

## **RESUMEN**

El siguiente trabajo se refiere a la presencia del hierro y manganeso en el agua y a los métodos de remoción más utilizados en la actualidad tanto a nivel nacional como internacional. Este trabajo comienza con la definición de los compuestos antes mencionados al igual que información general que nos permitirá conocer la importancia que tienen mismos en el uso diario, también se indica los medios por los cuales estos compuestos se incorporan al agua tanto en las fuentes superficiales como subterráneas, al mismo tiempo que se indican los problemas causados por el consumo excesivo de estos compuestos, los daños causados en las industrias y otros generados por la presencia de los mismos en el sistema de conducción de agua, por otro lado, se introduce a las reacciones químicas que se producen por la presencia del hierro y manganeso en el agua, se incluye también en los métodos de remoción más utilizados en la actualidad, al igual que los utilizados en nuestro país, finalmente se nombran algunas normas de varios países y organismos de salud referentes a las concentraciones permitidas de estos compuestos en el agua.

## **PALABRAS CLAVES.**

Hierro, Manganeso, Información, Origen, Problemas, Minerales, Química, Remoción, Ecuador, Normas.

# INDICE

---

INTRODUCCIÓN.....	3
PROBLEMÁTICA.....	5
OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS. ....	6
OBJETIVO GENERAL. ....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	6
CAPÍTULO I. GENERALIDADES. ....	7
1.1. DEFINICIONES.....	7
1.1.1. HIERRO.....	7
1.1.2. MANGANESO. ....	8
1.2. INFORMACIÓN GENERAL. ....	9
CAPÍTULO II. ORIGEN DEL HIERRO Y EL MANGANESO EN EL AGUA. ....	12
CAPITULO III. PROBLEMAS CAUSADOS POR LA PRESENCIA DEL HIERRO Y EL MANGANESO EN EL AGUA. ....	15
3.1. PROBLEMAS CAUSADOS POR LA PRESENCIA DEL HIERRO EN EL AGUA.....	16
3.2. PROBLEMAS CAUSADOS POR LA PRESENCIA DEL MANGANESO EN EL AGUA. ....	17
CAPÍTULO IV. MINERALES QUE CONTIENEN HIERRO Y MANGANESO, QUÍMICA DE ESTOS COMPUESTOS. ....	19
4.1. MINERALES QUE CONTIENEN HIERRO Y MANGANESO.....	19
4.1.1. MINERALES QUE CONTIENEN HIERRO.....	19
4.1.2. MINERALES QUE CONTIENEN MANGANESO. ....	19
4.2. QUÍMICA DEL HIERRO Y EL MANGANESO.....	20
4.2.1. QUÍMICA DEL HIERRO. ....	20

4.2.2. QUÍMICA DEL MANGANESO. ....	22
CAPÍTULO V. MÉTODOS DE REMOCIÓN DEL HIERRO Y MANGANESO. ....	24
5.1. MÉTODOS DE REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO. ....	24
5.1.1. TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO PARA LA REMOCIÓN DEL HIERRO. ....	24
5.1.2. TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO PARA LA REMOCIÓN DEL MANGANESO. ....	26
5.1.3. DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO CUANDO ESTOS SE ENCUENTREN EN SUS DIFERENTES ESTADOS. ....	27
5.2. PRESENCIA DE HIERRO Y MANGANESO EN EL ECUADOR, MÉTODOS DE REMOCIÓN MÁS COMUNES UTILIZADOS EN NUESTRA ZONA. ....	32
5.2.1. PRESENCIA DE HIERRO Y MANGANESO EN EL ECUADOR. ....	32
5.2.2. MÉTODOS DE REMOCIÓN MÁS COMUNES UTILIZADOS EN NUESTRA ZONA. ....	33
CAPITULO VI. NORMAS DE CALIDAD REFERENTES A LA PRESENCIA DE HIERRO Y MANGANESO PARA USO HUMANO. ....	35
6.1. NORMAS DE CALIDAD REFERENTES A LA PRESENCIA DE HIERRO PARA USO HUMANO. ....	35
6.2. NORMAS DE CALIDAD REFERENTES A LA PRESENCIA DE MANGANESO PARA USO HUMANO. ....	36
CONCLUSIONES. ....	38
RECOMENDACIONES. ....	39
BIBLIOGRAFÍA. ....	40
ANEXOS. ....	41
ANEXO 1. FOTOGRAFÍAS DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR LA PRESENCIA DE HIERRO Y MANGANESO. ....	41
ANEXO2. FOTOGRAFÍAS A LA PLANTA DE TRAMIENTO DE AGUA DE LA COMUNIDAD DE CHICAHUIÑA UBICADA EN EL CANTÓN GUALACEO. ....	42
ANEXO3. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1 108:2006. ....	43



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

# **MONOGRAFÍA PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

**TEMA:**

QUÍMICA DEL HIERRO Y MANGANESO EN EL AGUA, MÉTODOS DE REMOCIÓN

**AUTOR:**

CHRISTIAN EDUARDO VALENCIA ESPINOZA

**DIRECTORA:**

DRA. GUILLERMINA PAUTA

**CUENCA - ECUADOR**

## **INTRODUCCIÓN.**

El hierro (Fe) en el agua natural proviene de la disolución de las rocas y minerales donde se encuentra contenido. También puede incrementarse artificialmente, porque es muy utilizado en las industrias y existe la posibilidad de vertidos industriales ferrosos en el agua.

En aguas de superficie el hierro se encuentra en niveles muy bajos, ya que en estas aguas el ión hierro es prácticamente insoluble. Por otro lado el hierro divalente no se encuentra normalmente en este tipo de aguas debido a que se encuentra en condiciones anaeróbicas y la presencia de oxígeno provoca su rápida oxidación.

Las aguas subterráneas tienen mayores concentraciones de hierro ya que la materia orgánica del suelo absorbe el oxígeno disuelto del agua, normalmente las aguas con gran carga orgánica suelen tener más Fe produciéndose así asociaciones y complejos entre ellos cuya eliminación y potabilización puede ser problemática.

Existe la evidencia de que el manganeso (Mn) se encuentra en las aguas superficiales tanto en suspensión en su forma tetravalente, como en la forma trivalente en un complejo soluble relativamente estable. Aunque raramente sobrepasa 1mg/l, el Mn produce manchas tenaces en la ropa lavada, y en accesorios de instalaciones sanitarias. Los bajos límites de Mn impuestos para un agua aceptable derivan de lo anterior más que de consideraciones toxicológicas.

El comportamiento del Mn es similar al del Fe, pues se trata de dos metales que frecuentemente se hallan asociados.

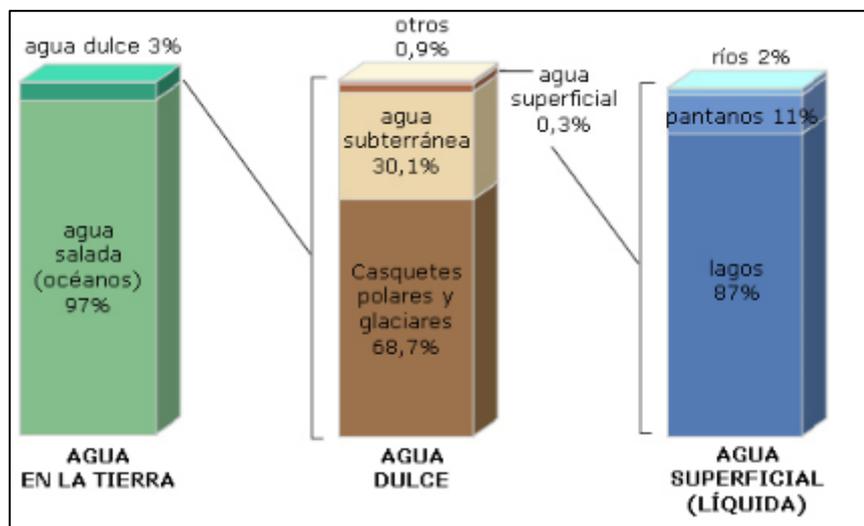
Las técnicas comunes empleadas para la remoción de hierro y manganeso presentan diversas limitaciones, las mismas que se trataran en el presente trabajo.

## PROBLEMÁTICA.

El déficit de recursos hídricos en algunas zonas del mundo nos ha obligado a aprovechar fuentes alternativas como son las aguas subterráneas como solución para el abastecimiento.

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, es por eso que resulta de vital importancia para la civilización porque supone la mayor reserva de agua potable. Esta se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la tierra. El volumen del agua subterránea es mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar millones de km<sup>2</sup> (como el acuífero guaraní). El agua del subsuelo es un recurso importante y de este se abastece gran parte de la población mundial, pero a la vez es de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación.

La cantidad total de agua dulce en la tierra es de aproximadamente el 3.00%, de los cuales un 68.70% se encuentra en los casquetes y glaciares polares, un 30.10% en las aguas subterráneas, un 0.30% en el agua superficial (lagos, pantanos, ríos) y un 0.90% en otras fuentes (humedad del suelo, atmósfera, embalses, agua biológica).



La gran parte de las fuentes de abastecimiento de agua subterránea en el mundo se ven afectadas por la presencia de hierro (Fe) y manganeso (Mn), los cuales se encuentran en forma soluble, que al oxidarse, ya sea al momento de la cloración o con el oxígeno del aire, se precipitan generando un color oscuro que provoca el rechazo de los consumidores,

manchan la ropa, obstruyen tuberías, accesorios y bombas. Hasta el momento no se conocen efectos nocivos para la salud de estos elementos, sin embargo, las concentraciones elevadas de manganeso pueden acelerar el crecimiento biológico en los sistemas de distribución y contribuir a los problemas de sabor y olor en el agua, así mismo aumentan la demanda de cloro u otros oxidantes aplicados en la desinfección.

Otros de los problemas frecuentes asociados a la presencia de hierro y manganeso en el agua, es el arrastre de los óxidos depositados en los interiores de las tuberías por el mismo flujo del agua, originando una coloración negra la misma.

Por los problemas expuestos anteriormente este trabajo se orienta a estudiar y revisar alternativas de tratamiento para la remoción del hierro y manganeso.

