulación, en especial cuando el rosado este virando, en este momento se debe mantener un flujo muy bajo de EDTA para no afectar la medida.

**Alcalinidad (SM 2320B)** Los iones hidroxilos presentes en una muestra como consecuencia de la disociación o hidrólisis de los solutos que reaccionan cuando se adiciona un ácido estándar. La alcalinidad en consecuencia depende del punto final del pH usado. La cantidad de ácido estándar requerida reduce el pH exactamente a 0.30 unidades de pH, esto se mide cuidadosamente, porque este cambio en el pH corresponde al doble de la concentración de iones de hidrogeno. El punto final es cuando la alcalinidad debido únicamente al contenido de carbonato y bicarbonato fuerza el pH a un punto equivalente de la titulación el cual es determinado por la contratación del dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en el medio. La concentración de  $CO_2$  depende a su vez del total de especies carbonatadas originalmente presentes en cualquier pérdida que pudiera haber ocurrido durante la titulación

El Procedimiento comienza con la preparación de la muestra: se toma 50 mL de agua en un erlenmeyer de muestra previamente atemperada y sin cloro residual. A esta muestra se le agrega 0.2 mL de Naranja de metilo y se agita hasta que el indicador se disuelva totalmente y el color sea solido.

*Titulación:* se acondiciona el erlenmeyer sobre una base blanca, esto para identificar bien el color de la solución, se prepara la bureta con el HCl y el pH metro. Cuando todos los equipos, reactivos y solución estén listos, se comienza adicionando lentamente el HCl en

la solución muestra y se va midiendo el pH. Cuando llegue al punto de equivalencia, se va notar un cambio brusco en el color de la solución, la cual en todo momento debe estar agitada. Cuando el color este solido se detiene la titulación. Se aclara que la titulación debe ser lenta, en especial para la última etapa, esto permite una buena disolución en toda la masa de la muestra.

Se observa el cambio en el volumen del HCl 0.02 N, obtenido este dato se procede a realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Alcalinidad, mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{A \times N \times 50000}{B}$$

Donde:

A: mL del HCl estandarizado

B: mL de la muestra de agua

N: Normalidad del HCl (0.02 N)

$$50000 \frac{\text{mg}}{\text{eq}} = 50 \frac{\text{g}}{\text{eq}} * \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}}$$

**HIERRO** La recolecta de las muestra es muy importante para la determinación de hierro en estas, debido a que este puede no estar presente en agua cuya turbulencia sea baja, debido a la sedimentación de este. Antes de tomar la muestra limpia el contenedor con acido y enjuague con agua. Muestras de hierro en pozos o en aguas de la llave podrían variar en concentración, con la duración y el grado de lavado antes y durante el muestreo. Cuando se toma una porción de la muestra para determinar hierro en suspensión, agitar la botella de la muestra, a menudo y vigorosamente para obtener una suspensión uniforme. Para una precisa determinación del hierro total es recomendable usar un contenedor separado.

El hierro se aferra a la solución, reducido a el estado ferroso por ebullición con acido e hidroxilamina, y se trata con 1,10-fenolftaleina con pH entre 3.2 a 3.3. Un pH entre 2.9 y 3.5 asegura un rápido desarrollo del color en la presencia de un exceso de fenolftaleína. Cualquier anomalía en el desarrollo de las reacciones químicas se pude deber a algún tipo de interferencia, lo que es poco probable en el agua que se está manejando en San Vicente de Chucuri.

Los Equipos y Reactivos necesarios son: Fotómetro. Se tiene un fotómetro PF-11 con filtros para cada método, Recipiente de vidrio. Antes de usarse de debe lavar con una solución de acido clorhídrico (HCl) y enjuagar con agua tratada, para remover los depósitos de oxido de hierro. Kit de reactivos VISOCOLOR IRON (DEV), MN-914217 o MN-914017

El kit de repuesto para la determinación de hierro II y III contiene cuatro recipientes enumerados desde 1 a 4, los cuales contienen los compuesto estándar para la determinación de los iones de hierro, sin embargo la Macherey-Nagel (MN) se reserva el derecho de propiedad, por lo que no está disponible la composición exacta de las soluciones ni del solido granulado del recipiente 2.

