

**ANÁLISIS DE OXIDACIÓN QUÍMICA COMO ALTERNATIVA
PARA ELIMINAR EL SABOR DEL AGUA DEL RIO SURATA.**

**JOSÉ SEBASTIÁN VALDERRAMA MEZA
CARLOS ALFREDO RODRÍGUEZ TORRES**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2019

**ANÁLISIS DE OXIDACIÓN QUÍMICA COMO ALTERNATIVA
PARA ELIMINAR EL SABOR DEL AGUA DEL RIO SURATA.**

**JOSÉ SEBASTIÁN VALDERRAMA MEZA
CARLOS ALFREDO RODRÍGUEZ TORRES**

**Trabajo presentado como requisito para optar el título de
Ingeniera Ambiental**

Directora: Dra. ALEXANDRA CERÓN VIVAS

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2019

Nota de aceptación

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, abril 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga por brindar un espacio en el que como futuro profesional pude poner en práctica los conocimientos adquiridos durante mi formación.

A mis padres Juan Carlos Valderrama y Rose Mary Meza por ser el sostén económico y por el acompañamiento emocional durante todo el proceso de formación, siendo un sistema de apoyo para lograr el cumplimiento de este primer logro profesional.

A mis compañeros por el trabajo en equipo, por su compromiso, su tiempo y su dedicación, en especial a mi compañero de proyecto Carlos Alfredo Rodríguez Torres por poner todo de su parte para que pudiéramos lograr los objetivos propuestos y esto se convirtiera en una ganancia para nuestra vida.

De igual manera agradezco a mi docente y directora de proyecto la PhD. Alexandra Cerón Vivas por ser nuestra guía en el proceso, por brindarnos su tiempo y experiencia para el beneficio y mejoramiento de nuestro trabajo.

A la ingeniera Paola Andrea Reyes y al acueducto metropolitano de Bucaramanga amb S.A. ESP principalmente a los miembros de la planta de tratamiento de agua potable de Bosconia por darnos la oportunidad de desempeñar nuestro rol como futuros ingenieros ambientales de manera práctica e investigativa.

A los evaluadores del proyecto por brindarnos herramientas en pro del mejoramiento del trabajo y que utilizaremos en futuras presentaciones elevando nuestro nivel profesional.

José Sebastián Valderrama meza

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por permitirme alcanzar un logro más en la formación académica, al apoyo incondicional que me ha brindado mi familia en especial a mi madre María del Pilar Torres Tamayo y a mi padre Víctor Manuel Rodríguez Fonseca personas que siempre han estado en los momentos de triunfos y fracasos, a mi hijo Santiago Andrés Rodríguez que se ha convertido en un pilar fundamental para la culminación de una etapa más de mi vida.

Al acueducto Metropolitano de Bucaramanga [amb] en especial a los ingenieros, supervisores y personal de la planta de tratamiento de bosconia por el apoyo brindado en la realización del proyecto que sin ellos no hubiese sido posible.

Agradezco a la ingeniera y amiga Paola Andrea Reyes por el apoyo incondicional, por permitirme ser parte de este proyecto por brindarme sus conocimientos, profesionalismo y por su valioso tiempo.

También quiero agradecer a los docentes que fueron parte de mi formación académica profesional que sin ellos no hubiese sido posible alcanzar dicha meta, en particular a la Tecnóloga Ambiental Naidu Villamizar Galvis por el gran apoyo brindado en los laboratorios de Agua potable y al profesor de Química Orgánica Uriel Mora que siempre me ha colaborado brindándome conocimiento durante mi carrera y en especial en el desarrollo de este proyecto de grado.

A mi directora de proyecto, la PhD. Alexandra cerón vivas por compartir sus conocimientos, el apoyo y tiempo invertido en el desarrollo del proyecto.

A mis compañeros de estudios que fueron parte del desarrollo de la carrera y en especial a Jefferson barrera por su gran amistad. A mi amigo y compañero de proyecto José Sebastián Valderrama Meza por su apoyo y entrega en alcanzar este logro junto a él.

Carlos Alfredo Rodríguez Torres

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	12
2.	OBJETIVO.....	14
3.1	Objetivo General.....	14
3.1.1	Objetivos Específicos.....	14
4	MARCO TEÓRICO	15
4.1	Tratamiento de Agua Potable	15
4.1.1	Desbaste.....	16
4.1.2	Pre-Oxidación.....	16
4.1.3	Coagulación.....	16
4.1.4	Floculación	17
4.1.5	Decantación o sedimentación.....	18
4.1.6	Filtración	18
4.1.7	Cloración o desinfección	19
4.2	Olor y sabor en agua potable.....	19
4.2.1	Geosmina	20
4.2.2	MIB.....	20
4.3.	Oxidación Avanzada.....	22
4.3.1.	Permanganato de potasio.....	25
4.3.2.	Peróxido de Hidrógeno	26
4.4.	Test de Jarras	27
4	METODOLOGIA	28
4.1	Sitio de Muestreo.....	28
5.1.1	Experimentos en laboratorio de oxidación química.....	28
5.1.2	Test de Jarras	31
5.2	Métodos Analíticos	34
5.3	Análisis Estadístico	35
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36

6.1	Evaluación cualitativa de la influencia de los oxidantes químicos sobre la detección de sabor en el agua tratada.	36
6.2	Influencia de la concentración inicial de Geosmina y MIB presente en el agua del Rio Suratá sobre la detección de sabor en el agua tratada.	46
6.2.1	Sin Poliacrilamida	46
6.2.2	Con Poliacrilamida	47
6.3	Comparación de los dos oxidantes químicos utilizados para la eliminación de agentes precursores de sabor en el agua del Rio Suratá, teniendo en cuenta los costos operacionales y la eficiencia de remoción de geosmina y MIB.	50
6.3.1	Porcentajes De Remoción De La Geosmina	50
6.3.2	Costos Operacionales.....	51
7	CONCLUSIONES	54
8	BIBLIOGRAFÍA.....	55

Tabla de Figuras

Figura 1. Test de Jarras	32
Figura 2. Diagrama de Test de Jarras.....	32
Figura 3. Medio Filtrante	33
Figura 4. Combinación 1(C1): 1,5 ng/l GSM - 6,5 ng/l MIB	37
Figura 5. Combinación 2(C2): 10 ng/l GSM -10 ng/l MIB	40
Figura 6. Combinación 3(C3): con Dosis 50 ng/l GSM - 50 ng/l MIB	42
Figura 7. Combinación 4(C4): con Dosis 150 ng/l GSM - 150 ng/l MIB	44
Figura 8. Concentraciones de geosmina y MIB sin adición de Poliacrilamida	46
Figura 9. Concentraciones de geosmina con adición de Poliacrilamida	48
Figura 10. Concentraciones de MIB con adición de Poliacrilamida.....	48
Figura 11. Tanque de Almacenamiento High Tanque Industrial Químicos	52
Figura 12. Bomba de dosificación: Bomba dosificadora oscilante serie Dostec	53

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificaron de Procesos de Oxidación Avanzada.....	23
Tabla 2 . Concentración Precursores de Sabor.....	29
Tabla 3. Evaluación Cualitativa de eliminación de sabor	30
Tabla 4. Evaluación Cuantitativa de eliminación de sabor	31
Tabla 5. Concentración de los Oxidantes.....	31
Tabla 6. Parámetros Fisicoquímicos	34
Tabla 7. Resultados Combinación 1(C1)	37
Tabla 8. Resultados Combinación 2(C2)	39
Tabla 9. Resultados Combinación 3(C3)	41
Tabla 10. Resultados Combinación 4(C4)	43
Tabla 11. Resultados Catación General por Oxidante	45
Tabla 12. Porcentajes de Remoción	50
Tabla 13. Dosificación	52
Tabla 14 . Tabla de Costo.	53

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ANÁLISIS DE OXIDACIÓN QUÍMICA COMO ALTERNATIVA PARA ELIMINAR EL SABOR DEL AGUA DEL RIO SURATÁ

AUTOR(ES): Carlos Alfredo Rodriguez Torres
Jose Sebastián Valderrama Meza

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): Alexandra Cerón Vivas

RESUMEN

El análisis de la oxidación química como una alternativa para la eliminación de sabor del agua del río Suratá surge a partir de la problemática que se presenta en verano en la planta de tratamiento de agua potable Bosconia la cual tiene inconforme a sus suscriptores por la presencia de sabor en el agua que llega a sus hogares durante esta temporada. En este estudio se evaluó el uso de dos agentes oxidantes para la remoción de metabolitos reconocidos como causantes de sabor(moho, terroso) en el agua (Geosmina y 2-Metilisoborneol MIB) para la evaluación de la remoción de mal sabor,, se utilizaron dos mecanismos: panel de catadores los cuales están encargados de verificar si después del tratamiento las muestras siguen presentando sabor(moho, terroso) y dos por cromatografía y espectrometría de masa de la Universidad Industrial de Santander. El uso de oxidantes químicos para la eliminación de agentes causales de sabor en una fuente hídrica se presenta como una opción adecuada de tratamiento ya que por medio de la pre-oxidación se logró hasta 81.58% para la Geosmina y de un 88% en el caso del MIB siendo estos resultados esclarecedores de la posibilidad del uso de estos en la remoción del sabor en el agua potable en condiciones óptimas para el proceso, puesto que se requiere de una notable inversión para su uso en planta.

PALABRAS CLAVE:

Geosmina, 2-metilisoborneol (MIB), agentes, remoción

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: ANALYSIS OF CHEMICAL OXIDATION AS AN ALTERNATIVE TO ELIMINATE THE TASTE OF THE WATER OF THE SURATÁ RIVER

AUTHOR(S): Carlos Alfredo Rodriguez Torres
Jose Sebastián Valderrama Meza

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: Alexandra Cerón Vivas

ABSTRACT

The analysis of the oxidation chemistry as an alternative for the elimination flavor the river water Suratá It arises from the problematic that one presents in summer in the plant of treatment of drinkable water Bosconia, Which has his subscribers nonconformist for the presence of flavor in the water that comes to his homes during this season. In this study there evaluated the use of two agents oxidizers for the removal of metabolites recognized as causers of flavor (mildew, earthy) in the water (Geosmin and 2-Metylisoborneol MIB) for the evaluation of the removal of evil flavor, two mechanisms were in use: tasters panel which are entrusted to check if after the treatment the samples continue presenting flavor (mildew, earthy) and two for chromatography and spectrometry of mass of the Industrial University of Santander. The use of chemical oxidants for the elimination of flavor causal agents in a water source is presented as an appropriate treatment option since by means of pre-oxidation up to 81.58% was achieved for Geosmin and 88% in the case of the MIB being these results clarifying the possibility of the use of these in the removal of the flavor in drinking water in optimal conditions for the process, since it requires a remarkable investment for its use in the plant.