## **OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Estudiar los efectos de la presencia del Hierro y el Manganeso en el agua con el fin de elegir el método de remoción más apto para nuestro medio.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Estudiar la literatura existente acerca de la química del Hierro y el Manganeso.
- Estudiar la literatura referente a los métodos de remoción del Fe y el Mn.
- Recopilar normativas existentes acerca de la presencia del Fe y Mn en el agua.

## CAPÍTULO I. GENERALIDADES.

### 1.1. DEFINICIONES.

#### 1.1.1. HIERRO.

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 y tiene una masa atómica de 55.845g/mol.

El núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y níquel, generando al moverse un campo magnético. Ha sido históricamente muy importante, y un período de la historia recibe el nombre de Edad de Hierro.

El hierro es un metal que tiene un color negro lustroso o gris azulado, dúctil, maleable, tenaz, es extremadamente duro y pesado, además se oxida al contacto con el aire y tiene propiedades ferromagnéticas.

Por otro lado es importante indicar que el hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5%, entre los metales sólo el aluminio es más abundante. Se encuentra en hematites, magnetita y limonita, entre en la composición de sustancias importantes en los seres vivos, como las hemoglobinas.

#### TIPOS DE HIERRO.

Hay tres formas principales de hierro, otros tipos son mucho más raros.

- **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. El Dióxido de Carbono reacciona con el hierro en la tierra para formar bicarbonato de hierro soluble en agua, el cual en el agua, produce iones ferrosos ( $Fe^{++}$ ).
- **FÉRRICO** → Hierro Férrico también es conocido como “agua roja de hierro”. Este tipo de hierro es básicamente de hierro ferroso el cual ha estado expuesto a oxígeno,

combinado con el hierro para formar los iones férricos ( $\text{Fe}^{+++}$ ). Estas partículas oxidadas generalmente son visibles en agua servida.

- **HIERRO BACTERIAL** → Depositando en limo en tanques de inodoros o ensuciando filtros y suavizantes de agua son una buena indicación de la presencia del hierro bacterial. Mejor descrito como biofouling de hierro, el problema de la bacteria del hierro es complejo y extenso. Ataca a los pozos y sistemas de agua alrededor del mundo en todo tipo de ambiente acuífero. En algunos lugares, esto causa gran daño, y en otros se considera una molestia menor.

### 1.1.2. MANGANESO.

El manganeso es un elemento químico de número atómico 25 situado en el grupo 7 de la tabla periódica de los elementos, se simboliza como Mn y tiene una masa atómica de 54.938g/mol.

Se encuentra como elemento libre en la naturaleza, a menudo en combinación con el hierro y en muchos minerales. Como elemento libre, el manganeso es un metal con aleación de metales industriales con importantes usos, sobre todo en los aceros inoxidables.

El manganeso es el doceavo elemento más abundante que se encuentra en la corteza terrestre y se distribuye en suelos, sedimentos, rocas, agua y materiales biológicos. En bajas concentraciones, el manganeso es un elemento esencial para el hombre y las plantas, y por eso tiene gran aplicación en la agricultura.

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 ferromagnético, pero sólo después de sufrir un tratamiento especial.

El manganeso es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, sin embargo en el agua se encuentra con menos frecuencia y en cantidades mucho menores que el hierro.

## 1.2. INFORMACIÓN GENERAL.

El hierro es utilizado para la obtención de aceros estructurales; también se producen grandes cantidades de hierro fundido y de hierro forjado. Entre otros usos del hierro y de sus compuestos se tienen la fabricación de imanes, tintes (tintas, papel para heliográficas, pigmentos pulidores) y abrasivos (colcótar).

El manganeso es utilizado en la manufactura en la producción de acero para aumentar su dureza, rigidez y solidez. Se usa en acero de carbono, acero inoxidable, acero de alta temperatura y acero para herramientas, como también hierro colado y súper aleaciones.

Por otro lado el manganeso se puede encontrar en algunos productos de consumo como ocurre naturalmente en la mayoría de los alimentos, puede agregarse a los alimentos o consumirse como suplementos dietéticos. El manganeso también es usado para fabricar fuegos artificiales, baterías secas, abonos, pinturas, agente para visualizar imágenes médicas, cosméticos, etc. También puede ser usado como aditivo en gasolina para mejorar el octanaje de la gasolina.

El agua de los pozos en ocasiones presenta características físicas y químicas que no permiten su uso o consumo humano por la presencia de ciertos minerales, tales como el hierro y el manganeso. Por esta razón, es necesario realizar un tratamiento al agua, para reducir los compuestos indeseables y hacer que cumpla con las normas establecidas para agua potable.

Generalmente el manganeso está presente junto al hierro, por esa razón la presencia de ambos hace más complicada su eliminación del agua, debido a que son solubles a diferentes pH.

Aunque muchas de las sales ferrosas y férricas tales como los cloruros son altamente solubles en el agua, los iones ferrosos son rápidamente oxidados en presencia de oxígeno a la forma férrica y dan lugar a un hidróxido insoluble. Este precipitado tiende a aglutinarse. En aguas subterráneas, el pH y el potencial redox puede ser tal que permiten altas concentraciones de hierro en solución, de este modo en aguas que contienen cantidades

apreciables de hierro, exentas de oxígeno disuelto y con alto contenido de anhídrido carbónico, el hierro se encuentra presente bajo la forma divalente

El manganeso como metal puro no es encontrado en la naturaleza, pero sus minerales son comunes y están profusamente distribuidos en el planeta. El metal o sus sales son ampliamente empleados en metalurgia y en la fabricación de baterías secas, vidrio, cerámica, pintura, barnices, colorantes, fósforo, fuegos artificiales, agricultura, entre otros. Al igual que el hierro se presenta en estado divalente y trivalente.

Es importante indicar que aunque la presencia de grandes cantidades de manganeso en el agua puede causar algunos problemas, en la alimentación diaria se ingieren pequeñas cantidades de manganeso por lo cual este no puede considerarse como un elemento tóxico, no se han comprobado efectos fisiológicos dañinos en aquellas aguas naturales que contienen este elemento, sin embargo en grandes cantidades puede ser considerado peligroso, ya que estudios recientes aún no confirmados han manifestado que el manganeso puede tener efectos neurotóxicos en los seres humanos.

Los iones de manganeso funcionan como cofactores de una serie de enzimas en los organismos superiores, donde son esenciales en la desintoxicación de los radicales libres de superóxido. El elemento es una huella que requiere mineral para todos los seres vivos conocidos. En cantidades mayores, y al parecer con una actividad mucho mayor por la inhalación, el manganeso puede causar un síndrome de intoxicación en los mamíferos, con daños neurológicos que a veces son irreversibles.

El cuerpo humano logra absorber el manganeso en el intestino delgado, acabando la mayor parte en el hígado, de donde se reparte a diferentes partes del organismo. Alrededor de 10mg de manganeso son almacenados principalmente en el hígado y los riñones. En el cerebro humano el manganeso es unido a metaloproteínas de manganeso, siendo la más relevante la glutamina que la sintetiza en astrocitos.

Se ha comprobado que el manganeso tiene un papel tanto estructural como enzimático. Está presente en distintas enzimas, destacando el superóxido dismutasa de manganeso (Mn-SOD), que cataliza la dismutación de superóxidos,  $O_2^-$ ; la Mn-catalasa, que cataliza la

dismutación de peróxido de hidrógeno,  $H_2O_2$ ; así como en la concavanila A (de la familia de las lectinas), en donde el manganeso tiene un papel estructural.

Dentro del organismo interviene en el correcto funcionamiento de las flavoproteínas y en la síntesis de los mucopolisacáridos del colesterol, de la hemoglobina y en otros procesos metabólicos como catalizador enzimático.

La mayoría de los fertilizantes contienen manganeso ya que estos ayudan a la fotosíntesis de las plantas.

Cuando el manganeso se encuentra en estado de permanganato (valencia VII) puede servir para la eliminación de sabores desagradables.

La vía de exposición más importante para el ser humano suelen ser los alimentos. Se ha establecido una ingesta diaria inocua y suficiente de 1mg de manganeso para niños de un año y de 5mg para adultos. Estos niveles generalmente corresponden a las cantidades de manganeso ingeridos a través de los alimentos. Su carencia parece estar ligada a procesos cardiovasculares, anemias y malformaciones óseas infantiles. El consumo habitual de aguas con concentraciones elevadas de manganeso provoca trastornos encefálicos. No parece que posea incidencia carcinogénica.

En la exposición crónica al manganeso por inhalación, los principales órganos afectados son los pulmones, el sistema nervioso y el sistema reproductor, aunque también se han observado efectos en otros sistemas de órganos. Los efectos en el sistema nervioso incluyen síntomas neurológicos y neuropsiquiátricos que pueden culminar en una enfermedad semejante a la de Parkinson, conocida como manganismo.

## **CAPÍTULO II. ORIGEN DEL HIERRO Y EL MANGANESO EN EL AGUA.**

Las aguas de pozos contienen mayores concentraciones de hierro y manganeso que las aguas superficiales, debido al bajo pH (alta concentración de CO<sub>2</sub>) y al escaso contenido de oxígeno disuelto.

### **2.1. ORIGEN DEL HIERRO.**

El hierro es un metal que fue descubierto en el año 1500 a.C., es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, se lo encuentra en concentraciones que oscilan entre 0.5 a 50mg/l en las aguas corrientes naturales.

Se encuentra en la naturaleza formando parte de numerosos minerales, entre ellos muchos óxidos, y raramente se encuentra libre. Para obtener hierro en estado elemental, los óxidos se reducen con carbono y luego es sometido a un proceso de refinado para eliminar las impurezas presentes.

Las aguas subterráneas tienen mayores concentraciones de Fe alcanzado valores de hasta 10mg/l ya que la materia orgánica del suelo absorbe el oxígeno disuelto del agua, normalmente las aguas con gran carga orgánica suelen tener más Fe produciéndose así asociaciones y complejos entre ellos, cuya eliminación y potabilización puede ser problemática. Por otro lado las aguas minerales y termominerales pueden contener más de 10mg/l de Fe.

