

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DOSIFICADOR DE CARBÓN
ACTIVADO PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA CRUDA DE LA PLANTA DE
BOSCONIA DEL A.M.B S.A E.S.P**

LAURA SOFÍA ALMEYDA ORTÍZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2010

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DOSIFICADOR DE CARBÓN
ACTIVADO PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA CRUDA DE LA PLANTA DE
BOSCONIA DEL A.M.B S.A E.S.P**

LAURA SOFÍA ALMEYDA ORTÍZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Químico**

**DIRECTORA
Ph.M PAOLA MARADEI GARCIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2010

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
INTRODUCCIÓN	17
1. MARCO TEÓRICO	19
1.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA	19
1.1.1 Métodos de potabilización del agua:.....	19
1.1.2 Clasificación de los contaminantes en fuentes de agua:.....	20
1.1.3 Caracterización de (Hg, CN, As, THM y Coliformes, E-Coli) los contaminantes más frecuentes en la planta de Bosconia.	20
1.2. CARBÓN ACTIVADO	21
1.2.1 Generalidades del Carbón Activado:.....	21
1.2.2 Características fisicoquímicas:.....	22
1.2.3 Métodos analíticos para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en laboratorio	23
2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PILOTO DE CAP EN LA PLATA DE TRATAMIENTO DE BOSCONIA	24
2.1 ¿POR QUÉ IMPLEMENTAR UN SISTEMA PILOTO DE CAP EN LA PLATA DE TRATAMIENTO DE BOSCONIA?	24
2.2 ¿DONDE SE IMPLEMENTÓ EL SISTEMA PILOTO DE CAP?	24
2.3 ETAPAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PILOTO DE CAP	25
3. EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DEL CAP PREVIO A SU DISPOSICIÓN EN EL SISTEMA PILOTO	27
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO EN POLVO (CAP).	27
3.1.1 Proceso para la eficiencia de adsorción del CAP	28
3.2 DOSIS ÓPTIMA DE CARBÓN ACTIVADO EN POLVO CAP	29
3.2.1 Clasificación de muestras de Agua	29

3.2.2 Método de tratamiento de las muestras	30
4. INSTALACIÓN DEL EQUIPO Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO PARA LA ADICIÓN DE CAP	36
5. ANÁLISIS Y RESULTADOS	38
5.1 EVALUACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO EN POLVO Y EL SULFATO DE ALUMINIO DURANTE EL PROCESO CONVENCIONAL LLEVADO A CABO EN LA PLANTA DE BOSCONIA.....	38
5.2 VALORACIÓN DE LA FORMACIÓN DE TRIHALOMETANOS TOTALES EN LA ETAPA DE FILTRACIÓN.....	40
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	44
ANEXOS	48

LISTA DE FIGURAS

	PÁG
Figura 1. Etapas de tratamiento de la planta de Bosconia del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga	19
Figura 2. Fases de pretratamiento y tratamiento de agua potable de la planta de Bosconia	24
Figura 3 Evaluación y determinación de la dosis optima del CAP para ser implementada en el sistema piloto	27
Figura 4 Adsorbancia del Carbón activado en polvo por medio de una solución acuosa e índice de azul de metileno	28
Figura 5. Remoción de materia orgánica natural (MON) para turbiedades entre 31-100 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras	31
Figura 6. Remoción de mercurio para turbiedades entre 31-100 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras.....	31
Figura 7. Remoción de arsénico para turbiedades entre 31-1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras.....	32
Figura 8. Remoción de materia orgánica natural para turbiedades entre 100-1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras	32
Figura 9. Remoción de mercurio para turbiedades entre 100-1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras.....	33
Figura 10. Remoción de arsénico para turbiedades entre 100-1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras.....	33
Figura 11. Remoción de MON para turbiedades mayor de 1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras.....	34
Figura 12. Remoción de mercurio para turbiedades mayor de 1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras.....	34

Figura 13. Remoción de arsénico para turbiedad mayor a-1000 en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras.	35
Figura 14. Equipos instalados para la dosificación de CAP	36
Figura 15. Etapas del sistema piloto para la dosificación del CAP en la zona de pretratamiento de la planta de Bosconia.....	37
Figura 16. Primera prueba para la evaluación de la formación de THMs totales en la etapa de filtración durante la adición de (S.A+PreCl) Y (C.A+S.A+PreCl).....	40
Figura 17. Segunda prueba para la evaluación de la formación de THMs totales en la etapa de filtración durante la adición de (S.A+PreCl) Y (C.A+S.A+PreCl). ...	41

LISTA DE TABLAS

	PÁG
Tabla 1. Clasificación de los tamaños de poros de acuerdo a su diámetro y su función como medio de transporte o de adsorción	23
Tabla 2. Parámetros seleccionados para el análisis de las etapas de los ensayos de jarras ejecutadas en laboratorio.....	30
Tabla 3. Dosis optimas de CAP determinadas en los ensayos de jarras para cada rango de turbiedad	38
Tabla 4. Puntos de muestreo y parámetros seleccionados para la evaluación del carbón activado en polvo inyectado en la etapa de pretratamiento.	38
Tabla 5. Extracción de contaminantes durante la inyección de carbón activado en polvo en la etapa de pretratamiento de la planta de Bosconia (Primer ensayo).	39

LISTA DE ANEXOS

	PÁG.
ANEXO A. GENERALIDADES DE ADSORCIÓN	48
ANEXO B. EQUIPOS DE MEDIDA DE PARAMETROS	51
ANEXO C. DETERMINACION DE METODOS ANALÍTICOS MERCURIO:	54
ANEXO D. NORMAS ESTABLECIDAS EN EL DECRETO 1575 Y LA RESOLUCIÓN NUMERO 2115 DE 2007 POR EL MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.....	58
ANEXO E. DATOS EXPERIMENTALES	60

GLOSARIO

COT: Compuesto formado por combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno y otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites.

Adsorbato: Aquellas sustancias adsorbidas por un Carbón Activado o por otro adsorbente.

Adsorción: Adhesión de los átomos, iones o moléculas de un gas o de un líquido a la superficie de un sólido o líquido.

Absorción: Mezcla o interpretación de dos sustancias. En adsorción, las moléculas de una sustancia adsorbida penetran en todo el volumen del sólido o líquido absorbente.

Agua Cruda: Es aquella que no ha sido sometida a procesos de tratamiento.

Agua Potable: Es aquella que reúne todos los requisitos organolépticos.

Color verdadero: El que queda después de eliminar la turbiedad, causado por material disuelto coloreado.

Color aparente: El que posee el agua antes de ser eliminada la turbiedad.

Coagulación Química: Adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.

Floculación: Aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos.

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DOSIFICADOR DE CARBÓN ACTIVADO PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA CRUDA DE LA PLANTA DE BOSCONIA DEL A.M.B S.A E.S.P.*

AUTOR: Laura Sofía Almeyda Ortiz**

PALABRAS CLAVES: Carbón Activado, Adsorción, Adsorbato, Adsorbente, Dosificador.

La planta de tratamiento de Bosconia localizada a Noroccidente del municipio de Bucaramanga capta el río Surata donde actualmente se presentan dificultades en tiempos de invierno para disminuir compuestos patógenos para esto, se empleó el carbón activado en polvo como proceso en el tratamiento de remoción de contaminantes tóxicos como arsénico y mercurio, materia orgánica y subproductos de la cloración. Para esto, se desarrolló el presente estudio el cual se dividió en las siguientes etapas: Una etapa inicial de este estudio que permitió la determinación de la dosis óptima de carbón activado (CAP) por el método de jarras mediante el cumplimiento de la resolución 2115 y el decreto 1575 de 2007, seguida de la instalación piloto de dosificación del CAP en la etapa de pretratamiento de la planta de Bosconia así como su puesta en funcionamiento con el fin de preparar, manipular e inyectar el Carbón Activado en polvo.

Una vez realizada la adición del adsorbente (CAP) se evaluaron parámetros como pH, color, turbiedad, concentración de metales pesados, compuestos orgánicos, trihalometanos y microorganismos (Coliformes y E-Coli) en las etapas de sedimentación y filtración de tal manera evaluar el comportamiento del CAP y su posterior tratamiento con Sulfato de Aluminio y precloración.

Este estudio evidenció la ayuda eficiente del Carbón Activado sobre el tratamiento convencional para la adsorción de compuestos patógenos comparado con el proceso habitual. Se observó igualmente que si las concentraciones iniciales del contaminante son altas el CAP actúa mejor durante su extracción.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela De Ingeniería Química Directora Paola Maradei

ABSTRACT

TITLE

IMPLEMENTATION OF AN ACTIVATED CARBON DOSIFIER PILOT SYSTEM FOR THE TREATMENT OF RAW WATER IN A.M.B S.A E.S.P'S PLANT LOCATED IN BOSCONIA*

AUTHOR: Laura Sofía Almeyda Ortiz**

KEY WORDS Activated Carbon, Adsorption, Dispenser, Adsorbent.

The treatment plant located in Bosconia to Noroccidente of Bucaramanga municipio the surata river capta where currently present complication in winters time for compounds reduce pathogens that powdered activated carbon (CAP) was employed as a process in the removal treatment of toxic pollutants like arsenic and mercury, organic matter and by-products of the chlorination process. Therefore, the present study was carried out which was divided in the following stages: The initial stage which allowed to determine the Activated Carbon optimum dose using the jar method by the compliance of resolution 2115 and the decree 1575 of 2007, followed by the CAP dosage pilot installation in the pretreatment stage and its start-up in order to prepare, manipulate and inject the CAP.

Once the adsorbent addition was performed parameters such as, pH, color, turbidity, heavy metals concentration, organic compounds, trihalomethanes and microorganisms (Coliforms and E-Coli) in the sedimentation and filtration stages were evaluated in order to assess the CAP and Aluminum Sulfate usefulness.

This study showed up the efficient help provided by the activated carbon on the conventional treatment for absorption of pathogenic compounds compared with the habitual process. It was also observed that if the contaminant initial concentrations are high, the CAP works better on their extraction.

* Degree Work

** Physico-chemical engineering faculty. School of Chemical Engineering Director Paola Maradei

INTRODUCCIÓN

En los últimos años para el tratamiento del agua potable, se ha implementado el Carbón activado en polvo por su rápida y eficaz operación a corto plazo y en grandes caudales debido a su propiedad de adsorción de compuestos tóxicos, no biodegradables u orgánicos.

El desarrollo de este estudio pretende la utilización de este adsorbente como alternativa para optimizar el tratamiento y mejorar la calidad del agua captada en el río Suratá uno de los afluentes que abastece actualmente al acueducto metropolitano de Bucaramanga y cuyo tratamiento es realizado en la planta de Bosconia, localizada a Noroccidente del Municipio de Bucaramanga.

Actualmente, se presentan dificultades en lograr una calidad del agua que satisfaga los criterios internos y los establecidos por el ministerio de salud (resolución 2115 y el decreto 1575 de 2007) para el agua potable en tiempos de invierno, debido al aumento de la concentración de materia orgánica y de metales tóxicos (mercurio y arsénico) que transporta el río.

De hecho, bajo estas condiciones el tratamiento convencional realizado en la planta de Bosconia (desarenación, presedimentación, precloración, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección), no es eficiente, si se utilizan las concentraciones clásicas de los insumos químicos requeridos (polímero y sulfato de aluminio sólido).

El proceso de implementación del Carbón Activado como medio de adsorción de contaminantes para el tratamiento de agua potable cuenta con la ventaja de ser un mecanismo simple y eficaz en relación a otros métodos de tratamiento de aguas

como son: óxidos metálicos, hidróxidos, carbonatos, precipitación de sulfato, resinas de intercambio iónico y resinas adsorbentes, entre otros métodos de adsorción.