KEYWORDS:

Geosmin, 2 metylisoborneol (MIB), agent, removal

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

El agua superficial se encuentra sobre la superficie de la tierra en forma de ríos, reservorios, lagunas, embalses, humedales, océanos y mares, pero tan solo el 2.5 % de toda el agua existente en el planeta es apta para consumo humano (Comisión Nacional de aguas, 2011).

Las características fisicoquímicas y biológicas de este recurso van a depender del lugar, las poblaciones que se encuentran a su alrededor, la forma en que se use y las condiciones climáticas propias de su localización. La presencia de materia orgánica en el agua puede causar problemas de olor, color y sabor. Una mayor cantidad de materia orgánica en el agua de abastecimiento conlleva a la aplicación de mayores dosis de coagulante y la probabilidad de formar subproductos en el agua potable.

Las anteriores implicaciones conducen a un incremento en los costos del proceso de potabilización generando cambios en la calidad de este recurso que los tratamientos convencionales no pueden eliminar fácilmente afectando su imagen y el nivel de satisfacción de sus suscriptores (Guerra, Rodríguez, & Peñuela Mesa, 2016).

Algunos de los compuestos que generan sabor en el agua potable, son metabolitos secundarios producidos por géneros de cianobacterias, como *Anabaena*, *Phormidium* y *Planktothrix*. Su aparición ha ido aumentando en los últimos años debido al calentamiento global y el fenómeno del “niño”, puesto que favorece la eutroficación y la floración de dichas cianobacterias. Entre 1960 y 1970 se descubrió que las cianobacterias generan como subproductos intracelulares además de otros compuestos, a la Geosmina y el 2-metilisoborneol. Dichos compuestos se detectan a bajas concentraciones generando sabor

terroso-mohoso que, aunque son desagradables no alteran la calidad fisicoquímica del agua, ni afecta a sus consumidores. Generalmente la eliminación de estos metabolitos en una planta de tratamiento de agua potable que incluye coagulación, floculación, filtración y desinfección es difícil por estos medios convencionales, por tanto, es necesario el uso de otros procesos tales como el carbón activado o la oxidación avanzada (Castañeda, 2014).

En temporadas de verano en que los niveles del cauce son mínimos y los niveles de temperatura son elevados, el agua potable de la planta de tratamiento de Bosconia (PTAP), abastecida por el río Suratá, ha presentado eventos de mal sabor relacionados con la presencia de Geosmina [$C_{12}H_{22}O$] y 2-Metilisoborneol [$C_{11}H_{20}O$].

El objetivo de este proyecto fue evaluar la oxidación química con permanganato de potasio y peróxido de hidrógeno, como una alternativa para la remoción del sabor del agua tratada en la planta Bosconia, generado por geosmina y 2 metilisoborneol.

2. OBJETIVO

3.1 Objetivo General

Evaluar la oxidación química como una alternativa para la eliminación de sabor del agua del Rio Surata.

3.1.1 Objetivos Específicos

- Determinar la influencia de dos oxidantes químicos tales como el permanganato de potasio [KMnO₄] y el peróxido de hidrógeno [H₂O₂] aplicados al agua del Rio Suratá sobre la detección de sabor en el agua tratada.
- Analizar la influencia de la concentración inicial de Geosmina y MIB presente en el agua del Rio Suratá sobre la detección de sabor en el agua tratada.
- Comparar los dos oxidantes químicos utilizados para la eliminación de agentes precursores de sabor en el agua del Rio Suratá, teniendo en cuenta los costos operacionales y la eficiencia de remoción de geosmina y MIB.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Tratamiento de Agua Potable

El proceso de la potabilización del agua cruda (agua del río en estado natural), consiste básicamente en la eliminación de turbiedad e impurezas de distintos tipos, para obtener agua apta para consumo humano. Este proceso se cumple cuando se realiza una serie de pasos, que comienzan en la misma toma de la captación de agua cruda y concluye en la planta potabilizadora. Este proceso se cumple de manera continua durante todos los días del año. (SAMSA, 2012)

A continuación, se presenta una lista de los procesos más utilizados en una planta de tratamiento de agua potable (PTAP).

1. Desbaste o cribado para la eliminación de sólidos mediante rejillas y tamices
2. Pre-Oxidación
3. Coagulación
4. Floculación
5. Decantación o Sedimentación
6. Filtración
7. Cloración o Desinfección

4.1.1 Desbaste

En la captación del agua se puede generar el arrastre de diversos materiales como hojas, hierbas, tierra-arena y diversos cuerpos flotantes que deben ser eliminados antes de la entrada a la planta de tratamiento. El desbaste consiste en la eliminación de los materiales de mayor tamaño y pueden incluir: desbaste grueso (mediante rejas de 8 a 10 cm de separación entre barrotes) y desbaste fino (mediante rejas de 25 a 40 mm) (Orozco & Pérez, 2002).

4.1.2 Pre-Oxidación

Un tratamiento de oxidación, hecho antes de la decantación mejora la calidad del agua, haciéndola más filtrable y cristalina. Este tratamiento actúa para la oxidación de los diferentes elementos contenidos en el agua como son los iones ferrosos y manganesos, amoníaco, nitritos (son transformados en nitratos), materia orgánica oxidable, microorganismos (bacterias, algas, plancton) que pueden desarrollarse y provocar procesos como la fermentación anaerobia. Dichas ventajas son especialmente apreciables en determinados periodos del año (Calvo, 2010).

4.1.3 Coagulación

El agua puede traer una gran variedad de impurezas, solubles e insolubles; entre las insolubles se destacan las partículas coloidales, sustancias húmicas y microorganismos en general. Las impurezas coloidales presentan carga superficial negativa, impidiendo que las partículas se aproximen unas con otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad (Zerbatto, 2012).

La coagulación tiene como finalidad desestabilizar las partículas que se encuentran suspendidas permitiendo así la formación de conglomerados. La coagulación no solo sirve para eliminar problemas de turbiedad sino también para la eliminación de materia orgánica y microorganismos que están presentes en el agua sin tratar o agua cruda. Este proceso se desarrolla por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado (Andía, 2000).

Los coagulantes se pueden clasificar en dos grupos: los polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los metálicos. Los polielectrolitos son polímeros formados por una cantidad de unidades básicas llamadas monómeros, unidas por enlaces covalentes que se repiten sucesivamente, el más conocido es la poliacrilamida. Los coagulantes metálicos han sido los más utilizados en la clarificación de agua. Tienen la ventaja de actuar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo y la formación de especies hidratadas complejas cargadas positivamente. Sin embargo, tienen el inconveniente de ser muy sensibles a cambios de pH, los más comunes son el sulfato de aluminio, sulfato férrico y cloruro férrico (Yineth & Ortiz, 2016).

4.1.4 Floculación

La floculación es el proceso mediante el cual se juntan las partículas desestabilizadas o coaguladas para formar un aglomerado más grande llamado *floculo*. Cuando los floculos formados por la aglomeración de varios coloides no son lo suficientemente grandes para sedimentar con rapidez deseada, el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra, enlazando las partículas individuales en aglomerados. La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a

poco los flóculos; el mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formas en su tamaño y fuerza óptimos. Para una mejor floculación se puede agregar un reactivo de floculación o ayudante de floculación (Bennett, 2014).

4.1.5 Decantación o sedimentación

La sedimentación en el tratamiento de agua potable se realiza después de los procesos de coagulación y floculación. La sedimentación es la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. Esta técnica consiste en determinar la velocidad y la distancia de sedimentación de las partículas, puesto que de ellas dependen características importantes, a saber: la velocidad, el tiempo y la distancia de sedimentación. Las partículas en el proceso de sedimentación pueden ser discretas (su tamaño, forma y gravedad específica no cambian con el tiempo) o partículas floculantes (cuyas propiedades superficiales son tales que se agrupan o unen con otras partículas, cambiando su tamaño y forma) (Gómez, 2000).

4.1.6 Filtración

Los sistemas de filtración tratan el agua pasándola a través de lechos de materiales granulados que retiran y retienen los contaminantes del agua. Los filtros utilizados convencionalmente eliminan en un 95 % la mayoría de sólidos suspendidos; sin embargo gran parte de la eficiencia de este proceso mecánico de filtrado está dado en función del tipo de material que se utilice (Díaz & Niño, 2018).

4.1.7 Cloración o desinfección

El proceso de cloración o desinfección tiene como función principal la eliminación de agentes patógenos presentes. El objetivo principal de la desinfección es la protección de la salud pública a través del control de las enfermedades transmitidas por el agua. Entre los agentes químicos de desinfección más usados se destacan el cloro elemental gaseoso (Cl_2), hipoclorito (ClO), mezcla de cloro con amoníaco (Cl_2/NH_3) que forman cloramina, dióxido de cloro (ClO_2), ozono (O_3) y permanganato potásico (KMnO_4); también se utiliza la luz ultravioleta (Melandreras Ruiz, 2015).

4.2 Olor y sabor en agua potable

Los cuerpos de agua con presencia de nutrientes pueden contener especies de cianobacterias que producen compuestos responsables de causar olor y sabor en el agua, como la geosmina y el 2-metilisoborneol. La presencia de estos compuestos en el agua influye negativamente en los procesos de potabilización, ya que se necesita un tratamiento más especializado para lograr su remoción, tales como adsorción en carbón activado y oxidación química (Otaño, Román, & Bogarín, 2017).

Muchas personas pueden detectar el olor a tierra y moho en concentraciones bastante bajas, que van desde 5 y 10 ppt. Cuando se producen brotes de algas y bacterias en fuentes de agua, las concentraciones de los compuestos anteriormente mencionados pueden estar por encima del umbral de los 5 ppt, lo cual puede generar problemas en las características organolépticas del agua tratada (Aguilera, 2014).

4.2.1 Geosmina

La geosmina es un Sesquiterpeno irregular, en la actualidad esta sustancia ha presentado un gran interés y se ha avanzado mucho en el conocimiento de sus vías metabólicas. Inicialmente los experimentos de marcado para rastrear las vías metabólicas de la Geosmina fue algo complejo de desarrollarse con *estreptomicetos* y aún no se ha podido realizar con éxito usando cianobacterias (Pahila, Emilia, & Ferdinand, 2014).