Para determinar la concentración de iones de hierro (III) o férricos se necesita agregar en el tubo de muestras del fotómetro 10 mL de agua de la muestra muy bien agitada, a esta

se le agregan 5 gotas de la solución del recipiente 1 y mezclar, luego se agrega una cucharada del sólido granulado del recipiente 2 y se mezcla hasta que se disuelva totalmente, después se adiciona 5 gotas del recipiente 3 y nuevamente se mezcla para lograr homogenizar la solución y finalmente 5 gotas del recipiente 4 y mezcle muy bien. Antes de tomar la medición fotométrica, es necesario dejar reposar la solución a analizar durante 5 minutos. Mientras la mezcla esta lista para el análisis, se toma agua desionizada y se vierte en otro tubo de análisis, la que se utilizara como blanco para la calibración del equipo. Se enciende el fotómetro, se selecciona el programa Visocolor adecuado para la medición del hierro (dev), se inserta el tubo de test con el agua desionizada en el cubículo adecuado para la medida, se ajusta el cero del programa y finalmente se hace un análisis al mismo tubo para corroborar el correcto ajuste del equipo. Pasados los 5 min introducimos el tubo con la muestra en el fotómetro y tomamos tres mediciones con las cuales se calcula la media para obtener la concentración de hierro en la muestra de agua en mg Fe/L.

Para el caso de los iones Hierro (II) el procedimiento es igual al mencionado anteriormente para los iones de Hierro (III), sin embargo para este no se le agrega el compuesto del recipiente 2

**Nitritos (SM 4500-NO<sub>2</sub> – B)** El nitrito es determinado a través de la formación de un colorante azoico púrpura rojizo producido a Ph entre 2.0 a 2.5 por la unión diazotica sulfanilamida con N-(1-naftil)-etilendiamina dihidrocloruro (NED hidrocloreuro). El rango de aplicación del método para fotómetros está entre 0 y 5 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/N/L.

Para la preservación de las muestras nunca se debe usar ácido. El análisis de nitritos se debe realizar con la muestra fresca, para prevenir la conversión bacteriana del NO<sub>2</sub><sup>-</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> o NH<sub>3</sub>. Para preservar por corto plazo, entre 1 y 2 días, congele a -20 °C o almacene a 4 °C.

Los Equipos y reactivos empleados son: Fotómetro PF-11, equipado para realizar este tipo de análisis. Agua desionizada y un Kit Visocolor Eco MN-931244 para la determinación de nitrito

Para determinar la concentración de nitritos en el agua, es necesario remover todos los sólidos suspendidos, si es que la muestra los contiene, lo que se puede lograr pasando la muestra a través de un filtro con un diámetro de poro de 0.45 µm.

Si el Ph no está entre 5 y 9 es necesario ajustar la muestra con HCl 1 N, lo que se hace para desarrollar el color. Para una muestra de 50 ml, agregue alrededor de 2 ml de HCl y mezcle. Espere entre 10 minutos y 2 horas antes de analizar.

El kit MN 931244 posee dos compuestos, uno de ellos líquido rotulado como NO<sub>2</sub>-1 y el otro un sólido granulado rotulado como NO<sub>2</sub>-2.

Ya lista la muestra se agrega en un tubo de muestras, bien lavado, enjuagado y purgado con la muestra, 5 ml de esta, a continuación se agrega 4 gotas de NO<sub>2</sub>-1, se tapa y se agita para obtener una mezcla homogénea. Se adiciona una cucharada de NO<sub>2</sub>-2 se tapa y se agita nuevamente, después de esto se limpia la superficie del tubo para evitar interferencias en la lectura y se deja reposar por 10 minutos.

Mientras la muestra reposa, se agregan 10 ml de agua desionizada en un tubo para análisis, se enciende el equipo, en Visocolor ECO se selecciona el programa adecuado para Nitritos y se fija el filtro 4 para el análisis, luego de eso se coloca en posición de análisis el tubo perfectamente y se fija el cero del análisis, finalmente se analiza el mismo tubo para verificar que el ajuste este correcto.

Luego de 10 minutos y de ajustado el fotómetro PF 11, se coloca el tubo con la muestra en el cubículo indicado para el análisis, es necesario hacer tres mediciones, esto para evitar errores en la medición. Para reportar el análisis, se calcula la media de las mediciones realizadas y este valor es el indicado para reportar.

