



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

Determinación de hierro y manganeso a nivel de las redes de distribución y en agua procedente de las captaciones de la planta de agua potable EMAPAL (Uchupucún, Azogues).

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE BIOQUÍMICO FARMACEÚTICO

AUTORAS:

SONIA SILVANA GUAMÁN YUNGA

C.I: 0104920079

DAYSÍ GABRIELA MENDEZ ATANCURI

C.I: 0105162663

DIRECTORA:

DRA. MARÍA ELENA CAZAR RAMIREZ, Ph. D.

C.I:0602243800

ASESOR:

DR. WILSON GIOVANNI LARRIVA. Ms. C

C.I: 0102194248

CUENCA – ECUADOR

2017



RESUMEN

El presente estudio se desarrolló con el fin de establecer las concentraciones de hierro y manganeso en aguas de uso doméstico suministradas por la planta de agua potable EMAPAL (Azogues, Cañar) en el periodo Mayo– Agosto, 2017. Este proyecto contribuye al aseguramiento de la calidad de los servicios de agua potable y saneamiento ambiental de Azogues.

Se desarrolló un estudio de tipo descriptivo y transversal, fueron seleccionadas aleatoriamente 330 muestras de hogares urbanos y rurales que reciben agua de la planta EMAPAL, conjuntamente con 40 muestras de las captaciones. La cuantificación de los metales se realizó por espectroscopía ultravioleta - visible. Se investigaron posibles diferencias significativas entre los promedios de hierro y manganeso y valores de referencia. Además, se compararon los promedios de concentración de los metales en estudio de localidades urbanas y rurales. Los parámetros analizados no constan en la norma vigente INEN 1108-2014, por lo que para la correspondiente evaluación fue necesario tomar como referencia la normativa INEN 1108-2006.

El promedio de las concentraciones encontradas en la población en estudio no varió significativamente, en comparación con la concentración límite (Norma INEN 1108-2006 hierro 0,30 ppm; manganeso 0,10 ppm). Las concentraciones de estos metales en zonas urbanas y rurales variaron significativamente al encontrarse sobre los valores de referencia en zonas rurales. La calidad de la infraestructura de las redes de distribución podría influir en cuanto a la calidad del agua causando posibles cambios organolépticos.

Los resultados de este estudio generan información válida para que EMAPAL tome decisiones adecuadas para mantener la inocuidad del agua en la Provincia de Cañar.

PALABRAS CLAVES

Calidad del agua, hierro, manganeso, espectrofotometría.



ABSTRACT

The aim of the present study was to establish iron and manganese concentrations in domestic waters submitted by EMAPAL water plant (Azogues, Cañar); during May – August, 2017. The present research contributed to ensure water quality and environmental sanitation for the users of this public service.

A descriptive, transversal study was developed. 330 samples from urban and rural users of EMAPAL were gathered, plus 40 samples from the water sources. Metals quantification was performed by means of ultraviolet-visible spectroscopy. Data analysis included several comparisons between iron and manganese concentration means and reference values. Besides, possible differences between the parameters obtained for local and rural locations were investigated.

The reference parameters do not appear in the current norm INEN 1108-2014. For this reason, we referred to the norm INEN 1108-2006. No significant differences were found in the comparison between experimental and references values (0.30 ppm for iron and 0.10 ppm for manganese). The concentrations from the metals under study are higher in rural zones. The infrastructure quality of the distribution networks may influence in the results obtained, affecting the organoleptic qualities of water.

The results obtained in the study generate valid information to aid EMAPAL in decision making to ensure water safety in Cañar province.

KEYWORDS

Water quality, iron, manganese, spectrophotometry.



| ÍNDICE GENERAL | pág. |
|---|-------------|
| RESUMEN..... | 2 |
| ABSTRACT..... | 3 |
| AGRADECIMIENTOS..... | 8 |
| DEDICATORIA..... | 9 |
| INTRODUCCIÓN..... | 14 |
| HIPOTESIS..... | 16 |
| OBJETIVOS..... | 16 |
| MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 1.1 El Agua..... | 17 |
| 1.1.1 Generalidades..... | 17 |
| 1.1.2. Principales metales de ocurrencia común en el agua de consumo..... | 17 |
| 1.1.3 Requisitos del agua para uso doméstico..... | 18 |
| 1.1.4 Origen del hierro y manganeso en el agua..... | 19 |
| 1.1.5 Consecuencias del hierro y manganeso en instalaciones y accesorios..... | 20 |
| 1.1.6 Importancia del hierro y manganeso en el organismo..... | 20 |
| 1.1.7 Bioacumulación del hierro y manganeso en el organismo humano..... | 21 |
| 1.1.8 Riesgos del hierro y manganeso en la salud humana..... | 22 |
| 2. METODOLOGÍA..... | 24 |
| 2.1 Tipo de Estudio | 24 |
| 2.2 Descripción área de estudio..... | 24 |



| | |
|---|----|
| 2.3 Definición de la población y obtención de la muestra..... | 24 |
| 2.4 Muestreo..... | 25 |
| 2.5. Cuantificación de hierro en aguas: fundamento analítico..... | 25 |
| 2.6 Cuantificación de manganeso en aguas: fundamento analítico..... | 27 |
| 2.7 Materiales, reactivos y equipos..... | 29 |
| 2.8 Análisis estadístico de datos..... | 30 |
| 3. RESULTADOS..... | 31 |
| 3.1 Curvas de calibración para la cuantificación de hierro y manganeso en agua..... | 31 |
| 3.2 Estadísticos descriptivos de posición y descripción de concentración de hierro y manganeso para las zonas urbanas y rurales del cantón Azogues..... | 32 |
| 3.3 Concentración de hierro y manganeso para el agua utilizada en las zonas urbanas del cantón Azogues..... | 33 |
| 3.4 Concentración de hierro y manganeso para el agua utilizada en las zonas rurales del cantón Azogues..... | 34 |
| 3.5 Comparación de la concentración de hierro y manganeso en agua de uso domestico en zonas urbanas y rurales del cantón Azogues..... | 35 |
| 3.6 Determinación de hierro y manganeso en las captaciones de la planta potabilizadora Uchupucún..... | 36 |
| 4. DISCUSIONES..... | 38 |
| 5. CONCLUSIONES..... | 41 |
| 6. RECOMENDACIONES..... | 42 |
| GLOSARIO..... | 43 |



UNIVERSIDAD DE CUENCA

BIBLIOGRAFÍA.....44



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Sonia Silvana Guamán Yunga en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Determinación de hierro y manganeso a nivel de las redes de distribución y en agua procedente de las captaciones de la planta de agua potable EMAPAL (Uchupucún, Azogues)", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de Octubre de 2017.

Sonia Silvana Guamán Yunga

C.I.: 0104920079



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cláusula de Propiedad Intelectual

Sonia Silvana Guamán Yunga autor/a del trabajo de titulación Determinación de hierro y manganeso a nivel de las redes de distribución y en agua procedente de las captaciones de la planta de agua potable EMAPAL (Uchupucún, Azogues)", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 24 de Octubre de 2017.

Sonia Silvana Guamán Yunga

C.I.: 0104920079



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Daysi Gabriela Mendez Atancuri en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Determinación de hierro y manganeso a nivel de las redes de distribución y en agua procedente de las captaciones de la planta de agua potable EMAPAL (Uchupucún, Azogues)", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de Octubre de 2017.

Daysi Gabriela Mendez Atancuri

C.I: 0105162663



Cláusula de Propiedad Intelectual

Daysi Gabriela Mendez Atancuri autor/a del trabajo de titulación "Determinación de hierro y manganeso a nivel de las redes de distribución y en agua procedente de las captaciones de la planta de agua potable EMAPAL (Uchupucún, Azogues)", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 24 de Octubre de 2017.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Daysi Mendez", written over a horizontal line.

Daysi Gabriela Mendez Atancuri

C.I: 0105162663



AGRADECIMIENTOS

El objetivo alcanzado al culminar este proyecto de investigación se lo debemos en primer lugar a Dios.

