

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA REDUCCIÓN DE
HIERRO Y MANGANESO EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO
DE SANTA ROSA DE OSOS - ANTIOQUIA**

DEIVIS RODOLFO POLANCO CABARCAS

JUAN CARLOS VELEZ

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL
CEAD MEDELLÍN**

SANTA ROSA DE OSOS - ANTIOQUIA

2018

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA REDUCCIÓN DE
HIERRO Y MANGANESO EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO
DE SANTA ROSA DE OSOS - ANTIOQUIA**

DEIVIS RODOLFO POLANCO CABARCAS

JUAN CARLOS VELEZ

Proyecto de grado para optar el título de Tecnología En Saneamiento Ambiental

Asesor

Diego Alejandro Pérez Giraldo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

CEAD - Medellín

2018

Contenido

Lista de Figuras	v
Lista de Gráficos	vi
Lista de Tablas	vii
Glosario	1
Resumen	4
Abstract	5
Introducción	6
1. Justificación.....	7
2. Objetivos	8
2.1 General	8
2.2 Específicos	8
3. Antecedentes	9
4. Marco Referencial	10
4.1 Marco Teórico.....	10
4.1.1 Hierro y Manganeso	10
4.2 Marco Demográfico	18
4.3 Marco Geográfico	20
5. Metodología	22
6. Esquema Temático	24
6.1 Tratamiento Específico De Eliminación Y Corrección De Aguas Naturales	24

6.1.1 Eliminación de hierro y manganeso.....	24
6.1.2 Estados naturales del hierro y del manganeso.....	25
6.1.3 Tratamiento por oxidación y filtración.	27
6.1.4 Desferrización simple sin decantación (aireación ~ filtración). Principio:.....	28
6.1.5 Precloración:	32
7. Análisis y Resultados	34
8. Conclusiones	35
Bibliografía	36

Lista de Figuras

Figura 1. Hierro Total	27
Figura 2. - Diagrama «Potencial-Ph» Del Hierro (Zonas De Existencia De Iones Y Precipitados) Según Hem, 1961	28

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Concentraciones De Hierro Total	9
--	---

Lista de Tablas

Tabla 1. Resultados de análisis según prueba de jarras.....	23
Tabla 2. Resultados de hierro y manganeso.....	23

Glosario

Aguas Brutas: Es el Agua aducida antes de ser sometida a tratamiento de potabilización.

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

Agua Potable O Agua Para Consumo Humano: Es aquella que, por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el presente decreto (1575 de 2007) y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.

Análisis Microbiológico Del Agua: Son los procedimientos del laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia, tipo y cantidad de microorganismos.

Análisis Básicos: Es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual de desinfectante usado, Coliformes totales y Escherichia coli.

Análisis Complementarios: Es el procedimiento que se efectúa para las determinaciones físicas, químicas y microbiológicas no contempladas en el análisis básico, que se enuncian en la presente resolución (2115 de 2007) y todas aquellas que se identifiquen en el mapa de riesgo.

Análisis Físico Y Químico Del Agua: Son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas.

Calidad Del Agua: Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.

Canaleta Parshall: Estructura hidráulica que sirve como aforador para conocer la medida exacta de flujo que está pasando por un canal abierto.

Dosis Óptima: Concentración que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico.

Desferrización: Este proceso se refiere a aguas brutas cuyo contenido máximo en hierro es de 5mg/l y que no presentan otras características desfavorables: manganeso, color, turbiedad, ácidos húmicos, tolerándose no obstante un pequeño contenido de amoníaco y una agresividad carbónica moderada.

Ensayo De Jarras: Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

Hierro Ferroso: Este tipo de hierro es regularmente llamado “hierro de agua transparente” ya que no es visible cuando se sirve el agua. Se encuentra en agua que no contiene oxígeno, tales como agua de pozos hondos y agua de debajo de la tierra.

Laboratorio De Análisis Del Agua Para Consumo Humano: Es el establecimiento público o privado, donde se realizan los procedimientos de análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano, el cual debe cumplir con los requisitos previstos en el presente decreto.

Planta De Tratamiento O De Potabilización: Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

Tratamiento: Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo con las normas establecidas en el presente decreto.

Valor Aceptable: Es el establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua para consumo humano no representa riesgos conocidos a la salud.

Resumen

En la fuente las cruces donde se abastece el municipio de Santa Rosa de Osos – Antioquia, se hallaron concentraciones mayores a 1.0 mg/l de hierro mediante análisis de laboratorio realizadas al agua cruda que son atribuidas fundamentalmente a la generación de residuos orgánicos por la actividad agroindustrial en la zona debido al arrastre por aguas de escorrentía, lo que está generando altos costos de mantenimiento por el deterioro del sistema de conducción del agua y riesgo a la salud de los usuarios del servicio.

Según El Decreto 1575 de 2007 y su Resolución 2115 de 2007, el hierro es un elemento que tiene consecuencias económicas e indirectas sobre la salud y el valor máximo aceptable es 0.30 mg/l. Por lo tanto.

Se requiere la aplicación de un sistema de tratamiento adecuado para reducir el hierro y manganeso, y de fácil operación. Los propósitos del estudio son: 1) Cuantificar los cambios en la concentración de hierro y manganeso en el agua de abastecimiento municipal en distintos puntos de la tubería de distribución; y 2) Evaluar la eficacia del cloro gaseoso en la reducción del hierro y manganeso contenido en el agua.

Abstract

At the source, the crosses where the municipality of Santa Rosa de Osos - Antioquia is supplied, concentrations greater than 1.0 mg / l of iron were found through laboratory analyzes performed on raw water that are attributed mainly to the generation of organic waste by activity. agroindustrial in the area due to the drag by runoff water, which is generating high maintenance costs due to the deterioration of the water conduction system and risk to the health of the users of the service.

According to Decree 1575 of 2007 and its Resolution 2115 of 2007, iron is an element that has economic and indirect consequences on health and the maximum acceptable value is 0.30 mg / l. Thus.

It requires the application of an adequate treatment system to reduce iron and manganese, and easy operation. The purposes of the study are: 1) To quantify the changes in the concentration of iron and manganese in municipal water supply at different points of the distribution pipeline; and 2) Evaluate the effectiveness of gaseous chlorine in the reduction of iron and manganese contained in water.