El presente estudio pretende la implementación de un sistema de inyección en continuo de Carbón Activado en polvo en la sección de pretratamiento para la remoción de contaminantes (mercurio, arsénico, materia orgánica, Trihalometanos y Coliformes T y E-Coli).

1. MARCO TEÓRICO

1.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación en el agua está regulada por normas de calidad y estas deben estar descritas a su uso (industriales, consumo humano, riego de cultivos, etc). En el caso del agua apta para consumo humano se establece la resolución 2115 y el decreto 1575 de 2007, que determinan los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, logrando la calidad y estética del agua.

1.1.1 Métodos de potabilización del agua: Para el debido tratamiento del agua, la planta de Bosconia cuenta con las siguientes etapas de tratamiento según la figura 1:

- Presedimentación: Precipitación de Sólidos en suspensión previo al agua cruda
- Coagulación: Aglomeración de partículas coloidales presentes en el agua mediante un coagulante para obtener la formación de un flocs.
- Sedimentación: Precipitación de sólidos en suspensión.
- Filtración: Retención de microorganismos y partículas que no lograron ser sedimentadas.
- Cloración: Remoción de los microorganismos que no pudieron ser filtrados.

Figura 1. Etapas de tratamiento de la planta de Bosconia del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga



Otros sistemas de tratamiento del agua que se pueden citar son: óxidos metálicos, hidróxidos, carbonatos, precipitación de sulfato, precipitación con sulfuro, coagulación férrica, resinas de intercambio iónico, resinas adsorbentes y ósmosis inversa [1,2], Todos ellos permiten la potabilización del agua (apta para consumo humano).

1.1.2 Clasificación de los contaminantes en fuentes de agua: Los contaminantes son producidos por las industriales las cuales vierten estos desechos generalmente en el agua de los ríos. Puede clasificarse en: organolépticos (sabor, color, olor y turbiedad), microbiológicos, químicos orgánicos e inorgánicos y radioactivas [3].

1.1.3 Caracterización de (Hg, CN, As, THM y Coliformes, E-Coli) los contaminantes más frecuentes en la planta de Bosconia.

Metales pesados: Entre los que se presentan en la planta de Bosconia están: el arsénico, cianuro y el mercurio. Metales altamente tóxicos. [2] que se pueden acumular a través de la cadena alimenticia a muy bajas concentraciones produciendo serios problemas en la vida acuática así como a animales, plantas y a la salud humana.

MERCURIO: El mercurio en las aguas naturales se halla en 3 estados de oxidación Hg^0 (metálico), Hg_2^{+2} (mercurioso) y ion Hg^{+2} (mercúrico) .Estos estados mercurioso y mercúrico logran formar innumerables compuestos químicos tanto orgánicos como inorgánicos [5,6]. Sin embargo, cabe destacar que alguna de las propiedades físicas y químicas del agua cruda pueden interferir en la remoción del mercurio como son el pH y la turbiedad [2].

ARSÉNICO: Este compuesto hace presencia en el agua a causa de su disolución a partir de rocas ricas de este metal. Este actúa como un tóxico de acción lenta pero continua. Se acumula en el organismo de forma irreversible a través de los años y puede producir graves alteraciones[8].

CIANURO: Este compuesto en las plantas de tratamiento de agua potable es controlado con el cloro, caso que no es tratado en este proyecto.

SUBPRODUCTOS CLORADOS ORGÁNICOS: Están los trihalometanos (THM) un grupo de compuestos químicos formado por un átomo de hidrógeno y tres átomos de halógenos, siendo los más comunes el cloro, bromo y yodo. Estos se generan en la reacción química que surge del contacto entre la materia orgánica natural presente en el agua y el cloro añadido como desinfectante [9,25]. Los trihalometanos comúnmente presentes son:

Cloroformo (CHCl_3), Bromodiclorometano (CHBrCl_2), Dibromoclorometano (CHBr_2Cl), Bromoformo (CHBr_3).

Los trihalometanos totales están dentro de la clasificación de las sustancias reconocidas como agentes cancerígenos y mutagénicos.

MICROORGANISMOS: Habitualmente están en las aguas de abastecimiento, presenta de 1 a 4 micrómetros, estas bacterias son provenientes del suelo, la lluvia y residuos. Entre las bacterias tenemos las coliformes y e-coli.

LOS COLIFORMES: son organismos indicadores de contaminación fecal debido a la prevalencia de los elementos del grupo coliforme en aguas residuales [10].

E-COLI: Esta bacteria ayuda a mantener el equilibrio de la flora intestinal normal (flora bacteriana) contra las bacterias nocivas y sintetiza o produce algunas vitaminas y es la bacteria indicadora del grupo coliforme fecal [9].

1.2. CARBÓN ACTIVADO

1.2.1 Generalidades del Carbón Activado: El carbón activado ha sido implementado desde el siglo pasado y hoy en día el carbón activado es el más usado para la remoción del sabor y olor generado por la descomposición de la

materia orgánica. Se conoce como Carbón Activado todo material derivado de carbón no volátil cuyas propiedades adsorbentes han sido incrementadas a propósito por operaciones efectuadas por el hombre. Entre las principales fuentes de producción están: residuos forestales u otros tipos de biomásas (turba, lignito, cáscara de coco y otros carbónes minerales), ricos en átomos de carbón que le permiten adquirir apropiadas condiciones mecánicas para retener partículas de alto peso molecular y de baja solubilidad como lo es todo tipo de material no biodegradable o que su tiempo de degradación es muy alto [12]. Estas propiedades son debidas a su naturaleza apolar que le confiere la propiedad de retener preferentemente partículas de su misma naturaleza en soluciones acuosas polares. De igual manera el Carbón Activado puede retener compuesto de carácter polar sólo si se impregna reactivos específicos (adsorción química) al adsorbente [13].

1.2.2 Características fisicoquímicas: El carbón en su estado natural es poroso y contiene componentes volátiles como fósforo, sulfuro o metales pesados que a través de la activación se eliminan, incrementándose igualmente sus poros y permitiéndole adquirir una gran relación superficie/volumen. Este incremento de poros se puede hacer por medio de dos procesos: Físico (carbónización que es efectuada generalmente en ausencia de aire para impedir la combustión y así activar el carbón por gasificación) y Químico (deshidratación de la materia con agentes químicos como cloruro de zinc o fosfato ácido). El carbón así obtenido presenta, aumento en los poros que va de 300 a 2000 m²/g (la porosidad antes de tratar es de 0,000386 m²/g). La estructura porosa excepcionalmente desarrollada del Carbón Activado le proporciona la habilidad de adsorber ciertas sustancias disueltas o dispersas de los líquidos [14].

Tabla 1. Clasificación de los tamaños de poros de acuerdo a su diámetro y su función como medio de transporte o de adsorción

CLASIFICACIÓN	RANGO	USO Y PROPIEDAD
Microporos	Menor a 2 nm	Purificaciones de gases; Elevada superficie y capacidad de retención.
Mesoporos	Entre 2 y 50 nm	Purificaciones de líquidos; Retener moléculas de gran tamaño
Macroporos	Mayor a 50 nm	Vía de acceso a los poros medios y a los microporos.

Fuente: Rodríguez. Año 1994 [13]

1.2.3 Métodos analíticos para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en laboratorio

- **Color:** El color es una medida directa producida por materiales coloreados ya sean disueltos o en suspensión (ácidos húmicos, iones de metales, algas, entre otros). Se determinó con un espectrómetro HACH DR28000, longitud de onda de 455 nm con unidad de medida platino cobalto (UPC)
- **Turbiedad:** Es la interferencia de la luz causada por suspensión en el agua de materia orgánica, microorganismos, arcillas. Se determinó con un turbidímetro HACH2100N con unidad de medida nefelométrica. (UNT).
- **Mercurio:** Se determinó por adsorción atómica por el analizador BACHARACH 50d.
- **pH:** Se analizó con un pHmetro equipado de un electrodo de medida KCl 3M.
- **Materia orgánica natural:** Se midió la materia orgánica disuelta, para ello, se filtraron las muestras con un micropore antes de ser leídas por el método ultravioleta de adsorción (AUV) en un espectrómetro HACH5000 con unidad de medida en (mg/l).
- **Arsénico inorgánico** Se determinó con un espectrómetro de adsorción atómica PERKIN ELMER 2380.
- **E-coli y coliformes totales:** Se midió por medio de un detector de colonias METTLER TOLEDO.
- **Trihalometanos:** Determinados por el método de colorimetría 10132, longitud de onda 515nm.

2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PILOTO DE CAP EN LA PLATA DE TRATAMIENTO DE BOSCONIA

2.1 ¿POR QUÉ IMPLEMENTAR UN SISTEMA PILOTO DE CAP EN LA PLATA DE TRATAMIENTO DE BOSCONIA?

Para reducir organismos patógenos (Hg, As) y MON cuando se presentan niveles críticos inasequibles para ser controlados por coagulantes $(Al_2SO_4)_3$ sólido) y ayudantes de coagulación (polímero).

2.2 ¿DONDE SE IMPLEMENTÓ EL SISTEMA PILOTO DE CAP?

El sistema piloto se instaló para la adición controlada del CAP en la etapa de pretratamiento previo al tratamiento convencional de la planta de Bosconia (esta utiliza $(Al_2SO_4)_3$ para la coagulación y precloración para el control de CN) como lo muestra la Figura 2

Figura 2. Fases de pretratamiento y tratamiento de agua potable de la planta de Bosconia



Antes del funcionamiento del sistema de CAP, se analizaron las propiedades fisicoquímicas del agua obtenida en el tratamiento habitual de la planta Bosconia para las etapas de sedimentación y filtración, para posteriormente compararlas con los resultados obtenidos con la puesta en funcionamiento del sistema piloto, evaluando la efectividad del carbón activado en la reducción de compuestos orgánicos e inorgánicos.

2.3 ETAPAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PILOTO DE CAP

I. Determinación de la dosis óptima de Carbón activado en polvo: Se utilizó el método ensayo de jarras (Anexo C) que es una prueba en la que se busca mejores condiciones de operación para las etapas de coagulación, floculación y sedimentación (secuencia de la planta de tratamiento).

En el presente estudio se hizo una adaptación de este método, utilizando el carbón activado para analizar su comportamiento frente a los parámetros de calidad del agua a medida que se variaban las dosis CA, para así determinar aquella dosis óptima que permita cumplir con los requisitos de ley (resolución 2115 y el decreto 1575 de 2007)

II. Instalación del Equipo y puesta en funcionamiento para la adición del CAP: Una vez obtenida las dosis de CAP en laboratorio, se dispuso la instalación de equipos como: tanque de mezcla, recipiente para reciclo del CAP y Bomba hidráulica. Esto con el fin de poder preparar, manipular e inyectar el CAP en la etapa de pretratamiento.

Para la puesta en marcha del equipo se asignaron cuatro días para cuatro pruebas con un tiempo de ocho horas de funcionamiento por cada prueba.

III. Evaluación del Carbón activado en polvo y el Sulfato de Aluminio durante el proceso convencional llevado a cabo en la planta de Bosconia: Durante la prueba de adición de CAP se evaluó parámetros como pH, color, turbiedad, concentración de metales pesados, compuestos orgánicos, trihalometanos y microorganismos (Coliformes y E-Coli) en las etapas de sedimentación y filtración. Se analizaron 3 veces al día (cada 4 horas), partiendo del análisis del trabajo convencional de la planta SA+PreCl (sulfato de aluminio mas percloration) y transcurrida cada 4 horas (estabilidad del CAP) SA+PreCl+CAP (sulfato de amonio mas percloración mas carbón activado).

3. EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DEL CAP PREVIO A SU DISPOSICIÓN EN EL SISTEMA PILOTO

A continuación se presenta la metodología en la Figura 3.