EMAPAL empresa pública que nos ha abierto las puertas de sus instalaciones, facilitándonos de todas las formas el desarrollo de nuestro trabajo de investigación, razones suficientes para dejar constancia de nuestro sincero agradecimiento a la institución, sus directivos y personal del área de laboratorio.

A la Universidad de Cuenca, sus directivos y docentes que nos guiaron con sus conocimientos y aportaron con su valioso tiempo en el desarrollo de esta tesis.

De igual manera agradecemos infinitamente a nuestras familias y amigos que de alguna manera contribuyeron a la realización de este estudio, a la culminación del documento y de este nuevo logro.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DEDICATORIA

Con infinito amor a mis padres que han sido mi pilar fundamental para culminar este periodo académico.

Mis bellos hermanos que han sido mi ejemplo a seguir y mi apoyo incondicional.

A mis ángeles que desde el cielo nunca me abandonaron y hoy cuidan de mí.

Y a todas aquellas personas que han sido parte de mi vida a lo largo de esta trayectoria.

Sonia



DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado vida, salud, sabiduría y entendimiento, por estar presente en mi camino dándome fuerza, fe y enviando ángeles a mi caminar cotidiano motivándome a concluir con todos los proyectos propuestos, por llegar a mi vida en un momento tan difícil y no salir de ella, por darme la felicidad más grande de mi vida conservar a mi familia unida después de tantos golpes duros recibidos no me ha dejado sola.

A mi padre Humberto Méndez, por darme la vida, por estar presente en los momentos más difíciles cuando pensábamos que el mundo se nos venía encima, por guiarme hacia el camino correcto, por ser el ángel que Dios me envió para enseñarme a ser fuerte y a tomar las mejores decisiones en mi vida, por ser el guía de mis pasos, el pilar fundamental que necesito para llegar a cumplir mis metas. Papi gracias porque por ser mi ejemplo a seguir.

A mi madre Beatriz Atancuri, por darme la vida, por ser la luz que todos los días se enciende en mi vida, por apoyarme siempre, por ser la motivadora de mis sueños, por ser el ángel que Dios me devolvió en medio de tanto llanto, por ser más que mi madre mi mejor amiga y por ser lo que es. Mami gracias por estar presente en mi vida, por decirme antes y saber que cinco años después tú vas a estar presente en mi sueño.

A mi Hermano Kevin Méndez, por ser un hermano de verdad, por apoyarme en los peores momentos de la vida, por sacarme una sonrisa en los momentos difíciles, por motivarme a seguir adelante sin decaer sabiendo que son los peores momentos, por estar conmigo en las buenas y en las malas. Gordito gracias por ser mi mayor apoyo.

A mis abuelitos Lolita y Luchito, por los sabios consejos que me supieron dar en momentos difíciles, por enseñarme que los años son sabiduría completa.

A Todos aquellos familiares y amigos que llegaron como ángeles a mi vida que no recordé al momento redactar mi dedicatoria, pero que realmente me llegaron a apoyar en todo momento y no me dejaron sola, estuvieron presentes cuando más los necesité, y que además de ello me ayudaron a mejorar como persona.

Daysi



INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua potable de calidad constituye un elemento fundamental para el desarrollo de los países. La Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua, reafirmando que un agua potable limpia es esencial para la realización de todos los derechos humanos. (Ki-moon, El agua fuente de vida, 2015)

En Ecuador existe un gran número de plantas procesadoras de agua potable que cumplen con la norma vigente INEN 1108. Sin embargo, el riesgo para la salud aún persiste, debido a la contaminación en las fuentes o la falta de acceso donde las plantas procesadoras no puedan proveer de agua potable. (OMS, 2016)

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del Cantón Azogues EMAPAL es una entidad, cuyo objetivo es la prestación de servicios públicos de agua potable beneficiando a 10000 usuarios aproximadamente que forman parte de diversas zonas urbanas y rurales de la ciudad. (EMAPAL EP, 2016)

Diversos sectores rurales de la ciudad de Azogues son abastecidos de agua potable a través de las submatrices que utilizan tuberías de policloruro de vinilo lo que podría provocar posibles problemas en la distribución del agua como: rupturas y fallos en las uniones, consecuencia de ello, el agua muchas veces puede llegar con contaminantes a los usuarios. (EMAPAL EP, 2016)

Los principales metales contaminantes son el hierro y manganeso, el agua puede contener bacterias tolerantes a dichos metales, las cuales podrían acumularse en los tubos y cañerías, tanques de presión, calentadores de agua e inodoros. Estos depósitos restringen el flujo de agua y reducen su presión, lo que implica el aumento de los costos de energía y agua porque se requiere mayor potencia para bombear este líquido vital a través de los tubos tapados y para calentar agua si la superficie de los calentadores estuviera cubierta de depósitos minerales. (Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas, 2010)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

El metal que afecta en mayor cantidad a la salud pública es el manganeso, ya que al consumirse en dosis bajas se acumula en el organismo y no se degrada, aunque parte se elimina en las heces, este metal llega a producir daño a largo plazo afectando al sistema nervioso y provocando alteraciones en el comportamiento. Los estudios en niños sugieren que la exposición a niveles extremadamente altos de manganeso puede producir alteraciones en el desarrollo del cerebro, incluso alteraciones del comportamiento y en la capacidad de aprendizaje y la memoria. El manganeso en pequeñas cantidades puede atravesar la placenta durante el embarazo y afectar al feto. (Jiménez, 2010)

Por lo tanto, la presente investigación pretende evaluar la presencia de estos metales, su rango de concentración y el posible impacto en la salud de la población que utiliza el agua con la finalidad de que los resultados obtenidos sirvan como un antecedente para el control de la distribución y mejoramiento de calidad en caso de ser necesario.



HIPÓTESIS

A través de la cuantificación de hierro y manganeso en muestras de agua potable de los usuarios de EMAPAL, se podrá determinar si la concentración de estos metales difiere tanto en sectores urbanos como rurales de la ciudad de Azogues.

OBJETIVOS

1. Objetivo general

- Determinar la concentración de hierro y manganeso a nivel de redes de distribución tanto de sectores urbanos como rurales de la ciudad de Azogues y en agua procedente de las captaciones de la planta de agua potable EMAPAL.

2. Objetivos específicos

- Obtener un valor promedio de las concentraciones de hierro y manganeso presentes en las muestras de agua de sectores tanto urbanos como rurales y comparar con los valores citados en las normas de referencia.
- Comparar los resultados obtenidos en los sectores urbanos como rurales de los usuarios de la red de agua potable EMAPAL.
- Recomendar a la empresa EMAPAL, Azogues estrategias asociadas al control de los niveles de hierro y manganeso encontrados.