En las aguas superficiales se puede encontrar hasta 0.5mg/l de hierro, que puede ser producto de la lixiviación de terrenos atravesados o bien de contaminaciones industriales; es posible también encontrar hierro en el agua potable, debido a la utilización de coagulantes de hierro, a la corrosión de tuberías de acero y hierro fundido de la red de distribución.

El hierro total puede encontrarse como:

- Hierro en suspensión → En estado férrico principalmente.
- Hierro disuelto → Hierro en estado férrico solubilizado.

→ Hierro en estado ferroso.

El hierro metálico y sus aleaciones son de interés porque el agua los corroe en presencia de oxígeno. El resultado de los productos de la corrosión es hierro en estado iónico el cual puede ser considerado como contaminante del agua. En adición a los productos de corrosión, las aguas naturales pueden ser contaminadas por los vertimientos industriales como las operaciones de niquelado y del lavado de las sales solubles del suelo y las rocas como son los drenajes de las aguas ácidas de mina

Una fuente principal de contaminación por sales de hierro es el proceso de decapado del acero empleado por la industria del acero para remover los óxidos formados durante el proceso de fundición.

## **2.2. ORIGEN DEL MANGANESO.**

El manganeso se encuentra normalmente en el aire, el suelo, el agua y los alimentos. Se pueden encontrar cantidades más altas de manganeso en el aire, el suelo y el agua como consecuencia de la liberación de manganeso durante la manufactura, uso o disposición de productos a base de manganeso.

Tal como sucede con otros elementos, el manganeso no puede ser degradado en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma o adherirse o desligarse de partículas. La forma química del manganeso y el tipo de suelo determinan la velocidad con que se mueve a través del suelo y la cantidad que permanece en el suelo. En el agua, la mayor parte del manganeso tiende a adherirse a partículas de la misma o a depositarse como sedimento.

El agente que contiene manganeso que se agrega a la gasolina puede degradarse rápidamente en el ambiente cuando se expone a la luz natural, liberando así manganeso.

El manganeso se encuentra frecuentemente en el agua como ión manganeso ( $Mn^{++}$ ). Las sales del manganeso son generalmente más solubles en soluciones ácidas que en soluciones alcalinas. El ión manganeso es usualmente introducido en el agua a través de la solubilidad del bicarbonato manganeso.

En algunas aguas superficiales y pozos poco profundos, se puede encontrar compuestos orgánicos y coloides de manganeso. También pueden existir bacterias de manganeso, similares a las ferrobacterias. Es frecuente encontrar manganeso en las aguas de pozos

abiertos en aquellos terrenos que contiene rocas areniscas, así mismo es posible encontrar manganeso en los pozos poco profundos de tierras aluviales.

Algunas aguas subterráneas pueden contener concentraciones de manganeso que alcanzan hasta 1mg/l, mientras que aguas superficiales cuando lo contienen las concentraciones de manganeso son menores a 0.1mg/l. Es importante recalcar que a medida que aumenta la profundidad de los pozos el agua adquiere mayor capacidad para disolver aquellas sustancias con las que se pone en contacto.

Concentraciones de manganeso del orden de 1.8 a 2.0mg/l han sido reportadas en aguas de mina. Desde que la química del manganeso es similar a la del hierro es de esperar que las operaciones industriales que son fuente de hierro sean también fuente de manganeso.

La exposición al manganeso en el agua ocurre debido a que el manganeso forma parte natural del ambiente, siempre estamos expuestos a niveles bajos en el agua, el aire, el suelo y los alimentos. Es común que el agua subterránea, el agua potable y el suelo contengan niveles bajos de manganeso. Beber agua que contiene manganeso o nadar o bañarse en agua que contiene manganeso puede exponernos a niveles bajos de esta sustancia.

### **CAPITULO III. PROBLEMAS CAUSADOS POR LA PRESENCIA DEL HIERRO Y EL MANGANESO EN EL AGUA.**

El hierro y el manganeso no tienen efectos tóxicos y no causan daños en la salud, pero sí están regulados y son estándar primario.

Se les trata en forma conjunta ya que cuando hay hierro, seguramente hay manganeso y con raras excepciones la concentración de hierro siempre es mayor que la de manganeso.

Inicialmente se encuentran disueltos en forma de sales minerales pero en contacto con el aire o con algún agente oxidante como el cloro, se oxidan a  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  y  $\text{MnO}_2$  respectivamente y precipitan fácilmente.

La oxidación y precipitación del hierro y manganeso, causa la formación de depósitos desagradables en ropa, utensilios de cocina, accesorios de baño, en bebidas y alimentos preparados con agua de este tipo; otro de los problemas frecuentes asociados a la presencia de estos compuestos en el agua es el arrastre de los óxidos depositados en los interiores de las tuberías por el mismo flujo del agua, originando una coloración negra la misma.

Esto hace problemática el agua para su uso en:

- Lavandería doméstica.
- Hoteles.
- Restaurantes.
- Hospitales.
- Industria de bebidas.
- Industria de alimentos.
- La mayor parte de los usos que tiene el agua potable.

Gran parte de las fuentes de abastecimiento de agua subterránea se ven afectadas por la presencia de hierro (Fe) y manganeso (Mn), los cuales se encuentran en forma soluble, que al oxidarse, ya sea al momento de la cloración o con el oxígeno del aire, se precipitan generando un color oscuro que provoca el rechazo de los consumidores, manchan la ropa,

obstruyen tuberías, accesorios y bombas. Hasta el momento no se conocen efectos nocivos para la salud de estos elementos.

Los efectos del hierro y el manganeso inciden no solamente en la operación y el mantenimiento de las sistemas de abastecimiento, sino también en el aspecto del agua; los óxidos de hierro y manganeso, arrastrados y agitados por el flujo en las tuberías, originan un color carmelita oscuro o negro, también imparten un sabor metálico al agua, provocando así su rechazo por parte del consumidor.

Una situación especial se presenta en los pozos donde las incrustaciones producto de la precipitación de los hidróxidos y/o los óxidos metálicos de hierro y el manganeso y los depósitos producto del metabolismo bacteriano, obstruyen la permeabilidad de los substratos alrededor del pozo, el flujo de agua hacia el mismo disminuye y la capacidad del pozo se ve reducida.

La presencia de hierro y manganeso en el agua afecta y en mayor grado a los productos de varias industrias como tenerías, papeleras, plásticos, etc. En todos los casos, la calidad de agua suministrada al consumidor municipal o industrial tiene que cumplir con la normatividad establecida para evitar los diferentes problemas de carácter técnico y social.

### **3.1. PROBLEMAS CAUSADOS POR LA PRESENCIA DEL HIERRO EN EL AGUA.**

Desde el punto de vista fisiológico el hierro es un oligoelemento que juega un papel fundamental en la vida, elemento indispensable para nuestra nutrición pues un número importante de proteínas lo contienen, por ejemplo la hemoglobina, los citocromos y numerosas enzimas de óxido-reducción.

En las aguas subterráneas anaerobias puede haber concentraciones de hierro ferroso de hasta varios miligramos por litro sin que se manifieste alteración alguna del color ni turbidez al bombearla directamente desde un pozo. Sin embargo, al entrar en contacto con la atmósfera, el hierro ferroso se oxida a férrico, tiñendo el agua de un color marrón rojizo no deseable.

El hierro también potencia la proliferación de bacterias ferruginosas, que obtienen su energía de la oxidación del hierro ferroso a férrico y que, en su actividad, depositan una capa viscosa en las tuberías.

En el agua potable el hierro, se presenta por corrosión de las tuberías de distribución de aguas, en estos fenómenos intervienen las bacterias férricas la cuales propician la aparición de ciertas características en el agua como:

- Sabor metálico.
- Color marrón rojizo.
- Turbidez.
- Manchas en la ropa lavada y en artefactos sanitarios.

La ingestión de grandes cantidades de hierro provoca hemocromatosis, enfermedad caracterizada por lesiones reversibles de diversa gravedad en varios tejidos, mientras que la deficiencia de hierro puede provocar enfermedades como la anemia, lo que convierte al hierro en un elemento indispensable para la salud en cantidades apropiadas.

### **3.2. PROBLEMAS CAUSADOS POR LA PRESENCIA DEL MANGANESO EN EL AGUA.**

Al igual que para el hierro, los límites de manganeso han sido establecidos por consideraciones estéticas y económicas más que por peligro fisiológico. El manganeso es un elemento nutritivo esencial y es importante ingerir diariamente una pequeña cantidad para mantenerse en buena salud. El manganeso está presente en muchos alimentos, como por ejemplo cereales, y se encuentra en altas concentraciones en sustancias como por ejemplo el té. La cantidad de manganeso en la dieta occidental típica (aproximadamente 1-10mg de manganeso al día) parece ser suficiente para satisfacer los requisitos diarios. Las dietas con muy poco manganeso pueden hacer más lenta la coagulación de la sangre, y pueden producir problemas de la piel, cambios de color del cabello, reducción de los niveles de colesterol y otras alteraciones del metabolismo. En los animales, la ingestión de muy poco manganeso puede interferir con el crecimiento normal, con la formación de los huesos y la reproducción.

El manganeso se comporta de manera muy parecida al hierro en sus reacciones en las aguas naturales, por lo que a veces se hace difícil su distinción.

El manganeso es un oligoelemento, es decir, un elemento químico esencial para todas las formas de vida.

La presencia de manganeso es indeseable en agua porque le confiere mal sabor, desde el punto de vista doméstico el manganeso aun en cantidades pequeñas presenta los siguientes inconvenientes:

- Manchas o decoloración en la ropa.
- Manchas en el esmalte de los dientes.
- Se crean depósitos en los alimentos durante la cocción.

Por otro lado en las plantas de tratamiento de agua, favorece el crecimiento de bacterias específicas que perturban el buen funcionamiento de los filtros de arena, pudiendo llegar a formar depósitos en las canalizaciones y en los sistemas de distribución, debido a que en la ausencia de oxígeno estas bacterias provocan la reducción de sulfatos en sulfuros los mismos que al combinarse con el manganeso y el hierro forman compuestos olorosos en los extremos muertos de las tuberías lo que contribuye a problemas de sabor y al aumento de la demanda de cloro u otros oxidantes aplicados en la desinfección. Por esta razón es indispensable eliminar el hierro y manganeso del agua antes de su entrada a la red de distribución, ya que de esta manera se priva a los organismos del alimento necesario para su proliferación.