## ANEXO D

### FRECUENCIA Y TIPOS DE ANÁLISIS DE AGUA PARA LA PTAP DE SAN VICENTE DE CHUCURI EN EL LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES DE LA UIS

#### ANÁLISIS MENSUAL

Este tipo de análisis está fundamentado en los parámetros más frecuentes exigidos por la resolución 2115 de 2007 y el decreto 1575 de 2007, además de otros de carácter informativo previendo las necesidades que se pudieran contemplar en el mapa de riesgos. Ser realizara cada mes en un laboratorio acreditado y en el laboratorio de Agua Potable de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de San Vicente de Chucuri.

- Ph
- Conductividad
- Alcalinidad total
- Aluminio Residual
- Cloro Residual
- Color
- Dureza Total
- Turbiedad
- Análisis Microbiológico
- Cloruros
- Sólidos Totales
- Hierro total
- Nitritos
- Nitratos
- Sulfatos
- Fluoruros

#### ANÁLISIS SEMESTRAL

Este tipo de análisis está fundamentado en los parámetros exigidos por la resolución 2115 de 2007 y el decreto 1575 de 2007, además de otros de carácter informativo previendo las necesidades que se pudieran contemplar en el mapa de riesgos. Este se realizara cada 6 meses en un laboratorio acreditado y se tomara una contramuestra de los análisis posibles en el laboratorio de Agua Potable de la PTAP de San Vicente de Chucuri

- Ph
- Conductividad
- Alcalinidad total
- Aluminio Residual
- Cloro Residual
- Color
- Dureza Total
- Turbiedad
- Cloruros
- Sólidos Totales
- Hierro total
- Nitritos
- Nitratos
- Sulfatos
- Fluoruros
- Análisis Microbiológico
- COT

Para lo anteriormente mencionado se enviarán cuatro frascos esterilizados y rotulados para el análisis microbiológico y un frasco de 600 ml rotulado para el análisis fisicoquímico, esto para cada una de las muestras (Planta y Borbos).

Para el año 2010 se tendrá el siguiente cronograma:

**Tabla D1: Cronograma de Análisis LQCI UIS**

<b>MES</b>	<b>A. MENSUAL</b>	<b>A. SEMESTRAL</b>
<i>Enero</i>	23	
<i>Febrero</i>		18
<i>Marzo</i>	22	
<i>Abril</i>	22	
<i>Mayo</i>	17	
<i>Junio</i>	17	
<i>Julio</i>	20	
<i>Agosto</i>		22
<i>Septiembre</i>	22	
<i>Octubre</i>	18	
<i>Noviembre</i>	17	
<i>Diciembre</i>	19	

#### **FRECUENCIA Y TIPOS DE ANÁLISIS DE AGUA PARA LA PTAP DE SAN VICENTE DE CHUCURI EN EL LABORATORIO DE AGUA DE SAN VICENTE DE CHUCURI**

Los tipos de análisis mostrados en la Tabla 2 están fundamentado en los parámetros más frecuentes exigidos por la resolución 2115 de 2007 y el decreto 1575 de 2007, además de otros de carácter informativo previendo las necesidades que se pudieran contemplar en el mapa de riesgos. Se realizara cada 2, 4 y 8, los Paquetes de Análisis 1, 2 y 3 respectivamente en el laboratorio de Agua de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de San Vicente de Chucuri.

Tabla D2: Paquetes de Análisis para la PTAP

Paquete 1 (P1) cada 2 días	Paquete 2 (P2) cada 4 días	Paquete 3 (P3) cada 8 días
Turbidez color Ph Conductividad Temperatura cloro residual cloro total	turbidez color Ph conductividad temperatura cloro residual cloro total alcalinidad Dureza total Dureza cálcica sólidos totales	turbidez color Ph conductividad temperatura cloro residual cloro total alcalinidad Dureza total Dureza cálcica sólidos totales hierro nitritos

A continuación se muestra el cronograma para el año 2010.