1. MARCO TEÓRICO

1.1 El Agua

1.1.1 Generalidades

El agua es el compuesto de mayor abundancia en la tierra y el único que se encuentra en estado líquido, sólido y gaseoso, está cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre, de los cuales el 97% se encuentra en los océanos, considerándola inservible para el uso humano. El 3 % restante corresponde al agua dulce, de este porcentaje, no toda el agua se encuentra disponible para su uso, pues el 2,38 % permanece en estado sólido, resultando prácticamente inaccesible pues forma los casquetes polares y glaciales. El resto, que constituye el 0,62 %, se encuentra en ríos, lagos y aguas subterráneas que son las consideradas disponibles para el uso humano. (UNESCO, 2015)

El agua es la sustancia vital para la vida del ser humano y debe ser apta para el consumo por lo que el hombre se ha encargado de darle diversos tratamientos para que la misma puede ser útil y bebible para el organismo, se han utilizado varios métodos y se han establecido estándares para garantizar la calidad del líquido vital, contemplándose en ellos características físicas, químicas y bacteriológicas que han sido fijadas por normas nacionales e internacionales. (OMS, 2010)

1.1.2 Principales metales de ocurrencia común en el agua de consumo

Los principales metales de ocurrencia común en las aguas de consumo son: calcio, sodio, potasio, magnesio, hierro y manganeso, los mismos que se encuentran formando sales ionizables. Son considerados micronutrientes necesarios para los organismos, dependiendo de la concentración que se tengan de los mismos en el agua. (Elosegi & Sabater, 2009)

Se debe considerar que el agua de consumo puede ser de origen superficial o subterránea y de ello depende las sustancias que se encuentren en las mismas. Según los tipos de substratos por la ruta que viaje el agua, ésta se cargará de unas sales u otras en función de la composición y la solubilidad de los materiales de dicho substrato, por



ejemplo, las aguas que fluyen por zonas calizas se cargarán fácilmente de carbonatos principalmente, entre otras sales, pudiendo superar la salinidad del mar. Por otro lado, los cursos de agua que fluyen sobre substratos cristalinos, como los granitos, se cargarán muy poco de sales, y aparecerá en cantidades apreciables, la sílice. Incluso se puede encontrar en el agua metales pesados tales como el zinc, plomo, mercurio y níquel que son comunes en la corteza terrestre, debido a la erosión natural, los vertimientos de la industria y otras fuentes. (García, Sanchez, Marín, & Verdugo, 2011)

El agua encontrada en estado natural nunca está en estado puro, sino que presenta sustancias disueltas y en suspensión. Estas sustancias pueden limitar los usos del agua. Por ejemplo, las aguas hipersalinas o muy sulfurosas no pueden ser utilizadas como agua potable o de riego. (Reynerio & Castillo, 2011)

1.1.3 Requisitos del agua para uso doméstico

Es importante conocer los siguientes términos:

Agua cruda: Es el agua que se encuentra en la naturaleza que no ha recibido ningún tratamiento. (INEN, 2014)

Agua potable: Es el agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas. (INEN, 2014)

Para el consumo humano es necesario que el agua cumpla con ciertos requisitos, los mismos que constan en la norma INEN 1108-2006 que se utilizara como referencia para este análisis.

Cuadro 1. Límites permisibles de sustancias inorgánicas. (INEN, 2006)

| PARÁMETRO | UNIDAD | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE |
|--------------------|--------|--------------------------|
| Inorgánicos | | |
| Hierro, Fe | mg/L | 0,3 |
| Manganeso, Mn | mg/L | 0,1 |



1.1.4 Origen del hierro y manganeso en el agua

El hierro y el manganeso son los metales más abundantes de la corteza terrestre y suelen encontrarse siempre asociados entre sí. Cuando se trata de origen natural en el agua subterránea existe mayor concentración de hierro y manganeso debido a actividad bacteriana registrada en investigaciones, al bajo pH, a la alta concentración de CO_2 y al escaso contenido de oxígeno disuelto. (Restrepo, Galvis, Rojas, & Sanabria, 2007)

El hierro es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, se lo encuentra en concentraciones que oscilan entre 0.5 a 50 mg/L en las aguas de corrientes naturales o superficiales, 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. (OMS, 2006)

Al hierro se lo puede encontrar en el agua formando diferentes especies: coloides, partículas minerales (sólidos en suspensión), o fases disueltas (cationes o iones complejos). Las formas coloidales suelen dar lugar a la formación de hidróxidos, mientras que las partículas sólidas incluyen una gran variedad de minerales. (Barrales & Díaz, 2012)

El manganeso se puede encontrar en altas concentraciones en el aire, el suelo y el agua como consecuencia de la liberación del mismo durante la manufactura, uso o disposición de productos a base de 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. (Cisneros, La Contaminación Ambiental en México, 2001)

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. (OMS, 2003)



1.1.5 Consecuencias del hierro y manganeso en instalaciones y accesorios

En el caso de que no existiera una remoción previa de hierro y manganeso o no fuera la adecuada, al estar en contacto con el aire y con otros oxidantes, como el cloro, podría ocurrir una precipitación que se adhiere a la superficie de las llaves, accesorios de cocina, de baño y prendas de vestir, dejando a estas con un desagradable tinte negro azulado. (Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas, 2010)

1.1.6 Importancia del hierro y manganeso en el organismo

El hierro es un mineral vital para el ser humano. Participa en múltiples procesos metabólicos, ya que se encuentra como componente de enzimas y otros complejos moleculares. (Toxqui & colaboradores, 2010)

Desempeña funciones como: transporte de oxígeno a través de la hemoglobina, síntesis de ADN, forma parte de la enzima ribonucleótido reductasa y facilita el transporte de electrones por tener la capacidad de aceptarlos y donarlos. (Corillocla, 2012)

El hierro interviene en la síntesis, degradación y almacenamiento de neurotransmisores, serotonina, dopamina y ácido gammaaminobutírico (GABA). Es el oligodendrito responsable de la producción de mielina. El hierro absorbido se almacena en forma de ferritina o se utiliza para formar hemoproteínas (hemoglobina, mioglobina y citocromos). (Toxqui & colaboradores, 2010)

El manganeso funciona como cofactor de una serie de enzimas en los organismos superiores, donde son esenciales en la desintoxicación de los radicales libres de superóxido. (Nattural Salusvir, 2010)

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 lecitinas), en donde el manganeso tiene un papel estructural. (Restrepo, Sacher, Galvis, Rojas, & Sanabria, 2007)



En el cerebro humano el manganeso es unido a metaloproteínas de manganeso, siendo la más relevante la glutamina que la sintetiza en astrocitos. Interviene en el correcto funcionamiento de las flavoproteínas y en la síntesis de los mucopolisacáridos del colesterol y de la hemoglobina. (Nordberg, 2004)

1.1.7 Bioacumulación del hierro y manganeso en el organismo humano

La bioacumulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias químicas se acumulan en el organismo de tal forma que alcanzan concentraciones más elevadas que las que hay en el medio ambiente o en los alimentos. De forma que la absorción está regulada por las demandas metabólicas. (Huamán, 2011)

En el caso del hierro, pese a que el cuerpo humano tiene la capacidad de absorber una cantidad adecuada de hierro a nivel de la dieta, no tiene eficientes mecanismos para la eliminación de este micronutriente. Una vez absorbido se reutiliza de forma bastante eficaz. Cuando no se produce de esta manera y existe un daño a nivel del organismo o un proceso anormal, el hierro irá invadiendo tejidos y órganos vitales, como hígado, bazo, médula ósea, glándulas endocrinas y el corazón, siendo órganos blanco. (Toxqui & colaboradores, 2010)

Las dosis agudas tóxicas de hierro se encuentran entre 300-600 miligramos por cada kilogramo de peso corporal. (Restrepo, Sacher, Galvis, Rojas, & Sanabria, 2007)

En el agua potable, la INEN establece que la exposición de por vida a concentraciones de hierro de 0.3 mg/L no causara efectos adversos. (INEN, 2006)

El manganeso se puede absorber a través del tubo digestivo, a partir de los alimentos o el agua, para satisfacer las necesidades del cuerpo y que este funcione normalmente. Solamente cantidades muy pequeñas de manganeso pueden penetrar la piel cuando se entra en contacto con líquidos que contienen este metal. A diferencia del hierro, el manganeso una vez en el cuerpo cumplirá sus funciones y la mayor parte abandonará el cuerpo a través de las heces, cuando existen alteraciones en el funcionamiento del organismo puede producirse su acumulación a nivel de tejidos ricos en mitocondrias y puede atravesar las barreras hematoencefálica y placentaria. (ATSD, 2016)



En el caso del manganeso, para el agua potable la norma INEN ha establecido que la exposición de por vida a concentraciones de manganeso de 0.1 mg/L no causará efectos adversos. (ATSD, 2016)

Los niveles normales de manganeso son aproximadamente de 4–15 µg/L en la sangre, 1–8 µg/L en la orina y 0.4–0.85 µg/L en el suero (la parte líquida de la sangre). (ATSD, 2016)