En 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.

## **CAPÍTULO IV. MINERALES QUE CONTIENEN HIERRO Y MANGANESO, QUÍMICA DE ESTOS COMPUESTOS.**

### **4.1. MINERALES QUE CONTIENEN HIERRO Y MANGANESO.**

Los materiales que constituyen la corteza terrestre son clasificados en suelo y rocas que contienen sustancias inorgánicas de tres tipos:

- Minerales primarios procedentes de rocas ígneas y metamórficas.
- Minerales secundarios formados a partir de los primarios (arcillosos).
- Óxidos y carbonatos sin cambiar, tales como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , etc.

#### **4.1.1. MINERALES QUE CONTIENEN HIERRO.**

Los depósitos residuales de hierro pueden proceder de:

- Yacimientos de siderita o sulfuro de hierro.
- Minerales de hierro contenidos en calizas no alumínicas.
- Calizas que han sido sustituidas parcialmente por minerales de hierro antes o durante el período de meteorización.
- Rocas ígneas básicas.
- Sedimentos silíceos ferruginosos.

#### **4.1.2. MINERALES QUE CONTIENEN MANGANESO.**

Los depósitos de Mn pueden proceder de:

- Calizas y dolomitas pobres en alúmina pero que contienen diseminados carbonatos y óxidos de manganeso.
- Calizas que contienen manganeso introducido o diseminado en las mismas.
- Rocas silicatadas magnesiferadas, tales como esquistos cristalinos o rocas ígneas alteradas.
- Yacimientos de filón de minerales de manganeso o minas con elevado contenido de manganeso.

## 4.2. QUÍMICA DEL HIERRO Y EL MANGANESO.

Hierro (Fe) y manganeso (Mn) pueden presentarse en el agua en una de las tres formas básicas:

1. **DISUELTO:** Ferroso ( $\text{Fe}_{2+}$ ) y manganoso ( $\text{Mn}_{2+}$ ).
2. **EN PARTÍCULAS:** Estados férrico ( $\text{Fe}_{3+}$ ) y mangánico ( $\text{Mn}_{4+}$ ).
3. **COLOIDAL:** Partículas muy pequeñas (difíciles de asentar y filtrar).

El predominio de una forma sobre otra depende del pH, Eh (potencial redox), y la temperatura del agua. El conocimiento de las formas o estados del hierro y manganeso pueden afinar la práctica del tratamiento dado para estos metales.

### 4.2.1. QUÍMICA DEL HIERRO.

A continuación se describen algunas características químicas del hierro (Fe):

**Símbolo:** Fe.

**Clasificación:** Metal de transición - Grupo 8.

**Número Atómico:** 26.

**Masa Atómica:** 55,845.

**Número de protones/electrones:** 26.

**Electrones en los niveles de energía:** 2, 8, 14, 2.

**Números de oxidación:** +2, +3.

Dependiendo del valor de pH y de la concentración de oxígeno, el hierro puede estar presente bajo la forma férrica y ferrosa. A pH neutro y en presencia de oxígeno, el hierro ferroso soluble ( $\text{Fe}^{2+}$ ) es oxidado a hierro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ), el mismo que rápidamente es hidrolizado bajo la forma de un precipitado insoluble como hidróxido férrico  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . A valores de pH por debajo de 6.0, la tasa de oxidación del hierro ferroso hacia hierro férrico es extremadamente lenta.

Por otra parte, condiciones anaeróbicas son necesarias para que exista una apreciable concentración de hierro soluble. De otra parte, a valores de pH por encima de 12 el hidróxido férrico se solubilizará como consecuencia de la formación del anión  $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ . El

hierro ferroso y el férrico pueden también solubilizarse en presencia de cianuro dando lugar a los complejos ferro o ferricianatos. Estos compuestos presentan considerables dificultades para ser removidas.

El hierro se puede encontrar bajo diferentes formas en el agua. En las condiciones habituales de pH (4,5 y 9), el hierro soluble está presente generalmente en estado ferroso. Si el medio es reductor como en la mayoría de las aguas subterráneas, el hierro ferroso puede llegar a alcanzar cantidades elevadas. Por otro lado, el hierro férrico, no es soluble de un modo significativo, aunque para valores de pH inferiores 4 puede llegar a serlo.

En aguas de superficie se encuentra en niveles muy bajos, ya que en estas aguas el ión hierro (III) es prácticamente insoluble. Por otro lado el hierro divalente no se encuentra normalmente en este tipo de aguas ya que se encuentra en condiciones anaeróbicas, ya que la presencia de oxígeno provoca su rápida oxidación.

Las aguas subterráneas tienen mayores concentraciones de hierro ya que la materia orgánica del suelo absorbe el oxígeno disuelto del agua, normalmente las aguas con gran carga orgánica suelen tener más hierro produciéndose así asociaciones y complejos entre ellos cuya eliminación y potabilización puede ser problemática.

El hierro se oxida bajo la acción del aire o por la adición de cloro, pasando al estado férrico pudiendo así hidrolizarse para dar un hidróxido de hierro insoluble. El hierro puede estar en estado coloidal más o menos combinado con la materia orgánica.

Cuando desciende el oxígeno del agua hay un incremento del hierro divalente, esta dinámica es típica de lagos y embalses que experimentan períodos de estratificación térmica, poco oxígeno y alto potencial reductor.

El hierro juega un papel importante en el ciclo natural del fósforo.

En las muestras filtradas de aguas superficiales oxigenadas el hierro no llega a 1mg/L, algunas aguas subterráneas pueden contener una cantidad bastante mayor. En muestras de aguas el Fe puede estar en forma de solución auténtica, en estado coloidal, en complejos inorgánicos u orgánicos, o en partículas suspendidas.

## **TÉCNICAS DE ANÁLISIS DEL HIERRO.**

El hierro se puede determinar por varios métodos, entre los cuales existen los siguientes:

- Método colorimétrico (fenantrolina).
- Método espectrométrico de absorción atómica.
- Método de plasma de acoplamiento inductivo.

### **4.2.2. QUÍMICA DEL MANGANESO.**

**Símbolo:** Mn.

**Clasificación:** Metal de transición - Grupo 7.

**Número Atómico:** 25.

**Masa Atómica:** 54,93.

**Número de protones/electrones:** 25

**Electrones en los niveles de energía:** 2, 8, 13, 2.

**Números de oxidación:** 2+, 3+, 4+, 6+ y +7.

Los cloruros, nitratos y sulfatos son altamente solubles en agua, pero sus óxidos, carbonatos e hidróxidos son parcialmente solubles. Por esta razón, los iones mangánicos y manganosos están algunas veces presentes en aguas superficiales en concentraciones de hasta 1.0mg/l. En aguas subterráneas sujetas a condiciones reductoras, el manganeso puede ser lavado del suelo y presentarse en concentraciones muy elevadas. Al manganeso se le encuentra asociado al hierro en aguas subterráneas

En manganeso puede encontrarse en el agua con valencias diferentes: II, III y IV, en estado soluble, en suspensión o en forma de complejo; su concentración depende de factores como el oxígeno disuelto y el pH del agua. En aguas naturales de bajo pH, y en ausencia de oxígeno, el manganeso se presenta en forma reducida y soluble que no genera color.

El ión manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ión hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el  $MnO_2$  que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm y requiere un pH ácido. La forma manganeso ( $Mn^{++}$ ), que es más general por aireación se oxida y

precipita con un color oscuro de  $\text{MnO}_2$ . Se determina por oxidación a permanganato y colorimetría de la solución oxidada y espectrometría de absorción atómica.

Los estados de oxidación del manganeso más comunes son 2+, 3+ cuando se encuentra como metal y 4+, 6+ y +7 cuando se encuentra como no metal, aunque se han encontrado compuestos con todos los números de oxidación desde 1+ a 7+; los compuestos en los que el manganeso presenta estado de oxidación 7+ son agentes oxidantes muy enérgicos. Dentro de los sistemas biológicos, el catión  $\text{Mn}^{2+}$  compite frecuentemente con el  $\text{Mg}^{2+}$ . Se emplea sobre todo aleado con hierro en aceros y en otras aleaciones.

Los embalses de aguas superficiales almacenadas en rocas areniscas pueden acumular manganeso junto con el hierro, ya que la descomposición de la materia orgánica que se encuentra en el fondo de estos pozos elimina el oxígeno disuelto del agua generando así *anhídrido carbónico*; de esta manera el manganeso, el hierro de las rocas y de la tierra, en contacto constante con el agua se incorporan a su solución, transformándose en compuestos solubles.

El manganeso se puede determinar por varios métodos diferentes, entre los cuales existen los siguientes:

- Método espectrométrico de absorción atómica.
- Método de plasma de acoplamiento inductivo.
- Método colorimétrico: peryodato potásico o persulfato amónico.

## **CAPÍTULO V. MÉTODOS DE REMOCIÓN DEL HIERRO Y MANGANESO.**

### **5.1. MÉTODOS DE REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO.**

Son pocas las sustancias químicas de las que se haya comprobado que causan efectos extendidos sobre la salud de las personas como consecuencia de la exposición a cantidades excesivas de las mismas en el agua de consumo. Entre ellas se incluyen el hierro y el manganeso, que generan preocupación generalizada debido a sus efectos sobre la aceptabilidad del agua, y deben tenerse en cuenta en cualquier procedimiento de fijación de prioridades. En algunos casos, la evaluación indicará que no existe riesgo de exposición significativa en los ámbitos nacional o regional, o de sistemas de abastecimiento específicos.

La mayoría de los sistemas de tratamiento de hierro y manganeso emplean el proceso de oxidación/filtración. El oxidante químico oxida el hierro o manganeso (formando una partícula), y mata la bacteria del hierro y alguna otra bacteria causante de enfermedad que pueda estar presente. Luego el filtro retira las partículas de hierro o manganeso. La oxidación seguida de la filtración es un proceso relativamente simple. La fuente de agua debe ser monitoreada para determinar la dosificación apropiada de oxidante; el agua tratada también debe ser monitoreada para determinar si el proceso de oxidación fue exitoso.