La geosmina es producida por bacterias del género *Streptomyces*, que es el más representativo de la división Actinobacteria. Este género se caracteriza por poseer una morfología particular en donde se diferencia de dos formas de crecimiento, la primera forma de crecimiento es primaria o asimilatoria y una secundaria o reproductiva. Las esporas reproductivas asexuales del género *streptomyces* se forman en los extremos de los filamentos aéreos. Si cada spora se deposita en un sustrato adecuado puede germinar y formar una nueva colonia, estos 11 microorganismos son aerobios estrictos. Los actinomicetos tienen la habilidad de utilizar moléculas orgánicas simples y complejas como fuentes de carbono y energía y actúan como degradadores de compuestos orgánicos complejos. De este modo se producen un compuesto gaseoso llamado geosmina dicho compuesto presenta un olor típico a suelo (De, Aislados, Suelo, Jardín, & De, 2014; Park, Nam, Choi, Ha, & Lee, 2017).

4.2.2 MIB

El 2-MIB (2-Metilisoborneol) es un producto químico orgánico con nombre de la unión internacional de química pura y aplicada (IUPAC) 1, 2, 7,7-tetrametilbicyclo [2.2.1] heptan2-

ol, es un derivado del borneol y producido por miembros de ciertos grupos de microorganismos acuáticos bentónicos y pelágicos que se encuentran en fuentes de agua como lagos, embalses, represas y aguas corrientes. Además, hay muchas otras fuentes biológicas que a menudo se pasan por alto, también se encuentran en ecosistemas terrestres, instalaciones de tratamiento de desechos industriales y en especial en plantas de tratamiento de agua potable [PTAP]. Son alcoholes terciarios con enantiómeros (+) y (-). La generación de olor es causada por la producción biológica de los enantiómeros (-) que son 10 veces más fuertes que las moléculas (+) (Zahiruddin Khan, Nida Maqbool, Ishtiaq A. Qazi, 2015).

El 2-MIB es un metabolito secundario o endotoxina que se produce en fuentes hídricas principalmente, puesto que hay presencia de algas y en menor grado por los hongos actinomicetos. El 2-MIB se genera principalmente por algas llamadas verde-azuladas también conocidas en la literatura como cianobacterias, este compuesto y olor característico se genera a partir del rompimiento celular. Algunas de estas toxinas pueden atacar el hígado (hepatoxinas) o el sistema nervioso (neurotoxinas): otras irritan la piel (dermotoxinas) (Rosa, Ramírez, & Durán, 2014; Zahiruddin Khan, Nida Maqbool, Ishtiaq A. Qazi, 2015).

En los sistemas loticos y lenticos, se deben estudiar tres zonas como posibles fuentes de 2-MIB, la primera zona es la de aguas epiliméticas y el plancton, la segunda zona es la de aguas hipolimnéticas que es una región o zona que hace referencia a la parte de un lago localizada entre la termoclina, que se forma por aguas estancadas y de temperatura uniforme, excepto el periodo de renovación; esta zona está por debajo del punto de compensación de la luz para microorganismos fotoautótrofos oxigénicos y por último la zona litoral es el área de una costa que queda bajo el agua durante la marea alta y sobre el agua durante la marea baja.

El transporte eficiente de 2-MIB entre estos compartimientos está mediado principalmente por partículas (cianobacterias y otros microorganismos) que conducen estos metabolitos generadores de olor en el agua cruda. Mientras estos compuestos orgánicos volátiles permanezcan unidos a las células, la sedimentación puede producir un desplazamiento rápido y eficiente. El olor característico del 2-MIB es similar al moho debido a esto el humano alcanza a percibir dicho olor hasta una concentración de 0.02 mg/l en agua (Sens, Pizzolatti, Mondardo, & Romero, 2013; Sommerfeld & Dempster).

4.3. Oxidación Avanzada

La Oxidación Avanzada es un proceso fisicoquímico que genera cambios en la estructura química de los contaminantes, debido a que involucran la generación y el uso de especies transitorias con un gran poder oxidante, como el radical hidroxilo (OH^\cdot). El radical hidroxilo se genera de varios medios y es muy efectivo para la oxidación de materia orgánica (Soliz, 2016).

En la Tabla 1 se muestra un listado de procesos de oxidación avanzada que se clasifican de la siguiente manera: fotoquímicos y no fotoquímicos. Algunos como la fotocatalisis heterogénea, la radiólisis y otras técnicas avanzadas, recurren además a reductores químicos que permiten realizar transformaciones en contaminantes tóxicos poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados (Rivera, 2010).

Tabla 1. Clasificación de Procesos de Oxidación Avanzada

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Ozonación en medio alcalino (O_3/OH^\cdot)	Oxidación en agua sub/y supercrítico
Ozonación con peróxido de hidrógeno (O_3/H_2O_2)	Procesos fotoquímicos
Oxidación electroquímica	Fotólisis del agua en el ultravioleta vacío (UVV)
Radiólisis y tratamiento con haces de electrones	UV/peróxido de hidrógeno
Plasma no térmico	UV/ O_3
Procesos Fenton (Fe^{2+}/H_2O_2) y relacionados	Fotocatálisis heterogénea

Fuente. (Zahiruddin Khan, Nida Maqbool, Ishtiaq A. Qazi, 2015)

Los Radicales Hidroxilos (OH^\cdot) se generan de tres maneras diferentes, la primera es por medio del oxígeno, la segunda formación es el peróxido de hidrógeno y el tercero solo a partir del agua. Una vez se forman los radicales pueden reaccionar con el agua (Zahiruddin Khan, Nida Maqbool, Ishtiaq A. Qazi, 2015).

Ventajas de la oxidación Avanzada

1. No solo cambian de fase al contaminante (como ocurre en el arrastre con aire o con el tratamiento con carbón activado) sino que lo transforma químicamente.

2. Generalmente se consigue la mineralización completa (destrucción) del contaminante. En cambio, las tecnologías convencionales, que no emplean especies fuertemente oxidantes, no alcanzan a oxidar completamente la materia orgánica.
3. Usualmente no generan lodos que a su vez requieren de un proceso de tratamiento y/o disposición.
4. Son muy útiles para contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento, principalmente el biológico.
5. Sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración (por ejemplo, ppb).
6. No se forman subproductos de reacción, o se forman en baja concentración.
7. Son ideales para disminuir la concentración de compuestos formados por pretratamientos alternativos, como la desinfección.
8. Generalmente, mejoran las propiedades organolépticas del agua tratada.
9. En muchos casos, consumen mucha menos energía que otros métodos (por ejemplo, la incineración).
10. Disminuye la concentración de los subproductos generados en la desinfección del agua.
11. Eliminan efectos sobre la salud de desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro.

Los inconvenientes en la utilización del tratamiento de oxidación química avanzada se relacionan con su elevado costo por el uso de reactivos como peróxido de hidrógeno y ozono y el elevado consumo energético, en el caso de la utilización de lámparas para la generación de radiaciones UV. El costo disminuye cuando se combinan dos tratamientos permitiendo maximizar el gasto de los oxidantes químicos (Soliz, 2016).

4.3.1. Permanganato de potasio

El Permanganato de Potasio [KMnO₄] es un compuesto que se empezó a utilizar masivamente en los años 70, sobre todo en los Estados Unidos donde se utiliza en procesos de tratamiento de agua potable por tener un poder oxidante. El permanganato de potasio [KMnO₄] es un sólido cristalino con propiedades químicas como solubilidad en el agua de 62.8 g·L⁻¹ a 20 °C, absorbancia de 525.3nm, densidad de 2.703 g·L⁻¹ y su principal importancia es que presenta cuatro átomos de oxígeno que permiten que presente propiedades oxidantes. El KMnO₄ también puede solubilizarse en ciertos disolventes orgánicos, tales como la acetona, acetonitrilo, benzonitrilo, piridina, ácido acético glacial y ácido trifluoroacético, entre otros, pero las soluciones resultantes presentan poca estabilidad debido al ataque del ion permanganato sobre las moléculas del disolvente (Medialdea, Arnáiz, & Díaz, 2005).

El Permanganato de Potasio [KMnO₄] sirve para la eliminación de algunos minerales como el hierro y manganeso, para la remoción de sulfuros, cianuros y fenoles. Es además un buen alguicida y bactericida; para un correcto funcionamiento debe ser utilizado en medios básicos, en los cuales el permanganato se reduce a Mn (IV), este compuesto se presenta en forma de dióxido de manganeso (MnO₂) que es insoluble y se elimina por decantación o precipitación (Orozco Barrenetxea, 2003).

Entre las ventajas del uso del permanganato de potasio como oxidante se encuentran:

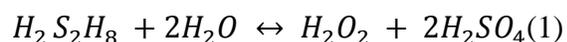
- ✓ Eliminar eficazmente olores y sabores producidos por compuestos orgánicos.

- ✓ No posee carácter tóxico-tóxico y no comunica al agua sabor ni olor de ningún tipo
- ✓ En el proceso se forma MnO_2 que es beneficioso en la eliminación de impurezas en el proceso de coagulación, al actuar como floculante.
- ✓ Es económico y sencillo en su manipulación
- ✓ Evita la formación de organoclorados, por sustitución del cloro.

4.3.2. Peróxido de Hidrógeno

El peróxido de Hidrógeno [H_2O_2] está compuesto por 2 átomos de hidrógeno y 2 de oxígeno, pero tiene algunas características diferentes que el agua; de hecho, tiene propiedades que hacen que dicho compuesto sea un potente agente oxidante. En condiciones de temperatura ambiente es relativamente estable, aunque se descompone con facilidad en oxígeno y agua en la presencia de un catalizador, en este caso en la exposición al calentamiento y por exposición a la luz solar, por lo que debe conservarse en envases opacos (Luisa Aguilar Muñoz & Durán Torres, 2011).

El peróxido de hidrógeno se produce comercialmente por electrólisis del ácido sulfúrico. El ácido persulfúrico $S_2O_8H_2$ es el principal producto anódico cuando se emplea un elevado potencial. Este ácido se hidroliza en dos etapas formando peróxido de hidrógeno y ácido sulfúrico, como se presenta en la ecuación (1):



El peróxido se concentra por evaporación, ya que su presión de vapor es más baja que la del agua, pueden obtenerse disoluciones hasta de un 30 % (Weber & Borchardt, 1979).

El peróxido de hidrógeno se emplea habitualmente en forma de disolución acuosa (por ejemplo, al 30 % se utiliza en el laboratorio y para aplicaciones farmacéuticas se trabaja al 3 %), se utiliza como agente blanqueador de fibras textiles, de la pulpa de madera y del papel usado en la industria papelera, también es utilizado como agente aclarante del cabello, en la fabricación de detergentes, tratamiento de agua residuales, metalurgia, industria electrónica en síntesis química y la acción blanqueadora se da por las propiedades oxidantes que presenta, el número de oxidación del oxígeno en el peróxido de hidrógeno es -1. Se reduce a H₂O en la cual el número de oxidación del oxígeno es de -2. Sirve como alternativa para la eliminación del moho en las paredes, áticos y sótanos, además para la reducción de malos olores, como por ejemplo el olor de las mascotas (Blanco Brieva, 2007).