Introducción

Un 4.7% de la corteza terrestre está compuesta de hierro. La concentración de hierro en aguas superficiales raramente varía 1 mg/l, y puede tener su origen en minerales ferrosos de rocas y suelos. No obstante, la contaminación por residuos orgánicos, y ocasionalmente, las corrosiones de accesorios metálicos en las líneas de conducción de agua de abastecimiento municipal contribuyen de manera importante a la incorporación de este metal a los sistemas de distribución de agua. El hierro insoluble puede llegar a fuentes de abastecimiento de agua en forma soluble después de sufrir procesos biológicos en el suelo derivados de la acción bacteriana sobre la materia orgánica convirtiéndola finalmente en CO_2 y H_2O . Así, cuando el agua se pone en contacto con el aire, el hierro se oxida rápidamente formando flóculos de color marrón que precipitan posteriormente. Este proceso se observa en lixiviados de vertederos, en agua con abonos y en efluentes de fosas sépticas, así como de industrias lácteas, entre otros; de manera que la concentración de hierro puede ser un indicador de contaminación de aguas superficiales, que pueden llegar a presentar niveles muy superiores a 1.0 mg/l.

1. Justificación

La investigación y análisis realizados en éste proyecto están orientados a demostrar la importancia que tiene llevar a cabo la remoción de hierro y manganeso provenientes de la microcuenca las cruces, con el fin de escoger el método de reducción más apto, proceso que se aplicaría en el sistema de potabilización de agua del municipio de Santa Rosa de Osos departamento de Antioquia; para garantizar así agua potable, según el Decreto 1575 de 2007 y la resolución 2115 de 2007, no solo para usuarios residenciales, sino para los no residenciales, donde se resalta los servicios industriales de los productos derivados de la leche.

2. Objetivos

2.1 General

Evaluar el sistema de tratamiento para la reducción de hierro y manganeso en la planta de tratamiento de Santa Rosa de Osos - Antioquia, del agua proveniente de la microcuenca las cruces, según el Decreto 1575 de 2007 y su Resolución 2115 de 2007.

2.2 Específicos

Realizar ensayos de test de jarras para evaluar la reducción de hierro y manganeso y determinar el procedimiento más adecuado.

Determinar las concentraciones de hierro y manganeso presente en la fuente de abastecimiento y en la red de distribución de agua potable para consumo humano.

Estudiar la literatura referente a los diferentes métodos de remoción del hierro y el manganeso.

3. Antecedentes

Después de haber realizado un seguimiento durante los últimos meses, de los niveles de hierro ferroso en el agua cruda proveniente de la microcuenca Las Cruces que abastece el sistema de acueducto de Santa Rosa de Osos se encontraron niveles no permisibles. Lo que hace necesario buscar una alternativa que se ajuste al sistema actual y nos permita bajar los niveles de hierro encontrados.

El crecimiento de la agricultura en los límites de la microcuenca ha traído como consecuencia los arrastres por aguas de escorrentía de arcillas, materia orgánica y de productos químicos fertilizantes utilizados en los cultivos de papa, tomate de árbol y ganadería, los cuales han ocasionado una gran contaminación a la fuente alterando sus características fisicoquímicas y organolépticas aumentando las concentraciones de hierro ferroso y otras sustancias.

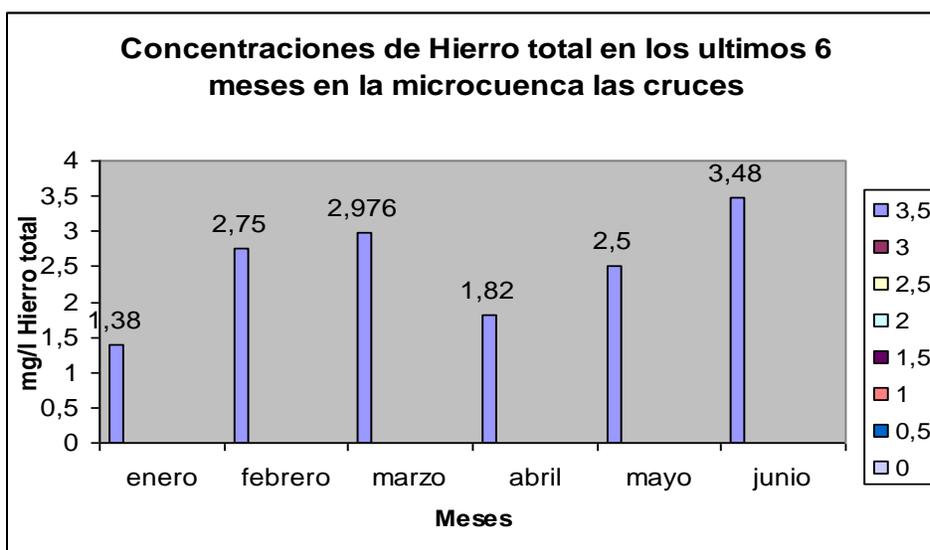


Gráfico 1 Concentraciones de Hierro Total

4. Marco Referencial

4.1 Marco Teórico

Un sistema de agua potable es una conducción de agua. Su función no es sólo transportarla, sino también tratarla para convertir el agua cruda en potable.

El agua en su estado natural casi nunca es apta para el consumo, pues puede contener materia orgánica, sustancias químicas y microbiológicas, por consiguiente, es preciso transformarlas a su condición de agua potable mediante un tratamiento adecuado que se cumple en las plantas potabilizadoras de los acueductos.

4.1.1 Hierro y Manganeso

El hierro es un elemento químico de número atómico 26 situado en el grupo 8, periodo 4 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Fe (del latín ferrum) y tiene una masa atómica de 55.6 uma. Este metal de transición es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5%. Igualmente es uno de los elementos más importantes del Universo, y el núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y níquel, generando al moverse un campo magnético.

Se encuentra en las aguas corrientes naturales en concentraciones que varían de 0.5 a 50 mg/l.

Esquemáticamente el hierro total puede encontrarse como:

- Hierro en suspensión (en estado férrico principalmente).
- Hierro disuelto: Hierro en estado férrico solubilizado.

El hierro es un elemento indeseable en el agua desde el punto de vista estético, como generalmente se encuentra en estado férrico; le confiere al agua un sabor metálico y color rojizo desagradable provocando manchas en la ropa y los artefactos sanitarios.