1.1.8 Riesgos del hierro y manganeso en la salud humana

El hierro y el manganeso, no tienen consecuencias adversas para la salud en dosis adecuadas, pero pueden causar posibles intoxicaciones al consumirlos de manera inadecuada o cuando existen alteraciones en el funcionamiento del organismo. Se sabe que los cationes metálicos como el hierro, zinc, cobre, manganeso, cobalto y cadmio, son oligoelementos esenciales para el crecimiento de todos los organismos. La mayoría de ellos participan como cofactores en procesos enzimáticos o forman parte de estructuras anatómicas celulares. Sin embargo, la elevada concentración de estos cationes metálicos puede tener efectos tóxicos o letales en las células, por inhibición de procesos metabólicos (por ejemplo, la respiración anaeróbica) o por acumulación de radicales libres generados en los procesos de reducción química. Por ello es fundamental que en las células no se sobrepase la concentración apropiada para cada uno de ellos. (Guerra, Abascal, Pacheco, Alonso, & Cruz, 2012)

El hierro en los tejidos, especialmente en el hígado puede ocasionar el desarrollo de una fibrosis e incluso una cirrosis. Además, puede acelerar el desarrollo de un carcinoma hepatocelular. El hierro depositado en el músculo del corazón puede ocasionar anomalías rítmicas y pérdidas de contractibilidad que se observaría a través de distintas arritmias. El hierro depositado en la glándula pituitaria ocasionaría en los niños alteraciones de crecimiento, de maduración sexual y funciones endocrinas. (DIGESA, 2011)

Los efectos del manganeso mayormente ocurren en el tracto respiratorio y en el cerebro. Los síntomas por envenenamiento por manganeso son alucinaciones, olvidos y daños en los nervios. El manganeso puede causar parkinson, embolia de los pulmones y bronquitis. (DIGESA, 2011)



2. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de Estudio

Se desarrolló un estudio de tipo descriptivo y transversal.

2.2 Descripción área de estudio

La ciudad de Azogues, capital de la Provincia del Cañar, se halla localizada en la hoya del río Paute limitado al norte por el Nudo de Curiquingue y al sur el Nudo de Portete y en el flanco oeste la Cordillera respectiva donde se elevan los cerros Soldados y el Minas, y en abierto flanco Oriental la cordillera con tres elevaciones: Allcuquiru, Patacocha y Pan de Azúcar (GAD, 2011)

Este cantón cuenta con una población total de 70.064 habitantes, se registraron un total de 9827 conexiones de agua, representando un nivel de cobertura en agua potable de 46,11%. (Matute & Paidá, 2015)

2.3 Definición de la población y obtención de la muestra

Para establecer el tamaño de muestra aplicado en este estudio se consideró un universo de 10 000 usuarios, en base al dato provisto por EMAPAL EP. Por consiguiente el tamaño de la muestra se calculó considerando una población finita (Hernández Sampieri, 2016):

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2(N - 1) + Z^2 \times p \times q}$$

Dónde:

- n = tamaño de muestra.
- N = tamaño del universo o población de estudio.
- $Z_{\alpha}^2 = 1.96$ (nivel de confianza 95%)
- p= proporción esperada 0.5.
- $q = 1 - p$
- d= precisión (10%)



$$n = \frac{10000 \times 1.96^2 \times 0,5 \times 0,5}{0,05^2 \times (10000 - 1) + 1.96^2 \times 0,5 \times 0,5} = 369.89 \approx 370$$

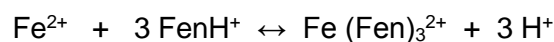
Para recolectar 370 muestras de agua del universo de estudio se elaboró un plan de muestreo en el cual se incluyeron las captaciones de agua con el fin de evaluar la concentración de hierro y manganeso del agua que llega a la comunidad. Se colectaron 40 muestras (aproximadamente 10%) tomadas de las captaciones y 330 muestras (aproximadamente 90%) tomadas en los hogares de los usuarios del servicio de agua potable; de las cuales 150 muestras pertenecen a zonas urbanas y 180 muestras a zonas rurales.

2.4 Muestreo

El muestreo se llevó a cabo durante 10 semanas, en el periodo Mayo – Agosto de 2017. Durante la recolección de las muestras se seleccionó la llave de agua de uso frecuente de la vivienda observando que ésta no registre fugas por las cuales se pudiera contaminar el agua y se procedió a recoger una muestra de agua en cada recipiente estéril de polipropileno con el fin de garantizar la ausencia de contaminantes. Una vez terminado el muestreo se transportó cuidadosamente las muestras hasta el laboratorio de la planta de agua y se procedió al análisis respectivo.

2.5. Cuantificación de hierro en aguas: fundamento analítico

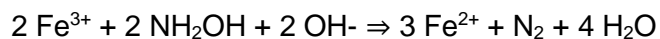
El catión de hierro (II) forma un complejo con el ligando 1,10-fenantrolina color rojo-anaranjado. Este ligando es una base débil que reacciona en medio ácido formando el ión fenantrolinio, FenH^+ . Este ión reacciona con hierro (II), como se expresa a continuación:



Esta reacción ocurre cuantitativamente a un rango de pH entre 3 y 9. Por lo general se utiliza un pH de 3.3 para evitar que precipiten sales de hierro ya que el agua puede



contener fosfatos y otros aniones. Para asegurar que el hierro no se oxide a hierro (III), se añade un exceso de agente reductor (hidroxilamina o hidroquinona)



La absorbancia de este complejo coloreado puede registrarse espectrofotométricamente a una longitud de onda de 510 nm. La relación lineal entre la concentración y la absorbancia se verifica por la Ley de Beer.

Existen algunas interferencias para la técnica de cuantificación de hierro descrita:

- Un gran exceso de hierro inhibirá el desarrollo de color.
- Muestras con pH extremo o altamente tamponado pueden requerir el pretratamiento de la muestra para evitar taponamientos de los equipos. (Alonso, 2016)

Procedimiento experimental para la determinación de hierro en agua por colorimetría

Se encendió el colorímetro y se seleccionó el programa 33 para la determinación de hierro. Seguidamente se realizó una lectura del blanco con agua destilada. Se tomó una alícuota de 10 ml de la muestra de agua y se pasó a una celda de vidrio. Finalmente se añadió un sobre del reactivo FERROVER®, se homogenizó y se colocó en el colorímetro para iniciar la medición.

Elaboración de la curva de calibración

Para la elaboración de la curva de calibración se pesó 0,0290 g de FeCl_3 . Se aforó a 100 mL con agua destilada, obteniendo una solución madre de una concentración de 100 ppm.

A partir de esta solución se preparó una solución de trabajo, realizando una dilución 1:10. La concentración final de la solución de trabajo fue de 10 ppm.

A partir de la solución de trabajo se prepararon los siguientes estándares de acuerdo al siguiente cuadro:



Cuadro 2. Diluciones a partir de la solución madre para elaboración de la curva de calibración para el hierro.

| Volumen de la solución madre de 10 ppm (mL) | Volumen de aforo con Agua destilada (mL) | Concentración (ppm o mg/L) |
|--|---|-----------------------------|
| 20 | 100 | 2 |
| 15 | 100 | 1.5 |
| 10 | 100 | 1 |
| 7.5 | 100 | 0.75 |
| 5 | 100 | 0.5 |
| 2.5 | 100 | 0.25 |
| 1.25 | 100 | 0.125 |
| 0 | 100 | 0 |

Una vez preparado los estándares se tomaron 10 mL de cada uno de ellos y se colocaron en una celda de vidrio. Se añadió un sobre de reactivo FERROVER®, se homogenizó y finalmente se colocó en el colorímetro para iniciar la medición frente a un blanco de agua destilada.