Figura 3 Evaluación y determinación de la dosis óptima del CAP para ser implementada en el sistema piloto



3.1 CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO EN POLVO (CAP).

El objetivo es analizar la adsorbancia del carbón activado por medio de una solución acuosa e índice de azul de metileno. Para ello se preparó una solución al 0,1 g/l de azul de metileno (pH ajustado a 7) y 0,1 g/l de carbón activado. A partir de la solución madre se preparó 5 soluciones de 100ml con concentraciones de 0,01; 0,03; 0,05; 0,07 y 0,09 g/l. Posteriormente se tomaron 10ml de cada solución y se mantuvieron en los tubos de ensayos rotulados para su respectiva medida de adsorbancia.

Los 90 ml restantes de cada disolución se mantuvieron en agitación durante 30 min con CAP a 1ppm y una vez obtenido su equilibrio se filtraron las muestras, seguidas de su medida de adsorbancia. Los valores de adsorbancia de las

disoluciones con y sin carbón activado son medidos a 668nm de longitud de onda con un espectrofotómetro de referencia DR28000.

3.1.1 Proceso para la eficiencia de adsorción del CAP: La isoterma de Freundlich (Anexo A) permite describir la relación entre los valores de adsorción de azul de metileno por unidad de masa del adsorbente y su concentración en la solución en el equilibrio mediante la siguiente ecuación:

$$\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log k + \left(\frac{1}{n}\right)\log c$$

Donde:

x = Cantidad de impureza adsorbida.

m = Cantidad de carbón utilizado.

x/m = Cantidad de sustancia adsorbida por unidad de peso de carbón.

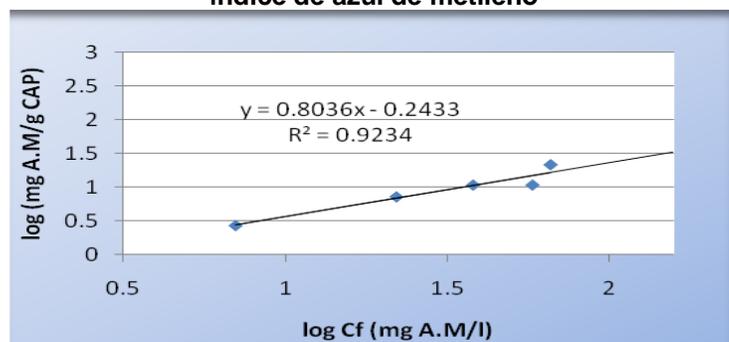
$1/n$ = Pendiente de la isoterma.

C = Concentración residual de la impureza.

k = Constante de adsorción.

La Figura 4 representa el grado de adsorbancia del CAP, mediante la variación de la concentración de azul de metileno y la concentración de CAP requerida por la planta de Bosconia.

Figura 4 Adsorbancia del Carbón activado en polvo por medio de una solución acuosa e índice de azul de metileno



Después de efectuado el ensayo de adsorción, se observó un factor de correlación de 0,9234. Esto indica que la adsorción se ajusta aproximadamente al modelo de la isoterma de Freundlich.

Se pudo concluir entonces que el equilibrio de adsorción se presenta cuando las condiciones de concentración de carbón activado son de 1 ppm ya que a concentraciones inferiores de 1 ppm de este, las moléculas de azul de metileno fueron adsorbidas en su totalidad y de igual forma las condiciones máximas requeridas por planta son de 1 ppm de carbón activado en polvo. .

Por tal motivo, se podría decir que la energía de unión entre la superficie del CAP y las sustancias de interés de remoción dependerá de la naturaleza de los solutos que han de adsorberse y no del CAP [18].

3.2 DOSIS ÓPTIMA DE CARBÓN ACTIVADO EN POLVO CAP

En este estudio la dosis adecuada u óptima de Carbón Activado en polvo se determinó para dosis inferiores a 5 ppm; debido a que anteriormente, en marco de una tesis de pregrado [15], ya se había estudiado para dosis superiores.

Las muestras de agua se evaluaron a diferentes turbiedades, para ello fueron clasificadas de la siguiente manera:

3.2.1 Clasificación de muestras de Agua: Se recolectaron y analizaron las muestras del agua del río, tres muestras por cada rango de turbiedad, entre:

$0 > \text{NTU} \geq 30$; $30 > \text{NTU} \geq 100$; $100 > \text{NTU} \geq 1000$; $\text{NTU} > 1000$

3.2.2 Método de tratamiento de las muestras: Una vez recolectadas las muestras de agua en recipientes de 2 litros estas fueron tratadas y analizadas mediante el ensayo de jarras.

Para ello se uso dosificaciones de CAP 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 y 1.0 ppm a partir de una solución de Carbón Activado en polvo del 2%p.

Se simularon seis muestras de agua, los parámetros del tratamiento impuesto son los siguientes: tiempo de coagulación de 1 min a una velocidad de agitación alta (100 rpm). Tiempo de floculación de 14 min a velocidad baja (40 rpm) y tiempo de sedimentación de 15 min. Una vez obtenidas las muestras, estas fueron filtradas para determinar sus parámetros físico-químicos (turbiedad, color y pH) (Anexos D) con la intención de seleccionar la mejor muestra tratada de acuerdo con el acatamiento de los parámetros internos de la planta. (Anexo C).

Una vez obtenida la mejor muestra tratada se evaluó las concentraciones de mercurio ($\mu\text{g/l}$), arsénico ($\mu\text{g/l}$), materia orgánica natural (MON) y (Coliformes totales y E-Coli).

Tabla 2. Parámetros seleccionados para el análisis de las etapas de los ensayos de jarras ejecutadas en laboratorio.

Ensayo	Color	Turbiedad	pH	Hg	As	E-Coli	Coliformes Totales	MON
Etapa	25ml	30ml	50ml	150 MI	100 ml	100 ml	100 ml	50ml
Agua del Rio	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Sedimentada	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No
Filtrada	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Si: Parámetro analizado en la etapa.

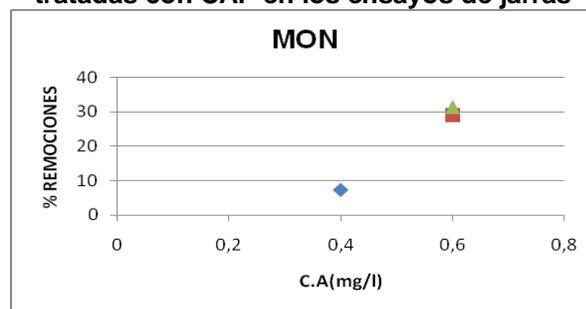
No: Parámetro no analizado en la etapa.

La evaluación de algunos de los parámetros de la etapa de sedimentación no se llevó a cabo debido a que no se contaba con suficiente material para preservar las muestras en orden a su posterior análisis en el laboratorio de calidad de aguas

A continuación se representa las dosis estimadas de carbón activado en polvo (CAP) en muestras de agua tratadas a diferentes rangos de turbiedad.

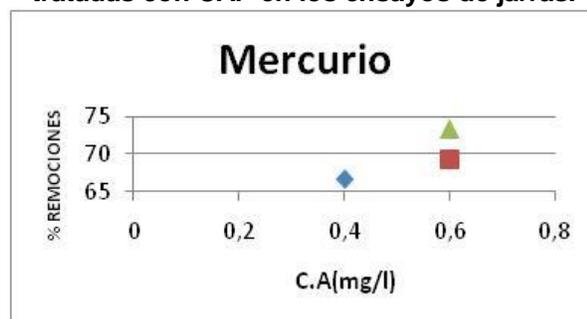
Rango de turbiedad entre 31-100 UNT En las figuras 5, 6 y 7 se ilustran los porcentajes de remociones de Materia Orgánica Natural (MON), mercurio y arsénico, respectivamente.

Figura 5. Remoción de MON para turbiedades entre 31-100 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras



Las dosis principales de 0,4 y 0,6 ppm de carbón activado en polvo registradas en las mejores muestras tratadas a bajas turbiedades (31-100) UNT, no permite remover la Materia Orgánica Natural (MON), gran parte de ella estaría presente en el medio, para su posterior tratamiento en la etapa de filtración.

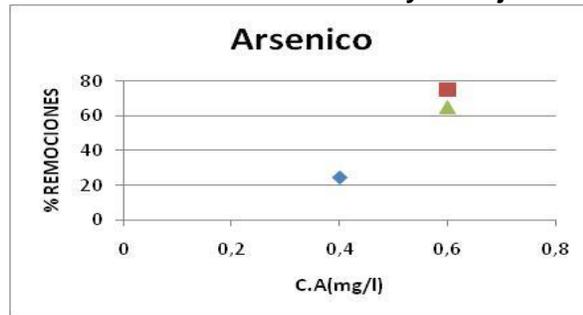
Figura 6. Remoción de mercurio para turbiedades entre 31-100 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras.



De acuerdo a las dosis dominantes de 0,4 y 0,6 ppm de carbón activado en polvo, en las mejores muestras tratadas a bajas turbiedades (31-100) UNT, los iones de

mercurio extraídos por el carbón activado en polvo (CAP) son superiores cuando se aplica una dosis de 0,6 ppm de carbón activado en polvo.

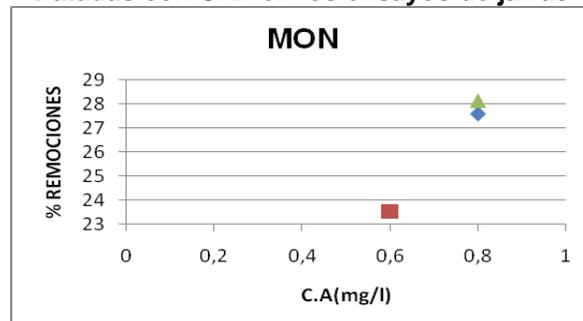
Figura 7. Remoción de arsénico para turbiedades entre 31-1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras



De acuerdo a las dosis dominantes de 0,4 y 0,6 ppm de CAP en las mejores muestras tratadas a bajas turbiedades (31-100) UNT, los iones de arsénico extraídos son superiores cuando se aplica una dosis de 0,6 ppm de CAP. En las dosis de 0,4 y 0,6 ppm se observa que en condiciones de baja turbiedad la remoción de contaminantes (Hg y As) es más evidente a una dosis de 0,6 ppm.

Rango de turbiedad entre 100-1000 UNT En las figuras 8, 9 y 10 se ilustran los porcentajes de remociones MON, mercurio y arsénico, respectivamente.

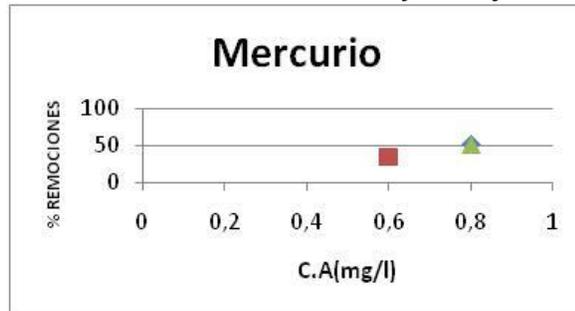
Figura 8. Remoción de MON para turbiedades entre 100-1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras



De acuerdo a las dosis principales de 0,6 y 0,8 ppm de carbón activado en polvo (CAP), en las mejores muestras tratadas a alta turbiedad (100-1000) UNT, la

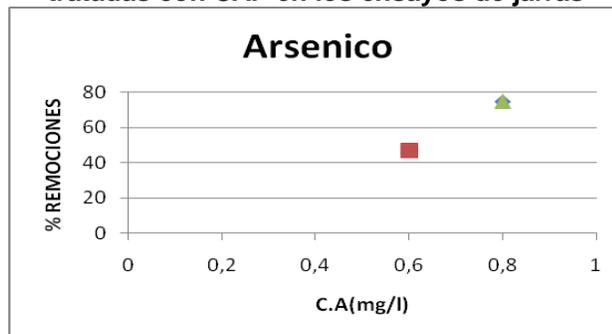
extracción de materia orgánica es baja, por lo cual, gran parte de ella estaría presente en el medio, para su posterior tratamiento en la etapa de filtración.