El manganeso es un elemento químico de número atómico 25 situado en el grupo 7 de la tabla periódica de los elementos y se simboliza como Mn. El manganeso es un metal de transición blanco grisáceo, parecido al hierro. Es un metal duro y muy frágil, refractario y fácilmente oxidable. El manganeso metal puede ser ferro magnético, pero sólo después de sufrir un tratamiento especial.

El manganeso llega al agua a través del contacto con el suelo o formaciones rocosas.

Importancia sanitaria: Genera manchas en la ropa y en los artefactos sanitarios, de color pardo oscuro si está junto con el hierro, es negro si el manganeso está solo en forma de óxido de manganeso. Al contacto con el oxígeno puede precipitar, formando turbidez desagradable de óxidos insolubles que generan depósitos coloreados en los sistemas de distribución; además su presencia puede causar sabor desagradable.

El hierro solo se mantiene en el agua en forma ferrosa en ausencia de oxígeno o si el pH es menor que 6.5, siempre y cuando exista un apreciable contenido de dióxido de carbono, en aguas superficiales el Hierro se presenta en forma de suspensión coloidal, la cual puede desestabilizarse por coagulación; cuando el pH no es muy alto, lo que sucede por lo general, es que el Hierro está parte en solución y parte en suspensión.

Los métodos disponibles para la remoción de hierro se clasifican en dos grandes grupos: tratamientos fisicoquímicos convencionales y tratamientos biológicos.

Los tratamientos fisicoquímicos el más utilizado es el de precipitación y filtración y en los procesos biológicos consisten en aprovechar la propiedad de ciertas bacterias para precipitar el hierro.

El hierro es un constituyente normal del organismo humano (forma parte de la hemoglobina). Por lo general sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales.

La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca, también puede formar depósitos en las redes de distribución y causar incrustaciones, así como alteraciones en turbiedad y en el color del agua.

Este metal en solución contribuye con el desarrollo de microorganismos que pueden formar depósitos molestos de óxido férrico en la red de distribución.

Por consideraciones de sabor y debido a que los tratamientos convencionales pueden remover el hierro en estado férrico, pero no soluble se recomienda que en las aguas destinadas a consumo humano no sobrepase 0.3 mg/l de hierro total.

Métodos de remoción de Hierro: *Aireación-Filtración* el proceso de aireación-filtración se recomienda para agua con alta concentración de Hierro (mayor de 5 mg/l) con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado en este proceso incluye comúnmente un aireador, un tanque de retención y filtros. El oxígeno de la atmósfera reacciona con las formas solubles de Hierro (Fe^{+2}) del agua cruda para producir óxidos relativamente insolubles (Fe^{+3}) de este elemento. La velocidad de reacción depende del pH de la solución, siendo más rápida a valores de pH altos.

Dependiendo de las características del agua cruda puede ser necesario un tiempo de reacción hasta de algunas horas después de la aireación. Si las concentraciones de Hierro total son altas, algunas veces se usan tanques de sedimentación con dispositivos de colección y remoción de lodos en vez de tanques de retención simples. Las principales desventajas del proceso de aireación-filtración son el costo inicial alto, y el requerimiento de un tiempo de retención.

Oxígeno: en contacto con el oxígeno disuelto en el agua, las sales ferrosas se convierten en férricas por oxidación y se precipitan en forma de hidróxido férrico. Esta precipitación es inmediata con un pH superior a 7,5. Con un pH mayor de 2,2, el hidróxido férrico es insoluble. El ión ferroso lo es con un pH mayor de 6. De

acuerdo con ello, las aguas subterráneas que, por estar fuera del contacto con el aire, se encuentran en un medio natural fuertemente reductor podrán tener en solución cantidades notables de hierro ferroso.

Métodos de aireación: la aireación se efectúa mediante caídas de agua en escaleras, cascadas, chorros y también aplicando el gas a la masa de agua mediante aspersión o burbujeo.

Se usa en la remoción de hierro, así como también de anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico y sustancias volátiles, para controlar la corrosión y olores. En la aeración, el hierro se puede oxidar.

Aireadores de cascada: el principio general consiste en esparcir el agua al máximo y dejarla correr sobre obstáculos para producir turbulencia. La estructura más simple es la de escaleras, las cuales esparcen el agua y permiten la caída de un nivel a otro.

Oxidación-Filtración: el proceso de oxidación-filtración consiste normalmente de un sistema de dosificación de productos químicos y filtros. Algunas veces se requiere un tanque de retención y un sistema de ajuste de pH con hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de calcio o cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o carbonato de sodio (Na_2CO_3). Este proceso opera a pH mayor o igual a 8,4, pero se tienen deficiencias en el proceso de filtración por la formación de precipitados coloidales que pasan a través del filtro.

Como agentes oxidantes pueden usarse:

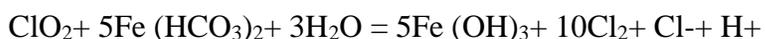
Cloro

El Cloro, oxidante poderoso, es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación y costo conveniente. La coagulación convencional mediante el sulfato de aluminio, especialmente cuando se practica la precloración, remueve el Hierro y se obtienen mejores resultados cuando se utiliza sulfato de Hierro II clorado o sal de hierro III con cal como coagulante para la coagulación en valores altos de pH.

Dióxido de Cloro

La acción oxidante del dióxido de Cloro a menudo mejora el gusto, olor y color del agua. El dióxido de Cloro reacciona en el agua con compuestos fenólicos, sustancias húmicas, sustancias orgánicas y iones metálicos.

Por ejemplo, el dióxido de Cloro oxida el Hierro, el cual se precipita fuera del agua como hidróxido de Hierro. Luego, el precipitado se remueve fácilmente mediante filtración.



El dióxido de Cloro reacciona con sustancias orgánicas, generalmente por oxidación, y forma pocos compuestos orgánicos clorados.

Los compuestos fenólicos presentes en el agua potable se deben principalmente a la contaminación proveniente de fuentes industriales. Estas moléculas, aun cuando están en concentraciones de microgramos por litro, dan un olor y sabor

desagradables. El dióxido de Cloro reacciona rápidamente con los fenoles. Esta reacción puede variar en diferentes sistemas y ocasionar:

- La formación de quinonas o cloroquinonas.
- La ruptura del anillo aromático y la formación de derivados alifáticos.