Fecha	Paquete	Fecha	Paquete	Fecha	Paquete	Fecha	Paquete	Fecha	Paquete
25/01/2010	P3-UIS	13/03/2010		29/04/2010	P1	15/06/2010		01/08/2010	P2
26/01/2010		14/03/2010	P3	30/04/2010		16/06/2010	P1	02/08/2010	
27/01/2010	P1	15/03/2010		01/05/2010	P3	17/06/2010	UIS	03/08/2010	P1
28/01/2010		16/03/2010	P1	02/05/2010		18/06/2010	P3	04/08/2010	
29/01/2010	P2	17/03/2010		03/05/2010	P1	19/06/2010		05/08/2010	P3
30/01/2010		18/03/2010	P2	04/05/2010		20/06/2010	P1	06/08/2010	
31/01/2010	P1	19/03/2010		05/05/2010	P2	21/06/2010		07/08/2010	P1
01/02/2010		20/03/2010	P1	06/05/2010		22/06/2010	P2	08/08/2010	
02/02/2010	P3	21/03/2010		07/05/2010	P1	23/06/2010		09/08/2010	P2
03/02/2010		22/03/2010	P3-UIS	08/05/2010		24/06/2010	P1	10/08/2010	
04/02/2010	P1	23/03/2010		09/05/2010	P3	25/06/2010		11/08/2010	P1
05/02/2010		24/03/2010	P1	10/05/2010		26/06/2010	P3	12/08/2010	
06/02/2010	P2	25/03/2010		11/05/2010	P1	27/06/2010		13/08/2010	P3
07/02/2010		26/03/2010	P2	12/05/2010		28/06/2010	P1	14/08/2010	
08/02/2010	P1	27/03/2010		13/05/2010	P2	29/06/2010		15/08/2010	P1
09/02/2010		28/03/2010	P1	14/05/2010		30/06/2010	P2	16/08/2010	
10/02/2010	P3	29/03/2010		15/05/2010	P1	01/07/2010		17/08/2010	P2
11/02/2010		30/03/2010	P3	16/05/2010		02/07/2010	P1	18/08/2010	
12/02/2010	P1	31/03/2010		17/05/2010	P3-UIS	03/07/2010		19/08/2010	P1
13/02/2010		01/04/2010	P1	18/05/2010		04/07/2010	P3	20/08/2010	
14/02/2010	P2	02/04/2010		19/05/2010	P1	05/07/2010		21/08/2010	P3
15/02/2010		03/04/2010	P2	20/05/2010		06/07/2010	P1	22/08/2010	UIS
16/02/2010	P1	04/04/2010		21/05/2010	P2	07/07/2010		23/08/2010	P1
17/02/2010		05/04/2010	P1	22/05/2010		08/07/2010	P2	24/08/2010	
18/02/2010	P3-UIS	06/04/2010		23/05/2010	P1	09/07/2010		25/08/2010	P2