4.4. Test de Jarras

El Test de Jarras o Prueba de Jarras es un proceso que se realiza en el laboratorio que permite replicar las condiciones que se presentan en una planta de tratamiento de agua potable. Este método consiste en una serie de pasos que se llevan a cabo en un equipo que cuenta con 6 jarras, cada una con capacidad de 2 litros y dentro de cada una se encuentra un agitador. Los agitadores permiten simular las condiciones de mezcla y sedimentación de un clarificador.

Mediante esta prueba es posible determinar los parámetros óptimos de operación de una planta de tratamiento de agua potable (Calderón & González, 2017; Jiménez Cisneros, 2001).

4 METODOLOGIA

4.1 Sitio de Muestreo

La planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Bosconia forma parte de la red de acueducto de la ciudad de Bucaramanga, esta planta capta el agua cruda directamente del río Suratá y alimenta al área metropolitana de Bucaramanga. La planta es de tipo convencional con pretratamiento (canaleta parshall, tanques desarenadores y presedimentadores) mezcla rápida, floculación mecánica, sedimentación y filtración, estación de bombeo de agua tratada, subestación eléctrica, línea de impulsión, sistema de redes y tanques de almacenamiento para la distribución del agua a la ciudad. La PTAP está localizada en la vía Matanza-Bucaramanga, presenta una capacidad de tratamiento de 2000 l/s, pero en la actualidad trabaja normalmente con la mitad de este. La planta usa sulfato de alúmina como coagulante y en algunos casos para lograr hacer efectivo este proceso se usa el polímero poliacrilamida como ayudante.

La muestra de agua de estudio se tomó en 6 pimpinas de 20 litros de manera directa del cauce del Río Suratá, aguas arriba de la bocatoma, que abastece a la planta de tratamiento de Bosconia. Posteriormente, se llevó al laboratorio de agua potable de la Universidad Pontificia Bolivariana, donde se realizaron las pruebas de oxidación química.

5.1.1 Experimentos en laboratorio de oxidación química

Debido a que el agua del río Suratá presenta eventos de mal sabor cuando se tienen caudales bajos y altas temperaturas y dichas condiciones no se presentaron en el momento de la ejecución del proyecto, se dosificaron concentraciones C1,C2,C3,C4,C5,C6 tanto de

geosmina [C₁₂H₂₂O] como de 2-metilisoborneol [C₁₁H₂₀O] para simular los eventos de sabor. En la tabla 2 se presentan las concentraciones de los metabolitos agregados en laboratorio al agua del río Suratá en cada caso antes de realizar el tratamiento de manera que al empezar las pruebas estos compuestos formaran parte homogenizada del líquido. Estas concentraciones fueron elegidas luego de hacer una revisión bibliográfica, tomando los datos mínimos que podía presentarse y un rango alto de la presencia de estos metabolitos.

Tabla 2 . Concentración Precursores de Sabor

Muestra	Geosmina(ng/l)	2-metilisoborneol(ng/l)
C1	1.5	6.5
C2	10	10
C3	50	50
C4	150	150
C5	114	45
C6	24	968

Fuente: Autores

Para la oxidación se utilizó el permanganato de potasio [KMnO₄] el cual presenta buenos porcentajes en la eliminación de sabor de acuerdo a la literatura y el peróxido de hidrógeno [H₂O₂] que es de bajo costo y fácil acceso. Además estos oxidantes pueden ser almacenados en bajas concentraciones, eliminando el peligro tanto para quienes entren en contacto con ellos, como para las estructuras de almacenamiento (Garces, Fernando, & Lucia, 2004).

Tanto el permanganato de potasio, como el peróxido de hidrógeno se consiguen a la venta en concentraciones superiores al 30%, pero estas concentraciones dificultan su uso y almacenamiento. Por este motivo, fue necesario realizar disoluciones usando agua destilada para llevar los oxidantes hasta una solución de 0.1%.

Para la evaluación de la oxidación química el punto de aplicación de los oxidantes seleccionado fue la canaleta Parshall del pretratamiento, el cual se simuló en el laboratorio mediante prueba de jarras. Inicialmente se emplearon dosis desde 0,5 hasta 2,5 mg/l de oxidante, usando tratamiento convencional después del pretratamiento y evaluando sus resultados cualitativamente por medio de catación. Posteriormente, en otro conjunto de pruebas, se aplicaron dosis de 0,5 y 1,5 mg/l de oxidante en el pretratamiento con y sin adicción de ayudante de floculación (poliacrilamida) evaluándolos por medio de la determinación cuantitativa de geosmina y 2-MIB.

En la Tabla 3 y 4 se puede evidenciar el diseño experimental utilizado para la evaluación cualitativa y cuantitativa respectivamente, donde: C_i = Concentración de geosmina y MIB (ver tabla 2), P_i = Concentración de Permanganato de potasio (ver tabla 5) y H_i = Concentración de Peróxido de Hidrógeno (ver tabla 5). La muestra denominada como “blanco” es agua proveniente del río Suratá con la C_i correspondiente para cada caso a la cual no se le aplica pretratamiento con ninguno de los oxidantes.

Tabla 3. Evaluación Cualitativa de eliminación de sabor

Permanganato de potasio(P)(ml/l)		Peróxido de Hidrógeno(H)(ml/l)	
$C_1P_{0.5}$	$C_3P_{0.5}$	$C_1H_{0.5}$	$C_3H_{0.5}$
C_1P_1	C_3P_1	C_1H_1	C_3H_1
$C_1P_{1.5}$	$C_3P_{1.5}$	$C_1H_{1.5}$	$C_3H_{1.5}$
$C_1P_{2.5}$	$C_3P_{2.5}$	$C_1H_{2.5}$	$C_3H_{2.5}$
$C_2P_{0.5}$	$C_4P_{0.5}$	$C_2H_{0.5}$	$C_4H_{0.5}$
C_2P_1	C_4P_1	C_2H_1	C_4H_1
$C_2P_{1.5}$	$C_4P_{1.5}$	$C_2H_{1.5}$	$C_4H_{1.5}$
$C_2P_{2.5}$	$C_4P_{2.5}$	$C_2H_{2.5}$	$C_4H_{2.5}$
Blanco		Blanco	

Fuente. Autores

Tabla 4. Evaluación Cuantitativa de eliminación de sabor

Tratamiento	Permanganato de potasio		Peróxido de Hidrógeno	
Sin poliacrilamida	C ₅ P _{0.5}	C ₅ P _{1.5}	C ₅ H _{0.5}	C ₅ H _{1.5}
Con poliacrilamida	C ₆ P _{0.5}	C ₆ P _{1.5}	C ₆ H _{0.5}	C ₆ H _{1.5}

Fuente. Autores

En la tabla 5 se encuentran las concentraciones aplicadas de los oxidantes durante el proceso de tratabilidad al agua proveniente del río Suratá.

Tabla 5. Concentración de los Oxidantes

Peróxido de hidrógeno(H)(ml/l)	Permanganato de potasio(P)(ml/l)
1. H_{0.5}: 0.5	P_{0.5}: 0.5
2. H₁: 1.0	P₁: 1.0
3. H_{1.5}: 1.5	P_{1.5}: 1.5
4. H_{2.5}: 2.5	P_{2.5}: 2.5

Fuente: Autores

5.1.2 Test de Jarras

Este procedimiento permite simular las condiciones que se presentan en la planta de tratamiento de agua potable de Bosconia, en el laboratorio de agua potable de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Las pruebas se llevaron a cabo en un equipo marca Phipps & Bird), con jarras de 2 L de capacidad y 6 agitadores como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Test de Jarras



Fuente: Autores

La figura 2 presenta un diagrama de los pasos que se simularon en el test de Jarras para el proceso de potabilización del agua el Rio Surata a escala de laboratorio.

Figura 2. Diagrama de Test de Jarras



Para el pretratamiento se tuvo en cuenta las tres unidades que lo componen (canaleta Parshall, presedimentadores y desarenadores), las cuales se simularon en la prueba de jarras a una velocidad de 300 rpm durante un minuto y sedimentación en cono Imhoff durante 29 minutos. Posteriormente, se simuló el tratamiento convencional con las siguientes condiciones:

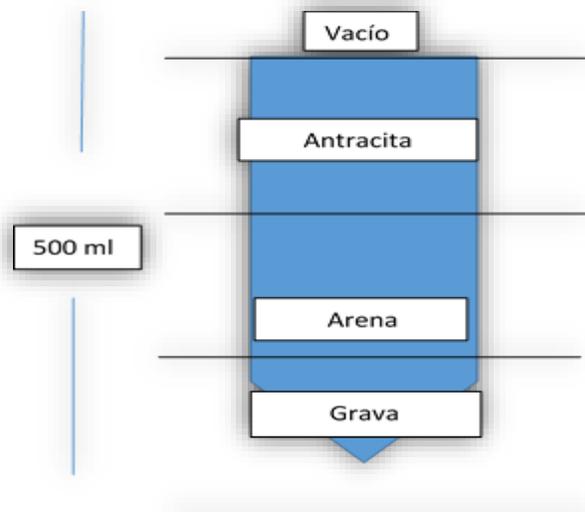
Coagulación: 300 rpm -1 minuto

Floculación: La planta Bosconia cuenta con 4 floculadores en serie, por tanto, se utilizaron los mismos gradientes y tiempos en la prueba. El tiempo total en la floculación fue de 26 minutos y los gradientes usados fueron 34, 23, 24 y 14 s⁻¹.

Sedimentación: Se utilizó el mismo tiempo del sedimentador de Bosconia: 34 minutos.

Filtración: El agua sedimentada se pasó a través de filtros que contenían Antracita, arena y grava, como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Medio Filtrante



Fuente. Autores

Cloración: Se realizó con una solución madre de hipoclorito de calcio al 1%: con el tiempo de contacto que se trabaja en la planta Bosconia: 30 minutos.

5.2 Métodos Analíticos

En la tabla 6 se presentan los parámetros fisicoquímicos que se midieron al agua tratada y los equipos y/o métodos utilizados.

Tabla 6. Parámetros Fisicoquímicos

Parámetros Fisicoquímicos	Equipo y/o método
Turbiedad	Turbidímetro HACH
pH	Multipárametro HACH
Conductividad	
Color verdadero	Espectrofotómetro CROM MASS
Sabor	Prueba de catación
Geosmina y MIB	Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas [Cenivam- CROM MASS]

Fuente. Autores

El análisis cualitativo se desarrolló por medio de la prueba de catación, con un total de 28 catadores que fueron escogidos al azar en la Universidad Pontificia Bolivariana, las pruebas se realizaron de la siguiente manera:

Para las combinaciones C₁, C₂, C₃ y C₄ se realizaron pruebas de catación después del proceso de potabilización. Para cada combinación se usó un panel de 7 catadores que estaban en la tarea de identificar la presencia o ausencia de sabor, y si se presenta con qué intensidad (B*: Bajo, M*: Medio, A*: Alto) e identificar el sabor (Tierra, Moho, Cloro).