El dióxido de Cloro oxida al ácido húmico, un precursor de los THM, con lo que minimiza la formación de compuestos halogenados en el tratamiento secundario.

Ozono: por lo general la ozonización suele utilizarse cuando se requiere emplear su propiedad más importante: su elevado potencial oxidante, lo cual permite eliminar los compuestos orgánicos que dan un color, sabor y/u olor desagradable al agua como son la presencia de hierro en el agua y al mismo tiempo inactivar a los microorganismos patógenos del agua.

A pesar de sus excelentes propiedades, su uso se ha restringido a ciudades grandes con fuentes de agua altamente contaminadas, y se ha empleado muy poco en comunidades pequeñas y de porte medio. El inconveniente principal para las comunidades pequeñas ha sido el costo inicial y el de operación, así como las dificultades operacionales y de mantenimiento. Sin embargo, en circunstancias, cuando todas las fuentes de agua accesibles están muy contaminadas (biológica y/o químicamente), puede ser el método más recomendable para la oxidación de las sustancias

orgánicas y desinfección primaria, siempre que cuente con la adición de un sistema de cloración secundario para mantener un efecto residual durante su distribución.

Además, como un proceso alternativo de remoción tenemos el ablandamiento, que es un proceso que se aplica para eliminar la dureza del agua, donde la remoción del Fe es un efecto secundario. Dicho proceso consiste en elevar el pH del agua para precipitar al Calcio y Magnesio, originando que se oxide el Hierro y coprecipite con los carbonatos (a valores de pH mayores de 11). Este método no es muy eficiente.

Efectos del Hierro sobre la salud: el Hierro puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. El cuerpo humano absorbe Hierro de animales más rápido que el Hierro de las plantas. El Hierro es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos.

Puede provocar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de Hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna, llamada siderosis, que es observable como un cambio en los rayos X. Ningún daño físico de la función pulmonar se ha asociado con la siderosis. La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de Hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares. LD50 (oral, rata) =30 gm/kg. (LD50: Dosis Letal 50. Dosis individual de una sustancia que provoca la muerte del 50% de la población animal debido a la exposición a la sustancia por cualquier vía distinta a la inhalación. Normalmente expresada como miligramos o gramos de material por kilogramo de peso del animal.)

El hierro es uno de los metales más abundantes en la Tierra. Representa alrededor del 5 % de la corteza terrestre y es el segundo metal en abundancia luego del aluminio y el 4to en abundancia por detrás del oxígeno, silicón y aluminio. Es el componente principal del núcleo terrestre (80%). Es un metal esencial para la mayoría de las diferentes formas vivientes y para la fisiología humana normal. La cantidad promedio de Hierro en nuestro organismo es de alrededor de 4,5 gr. lo que representa el 0.005%.

El Hierro es un componente fundamental en muchas proteínas y enzimas que nos mantienen en un buen estado de salud. Alrededor de dos tercios de hierro de nuestro organismo se encuentra en la hemoglobina, proteína de la sangre que lleva el oxígeno a los tejidos y le da la coloración característica. El resto se encuentra en pequeñas cantidades en la mioglobina, proteína que suministra oxígeno al músculo, y en enzimas que participan de reacciones bioquímicas (oxidación intracelular).

Efectos ambientales del Hierro: el Hierro (III) -O-arsenito, pentahidratado puede ser peligroso para el medio ambiente; se debe prestar especial atención a las plantas, el aire y el agua. Se recomienda encarecidamente que no se permita que el producto entre en el medio ambiente porque persiste en éste.

4.2 Marco Demográfico

La altiplanicie de Santa Rosa de Osos corresponde a una meseta irregular, ubicada en uno de los ramales de la cordillera central, al Noreste del Departamento de Antioquia y a 2581 msnm. El Municipio tiene una extensión de 812 kms²; está ubicado en una planicie a 71.5 Km. de la ciudad de Medellín y sus límites son: al norte con San Andrés de Cuerquia, Yarumal y

Angostura; al este con Carolina, Gómez Plata y Yolombó; al sur con Don Matías y al Oeste con Entreríos, Belmira y San José de la Montaña. Cuenta con territorio en la zona del altiplano o Valle de los Osos y también en la zona de vertiente hacia el Río Porce. Posee piso térmico frío en una extensión de 732.42 Km², es decir el 90.2 % del territorio Municipal y piso térmico medio con un área de 79.58 Km², o sea, el 9.8% del área municipal, estos dos pisos térmicos corresponden a bosque muy húmedo montano bajo (altiplano) y bosque muy húmedo premontano (vertiente); respectivamente. Cuenta con una precipitación media anual de 2238.9 mm. Y una humedad relativa del 79%.

Localizada en la parte centro oriental del Municipio. Cuenta con un sin número de edificaciones coloniales y religiosas consideradas como patrimonio artístico y cultural. Hacen parte de su territorio las Veredas Malambo, El Vergel, El Hato Quitasol, Playa Larga, Santa Bárbara, La Mina, El Roble, Santa Ana, La Planta, Cucurucho, Mina Vieja, El Sabanazo, Oro Bajo, Santa Inés, Río Grande, La Muñoz, Vallecitos, El Chaquiro, Quebrada Del Medio, Río Negrito, San Ramón, Caruquia, La Francesa, Guanacas, Guanaquitas, Palestina, El Guayabo, El Chagualo, Yarumalito, Santa Gertrudis, San Felipe y San José De La Ahumada; y Los Parajes La San Pedro, El Retiro, El Turco, San Juan, El Kilómetro, La Vega, La Palma, El Tambo, Monteguerra, la Piedra, Las Cruces y Popales.

Su división territorial es de 4 corregimientos, distribuidos así

Hoyo Rico: Localizado en la parte central del Municipio a 0.5 km de la Troncal de Occidente y a una distancia de 6 km de la cabecera municipal, posee vías de acceso amplias y con buen mantenimiento, requiere de mejoras en el suministro de acueducto y alcantarillado. Está

compuesto por las veredas Las Animas, La Cabaña, San Francisco, La Cejita, Rio Grande, Pontezuela, Verbenal y Los Salados.

Aragón: Al norte del Municipio y a una distancia de la cabecera del municipio de 32 km, de las cuales 14 km. Son pavimentados y el resto se encuentra en afirmado de buena calidad con pocos centros críticos, lo que permite una comunicación adecuada con la cabecera. Lo integran las veredas El Quince, La Ruiz, El Chamizo, El Topacio, El Botón, San Bernardo, Quebradona y La Samaria.