19/02/2010		07/04/2010	P3	24/05/2010		10/07/2010	P1	26/08/2010	
20/02/2010	P1	08/04/2010		25/05/2010	P3	11/07/2010		27/08/2010	P1
21/02/2010		09/04/2010	P1	26/05/2010		12/07/2010	P3	28/08/2010	
22/02/2010	P2	10/04/2010		27/05/2010	P1	13/07/2010		29/08/2010	P3
23/02/2010		11/04/2010	P2	28/05/2010		14/07/2010	P1	30/08/2010	
24/02/2010	P1	12/04/2010		29/05/2010	P2	15/07/2010		31/08/2010	P1
25/02/2010		13/04/2010	P1	30/05/2010		16/07/2010	P2	01/09/2010	
26/02/2010	P3	14/04/2010		31/05/2010	P1	17/07/2010		02/09/2010	P2
27/02/2010		15/04/2010	P3	01/06/2010		18/07/2010	P1	03/09/2010	
28/02/2010	P1	16/04/2010		02/06/2010	P3	19/07/2010		04/09/2010	P1
01/03/2010		17/04/2010	P1	03/06/2010		20/07/2010	P3-UIS	05/09/2010	
02/03/2010	P2	18/04/2010		04/06/2010	P1	21/07/2010		06/09/2010	P3
03/03/2010		19/04/2010	P2	05/06/2010		22/07/2010	P1	07/09/2010	
04/03/2010	P1	20/04/2010		06/06/2010	P2	23/07/2010		08/09/2010	P1
05/03/2010		21/04/2010	P1	07/06/2010		24/07/2010	P2	09/09/2010	
06/03/2010	P3	22/04/2010	UIS	08/06/2010	P1	25/07/2010		10/09/2010	P2
07/03/2010		23/04/2010	P3	09/06/2010		26/07/2010	P1	11/09/2010	
08/03/2010	P1	24/04/2010		10/06/2010	P3	27/07/2010		12/09/2010	P1
09/03/2010		25/04/2010	P1	11/06/2010		28/07/2010	P3	13/09/2010	
10/03/2010	P2	26/04/2010		12/06/2010	P1	29/07/2010		14/09/2010	P3
11/03/2010		27/04/2010	P2	13/06/2010		30/07/2010	P1	15/09/2010	
12/03/2010	P1	28/04/2010		14/06/2010	P2	31/07/2010		16/09/2010	P1
<b>Fecha</b>	<b>Paquete</b>	<b>Fecha</b>	<b>Paquete</b>	<b>Fecha</b>	<b>Paquete</b>	<b>Fecha</b>	<b>Paquete</b>	<b>Fecha</b>	<b>Paquete</b>
17/09/2010		03/11/2010	P1	20/12/2010					
18/09/2010	P2	04/11/2010		21/12/2010	P1				
19/09/2010		05/11/2010	P2	22/12/2010					
20/09/2010	P1	06/11/2010		23/12/2010	P2				
21/09/2010		07/11/2010	P1	24/12/2010					
22/09/2010	P3-UIS	08/11/2010		25/12/2010	P1				
23/09/2010		09/11/2010	P3	26/12/2010					
24/09/2010	P1	10/11/2010		27/12/2010	P3				
25/09/2010		11/11/2010	P1	28/12/2010					
26/09/2010	P2	12/11/2010		29/12/2010	P1				
27/09/2010		13/11/2010	P2	30/12/2010					
28/09/2010	P1	14/11/2010		31/12/2010	P2				
29/09/2010		15/11/2010	P1						
30/09/2010	P3	16/11/2010							
01/10/2010		17/11/2010	P3-UIS						
02/10/2010	P1	18/11/2010							
03/10/2010		19/11/2010	P1						
04/10/2010	P2	20/11/2010							
05/10/2010		21/11/2010	P2						
06/10/2010	P1	22/11/2010							
07/10/2010		23/11/2010	P1						
08/10/2010	P3	24/11/2010							
09/10/2010		25/11/2010	P3						
10/10/2010	P1	26/11/2010							
11/10/2010		27/11/2010	P1						
12/10/2010	P2	28/11/2010							
13/10/2010		29/11/2010	P2						
14/10/2010	P1	30/11/2010							
15/10/2010		01/12/2010	P1						
16/10/2010	P3	02/12/2010							

17/10/2010		03/12/2010	<b>P3</b>		
18/10/2010	<b>P1-UIS</b>	04/12/2010			
19/10/2010		05/12/2010	<b>P1</b>		
20/10/2010	<b>P2</b>	06/12/2010			
21/10/2010		07/12/2010	<b>P2</b>		
22/10/2010	<b>P1</b>	08/12/2010			
23/10/2010		09/12/2010	<b>P1</b>		
24/10/2010	<b>P3</b>	10/12/2010			
25/10/2010		11/12/2010	<b>P3</b>		
26/10/2010	<b>P1</b>	12/12/2010			
27/10/2010		13/12/2010	<b>P1</b>		
28/10/2010	<b>P2</b>	14/12/2010			
29/10/2010		15/12/2010	<b>P2</b>		
30/10/2010	<b>P1</b>	16/12/2010			
31/10/2010		17/12/2010	<b>P1</b>		
01/11/2010	<b>P3</b>	18/12/2010			
02/11/2010		19/12/2010	<b>P3-UIS</b>		

## ANEXO E

### MÉTODO PARA RECOLECCIÓN Y TOMA DE MUESTRAS

Una de las variables importantes en el análisis químico de características del agua es la recolección y conservación de las muestras puntuales de agua. Los buenos hábitos en la selección del lugar, la recolección, el transporte y almacenamiento de las muestras pueden definir la veracidad de los resultados.