5.3 Análisis Estadístico

Los factores y niveles evaluados cualitativamente a través de la prueba de catación se analizaron por medio de análisis de componentes principales (ACP), desarrollado en el software estadístico R, el cual es un método usado en diferentes áreas de estudio debido a que permite reducir la magnitud entre una cantidad alta de variables o grandes grupos de datos correlacionados, transformándolos en variables independientes llamadas componentes principales (PC), las cuales son combinaciones lineales de las anteriores y representan la mayor cantidad de información en líneas de tendencia (Fita Fernández, 2013; Sharma & Ueki, 2012).

Para la correcta interpretación de análisis de componentes principales en una gráfica de influencias se necesita saber lo siguiente: Las componentes (PC) pueden ir de -1 a 1 adimensional, las componentes que se aproximan a -1 o 1 indican que la variable afecta considerablemente a Componente PC. La magnitud del vector indica la importancia de la componente, entre mayor sea, mayor será su importancia. Evaluar las influencias también puede ayudar a caracterizar cada componente en términos de las variables (Carmona, 2014).

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Evaluación cualitativa de la influencia de los oxidantes químicos sobre la detección de sabor en el agua tratada.

Los resultados presentados en las figs. 4,5,6 y 7 contienen componentes denominadas como PC₁ y PC₂, estas componentes son combinaciones lineales de las variables que se encuentran en las tablas 7,8,9,10,11, según correspondan; usando el método estadístico de componentes principales, siendo independientes para cada caso; y 4 variables (B: Bajo, M: Medio, A: Alto y No sabe), donde se le da mayor peso o nivel de importancia a la variable “No sabe” con respecto a la eliminación del sabor y su influencia con la componente PC₁ (Carmona, 2014).

Combinación 1

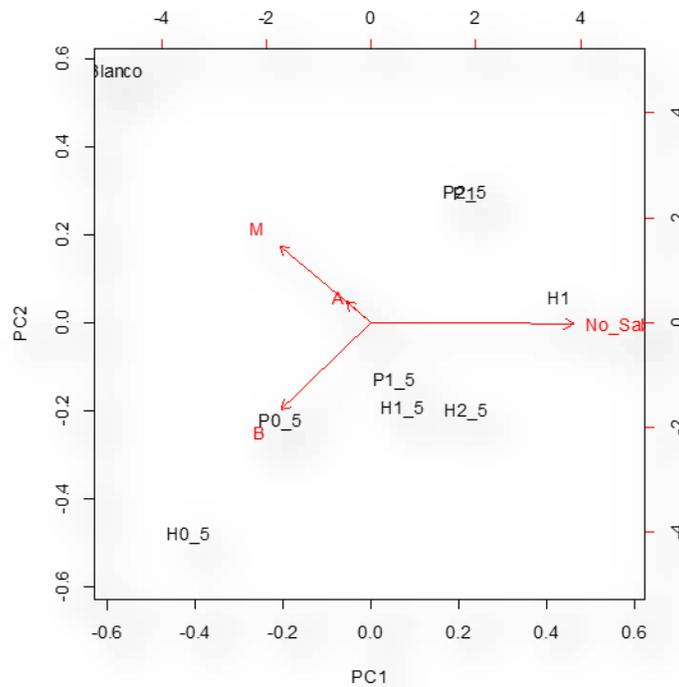
En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos en la ronda 1 de catación, en la cual se agregó la combinación 1 (C₁) con una dosis de 1,5 ng/l GSM y 6,5 ng/l 2-MIB. A partir de estos resultados se realizó la gráfica que corresponde al análisis de componentes principales que se presenta en la figura 4.

Tabla 7. Resultados Combinación 1(C1)

Muestra	Sabe	No Sabe	B*	M*	A*	Tierra	Moho
P _{0,5}	3	4	2	1	0	3	
P ₁	1	6	0	1	0		1
P _{1,5}	2	5	1	0	1		2
P _{2,5}	1	6	0	1	0	1	
H _{0,5}	4	3	3	1	0	2	2
H ₁	0	7	0	0	0		
H _{1,5}	1	6	1	0	0	1	
H _{2,5}	1	6	1	0	0	1	
Blanco	5	2	1	3	1	5	

Fuente: Autores

Figura 4. Combinación 1(C1): 1,5 ng/l GSM - 6,5 ng/l 2-MIB



Fuente. Autores

La concentración H_1 , según el panel de catadores posee la mayor aceptación con respecto a la concentración P_1 , dicha concentración presenta una muestra con presencia de sabor e intensidad media. Las concentraciones $H_{2.5}$, $P_{2.5}$ evidencian las mismas cualidades exceptuando su nivel de intensidad, dicha información se encuentra en la tabla 7.

En la fig. 4 la concentración H_1 al estar en la protección de la variable “No sabe” presenta el mejor rendimiento pues afecta la componente (PC_1), dicha concentración obtiene los mejores resultados para la eliminación de los agentes precursores del mal sabor a una concentración de 1.5 ng/l GSM -6.5 ng/l 2-MIB. Las muestras con concentraciones $P_{1.5}$, $H_{1.5}$, $H_{2.5}$ están correlacionadas, esto quiere decir que presentan características similares y mismo nivel de importancia pues se encuentran ubicadas entre las variables B y No sabe.

La muestra que presenta un mayor peso, pero con resultados negativos es el blanco, pues se encuentra localizada en la proyección de las variables Medio y Alto, a pesar que estas variables no presentan un nivel de importancia alta con respecto a la magnitud de su vectores, afecta positivamente a la componente PC_2 pero lo contrario con la componente PC_1 , dicha información se puede constatar en la tabla 7 indicando que presenta 5 muestras con sabor, de las cuales 3 presentan un sabor medio y 1 alta., esto se debe a que a la muestra blanco no se le realiza pre oxidación.

En esta primera ronda de pruebas de catación se determinó que el oxidante con el mayor rendimiento para las concentraciones iniciales de 1.5 ng/l Geosmina y 6.5 ng/l 2-MIB fue la muestra con las concentración 1.0ml/l (H_1).

Combinación 2.

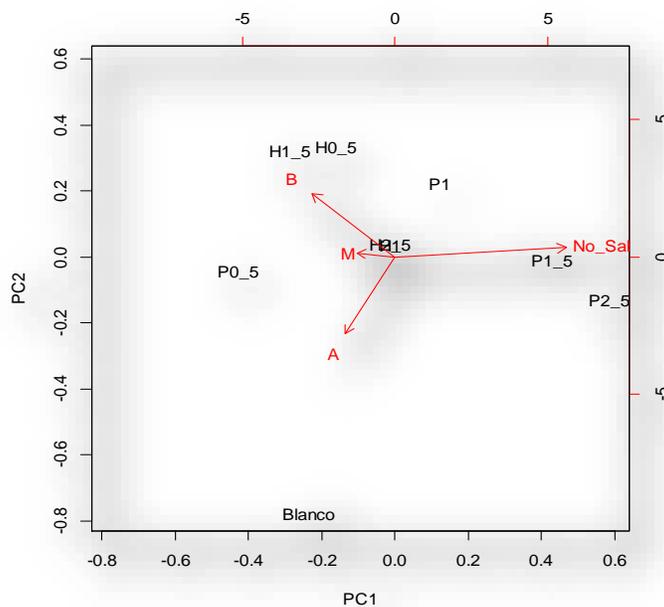
En la tabla 8 se presentan los resultados obtenidos para la combinación 2, en la cual se agregó una dosis de 10 ng/l GSM y 10 ng/l 2-MIB. A partir de estos resultados se realizó la gráfica que corresponde el análisis de componentes principales que se presenta en la figura 5.

Tabla 8. Resultados Combinación 2(C2)

Muestra	Sabe	No Sabe	B*	M*	A*	Tierra	Moho
P _{0,5}	7	0	4	1	2	2	5
P ₁	3	4	3	0	0	2	1
P _{1,5}	1	6	1	0	0	1	
P _{2,5}	0	7	0	0	0		
H _{0,5}	5	2	4	1	0	1	4
H ₁	4	3	3	0	1	2	2
H _{1,5}	6	1	4	2	0	2	4
H _{2,5}	4	3	3	0	1	1	3
Blanco	6	1	1	1	4	1	5

Fuente: Autores

Figura 5. Combinación 2(C2): 10 ng/l GSM -10 ng/l 2-MIB



Fuente: Autores

En la tabla 8 la muestra P_{0.5} presenta la mayor intensidad de sabor en la segunda ronda de catación. Por el contrario la concentración P_{2.5} con respecto a la concentración H_{2.5} posee un mejor rendimiento sobre la eliminación de sabor debido a que se no evidencia ningún tipo de sabor según el panel de catadores.

En la fig.5, según el analisis de componentes principales se evidencia que las concentraciones de P_{1.5} y P_{2.5} presenta los mejores resultados para la eliminación del sabor en una dosis de 10 ng/l GSM -10 ng/l 2-MIB, dichas concentraciones se encuentran cerca del vector de la variable “No sabe” siendo esta la que presenta un mayor peso o nivel de importancia, mientras que la muestra de blanco presenta un mayor indice de sabor. En el caso de la concentración H_{0.5} y H_{1.5} se encuentra en la variable Baja, esto permite decir que si hay

disminución en el sabor, pero aun se alcanza a percibir. Las concentraciones que se encuentran en las coordenadas 0,0 que no tiene ninguna variación en las componentes PC₁ ni PC₂ no se tiene nivel de importancia en este caso las concentraciones H₁ H_{2,5}. (Fita Fernández, 2013).

Combinación 3.