Figura 9. Remoción de mercurio para turbiedades entre 100-1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras



Respecto a las dosis principales de 0,6 y 0,8 ppm, de CAP, en las muestras tratadas a alta turbiedad (100-1000) UNT, la mayor extracción de iones de mercurio se presenta a 0,8 ppm de carbón activado en polvo.

Figura 10. Remoción de arsénico para turbiedades entre 100-1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras



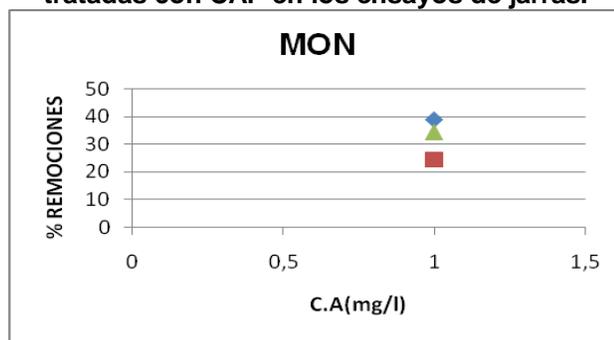
De acuerdo a las dosis principales registradas (0,6 y 0,8) ppm de CAP, en las muestras tratadas a alta turbiedad (100-1000) UNT, los iones de arsénico fueron reducidos en mayor proporción con una dosis de 0,8 ppm de CAP.

Cabe destacar que la extracción de metales pesados y materia orgánica parece ser más reducida en un medio de mayor turbiedad y con una dosis de 0,8 ppm de

acuerdo a lo observado en las figuras 8, 9 y 10 y en comparación con lo observado para turbiedades inferiores.

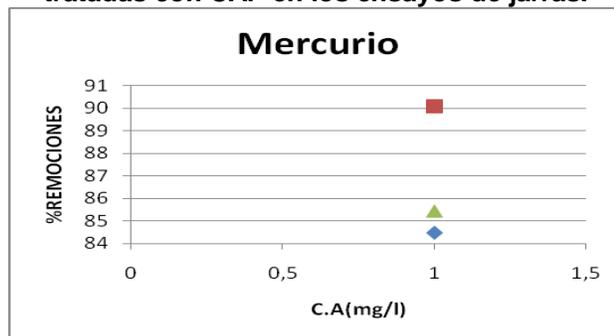
Turbiedad mayor a 1000 UNT En las figuras 11, 12 y 13 se ilustran los porcentajes de remociones materia orgánica natural, mercurio y arsénico, respectivamente.

Figura 11. Remoción de MON para turbiedades mayor de 1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras.



De acuerdo a la dosis principal registrada de 1 ppm de CAP en las mejores muestras tratadas a esas condiciones insuficientes de turbiedad (mayor de 1000) UNT, no se evidencia una remoción considerable de MON.

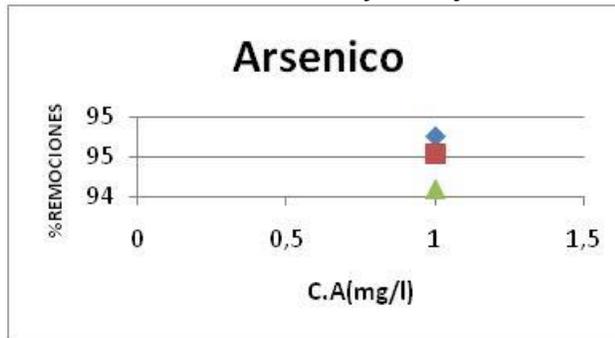
Figura 12. Remoción de mercurio para turbiedades mayor de 1000 UNT en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras.



En relación a la dosis de 1 ppm de CAP, en las mejores muestras tratadas a estas condiciones de turbiedad (100-1000) UNT, los iones de Hg son removidos más del

80%, lo cual podría indicar, que este se asocia con las partículas suspendidas y con el carbón Activado en polvo (CAP), de tal modo, que este se precipite.

Figura 13. Remoción de arsénico para turbiedad mayor a-1000 en muestras de agua tratadas con CAP en los ensayos de jarras.



De acuerdo a la dosis de 1 ppm de CAP, a estas condiciones de turbiedad (100-1000) UNT, los iones de arsénico son removidos más del 90%, lo cual parece ser que el arsénico podría asociarse con las partículas suspendidas y con el carbón activado en polvo (CAP), de tal modo, que este se precipita.

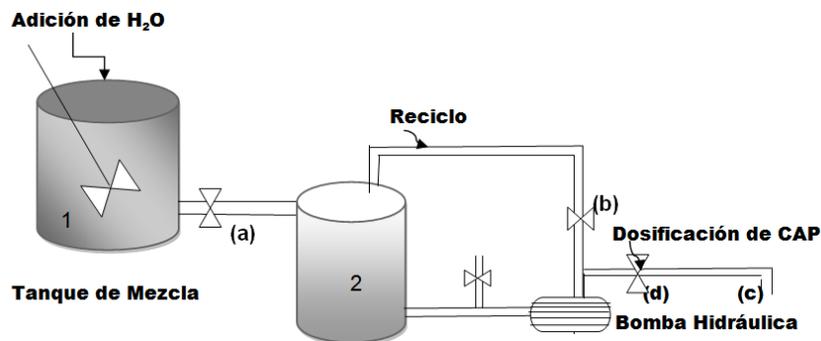
Dado los resultados obtenidos respecto a la remoción de materia orgánica natural con CAP, no se evidencia una eficiencia de extracción en compuestos orgánicos, posiblemente porque se trata de la materia orgánica disuelta (alta solubilidad) la cual es difícil de ser removida por el adsorbente. Es probable que las dosis implementadas son muy bajas para que el carbón activado actúe [13,22].

Sin embargo la remoción de iones de metales pesados fue importante a una dosis de 1ppm de este adsorbente y a turbiedades importantes, de hecho se sabe que a altas concentraciones la difusión de elementos es alta hacia el CAP, concentraciones mayores a 10 µg/l y altas turbiedades del medio [23].

4. INSTALACIÓN DEL EQUIPO Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO PARA LA ADICIÓN DE CAP

El equipo para la adición del CAP consta de los siguientes componentes tal como se observar en la figura 14, los cuales se describirán a continuación:

Figura 144. Equipos instalados para la dosificación de CAP



- **Tanque de Mezcla** Este depósito con capacidad de volumen de 500 L, se instaló para la preparación de la solución de CAP. Consta de: un aspa, una llave (entrada del Agua) y un conducto de salida (solución del CAP); La adición del CAP para la preparación de la solución es manual.
- **Recipiente de reciclo** Su función es mantener el CAP en suspensión previo a su dosificación y dispone de 2 canales, uno para la entrada de la solución de CAP y el otro de salida, tanto para el reciclo de la solución como para la dosificación.
- **Bomba Hidráulica:** con una potencia de 2 HP para mantener la solución de CAP en reciclo mientras el restante sería dosificado al efluente.
- Su funcionamiento fue durante periodos de 10 min y descansos de 5 min.

- **Válvulas:** El sistema disponía de 4 válvulas; las válvula (a y b) de apertura para la circulación del CAP y mantenerlo en suspensión, la válvula (c) para la dosificación y por último la válvula off (d) para mantener la bomba cargada.

El equipo de dosificación de CAP se instaló en donde actualmente se suministra polímero y sulfato de aluminio sólido para el tratamiento convencional de la planta (ubicado en la etapa de pretratamiento), porque se cuenta con espacio suficiente para la ubicación de todos sus componentes (bomba hidráulica y recipiente del reciclo del CAP). Además allí, se pueden preparar las soluciones químicas a ser incorporadas al proceso.

Durante el funcionamiento del equipo se mantuvo el tanque 1 de mezcla siempre lleno, de modo que, se pudiera suministrar constantemente el líquido al tanque 2 permitiendo el bombeo tanto para recirculación del fluido como para la dosificación. También se tuvo en cuenta mantener el sistema en continuo de modo que no hubiera ningún percance de reboso (Tanque 2) del fluido.

A continuación en la figura 15, se ilustra las etapas del sistema piloto del CAP en funcionamiento.

Figura 15. Etapas del sistema piloto para la dosificación del CAP en la zona de pretratamiento de la planta de Bosconia.



Fuente: Autor

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1 EVALUACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO EN POLVO Y EL SULFATO DE ALUMINIO DURANTE EL PROCESO CONVENCIONAL LLEVADO A CABO EN LA PLANTA DE BOSCONIA.

Dado los resultados obtenidos en laboratorio a continuación se ilustra en la tabla No 3 las dosis óptimas de CAP determinadas en los ensayos de jarras para cada rango de turbiedad las cuales serán implementadas en el sistema de inyección de CAP.

Tabla 3. Dosis optimas de CAP determinadas en los ensayos de jarras para cada rango de turbiedad

Rango de Turbiedad (UNT)	Dosis de CAP (mg/l)
31- 100	0,6
100-1000	0,8
Mayor a 1000	1

Una vez instalado el equipo y en funcionamiento y de acuerdo al ajuste de los resultados obtenidos en laboratorio sobre el proceso convencional de tratamiento en planta, se examinó los parámetros fisicoquímicos en las etapas de (sedimentación y filtración). A continuación se ilustra los puntos de muestreo y parámetros seleccionados.

Tabla 4. Puntos de muestreo y parámetros seleccionados para la evaluación del carbón activado en polvo inyectado en la etapa de pretratamiento.

Ensayo Etapa	Color 25ml	Turbiedad 30ml	pH 50ml	Hg 150 ml	As 100 ml	E-Coli 100ml	Coliformes Totales 100ml	MON 50ml	THM's
Agua Rio	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No
Sedimentada	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	No
Filtrada	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Si: Punto de muestreo evaluado.

No: Punto de muestreo no evaluado.

Los parámetros analizados como turbiedad, Color y pH permitieron cumplir con la resolución 2115 y el decreto 1575 de 2007 que se detallan en el Anexo E¹

A continuación se observa las remociones de mercurio, arsénico y materia orgánica natural evaluada en la etapa de filtración durante el suministro de:

S.A: Sulfato de aluminio

CA: Carbón activado en polvo

PreCl: Pre Cloración. (trata el Cianuro)

En la tabla No 5. Se observa que la adición de carbón activado en polvo y su posterior tratamiento con sulfato de aluminio y precloración (S.A+preCl), parece tener un rendimiento mayor de extracción de iones de metales pesados y materia orgánica natural de acuerdo al tratamiento convencional de la planta de Bosconia SA+PreCl. Cabe resaltar también que la remoción de materia orgánica fue baja comparado con la extracción de los otros contaminantes.

Tabla 5. Extracción de contaminantes durante la inyección de carbón activado en polvo en la etapa de pretratamiento de la planta de Bosconia (Primer ensayo).

Agua del Rio			
Insumo Químico	Concentración de Mercurio (µg/l)	Concentración de Arsenico (µg/l)	Concentración de MON (mg/l)
-	0,30	6,10	4,62
-	0,60	7,91	4,54
-	0,60	5,53	4,37
-	0,90	7,20	4,09
Agua Filtrada			
Insumo Químico	% Remociones de Mercurio (µg/l)	% Remociones de Arsénico (µg/l)	% Remociones de MON (mg/l)
SA + PreCl	80,00	87,21	58,44
SA+PreCL+CA	95,00	98,48	61,76
SA+PreCL+CA	93,33	96,75	60,40
SA+PreCL+CA	94,44	98,06	61,37

¹ Desarrollo Experimental

En el ANEXO E se puede tener mayor claridad de remociones de compuestos inorgánicos y metales pesados que son inferiores si son comparados con a los resultados de la Tabla 5.