Existen varios métodos para remoción de hierro y manganeso, aplicados de acuerdo al estado en el cual los elementos se encuentren.

#### **5.1.1. TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO PARA LA REMOCIÓN DEL HIERRO.**

El principal proceso de tratamiento para la remoción del hierro es la conversión del hierro ferroso a hierro férrico y su precipitación bajo la forma de hidróxido férrico a un pH cercano a 7 donde la solubilidad de este es mínima. La conversión del hierro ferroso a férrico sucede rápidamente por aeración a un pH entre 7.0 a 7.5. La espontánea formación del hidróxido férrico resulta en su precipitación. La tasa de oxidación del hierro ferroso a férrico depende del valor de pH, la intensidad del sistema bicarbonatado (alcalinidad) y de la concentración de materia orgánica disuelta. En el caso de presencia de compuestos orgánicos que

contienen funciones hidroxilos y carboxilos, los compuestos que se forman son altamente solubles y difíciles de oxidar.

Las aguas subterráneas son normalmente anóxicas y ligeramente ácidas y con alto contenido de bióxido de carbono, por lo que es posible encontrar valores de hierro del orden de 1 a 10mg/l como hierro ferroso.

La remoción de hierro de las aguas destinadas al consumo humano ha sido realizada en forma satisfactoria por medio de plantas de tratamiento durante muchos años. Si el hierro está presente en aguas ácidas como ión férrico, la simple neutralización resulta suficiente para remover el hierro y comúnmente se emplea la cal para elevar el pH y ajustarlo al valor adecuado de precipitación de las sales de hierro. La remoción por aeración del bióxido de carbono con el consecuente incremento del valor del pH y la oxidación del hierro ferroso a férrico permite cumplir con las normas de calidad de agua.

En el siguiente cuadro se resume las eficiencias de tratamiento logrado por medio de plantas de tratamiento.

PROCESOS	CONCENTRACIÓN DE HIERRO (mg/l)	
	EFLUENTE	AFLUENTE
Cloración, precipitación con sulfato de aluminio, cal y silicato de sodio y filtración en arena.	1.5	0.05
Aeración, cal y filtración en arena.	2.4	0.09
Aeración y filtración en arena.	2.5	0.13
Aeración, prefiltración en carbón, sedimentación y filtración en arena.	5.7	0.13
Neutralización, aeración y filtración en tierra de diatomeas.	10.0	0.10

### 5.1.2. TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO PARA LA REMOCIÓN DEL MANGANESO.

En el tratamiento de agua para abastecimiento, la remoción del manganeso soluble ha sido practicada por muchos años. La tecnología de tratamiento consiste en la conversión del ión manganeso soluble a un precipitado insoluble. Esto se realiza de manera simultánea con la remoción del hierro, desde que las condiciones son similares. La remoción del manganeso es afectado por el grado de oxidación del ión manganeso y por la separación de los óxidos e hidróxidos insolubles de manganeso. En el cuadro presentado a continuación se indican los procesos de remoción de manganeso más comunes. A causa de la baja reactividad del ión manganeso con el oxígeno, la simple aeración no es una técnica efectiva de oxidación a pH menor de 9 y a veces a valores mayores a esto, el proceso de oxidación es muy lenta. La materia orgánica en solución puede combinarse con el manganeso e impedir su oxidación por simple aeración aun a altos valores de pH.

En el siguiente cuadro se resume las eficiencias de tratamiento logrado por medio de plantas de tratamiento.

PROCESOS	COMENTARIOS
Aeración.	Lento e inefectivo a pH menores a 9.0
Cloración (oxidación en cloro).	No efectivo para compuestos orgánicos
Ajuste de pH.	El tratamiento con cal – soda permite remociones a pH 9.5
Catálisis.	Iones de cobre facilitan la oxidación con aire
Intercambio iónico.	Efectivo para pequeñas cantidades de hierro y manganeso
Dióxido de cloro.	Oxida rápidamente el manganeso pero es muy caro
Adición de permanganato de potasio.	Requiere de filtración.

### 5.1.3. DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO CUANDO ESTOS SE ENCUENTREN EN SUS DIFERENTES ESTADOS.

#### PARA CUANDO SE ENCUENTRA EN ESTADO FERROSO ( $\text{Fe}^{+2}$ ) Y MANGANOSO ( $\text{Mn}^{+2}$ ).

- OXIDACIÓN, COAGULACIÓN Y/O FILTRACIÓN DE LOS PRECIPITADOS.

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 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

Como agentes oxidantes pueden usarse gas cloro o hipoclorito. 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.

- INTERCAMBIO IÓNICO.

En este proceso por lo general se aplica para la remoción de la dureza, utilizando resinas sintéticas operando a ciclo de sodio ( $\text{Na}^+$ ). La resina intercambia el sodio por iones  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Mn}^{+2}$  presentes en el agua; como resultado de este proceso se incrementa la concentración de sodio en el agua tratada. Una desventaja de

Este proceso son los precipitados cálcicos formados en presencia de oxígeno que bloquean los sitios de intercambio iónico, causando la saturación de la resina. Este proceso no se recomienda para la remoción de Fe y Mn ya que existe una mayor selectividad para el calcio y otros iones de mayor valencia.

- AIREACIÓN PRESURIZADA Y FILTRACIÓN.

El proceso de aireación - filtración se recomienda para agua con alta concentración de hierro (mayor de 5mg/l) con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado en este proceso comúnmente incluye:

- Aireador.
- Tanque de retención.
- Filtros.

El oxígeno de la atmósfera reacciona con las formas solubles de hierro y manganeso ( $Fe_{+2}$  y  $Mn_{+2}$ ) del agua cruda para producir óxidos relativamente insolubles ( $Fe_{+3}$  y  $Mn_{+4}$ ) de estos elementos. La velocidad de reacción depende del pH de la solución, siendo más rápida a valores de pH altos.

Ya que el manganeso tiene una velocidad de oxidación muy lenta con el  $O_2$ , esta técnica no es muy efectiva para la remoción de  $Mn_{+2}$ , excepto a valores de pH mayores de 9.5.

Para disminuir las concentraciones de manganeso al nivel deseado se requieren frecuentemente un tiempo de reacción y un tratamiento químico adicionales.

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 y manganeso 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:

- Costo inicial alto.
- Requerimiento de un tiempo de retención.
- Tratamientos químicos adicionales si la concentración de Mn soluble es mayor a 1mg/l.

- A TRAVÉS DE FILTROS.
  - A TRAVÉS DE ARENA VERDE DE MANGANESO.

Los filtros con medio de arena verde reducen el hierro y manganeso con una combinación de oxidación, intercambio iónico y trampa de partícula. Existen dos procesos comunes para su regeneración: uno requiere de continua alimentación de permanganato de potasio y cloro, y el otro usa permanganato de potasio como un regenerante tipo “*batch*”.

Los procesos *batch* se utilizan en aplicaciones con pequeñas cantidades de hierro y manganeso cuando el sistema se opera sin emplear un operador.

La regeneración consiste en un retrolavado de 10 minutos a un flujo de 10 GPM/pies<sup>2</sup> con una concentración de una onza de permanganato por pie<sup>3</sup> de arena verde, luego un enjuague lento para mejorar el tiempo de contacto y para eliminar el permanganato residual, y un enjuague rápido de 5 minutos. El promedio de la regeneración entera dura menos de una hora.

La arena verde de manganeso (pirolusita) es un medio filtrante con acción química. Esta arena tiene propiedades de intercambio iónico y la capa de bióxido de manganeso, producto de la regeneración con permanganato de potasio, se forma en la superficie del medio y tiene la capacidad de oxidar al hierro y al manganeso soluble.

El recubrimiento de bióxido de carbono también reduce el exceso de permanganato de potasio, en caso de existir una sobrealimentación, la arena actúa como un catalizador Redox, capaz de oxidar y reducir al hierro y manganeso, esto permite producir afluentes consistentes de calidad y operación.

El pH del agua y la temperatura, son factores importantes para que la acción de la arena verde, en la reducción del hierro y manganeso sea eficiente. El pH del agua de entrada para un sistema de arena verde debe ser mayor de 6.2 y si el pH es debajo de 6.5 y 6.8 deben hacerse correcciones del pH debido a que la solubilidad del hierro es mayor a pH debajo de 6.2 en el caso del manganeso, la solubilidad es en pH debajo de 8.5 a 9.0, por eso que cuando las cantidades de manganeso son altas, se tiene que elevar el pH a los valores de 8.5 y 9.0.

- FILTRACIÓN EN MEDIOS ACONDICIONADOS.

Los medios filtrantes acondicionados (greensand, birm, antrasand y pirolusita) para remover hierro y manganeso son de naturaleza similar, y su capacidad de regeneración, adsorción y filtración depende de la distribución de tamaño de partícula, de su forma y de los precipitados de óxidos de manganeso [ $\text{MnO}_2(\text{s})$ ] en su superficie.

Normalmente se utiliza permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) como agente oxidante, siendo éste de costo elevado y requiere de un estricto control en su aplicación debido a su alta toxicidad.

- FILTRACIÓN DIRECTA CON LA APLICACIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS.

Si el hierro y manganeso una vez oxidados presentan tamaños muy pequeños que no se retienen en los medios granulares de los filtros se requiere de la aplicación de sustancias químicas (coagulantes y floculantes) para aglomerar las partículas oxidadas y formar flóculos lo suficientemente grandes para ser filtrados.

Los medios filtrantes granulares deben retener sólidos suspendidos (incluyendo el Fe y Mn oxidados) con tamaño mayor a 10mm. Un lecho filtrante diseñado adecuadamente y operando en condiciones óptimas es capaz de remover la mayoría de las partículas con tamaños de 5 a 10mm. Las partículas menores a 5 mm normalmente pasan a través del filtro dando como resultado concentraciones residuales de Fe y Mn en el agua filtrada.

- TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS.

- EL ABLANDAMIENTO.