San Pablo: Situado al Sureste, su distancia de la cabecera municipal es de 38 km, el 98 por ciento de la carretera se encuentra en afirmado de regulares características, lo que dificulta la comunicación con la cabecera. Es un corregimiento que se encuentra en una zona de alto riesgo por movimientos en masa por lo cual se limitará la expansión de vivienda en este sitio. Está integrado por las veredas El Barro, San Antonio, Dos Quebradas, El Caney, La Lomita, El Ahitón, La Pava-Salamina, Chilimaco, Barrancas, El Llano, El Congo y Montefrio.

San Isidro: Localizado al sureste, con una distancia de la cabecera municipal de 24 Km. de los cuales están afirmados 18 km en regulares condiciones. El corregimiento adolece de una buena disposición de residuos sólidos. Está integrado por las veredas Montañita, Mortiñal, El Sauce, San Isidro Parte Baja, Aguaditas y Santa Ana.

4.3 Marco Geográfico

Geográficamente está ubicada en uno de los ramales de la cordillera central, al Noreste del Departamento de Antioquia y a 2581 msnm. El Municipio tiene una extensión de 812 km²; está ubicado en una planicie a 71.5 km de la ciudad de Medellín y sus límites son: al norte con San

Andrés de Cuerquia, Yarumal y Angostura; al este con Carolina, Gómez Plata y Yolombó ; al sur con Don Matías y al Oeste con Entreríos, Belmira y San José de la Montaña.

El municipio de Santa Rosa de Osos cuenta con un sistema hídrico bastante complejo, resaltando el hecho de que la mayor parte su territorio está bañado por las aguas de los ríos Grande y Guadalupe, otras zonas más pequeñas drenan a las subcuencas de los ríos Concepción, Tenche, Porce y San Andrés.

En cuanto a bosques, aún persisten áreas de bosque intervenido en la Reserva Natural Ecológica Protectora del Alto San Isidro, en la Reserva Natural Ecológica Protectora La Sierra y en la Reserva Natural Ecológica Protectora del Cerro San José, ésta última declarada por el Municipio como Área de Manejo Especial. En estas zonas se conserva una buena cantidad de fauna nativa que se encuentra protegida por normatividad ambiental.

5. Metodología

Inicialmente se realizaron muestreos en la fuente las cruces de donde se abastece el sistema de acueducto de Santa Rosa de Osos, para hacer los análisis pertinentes relacionados con la presencia de hierro ferroso en agua cruda.

El referente, en cuanto a normas técnicas de calidad de agua serán las disposiciones establecidas en la resolución 2115 de 2007, las cuales son de orden público y de obligatorio cumplimiento y con ellas se regulan las actividades relacionadas con la calidad del agua potable para consumo humano.

Se realizaron pruebas de jarras con diferentes concentraciones de Cl_2 gaseoso obteniendo como resultado una oxidación del 86%. Procedimiento llevado a cabo en la prueba de jarras:

Se tomaron seis (6) vasos de precipitado y se llevaron a un litro (1 L) con agua de la microcuenca, tomada en la entrada a la planta y se analizó inmediatamente, a los cuales se les dosificaron diferentes concentraciones de una solución clorada de 352 ppm de cloro gaseoso la cual queda al 0.035%, se aumentó pH de coagulación con silicato de sodio al 1% desde pH 6.5 hasta pH 8.5 y se utilizó como coagulante policloruro de aluminio ($\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}_1 \cdot 23 \text{H}_2\text{O}$) preparando una solución al 1%.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1

Resultados de análisis según prueba de jarras.

Dosis Optima CL ₂	1.0 ppm	1.2 ppm	1.4 ppm	1.6 ppm	1.8 ppm	2.0 ppm
Dosis Coagulante	2 ppm	4 ppm	6 ppm	8 ppm	10 ppm	12 ppm
pH	6.5	6.8	7.0	7.5	8.0	8.5
% Remoción Hierro	0.26 ppm	0.26 ppm	0.16 ppm	0.08 ppm	0.32 ppm	0.36 ppm

Datos obtenidos en el laboratorio (Fuente: Elaboración propia)

Según lo obtenido en la prueba de jarras nos da como resultado que la jarra que presentó mejor remoción de hierro fue la jarra No 4 con una concentración de cloro gaseoso de 1.6 ppm, pH 7.5 y una dosis óptima de policloruro de aluminio de 8 ppm, Obteniendo una remoción de Hierro total de 0.08 mg/L, lo que nos garantiza una efectividad en la reducción de hierro y manganeso del 86%.

El proceso que utilizaremos será el de precloración con Cloro gaseoso para oxidar estos dos metales presentes en el agua, complementándolo con el proceso de coagulación floculación, sedimentación y filtración.

Tabla 2

Resultados de Hierro y Manganeso

Parámetro	Método	Resultado
Manganeso (mg/L Mn ²⁺)	Kit Spectroquant	0.084
Hierro Ferroso (mg/L Fe ²⁺)	Fenantrolina	0.890

Datos obtenidos de laboratorio de análisis (Fuente: Elaboración propia)

6. Esquema Temático

6.1 Tratamiento Específico De Eliminación Y Corrección De Aguas Naturales

6.1.1 Eliminación de hierro y manganeso. El hierro y el manganeso deben eliminarse de las aguas de consumo, por diversas razones:

Causas de corrosión o de obstrucción de las tuberías (directamente, por precipitación y formación de depósitos, o indirectamente, favoreciendo el desarrollo de bacterias específicas.

Aspecto del agua.

Sabor metálico.

Inconvenientes en el lavado de la ropa.

Igualmente, son indeseables estos elementos en numerosas aguas de fabricación, en especial en industrias lecheras, papeleras o textiles.

En las aguas de superficie, el hierro y el manganeso se encuentran generalmente en estado oxidado y precipitado, por lo que se eliminan por tratamientos clásicos de clarificación.

En aguas profundas desprovistas de oxígeno, se presentan en forma reducida (estado de oxidación +2) y disuelta, en cuyo caso deben someterse a los tratamientos específicos que se examinan seguidamente.