Las soluciones utilizadas para la curva de calibración en este estudio deberán registrar absorbancias de entre 0.1 y 1.0 unidades de absorbancia. (COVENIN, 2010)

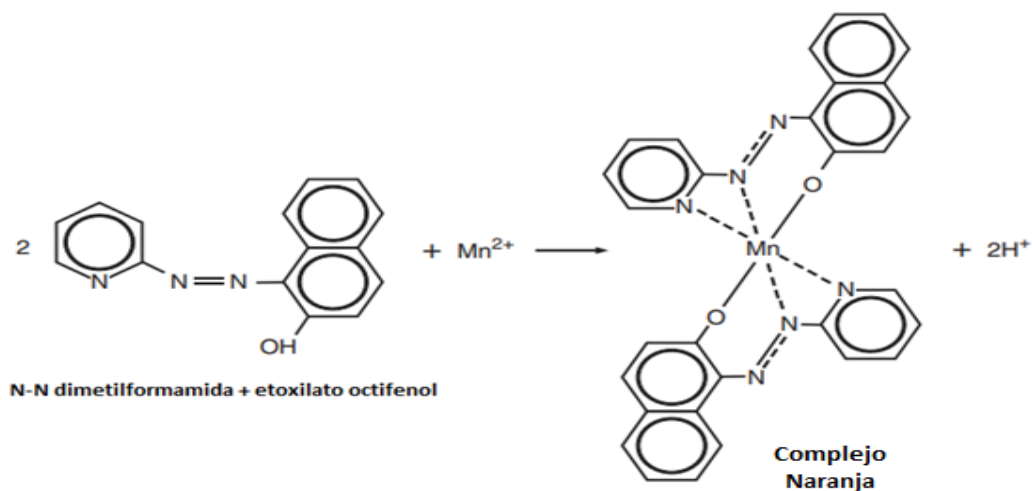
2.6 Cuantificación de manganeso en aguas: fundamento analítico

Se utilizó el método PERMACHEM® procedimiento altamente sensible y rápido para medir bajas concentraciones de manganeso.

Un liofilizado de ácido ascórbico es utilizado inicialmente para reducir todas las formas oxidadas de manganeso a Mn^{2+} .

Se agrega una solución de cianuro alcalino para enmascarar cualquier potencial interferencia.

A continuación, se añade el indicador PAN ® para combinar con el Mn^{2+} , formando un complejo de color naranja, el mismo que es directamente proporcional a la concentración de manganeso. (HACH, 2015)



Procedimiento experimental para la determinación de manganeso en agua por colorimetría

Se encendió el colorímetro y se seleccionó el programa 43 previamente configurado en el equipo para la determinación de manganeso. Seguidamente se realizó una lectura del blanco con agua destilada. Se tomó una alícuota de 10 ml de la muestra de agua y se pasó a una celda de vidrio. Posteriormente se añadió un sobre del reactivo de ácido ascórbico, se homogenizó, se añadió 12 gotas de reactivo alcalino de cianuro, enseguida se incorporó 12 gotas de indicador PAN®, se homogenizó y finalmente se colocó en el colorímetro para iniciar la medición.

Elaboración de la curva de calibración para manganeso

Para la elaboración de la curva de calibración se pesó 0.0363 g de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Se aforó a 100 ml con agua destilada, obteniendo una solución madre de una concentración de 100 ppm.

A partir de esta solución madre se preparó una dilución 1:10. La concentración de la solución obtenida fue de 10 ppm.

A partir de esta solución se preparó una solución de trabajo, realizando una dilución 1:10. La concentración final de la solución de trabajo fue de 1 ppm.



A partir de la solución de trabajo se prepararon los siguientes estándares de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro 3. Diluciones a partir de la solución madre para elaboración de la curva de calibración para el manganeso

| Volumen de la solución madre de 1 ppm (mL) | Volumen de aforo con Agua destilada (mL) | Concentración (ppm o mg/L) |
|--|--|-----------------------------|
| 10 | 100 | 0.1 |
| 5 | 100 | 0.05 |
| 4 | 100 | 0.04 |
| 3 | 100 | 0.03 |
| 2 | 100 | 0.02 |
| 1 | 100 | 0.01 |
| 0 | 100 | 0 |
| 10 | 100 | 0.1 |

Una vez preparado los diferentes estándares se tomó 10 mL de cada uno de ellos y se pasó a una celda de vidrio. Posteriormente se añadió un sobre del reactivo de ácido ascórbico, se homogenizó, se añadió 12 gotas de reactivo alcalino de cianuro, enseguida se incorporó 12 gotas de indicador PAN®, se homogenizó rápidamente y finalmente se colocó en el colorímetro para iniciar la medición frente a un blanco de agua destilada.

2.7 Materiales, reactivos y equipos

- Celdas de vidrio HACH®
- Pipetas de vidrio PYREX®
- Pera de succión.
- Kit reactivo FERROVER®
- Kit reactivo PERMACHEM®
- Colorímetro DR/890 HACH®



2.8 Análisis estadístico de datos

La relación concentración / absorbancia se desarrolló mediante la generación de un modelo lineal, obtenido por regresión. El método aplicado fue el de mínimos cuadrados y se obtuvieron parámetros de calidad del modelo lineal.

Los valores de concentración de hierro y manganeso obtenidos para las muestras se caracterizaron mediante estadística descriptiva, calculando e interpretando estadísticos de posición y dispersión.

Se realizó la comparación de las diferencias significativas entre los valores experimentales y parámetros de referencia mediante pruebas de diferencias de medias a un nivel de significancia de 0.05.



3. RESULTADOS

3.1 Curvas de calibración para la cuantificación de hierro y manganeso en agua

A continuación, se presentan las lecturas de absorbancia para las soluciones patrón de los cationes hierro y manganeso. Estos datos se utilizaron para desarrollar modelos lineales para establecer la concentración de los cationes en estudio en las muestras de agua.

HIERRO

Cuadro 4. Lecturas de absorbancia para las soluciones patrón del catión hierro.

| Concentración Fe^{2+} (mg/ L) | Absorbancia ($\lambda = 510$ nm) |
|---|--|
| 0 | 0 |
| 0,125 | 0,11 |
| 0,25 | 0,17 |
| 0,5 | 0,35 |
| 0,75 | 0,47 |
| 1 | 0,62 |
| 1,5 | 0,89 |
| 2 | 1,18 |

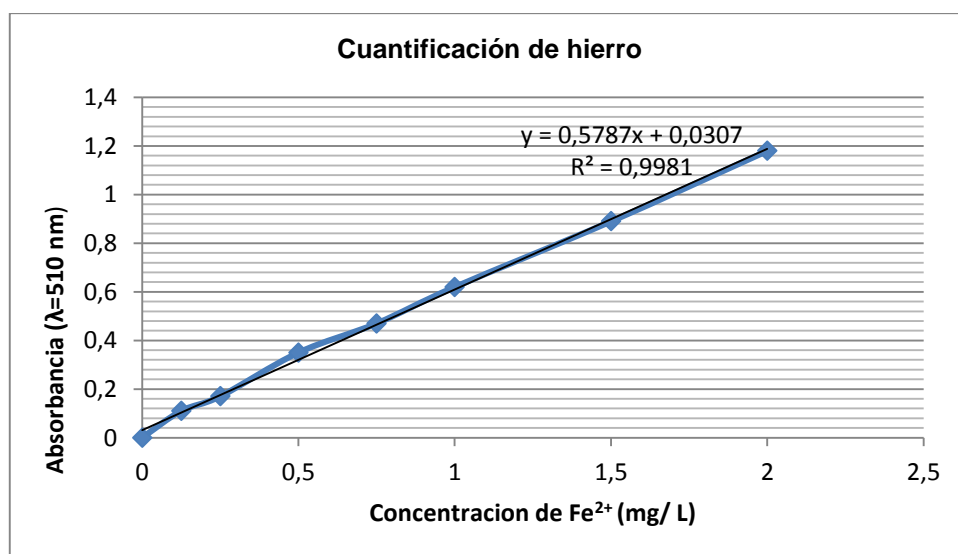




Figura 1. Modelo lineal obtenido de la curva de calibración para hierro.