La selección del lugar en donde se va a tomar la muestra debe ser responsable y analizada cuidadosamente, debido a que muchos parámetros del agua varían respecto a la evolución del proceso de potabilización o al nivel de estancamiento. Por lo que se recomienda que la localización del lugar de toma de muestra sea un sitio donde el agua este perfectamente mezclada para que la muestra sea una representación del total de la masa de agua. Es necesario que la ubicación del punto de muestreo, esta debe ser de fácil acceso ya que las muestras se recogerán periódicamente. El lugar de muestreo no debe estar en medio alguno de los procesos de potabilización, pues es posible que algunas propiedades del agua se alteren para poder desestabilizar y lograr mejores resultados, como es el caso de la floculación-coagulación. Ahora si se trata de definir un lugar dentro de la red de distribución, lo primero que se debe indagar es si existen cajas de muestreo extradomiciliarias, de no ser así, las zonas de muestreo de se deben ubicar de tal forma que el total de las muestras represente toda la red distribución. La focalización de los puntos de deben hacer en domicilios preferiblemente de acceso público, para garantizar la disponibilidad de la toma y que en estos no haya tanque de almacenamiento, ya que este puede interferir de manera directa en la calidad del agua y los proveedores del servicio de agua no tienen competencia sobre este.

En la recolección se debe ser muy cuidadoso para no contaminar la muestra el uso de guantes, bata y tapabocas es fundamental en este proceso. Los recipientes de muestreo deben ser limpios y estériles ya que microorganismos residentes en estos pueden alterar el agua, en especial para análisis microbiológico para lo que se recomienda usar recipientes usados para la recolección de orina para análisis médico, los que vienen ya esterilizados y son de bajo costo. Si el sitio de la toma es una válvula terminal, es importante flamear esta, ya que esto elimina sustancias y microorganismos

contaminantes, adicional a esto debe abrir la válvula por alrededor de 2 minutos para garantizar que el agua de la muestra sea fresca y finalmente purgar los recipientes de muestreo mejora las condiciones de la muestra así como sellarla herméticamente la protege de contaminantes externos. Cada envase debe ser marcado con etiquetas claras e impermeables en las cuales se debe reportar el lugar de la toma, la fecha y hora en que se realizo, el responsable, el fin de la muestra y observaciones si las hay.

El almacenamiento y transporte de las muestras depende en gran medida del tiempo entre el momento de la toma y el análisis, si este es menor a un par de horas, la ubicación en un termo que evite fluctuaciones de temperatura es lo recomendado, sin embargo si lo que se requiere más tiempo se debe desactivar o reducir la actividad microbiológica y química, para lo cual se puede congelar a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  o refrigerar a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , de la misma manera, cambios bruscos en la temperatura pueden alterar la composición fisicoquímica y microbiológica de la muestra.

**ANEXO F**  
**FORMATO DE HOJA DE VIDA DE LOS EQUIPOS DE LABORATORIO**



**ANEXO H**  
**MANUAL DEL PROGRAMA ANÁLISIS LAB.**



**Figura H 1. Entrada de Análisis Lab**

Análisis Lab es la primera versión de un programa pensado en la versatilidad y eficiencia en la captura y procesamiento de datos del sistema de potabilización en la planta de Tratamiento Agua. Se fundamenta en la necesidad de organizar información de los análisis rápidamente y generar estadísticas y comportamientos de una forma veraz y muy rápida, como debe ser si el objetivo es procesar un producto de excelente calidad. Análisis lab tiene módulos de recepción de datos, procesamiento de los mismos y reporte estadístico y de generación de informes, así como un sistema de supervisión de actividades, un generador de horarios de operarios, un sistema administrador de usuarios y una interfaz que facilita el ingreso de nuevos métodos. Otro de los aspectos interesantes de Análisis Lab es la exigente seguridad que poseen los datos almacenados para el análisis pues cuenta con tres barreras de seguridad, la primera es la transcodificación de los archivos a un formato propio, la segunda es la protección del archivo basada en la protección al acceso mediante una clave de acceso y finalmente los datos impresos en cada uno de los archivos son procesados por un motor de encriptamientos lo que hace que los datos sean potencialmente indescifrables.

Análisis Lab es un sistema desarrollando para Windows Xp o superior, requiere una combinación de hardware básica y un plataforma de archivos extendida a Visual Basic

Aplicación así como Office 2007. Este programa fue desarrollado en su totalidad en Visual Basic 6.0 sp6.