6.1.2 Estados naturales del hierro y del manganeso. El hierro férrico no complejo se encuentra en estado precipitado; las formas disueltas del Hierro, que conducen a los tratamientos, podrán ser los siguientes:

Hierro ferroso (bivalente), ya sea en forma Fe^{2+} , o en forma de iones hidratados: FeOH^+ a $\text{Fe}(\text{OH})_3^-$. En aguas cuyo TAC es notable, el ion Fe^{2+} se encontrará sobre todo en estado de hidrógeno carbonato (o bicarbonato) y su solubilidad, deducida de las leyes que rigen los equilibrios químicos, seguirá la relación:

$$[\text{Fe}^{2+}] = \frac{K'_{\text{FeCO}_3}}{K'_2} \frac{[\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-]} = \frac{[\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

Y con $[\text{Fe}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] = K'_{\text{FeCO}_3}$

En presencia de H_2S , la solubilidad es menor (debido al bajo valor del producto de solubilidad del sulfuro ferroso que, por ello, precipita).

Complejos. Formados con Fe^{2+} o Fe^{3+} :

- minerales: silicatos, fosfatos o polifosfatos. Sulfatos, cianuros, etc.;
- orgánicos: podrá tratarse, en realidad, de fenómenos de formación de complejos propiamente dicha, de quelación o de peptización, en especial con los ácidos húmicos, fúlvicos, tánicos, etc.

Para definir un tratamiento de desferrización, no basta conocer el contenido total de hierro, sino que deben conocerse igualmente las diferentes formas bajo las cuales puede presentarse este elemento; los diferentes estados del hierro en el agua pueden resumirse de la forma siguiente, según la figura 1.

Lo mismo que el hierro, el Manganeseo puede presentarse bajo diferentes formas: bicarbonatos, complejos minerales y orgánicos, etc. Es preciso efectuar las mismas investigaciones analíticas que para el hierro.

La forma del hierro en el agua depende, ante todo, del pH y del potencial de oxidación-reducción; en la figura 1, se ve que el hierro puede pasar de una forma disuelta (por ejemplo, Fe^{2+} o FeOH^+) a una forma precipitada (FeCO_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$ o $\text{Fe}(\text{OH})_3$, al aumentarse el potencial (oxidación), el pH, o ambos. El manganeseo sigue una ley análoga. Sobre estos principios se basan, en general, los diferentes tratamientos que se enumeran seguidamente.

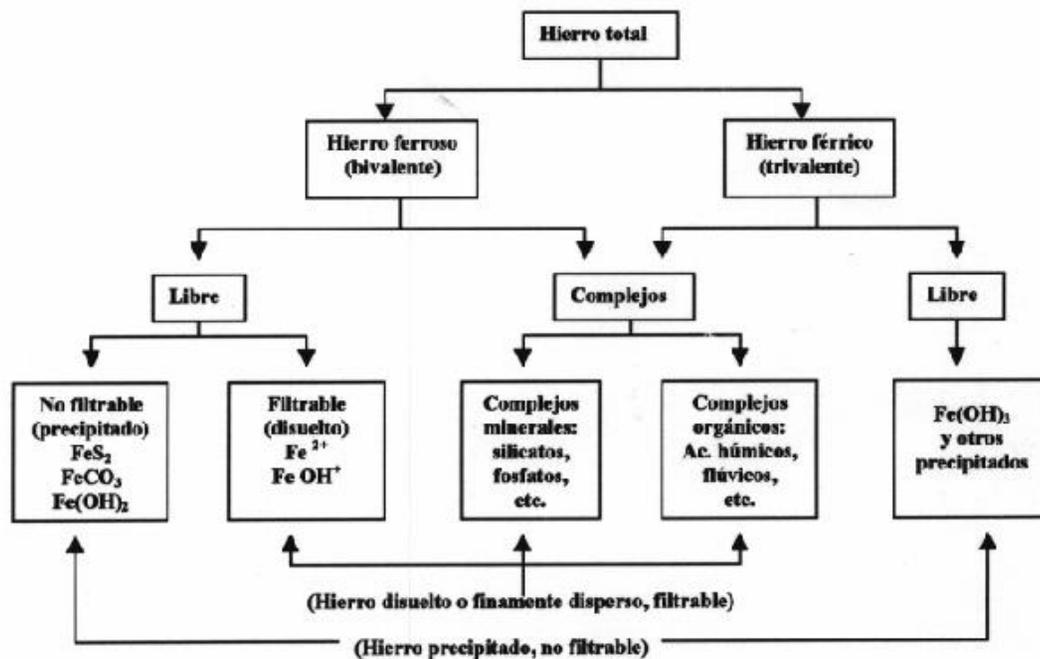


Figura 1: Hierro total

6.1.3 Tratamiento por oxidación y filtración. Esta técnica es la que se utiliza con mayor frecuencia, especialmente para aguas de pozo. Eventualmente puede añadirse un cierto número de tratamientos suplementarios, tales como: corrección de pH, oxidación química, decantación, etc. Siempre es necesario airear un agua de origen profundo, desprovista de oxígeno, aun cuando se utilice igualmente un oxidante químico.