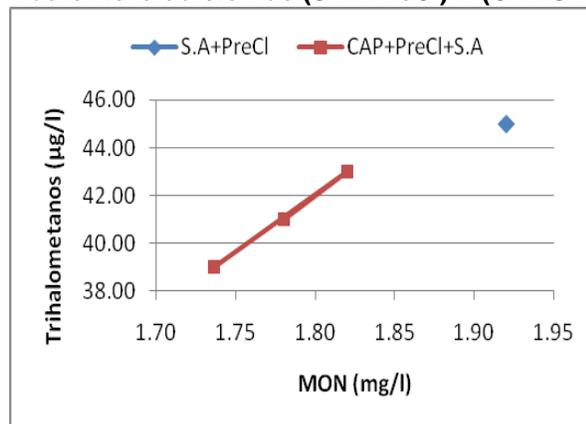
Este comportamiento es debido a que las concentraciones iniciales (materia orgánica, mercurio y arsénico) a la entrada de planta se mantuvieron bajos durante el transcurso de la inyección de Carbón Activado en polvo y es de importancia esta condición para que favorezca la adsorción [18,3].

Sin embargo, se podría decir que, de acuerdo a las figuras, la adición de carbón activado en polvo en adición de S.A+PreCl para el tratamiento del agua potable favorece el aumento de la remoción de contaminantes mercurio, arsénico y materia orgánica natural (MON) [23].

5.2 VALORACIÓN DE LA FORMACIÓN DE TRIHALOMETANOS TOTALES EN LA ETAPA DE FILTRACIÓN.

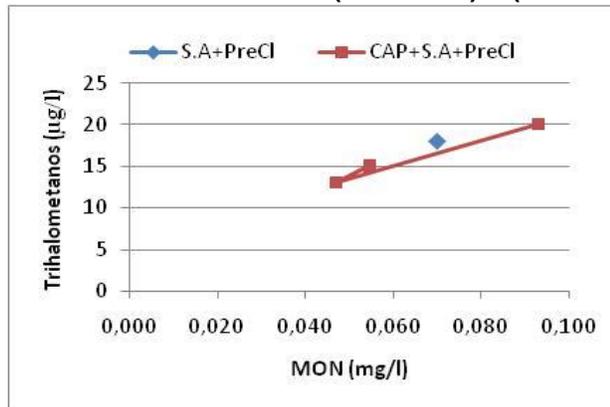
A continuación se muestra la formación de (THMs) totales durante el tratamiento con S.A+PreCl ; Al igual que su posterior adición de CAP+S.A+PreCl.

Figura 16. Primera prueba para la evaluación de la formación de THMs totales en la etapa de filtración durante la adición de (S.A+PreCl) Y (C.A+S.A+PreCl).



En la figura 16 se puede observar que la formación de trihalometanos durante el tratamiento convencional con S.A+PreCl es más alta a diferencia del tratamiento en adición de CAP CAP+S.A+PreCl. Esto es debido a que los trihalometanos totales son precursores directamente relacionados con la cinética de crecimiento de la materia orgánica natural [25].

Figura 17. Segunda prueba para la evaluación de la formación de THMs totales en la etapa de filtración durante la adición de (S.A+PreCl) Y (C.A+S.A+PreCl).



En la figura 17 Se puede observar que la formación de Trihalometanos con adición de S.A+PreCl es superior en comparación con la tendencia de formación de trihalometanos en adición a CAP+S.A+PreCl. Al igual, cabe resaltar que la MON sería el limitante de la formación de estos subproductos de la desinfección. Ya que en presencia de mayores concentraciones de compuesto orgánicos la formación de trihalometanos es mayor [26].

De acuerdo a las concentraciones de trihalometanos (THMs) totales reportados en todas las pruebas (Anexo E) se encontraron por debajo del límite permisible 100 (µg/l), que establece el decreto 1575 del 2007, sobre el agua, para uso y consumo humano. Aunque cabe resaltar que el tratamiento adicional de desinfección aumentaría la cantidad de concentración de trihalometanos, lo cual se es conveniente reducir aún más los precursores de la formación de trihalometanos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante la ejecución del siguiente trabajo se pudo concluir lo siguiente:

El proceso de Pre-Tratamiento en el agua de río con precloración (PreCl) y su posterior adición de Sulfato de Aluminio en la Planta Bosconia, se ve favorecido con la adición de CAP, permitiendo un rendimiento mayor de extracción de iones de metales pesados, eliminación de materia orgánica natural y por consiguiente disminución en la formación de Trihamometanos.

La remoción de materia orgánica fue menor (inferior a 59 %) comparada con la eliminación de otros contaminantes, tales como Hg y As (superior a 70%), cuando se adicionó CAP en el Pre-Tratamiento.

En la etapa de sedimentación no se observó cambios significativos en los parámetros fisicoquímicos convencional de monitoreo, mientras se adicionaba el CAP en el Pre-Tratamiento.

Se recomienda para futuros trabajos:

- Evaluar por medio de un sistema piloto, la remoción de mercurio con concentraciones mayores de 10 ($\mu\text{g Hg/l}$), especialmente en periodo de verano.
- Analizar turbiedades menores a 31 UNT para valorar, con el carbón activado en polvo, remociones de materia orgánica natural, arsénico y mercurio y subproductos de la formación de la cloración como trihalometanos.
- Se recomienda evaluar la remoción de materia orgánica natural y la formación de subproductos de la cloración con otros métodos o carbón activado Granular.
- Se sugiere estudiar el carbón activado en polvo en la etapa de Pre-Tratamiento actuando en conjunto con un coagulante inorgánico (por ejemplo: Sulfato de Aluminio Sólido).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] TORRES Cruz, Camili. Pentachlorophenol reduction in raw Cauca river water through activated carbón adsorption in water parificación, Revista de ingeniería e Investigación Vol. 28 No 3.Diciembre de 2008.
- [2] GOMEZ, Jiménez María. Interacción del mercurio con los componentes de las aguas residuales. Universidad Nacional de Colombia. Febrero del 2005. P 31-53.
- [3] GROSSO, Germán. Tratamiento de agua potable y residual. Abril del 2004.
- [4] POSADA Villegas F.A, Evaluación y control de la contaminación. 2da Edición. Septiembre de 1999.
- [5] SALAS VASQUEZ, Carlos. Especiación del Mercurio en el medio Ambiente. Mayo 2008. P37, 40 y 4.
- [6] MENDIROS S. Mercurio. Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSI. Cantoblanco .Madrid. [En line]
www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/C1-317.pdf
- [7] LITTER M I. Remoción de Contaminantes Metálicos, Solar Safe Water. Cap 12 Pág. 195,106 y 199.
- [8] GLIBOTA, Gustavo Santiago. Adsorción de Arsénico en filtros de carbón activado comerciales. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Años 2005

[9] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, Resolución Numero 2115 de 2007, junio 22. Cap I y Cap. III.

[10] DE VARGAS, Lidia. Fundamentos para la caracterización del las Aguas. Cap7. Páginas 379, 389.

www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operación/cap7.pdf

[11] SHAEFFER, Kenneth. Magia negra para el tratamiento del agua. [En línea]

www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/Intermedio.pdf

[Citado Octubre del 2003]

[12] ARAMIS Rodríguez, CASTILLO Egui, Rafael, Aja Muñiz, Rubén. Aspectos industriales de la producción de carbón activado y sus aplicaciones en la mitigación ambiental. 8 de octubre del 2006.

[13] REINOSO Rodríguez. F, SABIO Molina. M, El carbón activado en procesos de descontaminación. 1994

[14] GIRALDO, Liliana, GARCÍA, Vanesa. Caracterización superficial en fase gas y liquida de carbones activados. 2 de agosto del 2007

[15] GAMBOA ZANABRIA, Diego Armando, COBA VILLA, Tony Lainer. Implementación de la dosificación de carbón activado para la remoción de materia orgánica en la etapa de pretratamiento de la plata de Bosconia del A.M.B S.A E.S.P, 2009. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas.

[16] COTORUELO MINGUEZ, L.M, MARQUEZ Gutiérrez, M.D, Tratamientos de aguas por adsorción (I Y II). En: Ingeniería Química. Madrid, España, 1998.

[17] MALDONADO C Alfonso, Adsorción de oro y plata sobre carbón activado partiendo de las soluciones del proceso de cianuro, 1992. Trabajo de grado (Ingeniero Metalúrgico). Universidad Industrial de Santander. Departamento de ingeniería metalúrgica y ciencia de los materiales.

[18] Manual del carbón activado. Máster en Ingeniería del agua. Universidad de Sevilla. p 33-36

http://prueba2.aquapedia.org/master/presencial/pfm/proyecto_manual_carb%C3%B3n_activado/Carb%C3%B3n%20ACTIVO%20DEFINITIVO.pdf

[19] CORRALES Ramírez, José M. Aplicación y uso del carbón activado en polvo o granular para el tratamiento de aguas superficiales afectadas por la contaminación antropogénica, Laboratorio Nacional De Aguas, Revista Edición Vol. 2 N° 2 2004.

[20] HERNANDEZ SALGAR, José G. Naturaleza de los lodos producidos en el proceso de potabilización en la planta de Bosconia utilizando sulfato de aluminio líquido como coagulante. Informe final realizado en la especialización de ingeniería química, Universidad industrial de Santander (2005).

[21] SCHLABACH Martin, CORNELISSEN Gerard. Sorption of perfluorinated compounds from contaminated water to activated carbon. Sediment management in Norway. 12 January 2010. Pag 181

[22] MIAOMIO ZHANG, CHUN LI, MARK M. Fouling and Natural organic matter removal in adsorbent and membrane systems for drinking water treatment. Environmental science and technology. Vol 3. Año 2003

[23] FERNÁNDEZ Gustavo. Salud Ambiental, Agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1. 1994. Pag

[24] SOUSA DE Cristina, COLMENARES Maria C. Contaminación Bacteriológica en los sistemas de distribución de agua potable. Boletín de malariología y salud ambiental. Vol XLVIII. Julio Del 2008. Pag 22 y 23

ANEXOS

ANEXO A. GENERALIDADES DE ADSORCIÓN

Principio de adsorción. La adsorción puede describirse como el proceso en el que las moléculas del Adsorbato (materiales indeseables o contaminantes) abandonan la disolución para quedar retenidas en la superficie sólida del adsorbente (carbón activado poroso); Esta adsorción puede llevarse a cabo en fase líquida o gaseosa [16].

Proceso de adsorción en fase líquida. El proceso de adsorción depende de la naturaleza del enlace formado entre las moléculas adsorbidas (adsorbato) y la superficie del carbón (adsorbente), entre los tipos de adsorción que se presentan debido al enlace esta la adsorción física o química [16].

Tabla 3. Características de la adsorción física o química

ADSORCIÓN FÍSICA	ADSORCIÓN QUÍMICA
predominan Fuerzas de van der Waals o electrostáticas	Fuerzas covalentes
Proceso reversible	Proceso irreversible
Posee bajo calor de adsorción	Posee gran calor de adsorción
su proceso es rápido	Formación de enlaces químicos

Fuente: COTORUELO M. (1998).

Isoterma de Freundlich: Es una ecuación empírica de gran utilidad para representar los resultados experimentales en pruebas en fase líquida, Esta isoterma expresa el hecho de que para los datos de adsorción obtenidos a una temperatura uniforme, existe una correlación matemática entre las cantidades de sustancia adsorbida y no adsorbida [14].

$$\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log k + \left(\frac{1}{n}\right) \log c$$

.Esta ecuación es expresada regularmente de la forma

$$\frac{x}{m} = kc^n$$

Donde:

x = cantidad de impureza adsorbida.

m = cantidad de carbón utilizado.

x/m = cantidad de sustancia adsorbida por unidad de peso de carbón.