MANGANESO

Cuadro 5. Lecturas de absorbancia para las soluciones patrón del catión manganeso

| Concentración Mn^{2+} (mg/ L) | Absorbancia($\lambda = 450$ nm) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 0,01 | 0,032 |
| 0,02 | 0,057 |
| 0,03 | 0,078 |
| 0,04 | 0,097 |
| 0,05 | 0,112 |
| 0,1 | 0,224 |

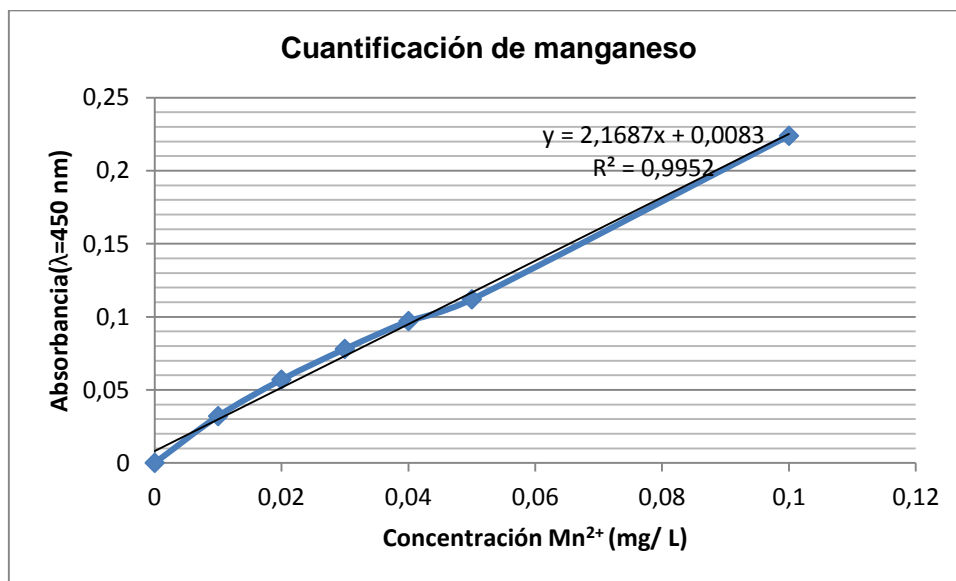


Figura 2. Modelo lineal obtenido de la curva de calibración para manganeso

3.2 Estadísticos descriptivos de posición y dispersión de concentración de hierro y manganeso para las zonas urbanas y rurales del cantón Azogues

A continuación, se presentan los estadísticos descriptivos de posición y dispersión, obtenidos para las concentraciones de hierro y manganeso en las zonas de estudio.



Cuadro 6. Datos estadísticos descriptivos de posición y dispersión obtenidos para las concentraciones de hierro y manganeso de zonas urbanas y rurales

| | X ± DE | Varianza | Mínimo | Máximo |
|-------------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|
| Hierro (mg/L) | 0,240 ± 0,118 | 0,014 | 0,010 | 0.630 |
| Manganeso (mg/L) | 0,099 ± 0,051 | 0,003 | 0,010 | 0,390 |

3.3 Concentración de hierro y manganeso para el agua utilizada en las zonas urbanas del cantón Azogues

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de la cuantificación de hierro en los sitios de muestreo seleccionados para el presente estudio. Los promedios son el resultado de 30 muestras recolectadas en diferentes domicilios de cada sector. La norma INEN 1108-2006 establece que la concentración de cationes en aguas no debe superar para hierro 0,30 mg/L y manganeso 0,10 mg/L.

Cuadro 7. Resultados experimentales de concentración de hierro y manganeso en los puntos de muestreo urbanos de Azogues, Cañar

| PARROQUIAS URBANAS | Cationes | X ± DE | Mínimo | Máximo |
|---------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| San Francisco | Hierro | 0,047 ± 0,025 | 0,010 | 0,090 |
| | Manganeso | 0,084 ± 0,005 | 0,080 | 0,090 |
| Uchupucún | Hierro | 0,290 ± 0,042 | 0,210 | 0,370 |
| | Manganeso | 0,119 ± 0,053 | 0,010 | 0,220 |
| Borrero | Hierro | 0,070 ± 0,017 | 0,030 | 0,090 |
| | Manganeso | 0,035 ± 0,019 | 0,010 | 0,090 |
| Centro Azogues | Hierro | 0,125 ± 0,060 | 0,050 | 0,270 |
| | Manganeso | 0,05 ± 0,06 | 0,03 | 0,39 |



UNIVERSIDAD DE CUENCA

| | | | | |
|---------------------------------|-----------|---------------|-------|-------|
| Luis Cordero | Hierro | 0,204 ± 0,070 | 0,100 | 0,320 |
| | Manganeso | 0,031 ± 0,035 | 0,010 | 0,130 |
| Estadísticos zona urbana | Hierro | 0,147 ± 0,101 | 0,010 | 0,370 |
| | Manganeso | 0,065 ± 0,052 | 0,010 | 0,390 |

3.4 Concentración de hierro y manganeso para el agua utilizada en las zonas rurales del cantón Azogues

Cuadro 8. Resultados experimentales de concentración de hierro y manganeso en los puntos de muestreo rurales de Azogues, Cañar

| PARROQUIAS RURALES | Cationes | X ± DE | Mínimo | Máximo |
|---------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| La Playa | Hierro | 0,305 ± 0,055 | 0,170 | 0,420 |
| | Manganeso | 0,132 ± 0,027 | 0,080 | 0,210 |
| Javier Loyola | Hierro | 0,367 ± 0,072 | 0,280 | 0,630 |
| | Manganeso | 0,141 ± 0,027 | 0,110 | 0,190 |
| Charasol | Hierro | 0,312 ± 0,056 | 0,030 | 0,360 |
| | Manganeso | 0,114 ± 0,022 | 0,070 | 0,170 |
| Guapán | Hierro | 0,330 ± 0,057 | 0,140 | 0,470 |
| | Manganeso | 0,136 ± 0,028 | 0,100 | 0,210 |
| Cojitambo | Hierro | 0,325 ± 0,067 | 0,030 | 0,630 |
| | Manganeso | 0,126 ± 0,030 | 0,080 | 0,190 |
| Bellavista | Hierro | 0,298 ± 0,052 | 0,100 | 0,390 |
| | Manganeso | 0,122 ± 0,024 | 0,080 | 0,180 |
| | Hierro | 0,318 ± 0,063 | 0,030 | 0,630 |



| | | | | |
|--------------------------------|-----------|---------------|-------|-------|
| Estadísticos zona rural | Manganeso | 0,127 ± 0,026 | 0,070 | 0,210 |
|--------------------------------|-----------|---------------|-------|-------|

3.5 Comparación de la concentración de hierro y manganeso en agua de uso doméstico en zonas urbanas y rurales del cantón Azogues

Aplicación de la prueba t de Student en la prueba de hipótesis.

La aplicación de la prueba t de student permitió establecer posibles diferencias significativas en la concentración de hierro y manganeso en las localidades urbanas y rurales del Cantón Azogues. El análisis estadístico se realizó a un 95% de confianza ($\alpha=0,05$).

Los promedios se calcularon a partir de 150 mediciones en el sector urbano y 180 en el sector rural. Los resultados se presentan a continuación.