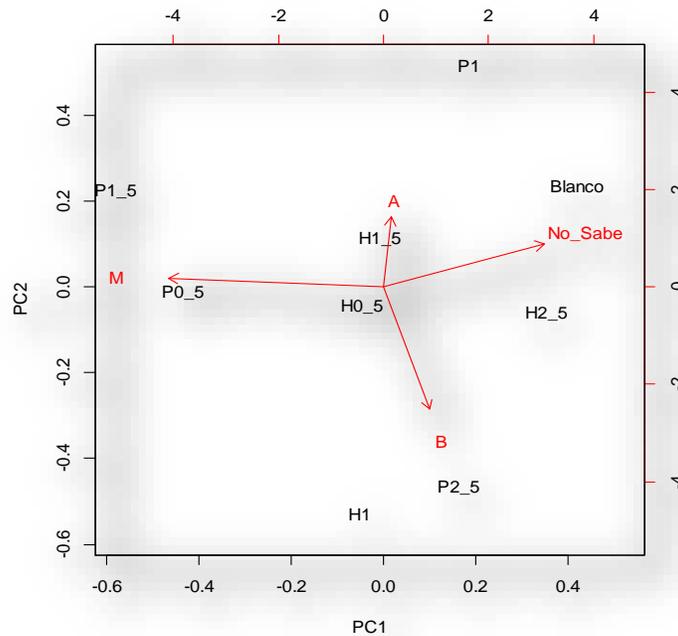
En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos en la ronda 1 de catación, en la cual se agregó la combinación 3 (C₃) con una dosis de 50 ng/l GSM y 50 ng/l 2-MIB. A partir de estos resultados se realizó la gráfica que corresponde al análisis de componentes principales que se presenta en la figura 6.

Tabla 9. Resultados Combinación 3(C3)

Muestra	Sabe	No Sabe	B*	M*	A*	Tierra	Moho
P_{0,5}	7	0	1	4	2	7	
P₁	4	3	0	1	3	4	
P_{1,5}	7	0	0	5	2	6	1
P_{2,5}	5	2	3	1	1	5	
H_{0,5}	4	3	1	3	0	3	1
H₁	6	1	3	2	1	6	
H_{1,5}	5	2	1	2	2	4	1
H_{2,5}	4	3	2	0	2	3	1
Blanco	3	4	1	0	2	2	1

Fuente: Autores

Figura 6. Combinación 3(C3): con Dosis 50 ng/l GSM - 50 ng/l 2-MIB



Fuente: Autores

Para el análisis de la tabla 9 se evidencia que la concentración H_{0.5} presenta mejor comportamiento en comparación P_{0.5}; puesto que con P_{0.5} persiste el sabor para el total del panel de catadores, mientras que H_{0.5} posee 4 muestras donde 3 mantienen un sabor con intensidad media y 1 baja.

En la combinación 2 se observa un comportamiento diferente a las pruebas anteriores donde la variable con mayor nivel de importancia según la magnitud del vector es medio (M), mientras la de menor importancia es alta (A). La muestra blanco se encuentra muy cerca de la variable “No sabe”, esto indica que a pesar de que esta muestra no contiene ningún oxidante, mostró buenos resultados para esta concentración (GSM y 2-MIB). Las concentraciones que presentaron peores resultados fueron P_{0.5}, P_{1.5}, aunque los resultados de la concentración P_{0.5} se proyectan a la variable M.

Las muestras (H₁ y P_{2,5}) poseen un sabor poco detectable para el panel de catadores de esta prueba, mostrando la efectividad del uso del peróxido de hidrogeno y en el permanganato de potasio en sus respectivas concentraciones (H₁ y P_{2,5}) para la eliminación de esta problemática durante esta ronda.

Combinación 4.

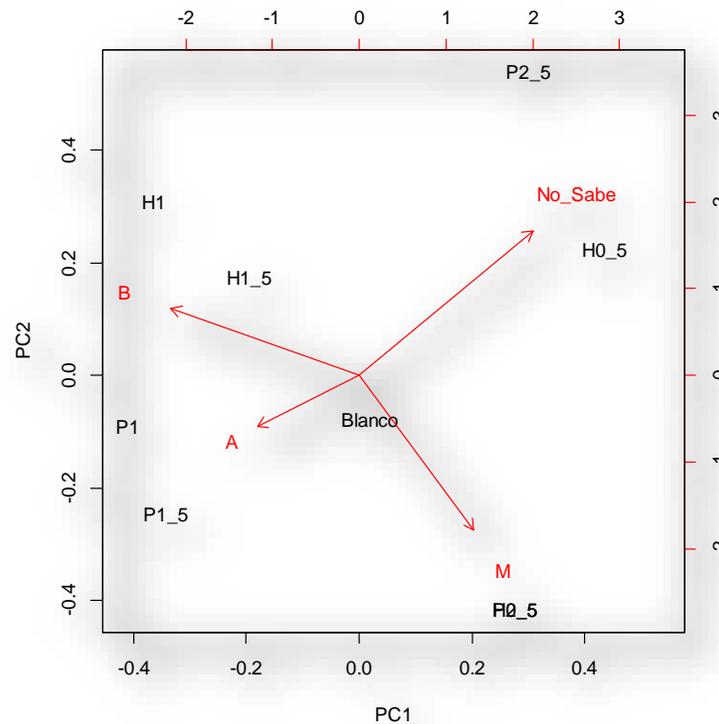
En la tabla 10 se presentan los resultados obtenidos para la combinación 4, en la cual se agregó una dosis de 150 ng/l GSM y 150 ng/l 2-MIB. A partir de estos resultados se realizó la gráfica que corresponde al análisis de componentes principales que se presenta en la figura 7.

Tabla 10. Resultados Combinación 4(C4)

Muestra	Sabe	No Sabe	B*	M*	A*	Tierra	Moho
P_{0,5}	5	2	1	3	1	4	1
P₁	6	1	3	1	2	5	1
P_{1,5}	6	1	2	1	3	5	1
P_{2,5}	3	4	2	1	0	3	
H_{0,5}	3	4	0	1	2	2	1
H₁	5	2	3	0	2	5	
H_{1,5}	5	2	3	1	1	5	
H_{2,5}	5	2	1	3	1	4	1
Blanco	4	2	1	1	2	3	1

Fuente: Autores

Figura 7. Combinación 4(C4): con Dosis 150 ng/l GSM - 150 ng/l 2-MIB



Fuente: Autores

En este caso en la tabla 10 la concentración $P_{2.5}$ junto a $H_{0.5}$ presentan evaluaciones similares entre el panel de catadores, siendo estas las de mejores resultados aunque $H_{0.5}$ evidencia mayor intensidad en su sabor. Por otro lado las concentraciones P_1 y H_1 evidencian un sabor a tierra que persiste en la mayoría de casos, donde 2 son de intensidad alta y 3 bajas.

En la fig.7 las concentraciones $P_{2.5}$ y $H_{0.5}$ se ubican en la variable de “No sabe”, esto indica que tiene un nivel de importancia mucho mayor porque las dos componentes principales presentan valores positivos, esto quiere decir que según el panel de catadores esas concentraciones disminuyeron al máximo el sabor. Las concentraciones con un peor desempeño son P_1 , $P_{1.5}$, que se encuentran en la misma dirección de la variable “Alto”, estas concentraciones presentan las mismas características para la oxidación. La muestra de blanco

por su parte no tiene una influencia positiva en estos resultados por la ubicación en que se encuentra.

La tabla 11 es la clasificación general de calidad de las muestras realizadas teniendo en cuenta los resultados arrojados en la prueba de catación

Tabla 11. Resultados Catación General por Oxidante

Intensidad	H ₂ O ₂	KMnO ₄
Baja	13	12
Media	8	9
Alta	5	6
No sabe	0	0
Total	26	27

Fuente. Autores

Los resultados presentados en la tabla 11 indican la intensidad del sabor con respecto a los oxidantes analizados. Según el panel de catadores los resultados obtenidos cuentan con la calidad para consumo humano, aunque halla presencia o ausencia de sabor.

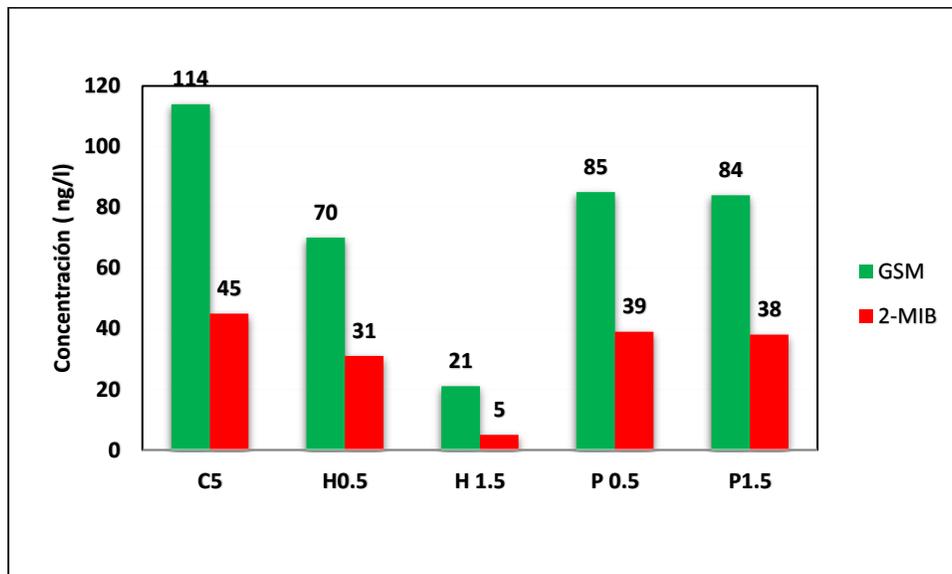
Los químicos usados (H₂O₂, KMnO₄) presentan resultados muy similares en los datos obtenidos a través de la catación, esto significa que en general las muestras señalan que entre 44.4-50% poseen un sabor con una intensidad baja, mientras que solo entre 19.23-22.22% tienen una intensidad alta. Se observó que a pesar de que los oxidantes reduzcan o eliminan la cantidad de agentes precursores de sabor (GSM Y 2-MIB), los ubica en un rango en el cual aún es detectable por los catadores, por tanto, a través de únicamente la cata no es posible determinar la eficiencia de un oxidante sobre el otro.

6.2 Influencia de la concentración inicial de Geosmina y MIB presente en el agua del Río Suratá sobre la detección de sabor en el agua tratada.

6.2.1 Sin Poliacrilamida

A continuación, en la figura 8 se encuentra las concentraciones de GSM y 2-MIB obtenidos después de aplicar los oxidantes químicos en el pre tratamiento simulado en la prueba de jarras y sin la adición de ayudante de coagulación (poliacrilamida) a la combinación (C5) anteriormente mencionada en la tabla 4. En el eje x se encuentra la muestra inicial (C5), H_{0.5}, H_{1.5}, P_{0.5}, y P_{1.5}; mientras que el eje y se encuentran la concentración resultante en (ng/l).