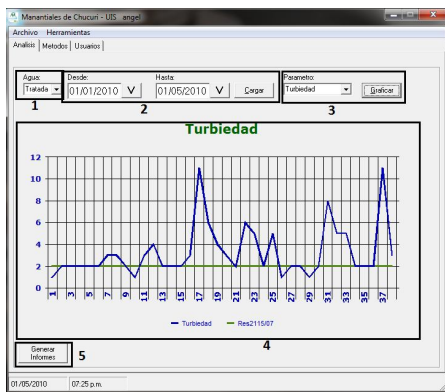


**Figura H 2. Modulo de identificación de usuarios**

El modulo de entrada de la figura H2 consiste en un complemento del administrador de usuarios, en este el operario, administrador o laboratorito registrado inserta su nombre de usuario y contraseña este lo direcciona al modulo de trabajo indicado.

### **MODULO ADMINISTRADOR**

El modulo administrador, ver la figura H3 está encargado de asistir a quien administra el laboratorio en este se pueden generar reportes y hacer el seguimiento del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua, entre otras cosas.



**Figura H 3. Modulo administrador**

El modulo administrador se divide en tres secciones, la primera de ellas es la de Análisis, encontramos todo lo necesario para la generación de reportes de la actividades fisicoquímica de la planta. En la figura H3 encontramos el recuadro 1 en este seleccionamos el tipo de agua de la cual solicitamos reporte, agua cruda o tratada. El recuadro 2 señala las herramientas para la selección del rango de fechas dentro de la cual se realizaron los análisis, oprimiendo los botones V se despliega un calendario como ayuda opcional. Luego de cargadas las fechas se oprime el botón cargar, el cual selecciona los archivos cuyos análisis contenidos se hayan realizado en las fechas seleccionadas, y posteriormente los abre y extrae la información de estos, adicionalmente carga todos los parámetros medidos en ese espacio de tiempo en la persiana del recuadro 3 llamada parámetro. En el recuadro tres también se muestra el botón Graficar, con el cual se grafican los datos cargados para cada parámetro en el recuadro 4. En herramientas esta la opción de activar o desactivar el grafico de máximo permitido para cada parámetro según la Resolución 2115 de 2007, por defecto esta activada. También allí en herramientas se puede copiar e imprimir la imagen graficada al igual que exportar al portapapeles los datos graficados. En el recuadro 5 está el generador de informes, el que, como se muestra en la figura H4, genera un archivo Excel 2007 con los datos cargados, en este informe se puede encontrar el operario o laboratorito quien realizo el análisis, la fecha de análisis, la fecha de toma de

muestra el lugar, las observaciones y los resultados de cada uno de los parámetros realizados.

En la sección de métodos se encuentra el control de permisos para realizar análisis por tipo de usuario. En este se listan todos los métodos montados al sistema y simplemente seleccionando el usuario se puede conocer los métodos activados para cada uno y modificar esto.

Figura H 4. Informe generado por Análisis Lab

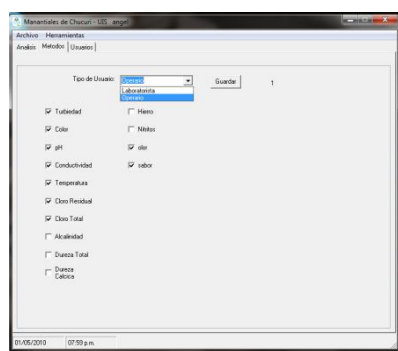


Figura H 5. sección Usuarios de Análisis Lab

En la sección usuarios (ver figura H6), se encuentra el administrador de usuarios en este se pueden generar, modificar y eliminar usuarios. Para ver la información de cada usuario solamente es necesario seleccionarlo en la persiana, automáticamente el administrador podrá ver y modificar la información suministrada por el usuario registrado. Si en la persiana se selecciona nuevo usuario, el sistema borrará todos los cuadros de texto y se dispondrá a recibir datos del administrador. Para registrar un usuario nuevo se debe colocar información indispensable como lo es el nombre de

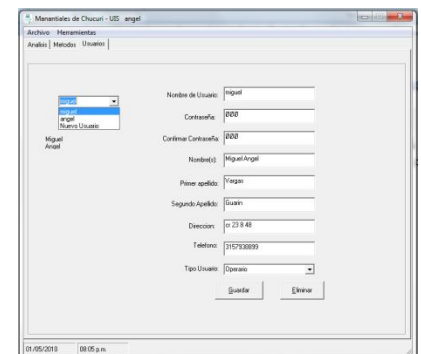


Figura H 6. Sección de Gestión de Usuarios en Análisis Lab

usuario, la contraseña y su confirmación el nombre, el primer apellido y el tipo de usuario. En el caso del nombre de usuario hay un motor de búsqueda que le indica la disponibilidad del usuario en ese momento. Luego de digitada la información se presiona el botón guardar para salvar la información en el registro. Estos datos son guardados y encriptados para su seguridad.