Se aplica para eliminar la dureza del agua, donde la remoción del hierro y manganeso es un efecto secundario. Dicho proceso consiste en elevar el pH del agua para precipitar al calcio y magnesio, originando que se oxide el Fe y Mn y coprecipiten con los carbonatos (a valores de pH mayores de 11).

Este método no es muy eficiente, ya que se forman precipitados de manganeso de tamaño coloidal que pasan a través de los filtros cuando no se agregan coagulantes.

- ESTABILIZACIÓN POR SECUESTRO.

Los agentes secuestrantes son productos químicos utilizados para evitar que se precipiten los metales. Normalmente, tanto el silicato de sodio como los polifosfatos se utilizan para secuestrar hierro y los polifosfatos para secuestrar manganeso. Muchos polifosfatos modernos tienen una larga cadena lineal de fosfatos; el arreglo de las moléculas a lo largo de la cadena protege de ataques al material secuestrado y los sujetan durante cierto periodo de tiempo o hasta que algún otro factor rompa los enlaces. Los agentes secuestrantes no remueven al Fe y Mn, solo evitan que precipiten y se recomienda su aplicación sólo para sistemas pequeños y concentraciones menores 0.5mg/L.

- MÉTODOS BIOLÓGICOS.

El hierro y manganeso también pueden ser removidos biológicamente. Los tratamientos biológicos siempre requieren de calidades y condiciones específicas del agua cruda, y no todas las aguas subterráneas o superficiales son factibles económicamente de ser tratadas. Los tratamientos biológicos pueden emplearse cuando los costos de inversión y operación son menores que los de un proceso físico – químico.

- REMOCIÓN IN - SITU.

La remoción *in-situ* consiste en la remoción de hierro y manganeso directamente en el manto acuífero para obtener un agua de buena calidad. Este proceso es relativamente nuevo y solo existen algunas instalaciones en operación en Europa y en los Estados Unidos. Consiste en disolver oxígeno atmosférico en el agua que se utiliza para la recarga del acuífero, para posteriormente ser inyectada. El agua de recarga rica en oxidante (oxígeno) causa que el Fe y Mn formen una superficie de óxidos hidratados alrededor del acuífero, creando una zona de tratamiento. Cuando se termina la recarga, el agua subterránea rica en Fe y Mn pasa a través de esta zona por efecto de la extracción por bombeo. Las superficies de óxidos hidratados adsorben los iones de Fe y Mn, reduciendo las concentraciones de Fe y Mn disueltos.

Cuando la zona de tratamiento se agota (se pierde la capacidad de adsorción de Fe y Mn), se reactiva nuevamente, inyectando agua oxigenada de recarga. Los ciclos de recarga y

extracción se repiten cuantas veces sea necesario. La duración de los ciclos está en función del agua extraída antes de que los niveles de Fe y Mn rebasen las concentraciones deseadas.

### **PARA CUANDO SE ENCUENTRA EN ESTADO FÉRRICO (Fe<sup>+3</sup>) Y MANGÁNICO (Mn<sup>+4</sup>).**

- FILTRACIÓN CON ARENA DE SÍLICE Y CARTUCHOS.
- CON ARENA VERDE MANGANESO.
- CALCITA, PARA ELEVAR EL PH A 7.5.

## **5.2. PRESENCIA DE HIERRO Y MANGANESO EN EL ECUADOR, MÉTODOS DE REMOCIÓN MÁS COMUNES UTILIZADOS EN NUESTRA ZONA.**

### **5.2.1. PRESENCIA DE HIERRO Y MANGANESO EN EL ECUADOR.**

En nuestro país las principales fuentes de captación son los ríos (fuentes superficiales) y los pozos profundos (fuentes subterráneas), las primeras resultan ser fuentes más económicas y abundantes que ya se han explotado, pero por la gran demanda se están agotando.

Para mantener el ritmo actual de desperdicio y de consumo, se requiere una producción muy alta de agua potable. Los recursos hídricos de la República del Ecuador están sujetos a gran presión debido a la creciente demanda del agua, necesaria para satisfacer las múltiples necesidades que dependen de ella.

Debido a que la presencia de Hierro y Manganese se da mayormente en fuentes de agua subterránea, la investigación presentada en este subcapítulo se refiere a este tipo fuentes especialmente.

Vertientes y pozos profundos proveen la fuente más confiable e importante de agua subterránea para abastecimiento de agua de consumo dentro del Ecuador. En los valles del altiplano, los acuíferos son pequeños. Los abastecimientos de agua subterránea más abundantes están disponibles en aluviones que típicamente consisten de arenas y gravas. Estos acuíferos se encuentran en la cuenca del río Guayas en la región de la Costa y a lo largo de los ríos en la región Oriente. Otras importantes fuentes de abastecimiento de agua subterránea son encontradas también en acuíferos de sedimentos consolidados y no consolidados de piedra arenisca y conglomerados en la región del Oriente.

El agua subterránea es generalmente más segura que los abastecimientos de agua superficial no tratada, sin embargo, muchos acuíferos de poca profundidad están contaminados. Sin tratamiento, muchas de las fuentes tradicionales de agua están llegando a ser inapropiadas para el consumo humano. La contaminación biológica de acuíferos de poca profundidad debido a patógenos causados por la inadecuada disposición de los desechos animales y humanos es un problema común. El problema afecta incluso áreas que rodean a las villas más pequeñas. El nivel freático superficial generalmente fluye siguiendo los contornos del terreno y la contaminación típicamente se mueve cuesta abajo de las áreas pobladas.

Los sistemas de aguas subterráneas son de primordial importancia y se hace imperiosa la necesidad de cuantificar las reservas existentes y la disponibilidad tanto en cantidad como en calidad. Se debe a toda costa, evitar la contaminación de este recurso, pues el agua subterránea, puede ser fuente complementaria y en algunos casos única de suministro de agua para riego y agua potable en zonas donde los recursos superficiales son cada día más escasos, tanto en su cantidad, como debido al deterioro de su calidad, lo que le hace inutilizable.

Las fuentes subterráneas, en su mayoría tienen altos contenidos de hierro, calcio y manganeso, que son difíciles de eliminar aun cuando se cuente con métodos de remoción como son cámaras de filtración y plantas de tratamiento completas.

### **5.2.2. MÉTODOS DE REMOCIÓN MÁS COMUNES UTILIZADOS EN NUESTRA ZONA.**

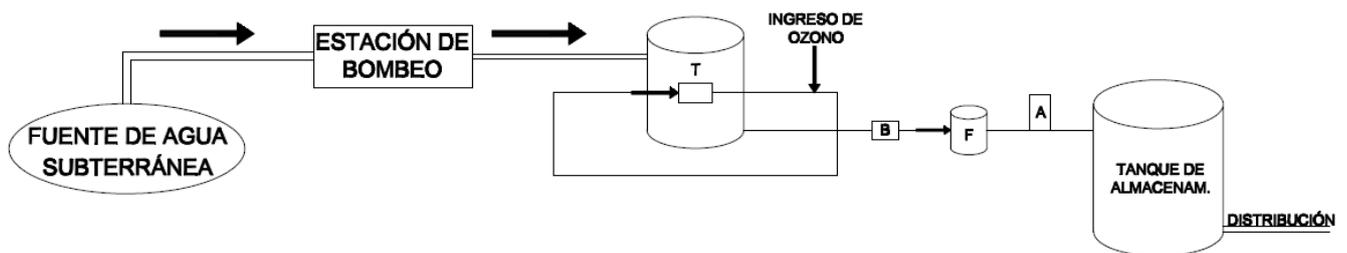
Con el propósito de profundizar los conocimientos acerca de los métodos de remoción del Hierro y Manganeso se realizó una visita a la Planta de Tratamiento de agua subterránea de la Comunidad de Chichahuiña, que fue construida por la Prefectura del Azuay y que tiene como propósito principal remover el hierro y manganeso del agua cruda. A continuación se enumeran los pasos a seguir en esta planta para el tratamiento del agua:

- Primero, se extrae el agua cruda de la fuente de agua subterránea por medio de una bomba, esta lleva al líquido hasta un tanque que se encuentra ubicado en una

zona alta de la comunidad antes mencionada con lo que se evita posteriores estaciones de bombeo para la distribución.

- Una vez ingresada el agua cruda en el tanque se procede a hacerla circular por unas tuberías dentro de las cuales se ingresa el ozono, esto se lo realiza con el propósito de remover el manganeso del agua.
- Una vez ingresado el ozono al tanque se bombea el agua hasta los filtros de arena con los cuales se remueve el hierro y el manganeso.
- Una vez que se tiene el agua libre de partículas sólidas se la hace pasar por un ablandador con el cual se logra quitar la dureza provocada anteriormente por la presencia excesiva de hierro y manganeso.
- Finalmente, el agua tratada se lleva al tanque de almacenamiento del cual se podrá realizar su distribución a la población.

A continuación se muestra el esquema de la Planta de Tratamiento de Chicahuiña:



Es importante indicar que en esta planta se logra una remoción casi total del hierro y manganeso, a la vez se alcanza ablandar al agua para evitar que esta sea demasiado dura; es importante indicar que no se logra una remoción total del color, ni sabor ya que el agua tiene un color amarillento y es salada por lo que se requeriría un tratamiento adicional para completar el tratamiento.

**NOTA:** En los ANEXOS se muestran algunas fotografías de la planta de Chicahuiña.

## **CAPITULO VI. NORMAS DE CALIDAD REFERENTES A LA PRESENCIA DE HIERRO Y MANGANESO PARA USO HUMANO.**

### **6.1. NORMAS DE CALIDAD REFERENTES A LA PRESENCIA DE HIERRO PARA USO HUMANO.**

Los valores recomendados por la OMS no están basados en consideraciones fisiológicas porque el hierro en trazas es esencial para la nutrición. De este modo, grandes concentraciones de hierro son ingeridas con fines terapéuticos.

La dosis diaria es de 1 a 2mg y la mayor parte de las dietas permiten consumir entre 7 a 35mg por día con un promedio de 16mg/l. Consecuentemente, el agua para consumo humano debe tener una concentración que no sea detectada por el paladar y no tenga impacto estético.

El umbral del sabor del hierro ha sido establecido entre 0.1 a 0.2mg/l de hierro bajo la forma de cloruro o sulfato ferroso.