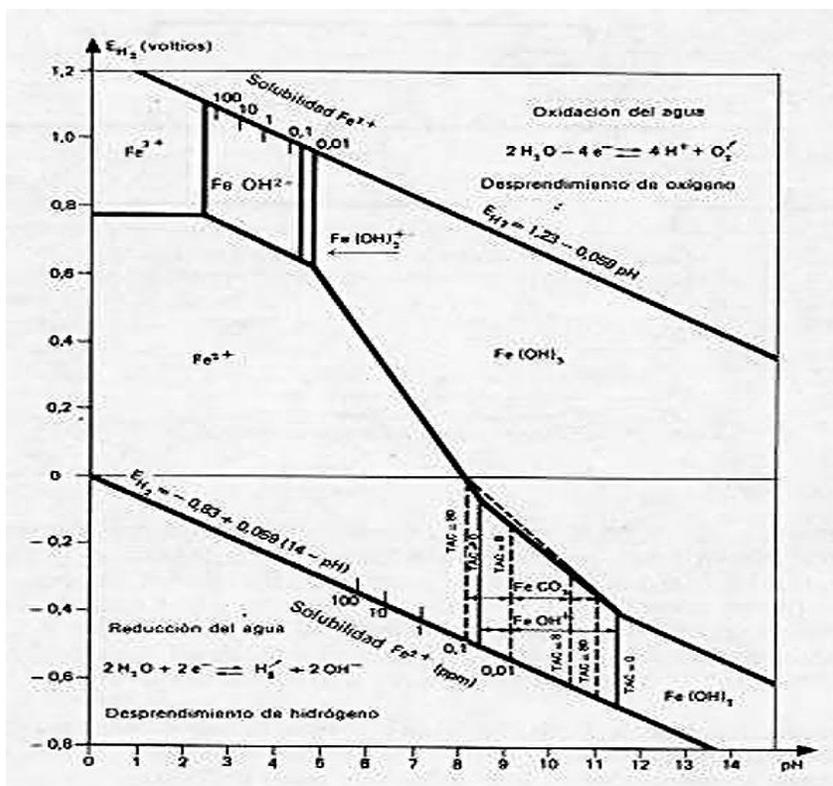


Figura 2. - Diagrama «potencial-pH» del Hierro (Zonas de existencia de iones y precipitados) según HEM, 1961

A veces resulta conveniente realizar una precloración, que acelera la oxidación del hierro y permite la eliminación química del amoníaco. Sin embargo, también puede ser contraproducente, si no puede alcanzarse el punto crítico; en efecto, se suprimen entonces ciertas acciones biológicas de desferrización y nitrificación, sin que pueda ejercerse un efecto oxidante suficiente. Por ello, toda precloración debe supeditarse a unos ensayos previos.

Se examinan seguidamente los modelos de aplicación más frecuentes.

6.1.4 Desferrización simple sin decantación (aireación ~ filtración). Principio: Este proceso se refiere a aguas brutas cuyo contenido máximo en hierro es

de 5mg/l y que no presentan otras características desfavorables: Manganeseo, color, turbiedad, ácidos húmicos, tolerándose no obstante un pequeño contenido de amoniaco y una agresividad carbónica moderada. En algunos casos, podrán tratarse de igual forma aguas cuyo contenido en hierro llegue hasta 10 mg/l.

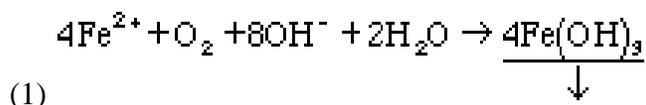
La primera parte del tratamiento de desferrización se basa en una oxidación del hierro bivalente por el oxígeno del aire. Esta aeración puede hacerse:

a la presión atmosférica, en instalaciones por gravedad;

a presión. por inyección de aire comprimido en unas torres de oxidación rellenas de materiales de contacto (normalmente, lava volcánica).

La ventaja de las instalaciones del segundo tipo consiste en la posibilidad de hacer que trabajen a la presión de impulsión en la red, sin bombeo de recogida, Por el contrario, la aeración a la presión atmosférica permite generalmente la evacuación, de forma más económica, del gas carbónico agresivo, que exige un tratamiento costoso de neutralización cuando su contenido es elevado.

La rapidez de la oxidación del hierro bivalente por el oxígeno depende de varios factores, en especial: temperatura, pH, contenidos de hierro y de oxígeno disuelto. La ecuación de la reacción puede escribirse:



y su cinética se expresa por la relación de Stumm & Lee:

$$-d(\text{Fe}^{2+}) = k \cdot (\text{Fe}^{2+}) \cdot P_{\text{O}_2} \cdot (\text{OH}^-)$$

Siendo la constante k función de la temperatura y del poder amortiguador del agua bruta.

La reacción (1) muestra que se necesitan 0,14 mg de oxígeno para oxidar 1mg de hierro. La ecuación (2) muestra que la reacción será tanto más rápida cuanto más elevado sea el pH y cuanto más próxima esté el agua a la saturación de oxígeno.

El tiempo de oxidación determinado en laboratorio con un agua sintética puede verse considerablemente disminuido en la mayoría de las instalaciones, gracias al efecto catalítico de los sedimentos anteriores; de ciertos aniones presentes en el agua, principalmente silicatos y fosfatos y eventualmente, de ciertos catalizadores metálicos introducidos en el agua durante el tratamiento: trazas de sulfato de cobre pueden ejercer gran influencia en la oxidación del hierro y del manganeso por el oxígeno o los oxidantes químicos.

Lo mismo sucede con ciertos fenómenos biológicos, que se examinan más adelante. Por el contrario, la presencia de ácidos húmicos retrasa la oxidación del hierro.

Según las técnicas utilizadas, el precipitado formado puede contener mayor o menor proporción de carbonato ferroso, más cristalino que el hidróxido férrico; esta particularidad explica las notables diferencias observadas en el funcionamiento de algunas instalaciones: la talla

efectiva del material filtrante puede estar comprendida entre 0,5 y 1,7 mm, y la velocidad entre 5 y $20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, si no es más.

También, por las mismas razones, es muy variable el peso de hierro retenido por unidad de superficie filtrante: 200 a 2 500 g de Fe por m^2 de arena, según los casos. De forma general los filtros bicapa (antracita + arena) se adaptan muy bien a la desferrización.

Algunas sustancias, como ácidos húmicos, silicatos, fosfatos o polifosfatos, desempeñan un papel inhibitor en la precipitación y la filtración del hidrato férrico.

Pueden combatirse estos efectos por medio de tratamientos complementarios: oxidación (permanganato potásico, ozono), coagulación (sulfato de alúmina) o floculación (alginato), según el caso.

Aplicación: el tipo más corriente es el de la instalación a presión

Que consta de:

Una torre de oxidación, que comprende un lecho de lava volcánica muy pura y porosa, que divide el agua y le asegura, por contacto con el aire, una gran superficie de oxidación.

Un filtro lavable por retorno de agua e inyección de aire. Puede combinarse este filtro con la torre de oxidación.

6.1.5 Precloración: Es un proceso de acondicionamiento del agua para que posteriores etapas sean más eficaces y eficientes. Precloración consiste en añadir el agente generador de formas activas de cloro a la entrada de la planta.

La cual favorece a la coagulación y elimina sustancias inorgánicas reductoras, elimina algas en las instalaciones elimina microorganismos formados de limo en los filtros de arena, uno de los inconvenientes es que la demanda de cloro del agua es mayor antes de realizar otros tratamientos como coagulación – floculación, ablandamiento filtración etc.