$1/n$ = pendiente de la isoterma.

C = concentración residual de la impureza.

Variables que afectan la adsorción en fase líquida

Temperatura: se puede lograr una mayor adsorción a baja temperatura pero el tiempo sería mayor

pH: los compuestos que generen color es más eficiente tratarlos con pH bajos.

Tamaño de partícula: significativamente no tiene efecto de validez sobre la capacidad de adsorción del carbón pero sin embargo si tiene efecto sobre la velocidad para alcanzar el equilibrio.

Parámetros de adsorción, [18,3]. Las condiciones requeridas para que favorezca la adsorción son:

- Su peso molecular sea mayor a 55
- De carácter covalente (no iónico)
- No disociación en medio acuoso
- Baja solubilidad
- Punto de ebullición relativamente alto
- Sea poco polar
- Concentración del compuesto

Sistema de adsorción en CAP y CAG.

En los procesos de potabilización se está implementado el carbón activado en polvo (CAP) o carbón Activado Granular (CAG) como agentes adsorbentes por su gran propiedad de adsorber contaminantes.

Carbón activado en polvo (CAP): Usualmente se dispone del CAP en casos de Niveles altos de contaminación, adicionándose en la primera etapa del tratamiento del agua o en el proceso de clarificación, en adición con los reactivos de la coagulación. Su inyección se puede realizar en un tanque agitado para encontrar su punto de concentración en equilibrio y después se dispone las (partículas suspendidas de CAP) a las dos fases sedimentación/filtración para su depósito [15].

Carbón Activado granular (CAG): El carbón activado en forma granular se usa en lecho filtrante traspasado por el agua a tratar, de modo que, el adsorbente se satura y se puede sustituir o regenerar. Se puede implementar el sistema en continuo el cual se requiere de más de una columna o lecho como alternativa [15]

Tabla 4. Ilustración de las alternativas e inconvenientes del CAP y CAG en el momento de su uso en el tratamiento de agua potable.

CAG	CAP
Se requiere el empleo de una o más columnas para que el sistema opere en continuo para grandes volúmenes de agua.	Equipo de dosificación económica y factible para la infraestructura en un sistema de tratamiento ya existente.
Su capacidad de adsorción requiere de 5 o más horas.	Su cinética de adsorción es rápida, puesto que su superficie es fácilmente accesible
Granulometría (mm) 0.1 – 2	Granulometría (mm) 0.05 -0.1
Lleva a cabo tres mecanismos: Adsorción, retención de la partículas grandes, Deposición de materia coloidal	No puede regenerarse debido a su uso con coagulante, presentando hidróxidos en el precipitado.

Fuente: CORRALES Ramírez 2004 [19].

ANEXO B. EQUIPOS DE MEDIDA DE PARAMETROS

Figura B1. Analizador BACHARACH 50d



Permite el análisis de mercurio usando como reactivos ácido nítrico, ácido sulfúrico en la presencia de permanganato de potasio que permiten la conversión de todo el mercurio presente a mercurio iónico Hg^{++} ; Algunos excesos oxidantes son destruidos con cloruro de hidroxilamonio y con la adición de cloruro estañoso se reduce el mercurio Hg^{+2} a mercurio metálico. Este mercurio formado se lleva a cabo por Adsorción atómica de evaporación en frio a 253.7 nm de radiación emitida.

Figura B2. Turbidímetro HACH2100N



Mide a través de un registro eléctrico la dispersión de la luz a 90°, utilizando el método nefelométrico como medida de turbiedad.

La unidad nefelométrica de turbiedad (UNT) es equivalente a 1mg/dm^3 de SiO_2

Figura B3. Espectrómetro HACH DR28000



Como patrón de medida se utiliza el hexacloro platinato de potasio con trazas de cloruro de cobalto para reproducir el color natural del agua.

La unidad de color, o unidad de platino cobalto (UPC) equivale a 1mg/dm^3 de $(\text{K}_2\text{PtCl}_6)$.

Figura B4. METTLER TOLEDO Detector de colonias



Figura B5. PECHIMETRO Electrodo de medida KCL 3M.



ESPECTRÓMETRO DE ADSORCION ATOMICA PERKIN ELMER 2380

Método estándar 3114 B, determina la concentración de arsénico inorgánico, con una longitud de onda 193.8 nm en el estado trivalente (3 electrones de valencia)

Reactivo: Agua libre de materia orgánica.

ESPECTRÓMETRO HACH5000

Permitió el análisis de la materia orgánica por medio del método ultravioleta de adsorción, materia orgánica por el método de clorimetría y Trihalometanos por el método de clorimetría

El espectrofotómetro usa una longitud de onda entre 200 y 400 nm con celdas de material de cuarzo a un haz de luz parcial de un centímetro y para muestras con bajas absorbancias se usa un haz de luz de 5 a 10 cm.

METODO 10129 DE COT: Método directo de LR(0.3 to 20 mg/l C).

METODO 10132 DE TRIHALOMETANOS: Método de (10 to 600 ppb) con un margen de error de +/- 12

MÉTODO DE ADSORCIÓN ULTRAVIOLETA 5910B La adsorción uv orgánica constituye en una muestra que adsorbe la luz uv en proporción a su concentración. Las muestras son filtradas para el control de variaciones en la adsorción uv causadas por partículas coloidales al igual que oxidantes y agentes reductores como cloraminas, ozono, trisulfato etcétera.

ANEXO C. DETERMINACION DE METODOS ANALÍTICOS MERCURIO:

1. Encender el equipo (5 minutos antes como mínimo), revisar que el tubo desecante contenga silica gel activada (color azul).
2. Tomar 150 ml de muestra en una probeta, pasar a un winkler agregar 5 ml de mezcla ácida, posteriormente 5 gotas de KMnO_4 al 5% (si desaparece el color morado adicionar unas gotas más hasta que el color permanezca), esperar 5 minutos.
3. Agregar 1 ml de cloruro de hidroxilamina al 1.5%, agitar hasta desaparecer el color.
4. Ajustar absorbancia a cero (100% T, de transmitancia).
5. Agregar 5 ml de cloruro estañoso al 10%, inmediatamente introducir el difusor y oprimir la tecla **PEAK HOLD** (altura de pico).
6. Preparar junto con la muestra un blanco de reactivos con agua destilada y pasarlo una vez por turno.
7. Los $\mu\text{g/l Hg}$ serán determinados por la expresión matemática $\mu\text{g/l Hg} = K [\text{Abs}]$ donde:
 $\mu\text{g/l Hg}$ = la concentración a determinar.
 K = a una constante que depende del equipo de medición, se determina mediante la construcción de la curva de calibración.
 Abs = la absorbancia de la muestra analizada.

NOTA: Cuando las turbiedades son mayores de 1000 UNT, hacer diluciones y duplicar las cantidades de los reactivos.

TURBIEDAD: Para la prueba colorimétrica con el equipo HACH la lectura es directa y se expresa en mg/L Cl_2 residual libre.

1. Encender el equipo (turbidímetro), para medir las muestras.

2. Tomar una muestra representativa en un vaso de precipitado y agitar.
3. Transvasar la muestra a la celda del equipo hasta el aforo (aproximadamente 30 ml).
4. Tomar la celda por la tapa y agitar por inmersión para eliminar las burbujas de aire y limpiar la celda con el paño antiestático (color negro).
5. Colocar la celda dentro del compartimiento del equipo, con la muesca (flecha) hacia fuera y cerrar la tapa.
6. Colocar la celda dentro del compartimiento del equipo, con la muesca (flecha) hacia fuera y cerrar la tapa.

Los resultados se leen directamente en los Equipos **TURBIDIMETRO HACH 2100 N ó 2100 P** y se expresa en unidades **NTU** (unidades de turbiedad nefelométricas).

NOTA: Para valores mayores de 4000 NTU (**TURBIDIMETRO HACH 2100N**) ó valores mayores de 800 NTU (**TURBIDIMETRO HACH 2100P**), hacer diluciones y multiplicar el resultado del equipo por el factor de dilución.

PH:

1. Tomar una muestra representativa en un vaso de precipitado de 100ml.
2. Lavar el electrodo con agua destilada e introducirlo en la muestra.
3. Presionar el botón de encendido y el botón Read y esperar hasta estabilizar lectura.
4. Leer directamente en el pHmetro y expresar en unidades de pH.

COLOR VERDADERO

Es el color del agua causado por especies químicas en solución, antes de efectuar esta determinación, la turbiedad se debe eliminar.

1. Encender el equipo, de medir las muestras, **DR-2000/DR-2400/DR-2800**.

2. Tomar una muestra representativa en una jeringa de 60 ml, ajustar la membrana Milipore de 0.45 μm y filtrar. Mínimo 25 ml de muestra para cada determinación.
3. Transvasar la muestra a la celda del equipo hasta el aforo de llenado.
4. Colocar la celda dentro del compartimiento del equipo y cerrar la tapa.
5. Leer un blanco de agua destilada y la muestra, en el espectrofotómetro **HACH DR-2000/DR-2400/ DR-2800**, longitud de onda de **455 nm**.

La lectura es directa y los resultados se expresan como **UPC** (unidades platino cobalto).

NOTA: Leer un blanco de agua destilada y la muestra, en el espectrofotómetro **HACH DR-2000/DR-2400/ DR-2800**, longitud de onda de **455 nm**. La lectura es directa y los resultados se expresan como **UPC** (unidades platino cobalto)

COLOR APARENTE

Es el color del causado por las sustancias en solución y por la materia suspendida. Encender el equipo, de medir las muestras, **DR-2000/DR-2400/DR-2800**.

1. Tomar una muestra representativa como mínimo de 25 ml de muestra para cada determinación.
2. Transvasar la muestra a la celda del equipo hasta el aforo de llenado.
3. Colocar la celda dentro del compartimiento del equipo y cerrar la tapa.
4. Leer un blanco de agua destilada y la muestra, en el espectrofotómetro **HACH DR-2000/DR-2400/ DR-2800**, longitud de onda de **455 nm**.

La lectura es directa y los resultados se expresan como **UPC** (unidades platino cobalto).

NOTA: Para los valores mayores de 500 UPC, hacer dilución.

PRUEBA DE JARRAS

Para que el resultado del ensayo de jarras sea de gran aplicabilidad en la operación real y optimización de las unidades de tratamiento, se debe seguir las siguientes indicaciones:

El análisis fisicoquímico debe comprender la determinación de: turbiedad, el color, el pH y la alcalinidad del agua del río. A partir de este análisis se logra establecer las cantidades aproximadas de coagulantes que debe aplicar al ensayo.

Se debe medir el volumen cuidadosamente, para que todos los vasos contengan el mismo volumen.

Los recipientes en los cuales se van a tomar las muestras deben purgarse previamente con la misma agua que se va a utilizar en el ensayo.

Se deben conocer los tiempos de agitación, floculación y sedimentación de la planta para utilizarlos en los ensayos de jarras que apliquen.

Evitar que las manos, y los elementos que se van a utilizar en el ensayo alteren las condiciones fisicoquímicas de los materiales y equipos que se van a utilizar (frascos, pipetas, etc.)

ANEXO D. NORMAS ESTABLECIDAS EN EL DECRETO 1575 Y LA RESOLUCIÓN NUMERO 2115 DE 2007 POR EL MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.

Artículo 2. Características Físicas, químicas del agua para consumo humano

Características Físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color Aparente	Unidades de Platino Cobalto	15
Color y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelometricas de turbiedad	5

Artículo 4. Potencial de Hidrogeno. El valor para el potencial de hidrogeno PH del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 6.5 y 9

Artículo 5. Característica química de sustancias que tienen reconocido efecto adverso sobre la salud humana.