Figura 8. Concentraciones de geosmina y MIB sin adición de Poliacrilamida



Fuente. Autores

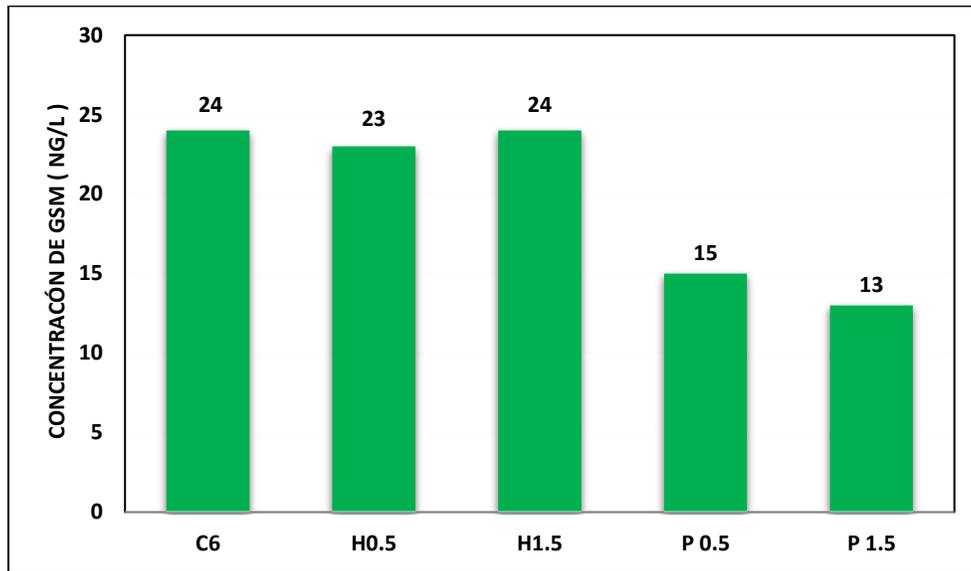
En este caso las concentraciones iniciales son 114 ng/l de Geosmina y 45 ng/l de 2-MIB, se evidencia que el peróxido de hidrógeno a una concentración de H_{1.5} ml/l, presenta el mejor

rendimiento para la eliminación de los metabolitos de geosmina y 2-MIB, cabe recordar que estos resultados no contienen ayudante de coagulación (Poliacrilamida) dando como resultado una disminución hasta 21 ng/l y 5 ng/l de Geosmina y 2-MIB. El permanganato de potasio obtuvo un menor poder oxidativo disminuyendo solo hasta un 84 ng/l en GSM y 38 ng/l de 2-MIB siendo P1.5 la mejor concentración del oxidante. Estos resultados se dan debido a la capacidad que tiene el H_2O_2 para producir la lisis celular (proceso de ruptura de la membrana celular) y provocar estrés a los metabolitos de las cianobacterias, estos son sensibles al contacto con este oxidante logrando eliminarlos de manera más efectiva (Latifi, Ruiz, & Zhang, 2009). Una característica importante es que el H_2O_2 mantiene su concentración durante un largo periodo de tiempo ayudando a que el tratamiento tenga mayor eficiencia sin provocar cambios negativos en el agua (Latifi et al., 2009).

6.2.2 Con Poliacrilamida

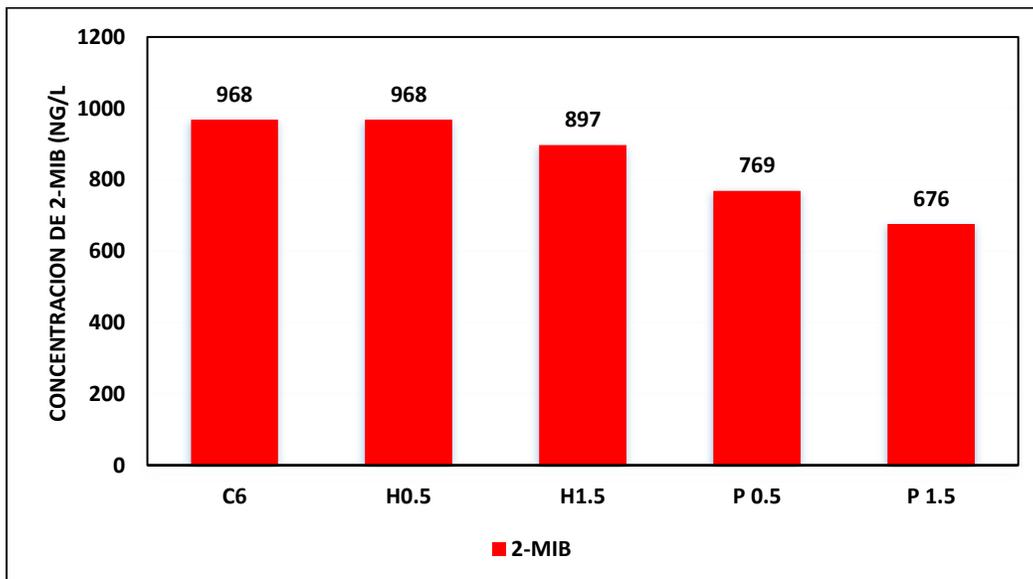
A continuación, en la figura 9 y 10 se encuentra las concentraciones de geosmina y 2-MIB obtenidos después de aplicar los oxidantes químicos en el pre tratamiento simulado en la prueba de jarras y con la adición de ayudante de coagulación (Poliacrilamida) a la combinación 6(C6) como se denota en la tabla 4.

Figura 9. Concentraciones de geosmina con adición de Poliacrilamida



Fuente. Autores

Figura 10. Concentraciones de MIB con adición de Poliacrilamida



Fuente. Autores

En Fig. 9 y 10 al realizar esta prueba se le adicionó a las muestras un polímero (poliacrilamida), es usado en la planta de tratamiento de agua potable como ayudante de coagulación. El polímero (Poliacrilamida) es un hidrogel soluble en agua que suele ser usado de manera eficiente como agente espesante, favoreciendo así el proceso de tratamiento del agua potable, además es usado en otras áreas de estudio debido a sus características de permeabilidad frente a diferentes sustratos (Fan, Ho, Hobson, & Brookes, 2013). Esto provocó que el KMnO_4 a concentraciones de $P_{1.5}$ y $P_{2.5}$ entrará en contacto durante un mayor tiempo con los agentes precursores de sabor logrando oxidar la GSM y 2-MIB inicial hasta dejar únicamente 13 ng/l y 676 ng/l respectivamente, a causa de que el permanganato de potasio a un porcentaje inferior al 5% de la solución no presenta daño o alteración sobre el polímero (Fan et al., 2013). Por otro lado, el peróxido de hidrogeno (H_2O_2), muestra unos resultados poco favorables para la eliminación de los metabolitos causantes del mal sabor, por la presencia de la poliacrilamida como ayudante de coagulación debido a que el oxidante(H_2O_2) rompe la cadena de dicho polímero, disminuyendo la capacidad de ambos compuestos para la reducción de los agentes de estudio. (Latifi et al., 2009).

6.3 Comparación de los dos oxidantes químicos utilizados para la eliminación de agentes precursores de sabor en el agua del Rio Suratá, teniendo en cuenta los costos operacionales y la eficiencia de remoción de geosmina y MIB.

6.3.1 Porcentajes De Remoción De La Geosmina

Para el cálculo de los porcentajes de remoción se usa la siguiente ecuación (1)

$$\%RM_1 = \frac{\text{Inicial-final}}{\text{inicial}} \times 100 \text{ (1)}$$

En la tabla 12 se encuentra los porcentajes de remoción conseguidos por los agentes oxidantes en cada una de las muestras sobre la Geosmina y el MIB con o sin poliacrilamida agregado.

Tabla 12. Porcentajes de Remoción

Muestra	%GSM	%MIB	%GSM con ayudante	%MIB con ayudante
H _{0.5}	38.56	31.11	4.166	0
H _{1.5}	81.58	88.88	0	7.334
P _{0.5}	25.44	13.33	37.5	20.56
P _{1.5}	26.31	15.55	45.83	30.16

Fuente: Autores

Los porcentajes de remoción conseguidos con la pre-oxidación sin el uso del polímero se encuentran más confiables que los obtenidos al usarlo, puesto que el polímero es susceptible a sufrir un rompimiento en sus cadenas cuando se pone en contacto de ácidos u oxidantes fuertes, reduciendo o anulando su beneficio en la coagulación y floculación, además de que afecta el proceso del oxidante (Giordani, Gonzáles, Morales, Quijano, & Tejada, 2008).

Al comparar resultados estos indican que los oxidantes fuertes son mejores en la eliminación de Geosmina llegando a eliminar hasta un 90%, mientras que en el caso del MIB se encuentra desde un 8 hasta un 70%. Cabe resaltar que en el estudio realizado por (Rosen, 2012) se usa $H_2O_2 + UV$, donde los rayos UV sirven como catalizador para favorecer la eliminación de los agentes contaminantes, consiguiendo un porcentaje un poco mayor al logrado en la remoción de Geosmina en la pre-oxidación del agua proveniente del río Suratá el cual fue de 81.88%, mostrando que se pueden alcanzar resultados significativos en la eliminación de sabor con o sin el uso de esta tecnología(UV).

El $KMnO_4$ presentó los mejores porcentajes de remoción para la eliminación de los compuestos precursores del sabor cuando se usa el ayudante de coagulación (poliacrilamida) donde alcanzó una disminución del 45.83 % para la GSM Y 30.16 % 2-MIB.

6.3.2 Costos Operacionales

Caudal de la planta: 2000 l/s

Peróxido de hidrógeno: Solución al 3%

Permanganato de potasio: Solución al (3%)

Tabla 13. Dosificación

Muestra	Solución de KMnO4 al 3%(l/s)	Solución de H2O2 al 3%(l/s)	L/h	L/día
0.5	0.0333	0.0333L	119.88	2877
1.5	0.1L	0.1L	360	8640

Fuente: Autores

Figura 11. Tanque de Almacenamiento High Tanque Industrial Químicos



Fuente: Comercializadora Verasta - Supe tanques

Capacidad: 10000 L

Precio: \$ 4'800.000

Tiempo de entrega: 3 a 10 días hábiles

Garantía: 10 años

Figura 12. Bomba de dosificación: Bomba dosificadora oscilante serie Dostec



Fuente:(Vielhaber, Nöcker, & Espenhahn,)

Capacidad: 1000 l/h

Precio: \$3'040.982 + envío

Tiempo de entrega: 3 a 10 días hábiles

Costo de los oxidantes

Permanganato de Potasio: \$ 640.000 x kg

Peróxido de hidrógeno al 35%: \$ 20.000 x galón

Galón: 3.785L

Tabla 14 . Tabla de Costo.