HIERRO

Cuadro 9. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales en cuantificación de hierro.

| Sectores | Urbano | Rural |
|---------------------------------------|--------|-------|
| Medias experimentales | 0,147 | 0,318 |
| Estadístico t | -3,901 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,003 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 1,8331 | |

Cuadro 10. Comparación de la concentración de hierro en zona urbana vs zona rural

| ZONA | X ± DE | VALOR P |
|---------------|---------------|---------|
| Urbana | 0,147 ± 0,101 | 0,003 |
| Rural | 0,318 ± 0,063 | |



MANGANESO

Cuadro 11. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales en cuantificación de manganeso

| | Urbano | Rural |
|---------------------------------------|--------|-------|
| Media | 0,065 | 0,127 |
| Estadístico t | -3,592 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,005 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,262 | |

Cuadro 12. Comparación de la concentración de manganeso en zona urbana vs zona rural

| ZONA | X ± DE | VALOR P |
|--------|---------------|---------|
| Urbana | 0,065 ± 0,052 | 0,005 |
| Rural | 0,127 ± 0,026 | |

3.6 Comparación de la concentración de hierro y manganeso en sectores urbanos y rurales con valores de referencia

Para establecer posibles diferencias significativas entre las concentraciones experimentales de hierro y manganeso obtenidas en sectores urbanos y rurales y los valores de referencia presentados en la Norma INEN 1108-2006 se realizó una prueba t de Student.

Cuadro 13. Comparación de la concentración de hierro y manganeso en zonas urbanas y rurales con los valores de referencia establecidos

| | Hierro | Manganeso |
|-----------------------|--------|-----------|
| Valores de referencia | 0,30 | 0,10 |
| Medias experimentales | 0,240 | 0,099 |



| | | |
|--------------------------------|----------|---------|
| T calculado | - 1,9267 | -0,0568 |
| Valor critico de t (dos colas) | 1,8331 | 1,8331 |

3.7 Determinación de hierro y manganeso en las captaciones de la planta potabilizadora Uchupucún, Azogues

La cuantificación de los metales en estudio se realizó en las captaciones que alimentan a la planta potabilizadora Uchupucún. Esta determinación se realizó con ocho muestras provenientes de cada captación, recolectadas en días diferentes en los puntos de muestreo seleccionados para el efecto.

Cuadro 14. Resultados experimentales de concentración de hierro y manganeso en las captaciones alimentadoras a la planta potabilizadora Uchupucún, Azogues

| CAPTACIONES | Cationes | X ± DE | Mínimo | Máximo |
|------------------------------------|-----------|---------------|--------|--------|
| 1. Llaucay | Hierro | 2,736 ± 0,472 | 2,100 | 3,210 |
| | Manganeso | 0,381 ± 0,068 | 0,290 | 0,470 |
| 2. Nudpud | Hierro | 2,115 ± 0,935 | 1,100 | 6,550 |
| | Manganeso | 0,302 ± 0,051 | 0,190 | 0,350 |
| 3. Rosario | Hierro | 2,175 ± 0,702 | 1,530 | 3,160 |
| | Manganeso | 0,331 ± 0,030 | 0,280 | 0,360 |
| 4. Condoryacu | Hierro | 2,147 ± 0,469 | 1,780 | 3,900 |
| | Manganeso | 0,329 ± 0,052 | 0,260 | 0,380 |
| 5. Mapayacu | Hierro | 9,646 ± 0,693 | 8,500 | 10,260 |
| | Manganeso | 0,958 ± 0,151 | 0,790 | 1,140 |
| Estadísticos de captaciones | Hierro | 3,751 ± 0,191 | 1,100 | 10,260 |
| | Manganeso | 0,452 ± 0,041 | 0,190 | 1,140 |



4. DISCUSIONES

Hierro y Manganeso en parroquias urbanas y rurales de Azogues

Dentro de las parroquias urbanas en estudio, Uchupucún presentó las concentraciones más altas de hierro y manganeso, lo que indicó presencia de estos metales fuera de rangos permisibles en agua de consumo humano.

Las parroquias rurales que presentan elevada concentración de hierro y manganeso respecto a lo que cita la norma INEN 1108-2006 fueron: Charasol, Javier Loyola, Guapán y Cojitambo en un 9,7%. Cabe mencionar que estos sectores cuentan con construcciones antiguas además de que sus servicios de mejoras son abandonados, así la mayoría de las viviendas disponen de dos o más servidores de agua potable, e incluso este líquido vital fluye por un mismo sistema de distribución dentro de cada vivienda. Dentro de los factores que podrían reflejar estos resultados son las rupturas o fallas en las matrices de los sistemas de agua causando un problema con la integridad del material de la tubería que permiten o aumentan el potencial de ingreso de agentes químicos y patógenos consecuentemente degradando la calidad del agua al momento de la circulación. (Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas, 2010)

En un estudio realizado respecto a la calidad del agua destinada al consumo humano en Quevedo - Ecuador en época lluviosa publicado por la revista Ciencia UNEMI se obtuvo valores de hierro y manganeso entre otras determinaciones que superan los límites máximos permisibles, es así que los indicadores en este análisis la ubican en aguas levemente contaminadas, no apta para uso humano. (Baquemite, y otros, 2016)

Un estudio realizado en la ciudad de Machala - Ecuador para la determinación de metales pesados en aguas subterráneas en el año 2015 determinó altas concentraciones de hierro y manganeso, sus investigadores atribuyen estos resultados al origen del agua objeto de estudio. (Pedreros, 2015)



Hierro y Manganeseo en las captaciones que alimentan a la planta de potabilización Uchupucún, Azogues

Vertientes y pozos profundos proveen la fuente más confiable e importante de agua subterránea que llega hasta las captaciones para abastecimiento de agua de consumo dentro del Ecuador. (Cadena, 2014)

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. (Canal de Isabel, 2015)

Las captaciones que abastecen a la planta potabilizadora de agua EMAPAL son Llaucay, Nudpud, Rosario, Condoryacu y Mapayacu, en donde se puede verificar altas concentraciones de hierro y manganeso prioritariamente en el agua de Mapayacu, como es natural el contenido de estos metales produce precipitados gelatinosos de color rojo constituido de materia orgánica, por lo que generalmente se requiere de diluciones para su determinación por método espectrofotométrico debido a que estas muestras superan el límite de detección para el análisis. (OMS, 2003)

Respecto a las altas concentraciones de hierro y manganeso encontradas en las muestras de las captaciones cabe recalcar que se trata de agua pura de origen natural que no ha sido sometido a ningún proceso de potabilización y por ello estos cationes se encuentran en el suelo y son arrastrados por el agua, siendo parte de su composición y encontrándose en concentraciones altas. (Cisneros, La Contaminación Ambiental en México, 2001)

Se evidenció la presencia de gran cantidad de estos metales al momento de los análisis, considerando un factor importante el arrastre de los minerales por la excesiva cantidad de lluvia durante los muestreos, cuyos resultados se encuentran dentro de los rangos permisibles para agua cruda: 0.5 a 50mg/L en el caso del hierro y hasta 1mg/L para el manganeso. (Espinoza, 2011).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En el caso de encontrarse excesivas cantidades de estos metales en el agua se puede proceder a retirarlos antes de la potabilización, considerando que los métodos que se pueden utilizar para la remoción de estos dos metales son muy sencillos, poco costosos y accesibles para cualquier tipo de empresa en comparación con el gasto que la presencia de estos causaría si ocasionara daño a nivel de las redes de distribución. (Cadena, 2014)



5. CONCLUSIONES

En el estudio realizado en la ciudad de Azogues en el periodo Mayo – Agosto de 2017 se trabajó con muestras de agua provenientes de los domicilios de usuarios de EMAPAL, tanto en sectores urbanos como rurales y también muestras de agua a nivel de captaciones alimentadoras de la planta de agua potable Uchupucún para determinar la presencia de hierro y manganeso.

La concentración promedio resultado del análisis para hierro fue de 0,147 mg/L para las zonas urbanas y 0,318 mg/L para las zonas rurales, en donde esta última cifra supera los límites permisibles establecido en la norma INEN de referencia. En la cuantificación del manganeso se obtuvo un valor de 0,065 mg/L de concentración a nivel de zonas urbanas y 0,127 mg/L en zonas rurales, de la misma manera encontrándose esta última sobre 0,10 mg/L que rige la norma como valor de referencia.

Se determina entonces que la concentración de hierro y manganeso en las zonas rurales de la ciudad de Azogues es superior a la concentración encontrada en las zonas urbanas, Sin embargo, de forma global no se cumple con los requisitos que exige la norma de referencia. Cabe señalar que los resultados obtenidos son un factor importante que influye al momento de valorar la calidad del agua.