Elementos	Expresados	Valor Max Aceptable (mg/l)
Arsénico	As	0.01
Mercurio	Hg	0.001

Artículo 6. Características químicas de sustancias que tienen implicaciones sobre la salud humana.

Compuesto químico	Expresados	Valor Max aceptable (mg/l)
Carbono orgánico Total	COT	5,0

Artículo 10. Técnicas para realizar análisis microbiológicos.

Para escherichia coli y coliformes totales: Filtración por membrana, sustrato definido, enzima sustrato.

Artículo 11. Características microbiológicas. Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 unidad formadora de colonia (UFC) o 1 microorganismo en 100 cm³.

Técnicas Utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³

ANEXO E. DATOS EXPERIMENTALES

Caracterización del CAP mediante índice de azul de metileno El grado de adsorbancia del CAP se evaluó por medio de una solución acuosa e índice de Azul de metileno que se representa en la Tabla No3 mediante la variación de la concentración de Azul de metileno y la concentración máxima de CAP requerida por la planta de Bosconia de 1ppm

Tabla 5. Moles adsorbidos de azul de metileno con respecto a la concentración de estos obtenidos por adsorbancia

Prueba	1	2	3	4	5
Ci (mg/l)Azul de metileno	10,0	30,0	50,0	70,0	90,0
Cf (mg/l)(filtrado)	7,0	22,0	38,0	58,0	66,0
a=a'/w(moles adsorbidos/gramos de carbón)	2,7	7,2	10,8	10,8	22,0

Registro de las muestras tratadas en laboratorio con adición del sulfato de aluminio.

Rango de turbiedad entre 31-100

En las siguientes tablas se ilustran los porcentajes de remociones (mercurio, MON y arsénico) para adiciones de sulfato de aluminio (24, 18,34) ppm

Tabla 6. Pruebas físico-químicas de los ensayos de jarras correspondientes a la adición de 24 ppm de sulfato de aluminio para una turbiedad de 24 NTU

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	As (µgAs/l)
Agua Cruda	0,50	2,60	6,50
% Remoción del S.A con 24 ppm	95,24	22,08	52,07

Tabla 7. Pruebas físico-químicas de los ensayos de jarras correspondientes a la adición de 18 ppm de sulfato de aluminio para una turbiedad de 18

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	As (µgAs/l)
Agua Cruda	0,93	3,35	10,34
% Remoción del S.A con 18 ppm	81,88	38,71	68,63

Tabla 8. Pruebas físico-químicas de los ensayos de jarras correspondientes a la adición de 34 ppm de sulfato de aluminio para una turbiedad de 34

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	As (µgAs/l)
Agua Cruda	0,93	3,89	10,34
% Remoción del S.A con 34 ppm	83,95	40,30	71,57

Rango de turbiedad entre 100-1000

En las siguientes tablas se ilustran los porcentajes de remociones (mercurio, AUV, arsénico) para adiciones de sulfato de aluminio (30, 32,30) ppm

Tabla 9. Pruebas físico-químicas de los ensayos de jarras correspondientes a la adición de 30 ppm de sulfato de aluminio para una turbiedad de 117 NTU

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	As (µgAs/l)
Agua Cruda	0,98	2,90	7,90
% Remoción del S.A con 30 ppm	60,20	41,38	81,01

Tabla 10. Pruebas físico-químicas de los ensayos de jarras correspondientes a la adición de 32 ppm de sulfato de aluminio para una turbiedad de 168 NTU

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	As (µgAs/l)
Agua Cruda	1,25	3,4	13,62
% Remoción del S.A con 32 ppm	40,00	29,41	59,03

Tabla 11. Pruebas físico-químicas de los ensayos de jarras correspondientes a la adición de 30 ppm de sulfato de aluminio para una turbiedad de 428 NTU

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	As (µgAs/l)
Agua Cruda	2,23	3,20	34,18
% Remoción del S.A con 30 ppm	98,21	37,50	94,41

Turbiedad mayor a 1000

En la siguiente tabla se ilustran los porcentajes de remociones (mercurio, AUV, arsénico) en adición de (80, 85,60) ppm

Tabla 12. Pruebas físico-químicas de los ensayos de jarras correspondientes a la adición de 80 ppm de sulfato de aluminio para una turbiedad de 2304 UNT

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	Arsenico (µgAs/l)
Agua Cruda	16,37	3,70	45,00
% Remoción del S.A con 80 ppm	94,32	43,24	95,11

Tabla 13. Pruebas físico-químicas de los ensayos de jarras correspondientes a la adición de 85 ppm de sulfato de aluminio para una turbiedad de 2548 UNT

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	Arsenico (µgAs/l)
Agua Cruda	19,55	4,50	53,00
% Remoción del S.A con 85 ppm	93,86	33,33	95,09

Tabla 14. Pruebas físico-químicas de los ensayos de jarras correspondientes a la adición de 85 ppm de sulfato de aluminio para una turbiedad de 2548 UNT

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	Arsenico (µgAs/l)
Agua Cruda	13,25	3,20	39,10
% Remoción del S.A con 60 ppm	94,94	46,56	95,45

Dosis adecuadas de Carbón activado en polvo de acuerdo al rango de turbiedad

A continuación se ilustran las mejores muestras obtenidas en los ensayos de jarras correspondientes a dosis empleadas de CAP (0,2, 0,4, 0,6, 0,8 y 1.0) ppm

Rango de turbiedad entre 31-100

En las siguientes tablas se ilustran los porcentajes de remociones (mercurio, AUV, arsénico) con dosis de Carbón activado en polvo (0,6; 1; 0,8) ppm

Tabla 15. Pruebas fisicoquímicas de el ensayo de jarras correspondiente a la dosis optima de Carbón activado en polvo para una turbiedad de 37 NTU

Muestra	Hg($\mu\text{g/l}$)	AUV ($\text{mg}_\text{o}/\text{l}$)	Arsenico ($\mu\text{gAs/l}$)
Agua Cruda	0,46	2,58	6,51
Remoción del CA con 0,6 ppm	66,67	6,59	2,42

Tabla 16. Pruebas fisicoquímicas de el ensayo de jarras correspondiente a la dosis optima de Carbón activado en polvo para una turbiedad de 62.7 NTU

Muestra	Hg($\mu\text{g/l}$)	AUV ($\text{mg}_\text{o}/\text{l}$)	Arsenico ($\mu\text{gAs/l}$)
Agua Cruda	0,72	2,50	16,00
Remoción del CA con 1 ppm	72,50	12,00	75,00

Tabla 17. Pruebas fisicoquímicas de el ensayo de jarras correspondiente a la dosis optima de Carbón activado en polvo para una turbiedad de 67 NTU

Muestra	Hg($\mu\text{g/l}$)	AUV ($\text{mg}_\text{o}/\text{l}$)	Arsenico ($\mu\text{gAs/l}$)
Agua Cruda	0,93	3,89	10,34
Remoción del CA con 0.8 ppm	62,79	46,02	64,89

Rango de turbiedad entre 100-1000

En las siguientes tablas se ilustran los porcentajes de remociones (mercurio, AUV, arsénico) con dosis de Carbón activado en polvo (1y 0,6) ppm

Tabla 18. Pruebas fisicoquímicas de el ensayo de jarras correspondiente a la dosis optima de Carbón activado en polvo para una turbiedad de 117 NTU

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	As (µgAs/l)
Agua Cruda	0,98	2,90	7,86
Remoción del CA con 1 ppm	60,00	7,59	63,74

Tabla 19. Pruebas de el ensayo de jarra correspondientes a la dosis optima de Carbón activado en polvo para una turbiedad de 428 NTU

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	As (µgAs/l)
Agua Cruda	1,25	3,40	13,62
Remoción del CA con 1 ppm	61,60	39,41	46,77

Tabla 20. Pruebas fisicoquímicas de el ensayo de jarras correspondiente a la dosis óptima de Carbón activado en polvo para una turbiedad de 168 NTU

Muestra	Hg (µg/l)	AUV (mg _c /l)	As (µgAs/l)
Agua Cruda	2,23	3,20	34,18
Remoción del CA con 0.6 ppm	73,09	46,88	20,66

Turbiedad entre 1000-10000

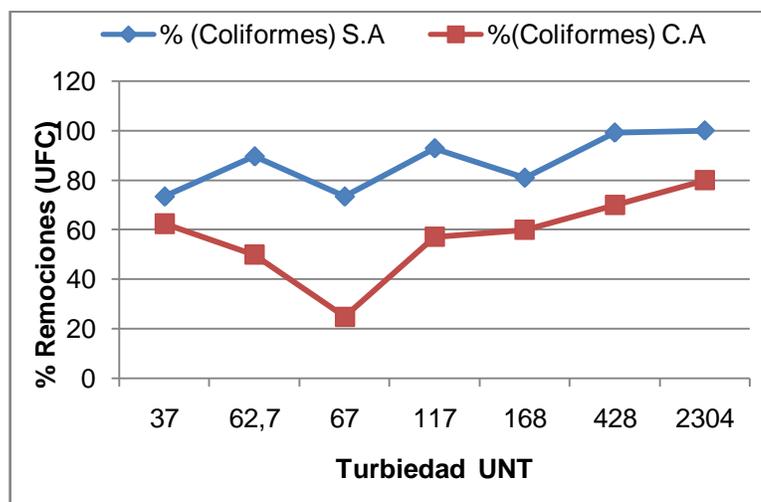
En las siguientes tablas se ilustra los porcentajes de remociones (mercurio, AUV, arsénico) con dosis de Carbón activado en polvo 1 ppm

Tabla 21. Pruebas fisicoquímicas de el ensayo de jarras correspondiente a la dosis optima de Carbon activado para una turbiedad de 2304 NTU

Muestra	Hg($\mu\text{g/l}$)	AUV (mg_c/l)	Arsenico ($\mu\text{gAs/l}$)
Agua Cruda	16,37	3,70	45,00
Remoción del CA con 1 ppm	84,48	38,92	94,76

A continuación en la figura E1 se presenta la remoción de Coliformes totales para turbiedades mayores de 30 UNT de acuerdo a las principales dosificaciones obtenidas en laboratorio con carbón activado en polvo (CAP) y dosis de sulfato de aluminio (S.A) establecidas por el protocolo de la empresa.

Figura E1. Porcentaje de remoción de microorganismos como Coliformes Totales con S.A y CAP

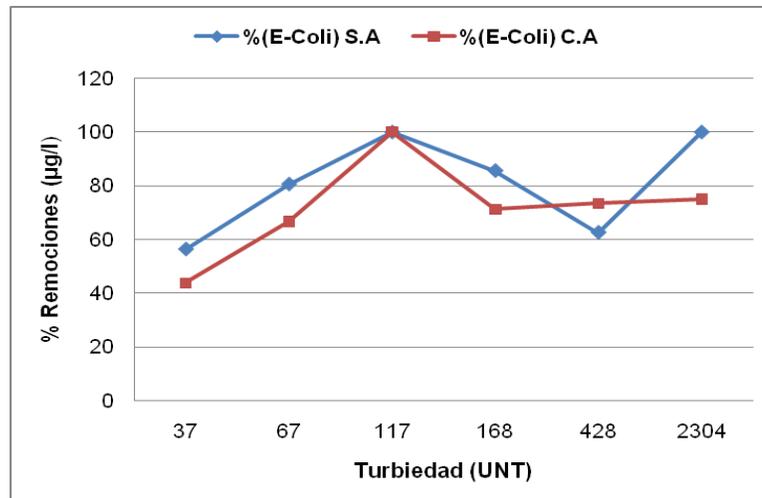


En la figura E1 se observa que la extracción de Coliformes totales se ve favorecida por el sulfato de aluminio a diferencia del carbón activado en polvo quien representa remociones más bajas.