Según la OMS, en niveles por encima de 0.3mg/l, el hierro mancha la ropa lavada y los accesorios de fontanería. Por lo general, no se aprecia ningún sabor en aguas con concentraciones de hierro menores que 0.3mg/l, aunque pueden aparecer turbidez y coloración. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el hierro.

Las normas americanas han fijado un límite de 0.3mg/l, para las aguas de bebida, pero 0.4mg/l puede considerarse como un límite superior; sin embargo si se quieren evitar los inconvenientes de gusto, olor, precipitados y manchas en la ropa, el agua de distribución no deberá tener una cantidad de hierro superior a 0.1mg/l.

La toxicidad para la vida acuática es difícil de precisar, está en función del estado químico del metal (ferroso o férrico). Para los usos industriales, y en particular para las industrias alimentarias (azúcares, bebidas gaseosas), se recomienda no sobrepasar 0.2mg/l.

Según la norma INEN – 2006, el valor de hierro (Fe) permisible para que el agua potable sea apta para consumo humano es de 0.30mg/l.

La norma guatemalteca de calidad del agua potable establece los límites del hierro de la siguiente manera:

- Límite máximo aceptable: 0.1mg/L.
- Límite máximo permisible: 1.0mg/L.

## **6.2. NORMAS DE CALIDAD REFERENTES A LA PRESENCIA DE MANGANESO PARA USO HUMANO.**

Según la OMS, la presencia de manganeso a concentraciones mayores que 0.1mg/l en sistemas de abastecimiento de agua produce un sabor no deseable en bebidas y mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios. Al igual que sucede con el hierro, la presencia de manganeso en el agua de consumo puede dar lugar a la acumulación de depósitos en el sistema de distribución. Las concentraciones menores que 0.1mg/l suelen ser aceptables para los consumidores. Incluso en una concentración de 0.2mg/l, el manganeso formará con frecuencia una capa en las tuberías, que puede desprenderse en forma de precipitado negro. El valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el manganeso es cuatro veces mayor que el mencionado umbral de aceptabilidad de 0.1mg/l.

Las normas americanas dan como concentración límite para el manganeso 0.05mg/l, aunque este valor puede cambiar dependiendo de las condiciones locales <sup>[1]</sup>.

Las guías para calidad de agua potable basadas en criterios sanitarios, sugieren que un valor de 0.5mg/l de manganeso, debería ser suficiente para proteger la salud pública.

Según la norma INEN – 2006, el valor de manganeso (Mn) permisible para que el agua potable sea apta para consumo humano es de 0.10mg/l.

La EPA ha establecido que la exposición a concentraciones de manganeso de 1mg/L en el agua potable durante 1 ó 10 días no causará efectos adversos en un niño.

La EPA ha establecido que la exposición de por vida a concentraciones de manganeso de 0.3mg/L no causará efectos adversos.

La norma guatemalteca de calidad del agua potable establece los límites del manganeso de la siguiente manera:

- Límite máximo aceptable: 0.05mg/L.
- Límite máximo permisible: 0.50mg/L.

## **CONCLUSIONES.**

Tanto el hierro como el manganeso se encuentran dentro de los metales más abundantes sobre la corteza terrestre.

La presencia de hierro y manganeso en cantidades apropiadas en el agua no tiene efectos nocivos en la salud y son aptas para el consumo humano.

El manganeso se encuentra en pequeñas cantidades en el agua comparada con el hierro, sin embargo es importante indicar que cuando el Mn se encuentra en grandes cantidades puede tener efectos neurotóxicos.

Los límites para el hierro y el manganeso han sido establecidos por consideraciones estéticas y económicas más que por peligro fisiológico.

Se debe investigar y considerar dentro de los diseños de los procesos de tratamiento, los problemas organolépticos y de salud que se puedan presentar debido a la utilización de sustancias químicas en el tratamiento de agua potable.

Los métodos de remoción de hierro y manganeso por aireación, oxidación, sedimentación y filtración, son económicamente factibles, fáciles de implementar y de operar.

Es posible utilizar la combinación de algunos métodos por ejemplo se puede utilizar la sedimentación con floculantes seguida de una filtración lenta, lo que ha proporcionado buenos resultados y permite diseñar plantas que se acoplen a las distintas necesidades que puede tener una comunidad.

La realización de diversos ensayos nos permite lograr la selección adecuada de los procesos de tratamiento y la construcción de obras de ingeniería sanitaria que cumplan con los objetivos de remover los parámetros que pueden afectar la calidad del agua de abastecimiento.

Las diversas normas de calidad del agua prácticamente coinciden que las concentraciones de hierro permisibles dentro del agua de consumo son de 0.30mg/l, mientras que los valores permisibles para las concentraciones de manganeso oscilan entre 0.10 a 0.50mg/l.

## **RECOMENDACIONES.**

Se recomienda efectuar ensayos de laboratorio para cada una de las fuentes de abastecimiento de agua para elegir el tratamiento más adecuado.

Se recomienda realizar un seguimiento de los sistemas de conducción puesto que en estos se puede detectar la presencia de hierro y manganeso, con lo cual se puede tomar rápidamente medidas correctivas que evitan causar mayores daños en las tuberías y molestias en los consumidores finales.

Es recomendable investigar acerca de las experiencias que han tenido otros países con los diferentes métodos de remoción de los metales tratados en este trabajo puesto que esto permitirá obtener información valiosa que permitirá elegir de mejor manera el método de tratamiento a utilizar en la planta a diseñarse.

Los problemas relacionados al hierro y manganeso en las redes principales de distribución, pueden ser minimizados por:

- Una separación previa por un tratamiento adecuado.
- Protegiendo las redes principales de hierro o acero con un revestimiento bituminoso o usando materiales no corrosivos.
- Evitando tuberías con punto muerto.
- Evitando disturbios en el fluido del agua
- Drenándolas periódicamente.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

DRA. GUILLERMINA PAUTA C. "Manual de teoría y Prácticas de Análisis de Aguas".

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. "Guías para la calidad del agua potable", Segunda edición" - Volumen 1: Recomendaciones - Ginebra 1995.

ROMERO ROJAS. "Calidad del agua". Colombia, Editorial Alfa - omega, 1999.

ROMERO ROJAS. "Purificación del agua". Colombia, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.

ROMERO ROJAS. "Acuiquímica". Colombia, Editorial Presencia. 1995.

PACINI V., INGALLINELLA A.M., SANGUINETTI G. "Nuevos Avances en la Remoción Biológica de Fe y Mn". 2003.

REVISTA INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL. "Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria- Argentina". Páginas # 74, 46-54.

GRUPO HEUREMA. "Manganeso y magnesio: dos metales con el mismo nombre. Educación secundaria: Enseñanza de la Física y la Química".

MODESTO BAARGALLÓ, "Curso de Química Descriptiva Inorgánica y Orgánica", Primera edición, Editorial Marín, páginas 430 a la 560.

**Ref. <sup>[1]</sup>**. DRA. GUILLERMINA PAUTA C. "Manual de teoría y Prácticas de Análisis de Aguas", páginas 67 a la 75.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Hierro>

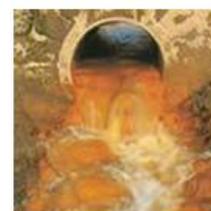
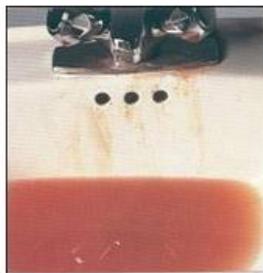
<http://www.lenntech.es/agua-subterranea/origen-y-cantidad-agua-subterranea.htm#ixzz1YsuUhK55>

[http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs151.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs151.html)

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/fe.htm#ixzz1YuVwRqw8>

**ANEXOS.**

**ANEXO 1. FOTOGRAFÍAS DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR LA PRESENCIA DE HIERRO Y MANGANESO.**



**ANEXO2. FOTOGRAFÍAS A LA PLANTA DE TRAMIENTO DE AGUA DE LA COMUNIDAD DE CHICAHUIÑA UBICADA EN EL CANTÓN GUALACEO.**



“PLANTA DE TRAMIENTO DE CHICAHUIÑA”.



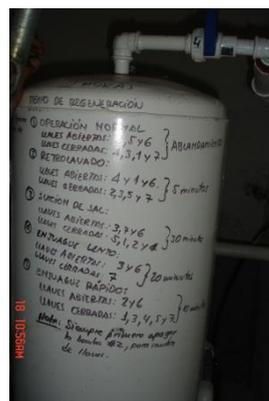
“SISTEMA DE CONTROL”.



“SISTEMA DE OZONIFICACIÓN”.



“FILTROS DE ARENA”.



“ABLANDADOR”.

**ANEXO3. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1 108:2006.**



**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 1 108:2006**  
**Segunda revisión**

---

**AGUA POTABLE. REQUISITOS.**

**Primera Edición**

WATER DRINKING. SPECIFICATIONS.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable.  
AL 01.06-401  
CDU: 644.61  
CIU: 4200  
ICS: 13.060.20

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3999 - Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria</b>	<b>AGUA POTABLE. REQUISITOS.</b>	<b>NTE INEN 1 108:2006 Segunda revisión 2006-03</b>
--	--------------------------------------	---

### 1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

### 2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

### 3. DEFINICIONES

3.1 **Agua Potable.** Es el agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

3.2 **Agua Cruda.** Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

3.3 **Límite máximo permisible.** Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano.

3.4 **UFC/ml.** Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.

3.5 **NMP.** Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los Tubos múltiples.

3.6 **µg/l.** (microgramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

3.7 **mg/l.** (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

3.8 **Microorganismo patógeno.** Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

3.9 **Pesticidas.** Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repelar o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nemátodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.

3.10 **Desinfección.** Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.

3.11 **Subproductos de desinfección.** Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.

3.12 **Radio nucleido.** Nucleidos radiactivos; nucleidos: conjunto de átomos que tienen núcleos con igual número atómico Z y másico A.

3.13 **MBAS, ABS .** Sustancias activas al azul de metileno; Alquil Benceno Sulfonato.

3.14 **Cloro residual.** Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.