Muestra	0.5	1.5
KMnO4/ día	86,310 kg	259,200 kg
\$ KMnO4/ día	55'680.000	166'400.000
KMnO4/ mes	2.589,3 kg	7.776 kg
\$ KMnO4/ mes	1.657'600.000	4.976'640.000
H2O2/día	172,62 L	518.4 L
\$ H2O2/día	920.000	2'740.000
H2O2/mes	5.178,6 L	15.552 L
\$ H2O2/mes	27'380.000	82'180.000

Fuente: Autores

7 CONCLUSIONES

- Los oxidantes químicos fuertes tales como el permanganato de potasio [KMnO₄] y el peróxido de hidrógeno [H₂O₂] aplicados al agua del Rio Suratá reducen la detección de sabor en el agua tratada, aumentando la aceptación por parte de los consumidores.
- El peróxido de hidrógeno [H₂O₂] presenta la mayor eficiencia en la eliminación de los agentes precursores de sabor cuando no hay presencia del polímero (poliacrilamida), sin embargo al aplicar este polímero, el permanganato de potasio [KMnO₄] aumenta su efectividad en la eliminación de Geosmina y 2-MIB del agua.
- La pre-oxidación es un tratamiento viable a la hora de eliminar agentes causantes de sabor en el agua potable consiguiendo como resultado hasta un porcentaje de remoción del 81.58% para la Geosmina y de 88% para el MIB.
- El permanganato de potasio [KMnO₄] para su uso comercial e industrial requiere de permiso de estupefacientes, por tanto, su valor se incrementa notablemente, causando que su costo de operación diario sea demasiado alto (\$55'680.000), en comparación el peróxido de hidrógeno [H₂O₂] el cuál es de fácil acceso y de venta directa, para un caudal de 2000 l/s tendría un precio entre \$920.000 hasta \$2'740.000.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, E. C. (2014). Planta de Tratamiento de Agua Potable. Retrieved from <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php>
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. *Sedapal*, 1–44. Retrieved from http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Bennett, D. M. (2014). "Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos Elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra para el tratamiento de aguas contaminadas". *British Journal of Psychiatry*, 205(01), 76–77. <https://doi.org/10.1192/bjp.205.1.76a>
- Blanco Brieva, G. (2007). *Síntesis directa de peróxido de hidrógeno con catalizadores de paladio sobre soportes ácidos*. Retrieved from https://repositorio.uam.es/xmlui/bitstream/handle/10486/1991/4993_blanco_brieva_gema.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Calderón, A., & González, I. (2017). Some hardware and instrumentation aspects of the development of an automation system for jar tests in drinking water treatment. *Sensors (Switzerland)*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/s17102305>
- Calvo, M. del M. P. (2010). Ozono en la potabilización. *Cosemar Ozono*, 16.
- Carmona, F. (2014). *Un ejemplo de ACP paso a paso*. Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/Partial_correlation
- Castañeda, A. (2014). Procesos de oxidación avanzada aplicados en el tratamiento de aguas

de la industria del petroleo.

Comision Nacional de aguas. (2011). *Water statistics in Mexico 2011*. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ed.). Coyoacán, Mexico: 2011. <https://doi.org/978-968-817-895-9>

De, A., Aislados, D., Suelo, D., Jardín, B., & De, L. A. (2014). *Selección de un método para la conservación y preservación*. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4316/57192H557.pdf?sequence=1>

Diaz, Kelly Yelleiny, & Niño, Y. E. (2018). Evaluación del comportamiento de materiales alternativos para lechos filtrantes en el proceso de potabilización de agua., 13,14. Retrieved from [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16451/1/TESIS PROTOTIPO.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16451/1/TESIS%20PROTOTIPO.pdf)

Fan, J., Ho, L., Hobson, P., & Brookes, J. (2013). Evaluating the effectiveness of copper sulphate, chlorine, potassium permanganate, hydrogen peroxide and ozone on cyanobacterial cell integrity. *Water Research*, 47(14), 5153–5164. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.057>

Fita Fernández, A. M. (2013). Análisis de componentes principales. Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/29887>

Garces, G., Fernando, L., & Lucia, M. (2004). Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatalisis. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1). Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/695/69520103/>

Giordani, S., Gonzáles, L., Morales, A., Quijano, J., & Tejada, A. (2008). Factibilidad del

uso de polímeros para la clarificación del agua potable en la ciudad de Mérida. *Revista Científica Juvenil*, VII, 97–107. Retrieved from <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/creando/article/view/1655>

Gómez, I. C. (2000). *Saneamiento ambiental*. San jose (costa rica): EUNED. Retrieved from [https://books.google.com.co/books?id=lsgrGBG1GeMC&pg=PR6&lpg=PR6&dq=Campos+Gómez,+I.++\(2000\).+Saneamiento+ambiental+\(Primera+Ed\).+EUNED.&source=bl&ots=E0g5qIEkvS&sig=yY0r66SEBxLggIqphxEfpbmp2B0&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiDnLqNzYffAhXrwVkKHdgnBWgQ6AEwAHoEC](https://books.google.com.co/books?id=lsgrGBG1GeMC&pg=PR6&lpg=PR6&dq=Campos+Gómez,+I.++(2000).+Saneamiento+ambiental+(Primera+Ed).+EUNED.&source=bl&ots=E0g5qIEkvS&sig=yY0r66SEBxLggIqphxEfpbmp2B0&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiDnLqNzYffAhXrwVkKHdgnBWgQ6AEwAHoEC)

Guerra, M. F., Rodríguez, D. C., & Peñuela Mesa, G. A. (2016). Evaluación de la preoxidación para remover carbono orgánico disuelto y disminuir la formación de trihalometanos en la potabilización. *Producción + Limpia*, 11(2), 55–65. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a5>

Jiménez Cisneros, B. E. (Blanca E. (2001). *La contaminación ambiental en México : causas, efectos y tecnología apropiada*. Colegio de Ingenieros Ambientales de México. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA4&dq=La+contaminación+ambiental+en+México+:+causas,+efectos+y+tecnología+apropiada&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj3oY6wz4ffAhVoqlkKHex2BJgQ6wEIKjAA#v=onepage&q=La+contaminación+ambiental+en+México+%253>

Latifi, A., Ruiz, M., & Zhang, C. C. (2009). Oxidative stress in cyanobacteria. *FEMS Microbiology Reviews*, 33(2), 258–278. <https://doi.org/10.1111/j.1574->

6976.2008.00134.x

- Luisa Aguilar Muñoz, M., & Durán Torres, C. (2011). *Química recreativa con agua oxigenada. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (Vol. 8). Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/920/92022427011.pdf>
- Medialdea, J. M., Arnáiz, C., & Díaz, E. (2005). Permanganato potásico: Un potente y versátil oxidante. *Ingeniería Química*, 37(430), 129–136.
- Melandreras Ruiz, F. (2015). Estudio de la formación de THM en las fases de elaboración de transformados vegetales y en procesos auxiliares de la industria alimentaria. *Tesis Doctoral. U. Murcia*, 213. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Orozco Barrenetxea, C. (2003). *Contaminación ambiental : una visión desde la química*. Thomson.
- Orozco, C., & Pérez, A. (2002). *Contaminacion Ambiental: Una visión desde la química*. (maria jose Lopez, Ed.), Scielo (Thomson Ed). <https://doi.org/ContaminacionAmbiental>
- Otaño, S., Román, N., & Bogarín, C. (2017). Cianobacterias productoras de 2-metilisoborneol en Corrientes (Argentina). *Biología Acuática*, 0(32), 16–24. Retrieved from <http://www.bacuatica.org/index.php/bacuatica/article/view/65/58>
- Pahila, J. G., Emilia, E., & Ferdinand, R. (2014). Establishment of sensory threshold levels of geosmin and 2-methylisoborneol for filipinos, 7(5), 386–395.
- Park, J. A., Nam, H. L., Choi, J. W., Ha, J., & Lee, S. H. (2017). Oxidation of geosmin and 2-methylisoborneol by the photo-Fenton process: Kinetics, degradation intermediates,

and the removal of microcystin-LR and trihalomethane from Nak-Dong River water, South Korea. *Chemical Engineering Journal*, 313, 345–354.

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.086>

Rivera, E. D. A. (2010). Evaluacion de procesos de oxidacion quimica Fe^{2+}/H_2O_2 Y O_3/H_2O_2 para incrementar la biodegradabilidad de efluentes acuosas de refinarias.

Rosa, P., Ramírez, M., & Durán, A. (2014). Remocion de olor y sabor de aguas naturales causados por endotoxinas., (October). Retrieved from [file:///C:/Users/DELL/Downloads/Remocion_de_Olor_y_Sabor_de_Aguas_Naturales_Causad \(1\).pdf](file:///C:/Users/DELL/Downloads/Remocion_de_Olor_y_Sabor_de_Aguas_Naturales_Causad%20(1).pdf)

Rosen, J. (2012). Low-pressure UV / Cl_2 for advanced oxidation of taste and odor, (2007), 58–65.

SAMSA. (2012). Proceso de Potabilización del Agua, 2. Retrieved from http://www.samsa.com.ar/explotacion/proceso_agua_potable.pdf

Sens, Maur. L., Pizzolatti, B. S., Mondardo, R. I., & Romero, L. G. (2013). La filtración inducida como una alternativa de tratamiento de agua para remover cianobacterias y cianotoxinas. *Interciencia*, 38(4), 253–259. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/339/33926985006.pdf>

Sharma, A. K., & Ueki, S. I. (2012). Composition operators from nevanlinna type spaces to bloch type spaces. *Banach Journal of Mathematical Analysis*, 6(1), 112–123. <https://doi.org/10.15352/bjma/1337014669>

Soliz, M. C. T. (2016). *Estudio de la aplicacion de procesos de oxidacion avanzada a aguas contaminadas.*

- Sommerfeld, M. R., & Dempster, T. A. (n.d.). Approaches to reduce taste and odor problems in drinking water, 1.
- Vielhaber, H., Nöcker, J., & Espenhahn, F. (n.d.). Bomba Dosificadora.
- Weber, W. J., & Borchardt, Ja. A. (1979). *Control de la calidad del agua : procesos fisicoquímicos*. Reverté.
- Yineth, A., & Ortiz, A. (2016). *Comparacion de la capacidad coagulante del llanten Plantago major Fente al coagulante convencional sulfato de aluminio en agua residual domestica sintetica*. Bogota. Retrieved from http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20446/41111143_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Zahiruddin Khan, Nida Maqbool, Ishtiaq A. Qazi, and M. A. A. (2015). Comparison of Adsorption Capability of Activated Carbon and Metal Doped TiO₂ for Geosmin and 2-MIB Removal from Water. *Journal of Nanomaterials*, 2015, 2. <https://doi.org/10.1155/2015/479103>
- Zerbatto, G. (2012). Coagulación optimizada en el tratamiento de potabilización de agua: Su efecto sobre la remoción de enteroparásitos., 122. Retrieved from <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/461/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>