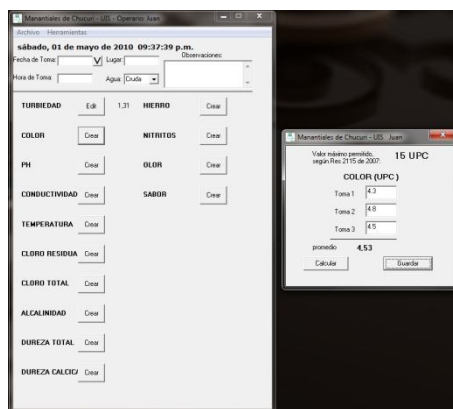


**Figura H 7. Generador de Horarios de Operarios**

En el modulo administrador también se encuentra una serie de herramientas las cuales facilitan el manejo de los datos y del administrador, entre ellas está la que se muestra en la figura H7 un generador de horarios, para el caso de la figura hay cuatro operarios, el sistema los organiza en jornadas de 8 h diarias. El sistema habilita la opción de exportar esta información a un archivo xlsx que posteriormente es mostrado, para comodidad del administrador en este archivo se subrayan los domingos con el fin de facilitar la liquidación de los operarios.

Dentro de las herramientas se encuentra también el reporte de agua gastada en proceso y gasto de químicos por mes, por defectos estos solo abren el del mes en curso, sin embargo el sistema asume el mes señalado en el cuadro de texto desde de la sección análisis. Otra herramienta del modulo administrador es la posibilidad de ver el log de actividades del programa, el cual muestra la fecha, incluida la hora, el usuario y la actividad realizada. Este monitoreo es permanente y se actualiza al momento de cerrar el programa.

## MODULO OPERADOR Y LABORATORISTA



**Figura H 8. Modulo de Operario-Laboratorista**

Este modulo ofrece a los operarios y laboratoristas autorizados las herramientas necesarias para registrar los análisis realizados. Los dos tipos de usuario solo difieren en uno del otro en los métodos autorizados. En la figura H8 se ve modulo operario en el cual se anexan la fecha de toma, la hora de esta, el lugar, el tipo de agua y las observaciones que se tengan. En la parte baja se tienen todo solo métodos autorizados por el administrador, como se puede observar al picar en el botón correspondiente a cada método una ventana se muestra, en la cual se

encuentra el máximo valor permitido según la resolución 2115 de 2007, el nombre del método y las etiquetas de cada una de las tomas, así como el botón de cálculo y el de guardado. El botón de cálculo calcula la media para los métodos de medidas únicas, para los titrimétricos calcula la propiedad y como parámetros se adiciona el volumen de titulante, y la normalidad multiplicada por la constante y finalmente el volumen de la muestra. Cuando los datos estén correctamente metidos, en el menú archivo se encuentra la opción guardar, con esto se genera un archivo marcado con la fecha arriba en negrilla como fecha de toma de análisis, luego de guardado el sistema permite modificar los datos hasta que no se cierre el modulo o genere un nuevo archivo.

Dentro de las herramientas activas para este modulo se encuentra el reporte de agua perdida en proceso, la cual se inserta dependiendo del modulo de la planta de tratamiento que se seco. También se requiero anexar la información del químico gastado por turno de trabajo, en este se puede seleccionar el compuesto que se desea reportar.

Para el modulo de operario y laboratorista se encuentra activa una herramienta que permite la retroalimentación de la cantidad de coagulante a dosificar, dependiendo de las pruebas de jarras hechas. Esta herramienta por un lado permite insertar los datos de turbiedad de entrada y cantidad de coagulante usado, cuando este funcione, o los datos obtenidos de las pruebas de jarras. Por otro lado también permite consultar la cantidad de coagulante que debe usarse cuando se digita una turbiedad, estas cantidades de coagúlate generados se calculan en base de todos los datos guardados por el método de mínimos cuadrados. El fin de esta herramienta es tener un sistema de consejería cuando se debe actuar rápido.