3.15 **Dureza total.** Es la cantidad de calcio y magnesio presente en el agua y expresado como carbonato de calcio.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable.

**3.16 Sólidos totales disueltos.** Fracción filtrable de los sólidos que corresponde a los sólidos coloidales y disueltos.

#### 4. DISPOSICIONES GENERALES

**4.1** Cuando el agua potable se utilice como materia prima para la elaboración de productos de consumo humano, la concentración de aerobios mesófilos, no deberá ser superior a 100 UFC/ml

#### 5. REQUISITOS

##### 5.1 Requisitos Específicos

**5.1.1** El Agua Potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo Permisible
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	--	no objetable
Sabor	--	no objetable
pH	--	6,5 - 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1 000
<b>Inorgánicos</b>		
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH <sub>3</sub> )	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,3
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN	mg/l	0,0
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 – 1,5
Cloruros, Cl	mg/l	250
Cobalto, Co	mg/l	0,2
Cobre, Cu	mg/l	1,0
Cromo, Cr (cromo hexavalente)	mg/l	0,05
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/l	300
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Flúor, F	mg/l	1,5
Fósforo, (P-PO <sub>4</sub> )	mg/l	0,1
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Litio, Li	mg/l	0,2
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Nitratos, N-NO <sub>3</sub>	mg/l	10
Nitritos, N-NO <sub>2</sub>	mg/l	0,0
Plata, Ag	mg/l	0,05
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Potasio, K	mg/l	20
Selenio, Se	mg/l	0,01
Sodio, Na	mg/l	200
Sulfatos, SO <sub>4</sub>	mg/l	200
Vanadio, V	mg/l	0,1
Zinc, Zn	mg/l	3
<b>Radiactivos</b>		
Radiación total $\alpha$ **	Bq/l	0,1
Radiación total $\beta$ ***	Bq/l	1,0

\* Cuando se utiliza cloro como desinfectante y luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

\*\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>210</sup>Po, <sup>224</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>234</sup>U, <sup>236</sup>U, <sup>238</sup>Pu

\*\*\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>60</sup>Co, <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>129</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra

(Continúa)

<b>Orgánicos</b>		
Tensoactivos ABS (MBAS)	mg/l	0,0
Fenoles	mg/l	0,0

### Sustancias Orgánicas

	Límite máximo µg/l
Alcanos Clorinados	
- tetracloruro de carbono	2
- diclorometano	20
- 1,2dicloroetano	30
- 1,1,1-tricloroetano	2000
Etanos Clorinados	
- cloruro de vinilo	5
- 1,1dicloroetano	30
- 1,2dicloroetano	50
- tricloroetano	70
- tetracloroetano	40
Hidrocarburos Aromáticos	
- benceno	10
- tolueno	170
- xileno	500
- etilbenceno	200
- estireno	20
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	0,3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	
- benzo [a]pireno	0,01
- benzo [a]fluoranteno	0,03
- benzo [k]fluoranteno	0,03
- benzo [ghi]pirileno	0,03
- indeno [1,2,3-cd]pireno	0,03
Bencenos Clorinados	
- monoclorobenceno	300
- 1,2-diclorobenceno	1000
- 1,4-diclorobenceno	300
- triclorobencenos (total)	20
di(2-etilhexil) adipato	80
di(2-etilhexil) ftalato	8
acrylamida	0,5
epiclorohidrin	0,4
hexaclorobutadieno	0,6
Ácido etilendiaminatetracético EDTA	200
ácido nitrotriacético	200
óxido tributiltin	2

(Continúa)

**Pesticidas**

	<b>Límite máximo µg/l</b>
Isoproturon	9
Lindano	2
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	2
Metoxycloro	10
Molinato	6
Pendimetalin	20
Pentaclorofenol	9
Permetrin	20
Propanil	20
Piridato	100
Simazina	2
Trifluralin	20
Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPA 2,4-DB	90
Dicloroprop	100
Fenoprop	9
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxibutírico MCPB	2
Mecoprop	10
2,4,5-T	9

**Residuos de desinfectantes**

	<b>Límite máximo µg/l</b>
Monocloramina, di- y tricloramina	3
Cloro	5

**Subproductos de desinfección**

	<b>Límite máximo µg/l</b>
Bromato	25
Clorito	200
Clorofenoles	
- 2,4,6-triclorofenol	200
Formaldeído	900
Trihalometanos	
- bromoformo	100
- diclorometano	100
- bromodiclorometano	60
- cloroformo	200
Ácidos acéticos clorinados	
- ácido dicloroacético	50
- ácido tricloroacético	100
Hidrato clorado	
- tricloroacetaldeído	10
Acetonitrilos halogenados	
- dicloroacetonitrilo	90
- dibromoacetonitrilo	100
- tricloroacetonitrilo	1
Cianógeno clorado (como CN)	70

5.1.2 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos Microbiológicos.

(Continúa)

### Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2 *
Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2 *
Criptosporidium, número de quistes/100 litros	ausencia
Giardia Lambia, número de quistes/100 litros	ausencia

\* < 2 significa que en el ensayo del NMP utilizando una serie de 5 tubos por dilución, ninguno es positivo

- (1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.

## 6. INSPECCIÓN

### 6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis bacteriológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods)

6.1.2 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

## 7. MÉTODOS DE ENSAYO

7.1 Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods) especificados en su última edición.

(Continúa)

**ANEXO 1.  
(INFORMATIVO)**

Número de unidades a tomarse de acuerdo a la población servida

**ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS EN LA RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE**

Población servida	Número mínimo Muestras /mes	Población servida	Número mínimo Muestras /mes
25 a 1000	1	83001 a 90000	90
1001 a 2500	2	90001 a 96000	95
2501 a 3300	3	96001 a 111000	100
3301 a 4100	4	111001 a 130000	110
4101 a 4900	5	130001 a 160000	120
4901 a 5800	6	160001 a 190000	130
5801 a 6700	7	190001 a 220000	140
6701 a 7600	8	220001 a 250000	150
7601 a 8500	9	250001 a 290000	160
8501 a 9400	10	290001 a 320000	170
9401 a 10300	11	320001 a 360000	180
10301 a 11100	12	360001 a 410000	190
11101 a 12000	13	410001 a 450000	200
12001 a 12900	14	450001 a 500000	210
12901 a 13700	15	500001 a 530000	220
13701 a 14600	16	530001 a 600000	230
14601 a 15500	17	600001 a 660000	240
15501 a 16300	18	660001 a 720000	250
16301 a 17200	19	720001 a 780000	260
17201 a 18100	20	780001 a 840000	270
18101 a 18900	21	840001 a 910000	280
18901 a 19800	22	910001 a 970000	290
19801 a 20700	23	970001 a 1050000	300
20701 a 21500	24	1050001 a 1140000	310
21501 a 22300	25	1140001 a 1230000	320
22301 a 23200	26	1230001 a 1320000	330
23201 a 24000	27	1320001 a 1420000	340
24001 a 24900	28	1420001 a 1520000	350
24901 a 25000	29	1520001 a 1630000	360
25001 a 28000	30	1630001 a 1730000	370
28001 a 33000	35	1730001 a 1850000	380
33001 a 37000	40	1850001 a 1970000	390
37001 a 41000	45	1970001 a 2060000	400
41001 a 46000	50	2060001 a 2270000	410
46001 a 50000	55	2270001 a 2510000	420
50001 a 54000	60	2510001 a 2750000	430
54001 a 59000	65	2750001 a 3020000	440
59001 a 64000	70	3020001 a 3320000	450
64001 a 70000	75	3320001 a 3620000	460
70001 a 76000	80	3620001 a 3960000	470
76001 a 83000	85	3960001 a 4310000	480
		4310001 a 4690000	490
		Sobre 4690000	500

Fuente: Interim Primary Drinking Water Standards – Environmental Protection Agency (EPA),1975

Bibliografía:

CETESB. Compañía de tecnología de Saneamiento Ambiental. Control de Calidad del Agua Potable para consumo humano. Bases conceptuales y Operacionales. Sao Paulo, 1977

*(Continúa)*

## APÉNDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Métodos Normalizados para el Agua potable y residual (Standard Methods) en su última edición. Publicado por la APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water World Association) y WEF (Water Environment Federation).

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 *Agua Potable Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, 1983.

Ministerio del Ambiente, *Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria*, actualizada a diciembre de 2002. Corporación de estudios y Publicaciones, Quito 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality Volume 1 Recommendations*. Second Edition. Geneva, 1993.

CETESB. Companhia de tecnologia de saneamiento ambiental del Brasil. *Control de calidad para el agua de consumo humano*. Bases conceptuales y operacionales. Sao Paulo, 1977.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

---

<b>Documento:</b> NTE INEN 1 108 Segunda revisión	<b>TÍTULO:</b> AGUA POTABLE. REQUISITOS.	<b>Código:</b> AL 01.06-401
---	--	--------------------------------

---

<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo 2005-07-21 Oficialización con el Carácter de Obligatoria por Acuerdo No. 05684 de 2005-09-08 publicado en el Registro Oficial No. 108 de 2005-09-21  Fecha de iniciación del estudio: 2005-10-27
--	--

---

Fechas de consulta pública: de \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_

---

**Comité Interno del INEN:**  
Fecha de iniciación: 2005-11-08  
Integrantes del Comité Interno:

Fecha de aprobación: 2005-11-08

**NOMBRES:**

Dr. Ramiro Gallegos

Dra. Hipatia Navas  
Ing. Gonzalo Arteaga  
Ing. Enrique Troya

Ing. María E. Dávalos (Secretaria Técnica)

**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

DIRECTOR DEL ÁREA TÉCNICA DE SERVICIOS  
TECNOLÓGICOS  
ÁREA TÉCNICA DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS  
ÁREA TÉCNICA DE NORMALIZACIÓN  
DIRECTOR DEL ÁREA TÉCNICA DE  
VERIFICACIÓN  
REGIONAL CHIMBORAZO

---

Otros trámites:

---

El Consejo Directivo del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2006-01-18

---

Oficializada como: Obligatoria  
Registro Oficial No. 231 de 2006-03-17

Por Acuerdo Ministerial No. 06 094 de 2006-03-01