Efectos antes de la sedimentación, actúa por oxidación. Sobre: materia inorgánica iones ferrosos, el amoniacó para dar cloraminas o destruirlas al pasar el punto crítico, nititos que se convierten en nitratos, actúa sobre: materia orgánica oxidándola, microorganismos (bacterias, algas, plancton) interfiriendo sus procesos bioquímicos y biofísicos.

El efecto de la precloración en los procesos de Tratamiento de Agua para el Consumo Humano, orientado a la eliminación de organismos microscópicos indeseables y dañinos para la salud, es perfecta y experimentalmente previsible. Esto es, serán destruidos la mayoría de estos microorganismos, con el simple hecho de aplicar una dosis adecuada de un desinfectante común, en nuestro caso, cloro gas o hipoclorito de sodio, después de un tiempo de contacto determinado y la obtención de un residual de cloro libre ajustado a ciertas normas. Sin embargo, el efecto de la precloración, orientado ya a la operación de las unidades de procesos en una planta de filtración rápida, específicamente en los filtros, no resulta tan claramente previsible o por lo menos poco se ha escrito sobre ello.

Destaca principalmente, el aumento de la “Carrera de Filtración” obtenido en la planta modular del sistema, con capacidad de diseño para tratar 84 l/.

7. Análisis y Resultados

Los análisis están fundamentados en pruebas efectuadas por otros investigadores para la reducción de estos metales presentes en el agua cruda como lo son hierro y manganeso, los cuales son principalmente por las aguas de escorrentías y arcillas.

También profundizamos en el tema haciendo análisis fisicoquímicos en el laboratorio de la planta potabilizadora, donde obtuvimos resultados exactos por lo cual decidimos utilizar el método de precloración con cloro gaseoso, para implementarlo en la planta y así eliminar el Hierro presentes en el agua cruda, para cumplir así con los parámetros admisibles según Decreto 1575 de 2007 y su Resolución 2115 de 2007.

8. Conclusiones

Una vez realizados los análisis se llega a las siguientes conclusiones; el método para reducción de hierro ferroso y manganeso es precloración con cloro gaseoso ha acompañado por los demás procesos unitarios como lo son coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

El proceso de filtración permite remover el hierro en un 94% respectivamente. El sistema de filtración de la planta está comprendido por 5 unidades de filtración operando en paralelo, adecuados a la capacidad total de tratamiento de la planta.

Con los resultados obtenidos en todas las pruebas se comprueba la eficiencia para la remoción de Hierro, donde las concentraciones obtenidas en el agua tratada cumplen con los parámetros máximos permisibles que establece el Decreto 1575 de 2007 y su Resolución 2115 de 2007.

Los retrolavados que se aplican a los filtros, tienen la finalidad de evitar la colmatación del medio al desprender una parte importante de los óxidos formados en la superficie de la antracita, y su frecuencia va a depender de la concentración del Hierro en el agua cruda.

Bibliografía

BAYER CANO, Sandra María. Manual de funcionamiento planta de tratamiento de agua potable: Municipio de Santa Rosa de Osos. El autor: s.n., 2006. p. 5, 27 – 28.

COLOMBIA. MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL Y MEDIO AMBIENTE
DESARROLLO Y VIVIENDA TERRITORIAL. Normas técnicas de calidad de agua, Bogotá
D.C: Ministerio, 2007. 23 p. (Resolución 2115 de 2007)

PÉREZ PARRA, Jorge Arturo. Manual de potabilización del agua. 3 ed. Medellín: El Autor,
2001. p. 15, 358 – 370.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acuiquímica. Santafé de Bogotá: Escuela Colombiana de
Ingeniería, 1996, p. 96 – 99.

SAWYER, Clair N.; McCARTY, Perry L.; PARKIN, Gene F. Química para ingeniería
ambiental. 4 ed. Bogotá: Mcgraw Hill, 2000. p. 624 – 629.

Remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua subterránea para abastecimiento público.
Disponible en: <http://www.zeocat.es/docs/aguafemnl.pdf>

Reducción de hierro, manganeso. Disponible en: <http://www.oxidine.net/soluciones-gestion-eficiente/reduccion-de-hierro-manganeso/>

Problemas del agua potable: El hierro y manganeso. Disponible en:

<https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/15451sironandman.pdf>

Remoción de hierro (Fe) y manganeso (Mn). Disponible en:

<http://www.ingenieroambiental.com/4014/remo.pdf>

Remoción de hierro y manganeso de un efluente contaminado utilizando una resina quelante: Disponible en:

<http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/viewFile/RICA.2017.33.esp02.05/46687>

Implementación de un sistema de potabilización en línea para eliminación de hierro y manganeso de agua proveniente de pozo profundo: Disponible en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/ninov.pdf>

Tratamiento alternativo para la remoción de hierro en agua de abastecimiento municipal:

Disponible en: <http://www.salud->

[publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510157146b5f2_Hig.Sanid.Ambient.4.98-105\(2004\).pdf](http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510157146b5f2_Hig.Sanid.Ambient.4.98-105(2004).pdf)

Calidad del agua: Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/70/3/45_-_2_Capi_1.pdf

Estudio piloto para remoción de hierro y manganeso en las fuentes de abastecimiento de México: Disponible en: revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/articleCms/download/820/822

Reducción de manganeso en la planta de tratamiento de agua potable Tocancipá - Cundinamarca: Disponible en:
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/744/1/Barrera%20Mart%C3%ADnez%20%20C%20Diana%20Isolina%20-%202017.pdf>

Remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas mediante doble filtración con flujo a presión. Caso el Hormiguero - Cali: Disponible en:
<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7663/1/7779-0393976.pdf>

Lineamientos para la optimación del diseño, construcción y operación de la tecnología para la remoción de hierro y manganeso en agua potable: Disponible en:
<http://files.conagua.gob.mx/transparencia/6%20SGAPDyS%20Pot%20y%20Trat%202013.pdf>

Eliminación de Fe^{2+} y Mn^{2+} a través de lecho filtrante: Disponible en:
http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Eliminacion_Fe2.pdf

Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, evaluación rápida de plantas potabilizadoras: disponible en: <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro45.pdf>

Retiro de hierro y manganeso: Disponible en:

http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2010_tb/spanish/iron_manganese_DWFSO

[M148.pdf](#)