En la siguiente gráfica se presenta la remoción de E-Coli para turbiedades mayores de 30 UNT de acuerdo a las principales dosificaciones obtenidas en laboratorio con carbón activado en polvo o sulfato de aluminio (S.A).

Sin embargo de la figura E2 se puede observar que no se aprecia una tendencia entre la extracción de microorganismos (E-Coli) con S.A o CAP y las condiciones de turbiedad estudiadas, pero parece ser que la remoción de E-Coli se ve favorecida implementando el sulfato de aluminio.

Figura E2. Porcentaje de remoción de microorganismos como E-Coli con S.A y CAP



Con respecto a los resultados se podría decir que la presencia de microorganismos al medio que disponían para su reproducción (materia orgánica residual, al igual), otra de las causas parece ser, por inconvenientes en la toma de muestra para su análisis bacteriológico ya que se requiere un trabajo minucioso [24].

Evaluación del Carbón activado en polvo y el Sulfato de Aluminio durante el proceso convencional llevado a cabo en la planta de Bosconia.

Parámetros seleccionados para la evaluación del carbón activado en polvo inyectado en la etapa de pretratamiento

Tabla 22. Parámetros seleccionados para la evaluación del carbón activado en polvo inyectado en la etapa de pretratamiento

Primera prueba			Segunda prueba		
Turbiedad NTU	pH Und	color (UPC)	Turbiedad NTU	pH Und	Color A (UPC)
0,15	7,1	0	0,1	7,14	6
0,20	7,14	0	0,4	7,05	3
0,15	7,09	0	0,47	7,23	4
Tercera Prueba			Cuarta prueba		
Turbiedad NTU	pH Und	Color A (UPC)	Turbiedad NTU	pH Und	Color A (UPC)
0,1	7,31	4	0,1	7,27	0
0,1	7,07	2	0,4	7,3	0
0,1	7,67	2	0,36	7,11	0

En las siguientes tablas se reporta las remociones de mercurio, arsénico y materia orgánica natural evaluada en la etapa de filtración durante el suministro de:

S.A: Sulfato de Aluminio

CA: Carbón activado en polvo

PreCl: Pre Cloración.

Tabla 23. Extracción de contaminantes durante la inyección de Carbón Activado en polvo en la etapa de pretratamiento de la planta de Bosconia (2 Ensayo).

Agua del Rio			
Insumo Químico	Concentración de Mercurio (µg/l)	Concentración de Arsénico (µg/l)	Concentración de MON (mg/l)
-	0,20	2,74	0,14
-	0,10	2,54	0,13
-	0,10	1,74	0,12
	0,18	1,95	0,21
Agua Filtrada			
Insumo Químico	% Remociones de Mercurio (µg/l)	% Remociones de Arsénico (µg/l)	% Remociones de MON (mg/l)
SA + Cl	70,00	70,36	48,91
SA+CL+CA	80,00	76,85	56,32
SA+CL+CA	94,20	76,47	60,50
SA+CL+CA	88,26	81,03	55,71

En la tabla 25 Se observa que las concentraciones iniciales (materia orgánica, mercurio y arsénico) a la entrada de planta son bajas durante el transcurso de la

inyección de Carbón activado en polvo, por lo cual se presenta una remoción de compuestos inorgánicos y metales pesados inferior comparado a los resultados de la tabla 4. Ya que una de las condiciones para que favorezca la adsorción es la concentración del compuesto [18]. Cabe resaltar también que la remoción de materia orgánica fue baja comparado con la extracción de los otros contaminantes como fue evidenciado en los resultados de la tabla No 4.

Tabla 24. Extracción de contaminantes durante la inyección de Carbón activado en polvo en la etapa de pretratamiento de la planta de Bosconia (Tercer ensayo)

Agua del Rio			
Insumo Químico	Concentración de Mercurio ($\mu\text{g/l}$)	Concentración de Arsénico ($\mu\text{g/l}$)	Concentración de MON (mg/l)
-	0,80	4,22	0,18
-	1,13	3,56	1,39
-	0,97	3,87	1,71
-	1,23	3,94	0,57
Etapa de Filtración			
Insumo Químico	% Remociones de Mercurio ($\mu\text{g/l}$)	% Remociones de Arsénico ($\mu\text{g/l}$)	% Remociones de MON (mg/l)
SA + Cl	77,50	79,86	44,44
SA+CL+CA	92,92	83,99	55,11
SA+CL+CA	87,63	85,97	59,65
SA+CL+CA	85,57	84,18	49,12

En la tabla 26. Se observa un comportamiento similar a la tabla 25. Ya que las concentraciones iniciales (materia orgánica, mercurio y arsénico) a la entrada de la planta son bajas durante el transcurso de la inyección de Carbón activado en polvo, lo cual tendría efecto sobre la cinética de adsorción [3]. Cabe resaltar también que la remoción de materia orgánica fue baja comparado con la extracción de los otros contaminantes.

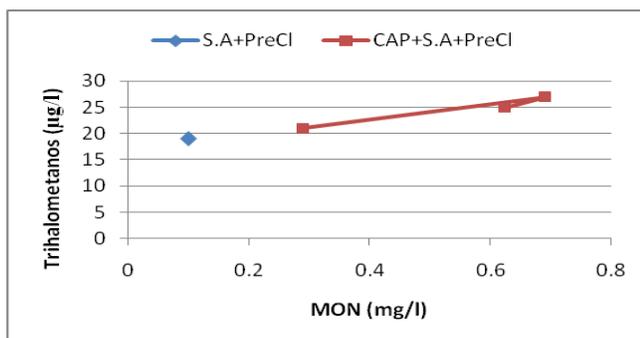
Tabla 25. Extracción de contaminantes durante la inyección de Carbón activado en polvo en la etapa de pretratamiento de la planta de Bosconia.(Cuarto ensayo)

Agua del Rio			
Insumo Químico	Concentración de Mercurio (µg/l)	Concentración de Arsénico (µg/l)	Concentración de MON (mg/l)
-	0,23	1,28	2,84
-	0,40	2,32	2,97
-	0,30	1,87	3,55
-	0,14	1,33	2,45
Agua Filtrada			
Insumo Químico	% Remociones de Mercurio (µg/l)	% Remociones de Arsénico (µg/l)	% Remociones de MON (mg/l)
SA + Cl	65,22	72,66	69,37
SA+CL+CA	70,00	78,88	75,42
SA+CL+CA	80,00	78,07	69,58
SA+CL+CA	71,43	74,44	72,00

En la tabla 27. Se puede observa un comportamiento similar a la tabla 26 y 25, donde las concentraciones iniciales (materia orgánica, mercurio y arsénico) a la entrada de la planta son bajas durante el transcurso de la inyección de Carbón activado en polvo, lo cual tendría efecto sobre la cinética de adsorción [3]. Cabe resaltar también que la remoción de materia orgánica fue baja comparado con la extracción de los otros contaminantes.

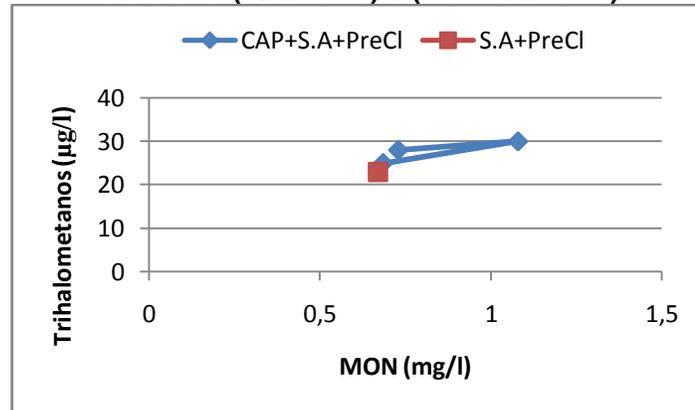
Valoración de la formación de Trihalometanos totales en la etapa de filtración.

Figura E3. Evaluación de la formación de THMs totales en la etapa de filtración durante la adición de (S.A+PreCl) Y (C.A+S.A+PreCl).



En la figura E3 Se puede detallar que durante el aumento de materia orgánica natural (MON) en la etapa de filtración, la formación de trihalometanos será cada vez mayor, ya que la MON es el limitante de la formación de estos subproductos de la desinfección

Figura E4. Evaluación de la formación de THMs totales en la etapa de filtración durante la adición de (S.A+PreCl) Y (C.A+S.A+PreCl).



En la figura E4 Se puede detallar que durante el aumento de materia orgánica natural (MON) en la etapa de filtración, la formación de Trihalometanos será cada vez mayor, ya que la MON es el limitante de la formación de estos subproductos de la desinfección.

Calculos de las soluciones de sulfato de aluminio y carbon activado en polvo.

$$\text{Concentración de S.A } 1\% p/v = 1 \left(\frac{g}{100ml} \right) * \left(\frac{1000mg}{1g} \right) * \left(\frac{1000ml}{1l} \right) = 10000 \text{ ppm}$$

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2 \quad \text{Equivalente para S.A } 1ml = 10 \text{ ppm}$$

$$V1 = 1ml \quad V2 = 2000 \text{ ml (Volumen de jarra)}$$

$$C1 = ? \quad C2 = 10 \text{ ppm (Concentración aplicar en jarra) medida establecida}$$

$$C1 = 20000 (mg/l) * \left(\frac{1g}{1000 mg}\right) = 20(g/l)$$

$$20 \left(\frac{g}{1000 ml}\right) * 100ml = 2g$$

$$D = m/v$$

$$D = \left(\frac{2g}{1.32 \frac{g}{ml}}\right) = 1.51 ml$$

La solución de C.A. es 2% p/v = $2 \left(\frac{g}{100ml}\right) * \left(\frac{1000mg}{1g}\right) * \left(\frac{1000ml}{1l}\right) = 20000 ppm$

$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$ Equivalente para el C.A. $0.2ml = 0.2 ppm$

$V1 = 0.2ml$ $V2 = 2000 ml$

$C1 = ?$ $C2 = 0.2ppm$

$$C1 = 2000(mg/l) * \left(\frac{1g}{1000mg}\right) = 2(g/l)$$

$$2 \left(\frac{g}{1000ml}\right) * 100ml = 0.2 gde C.A.$$

Adaptación de los resultados obtenidos en laboratorio sobre el proceso convencional del tratamiento en la planta

$$Q_1 * C_1 = Q_2 * C_2$$

$C1 = 20.000 ppm$ $Q2 = 800 (l/s)$ (Caudal de la planta)

$Q1 = ?$ $C2 = 1ppm$ (Dependiendo de el rango de turbiedad)

$Q1 = 0.04 (l/s)$ $2.4 l/min$

Volumen disponible del reactor (lt)	
volumen 1	500
volumen 2	250
volumen 3	125

q1: Caudal de suspensión de carbón activado a ser aplicado

c1 : Concentración de carbón activado en reactor

q2 : caudal de la planta

c2 : Dosis a ser aplicada

c1	20000
c2	1

q2 (l/s)	q1(l/s)	q1(l/min)	t/Vol (Min)	GASTO (lt/dia)	Vol 1 (l/dia)	Vol 2 (l/dia)	Vol 3 (l/dia)	CONSUMO ANUAL
300	0,015	0,900	555,556	21,600	23,148	11,574	5,787	9,461
750	0,038	2,250	222,222	54,000	9,259	4,630	2,315	23,652
800	0,040	2,400	208,333	57,600	8,681	4,340	2,170	25,229
850	0,043	2,550	196,078	61,200	8,170	4,085	2,042	26,806
900	0,045	2,700	185,185	64,800	7,716	3,858	1,929	28,382
950	0,048	2,850	175,439	68,400	7,310	3,655	1,827	29,959
1000	0,050	3,000	166,667	72,000	6,944	3,472	1,736	31,536