La concentración promedio del hierro obtenido a nivel de captaciones fue de 3,75 mg/L, cuyo valor se encuentra dentro del rango de referencia para aguas naturales que cita desde 0,5 a 50 mg/L.



6. RECOMENDACIONES

La norma vigente INEN 1108 - 2014 no contempla como requisitos la determinación de hierro y manganeso debido a que estos metales guardan estrecha relación con parámetros como el color y la turbiedad que si están considerados. Sin embargo, a nuestro criterio se debería determinarlos puesto que estos metales son de importancia y gran impacto en la salud pública. De igual forma las plantas potabilizadoras de agua deberían realizar estas cuantificaciones como pruebas de rutina debido al impacto que podrían causar sobre la salud del consumidor.

Para los usuarios del servicio de agua potable que cuenten con servicios de otras plantas de agua y posean la misma conexión, EMAPAL debería realizar inspecciones periódicas y exigir a cada usuario una conexión independiente con el fin de garantizar la inocuidad del agua proveniente de la empresa.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio se podría sugerir a la empresa que suministra el agua, el mantenimiento de sus redes de distribución para evitar el deterioro físico de las mismas que pueden influir en la calidad de agua de abastecimiento.



GLOSARIO

°C: Grados Centígrados.

EMAPAL: Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del Cantón Azogues.

EPA: Agencia de Protección Ambiental.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

I.N.E.N: Servicio Ecuatoriano de Normalización.

O.M.S: Organización Mundial de la Salud.

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UNT: Unidad nefelométrica de turbidez.

**BIBLIOGRAFIA**

- Alonso, J. V. (2016). *Determinaciones con técnicas instrumentales*. Recuperado el 16 de 07 de 2017, de http://oa.upm.es/42341/1/JOSE_VICENTE_ALONSO_FELIPE.pdf
- ATSD. (2016). Resúmen de salud pública del manganeso. *Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades*. Recuperado el 15 de 07 de 2017, de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs151.html
- Banús, M. d. (04 de 2010). Elixir de la vida H₂O. (E. Hernández, Ed.) *Elementalwatson*, 8. doi:1853-032X
- Baquemite, R., Simba, L., Gonzáles, B., Suatunce, P., Díaz, E., & Cadme, L. (09 de 2016). *Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador*. Recuperado el 20 de 07 de 2017, de <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/357/309>
- Barrales, O., & Díaz, M. (2012). *Especiación de Hierro utilizando técnicas de espectrofotometría en fase sólida y análisis en flujo continuo*. Recuperado el 19 de 05 de 2017, de Generalidades del Hierro: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2012/08-Exactas/E-045.pdf>
- Cadena, P. (2014). *Estudio nacional de agua*. Recuperado el 25 de 07 de 2017, de <https://www.google.com/search?sclient=psy-ab&client=firefox-b&q=Vertientes+y+pozos+profundos+proveen+la+fuelle+m%C3%A1s+confiable+e+importante+de+agua+subterr%C3%A1nea+que+llegan+hasta+las+captaciones+para+abastecimiento+de+agua+de+consumo+dentro+del+Ecu>
- Canal de Isabel. (2015). *Tratamiento del Agua Potable*. Recuperado el 18 de 07 de 2017, de Los procesos de tratamiento del agua potable: <https://www.canaleduca.com/wp-content/uploads/2015/08/Tratamiento-de-agua-potable.pdf>
- Carbajal, A., & González, M. (2012). *Propiedades y Funciones Biológicas del Agua*. Obtenido de Funciones Biológicas: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>
- Castillo, J. R. (2011). *Propiedades físico-químicas de las aguas minerales y naturales*. Recuperado el 18 de 05 de 2017, de Origen de su composición: <http://www.fagundojr.com/documentos/Conferencia%203.pdf>
- Castro, J. G. (2014). *Reducción de Hierro, Manganeso y detergente en el agua por medio de arena verde de manganeso y carbón activo*. Recuperado el 18 de 07 de 2017, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0895_Q.pdf
- Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 8-22. doi: 1666-7948
- Cisneros, B. E. (2001). *La Contaminación Ambiental en México*. México: FEMISCA. Recuperado el 29 de 06 de 2017, de <https://books.google.com.ec/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA57&dq=Hierro+en>



- +agua&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi7gs7W9pXVAhUCbSYKHQ6WB6AQ6AEIJDAB#v=onepage&q=Hierro%20en%20agua&f=false
- Corillocla, L. R. (2012). *Remoción del manganeso para la mejora de la calidad de las aguas de consumo humano en las lagunas Azulcocha*. Recuperado el 15 de 07 de 2017, de Generalidades:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1084/1/lazo_cl.pdf
- COVENIN. (2010). *Agua; determinación de Hierro*. Recuperado el 31 de 03 de 2017, de Método de la Fenantrolina: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2120-84.pdf>
- Días, F. R., & Warnberg, J. (2014). *Bioestadística*. España: Paraninfo.
- DIGESA. (2011). *Parámetros organolépticos*. Recuperado el 20 de 07 de 2017, de Compuestos inorgánicos:
http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf
- Dimas, Garza, & Treviño. (2015). Índice de la calidad del agua y metales pesados del cauce aguas blancas del municipio de Acapulco. *REMEXCA*, 114. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263139243016.pdf>
- Elosegi, A., & Sabater, S. (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. España: Rubes Editorial. Recuperado el 25 de 06 de 2017, de https://books.google.com.ec/books?id=OfOUggC20_UC&pg=PA97&dq=composicion+quimica+del+agua&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=composicion%20quimica%20del%20agua&f=false
- EMAPAL EP. (2016). *Plantas de tratamiento de agua en Azogues*. Recuperado el 15 de 05 de 2017, de http://www.emapal.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=53
- Espinoza, C. E. (2011). *Química del hierro y manganeso en el agua, métodos de remoción*. Recuperado el 18 de 05 de 2017, de Generalidades:
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/754/1/ti881.pdf>
- FAO. (17 de 03 de 2017). *El Agua*. Recuperado el 19 de 04 de 2017, de Conceptos Generales del Agua: <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s06.htm>
- GAD. (2011). *Área y población de la provincia del Cañar*. Recuperado el 20 de 06 de 2017, de <http://www.azogues.gob.ec/portal25/index.php/provincia-ca%C3%B1ar/territorio-y-poblaci%C3%B3n/33-area-y-poblacion-de-la-provincia-del-canar>
- Galvín, R. M. (2011). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. Obtenido de Conductividad:
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf
- García, M., Sanchez, F. D., Marín, R., & Verdugo, N. (2011). *El Agua*. Recuperado el 15 de 05 de 2017, de Generalidades :
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>



- Guerra, A. C., Abascal, E. N., Pacheco, S. V., Alonso, M. P., & Cruz, C. V. (2012). *El Hierro, elemento importante en la vida*. Recuperado el 19 de 06 de 2017, de Generalidades: <http://www.elementos.buap.mx/num85/pdf/41.pdf>
- Guillén, J. L. (2011). *Biomoléculas*. Recuperado el 28 de 04 de 2017, de El agua: <http://www.iespando.com/web/departamentos/biogeno/web/departamento/2BCH/PDFs/02agua.pdf>
- Hernández Sampieri, R. (2016). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw-Hill Education. Recuperado el 16 de 07 de 2017
- Hololavsky, R. G. (26 de 01 de 2012). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Sanitaria*. Obtenido de Color del agua: http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LABORATORIO_DE_SANITARIA.pdf
- Huamán, D. F. (2011). *Bioquímica y microbiología ambiental*. Recuperado el 15 de 07 de 2017, de Bioacumulación : http://www.florgarcia.com/wp-content/uploads/2011/07/SEMANA12_bioacumulacion.pdf
- INEC. (2010). *Datos estadísticos*. Recuperado el 14 de 06 de 2017, de Azogues: <http://www.azoguenos.com/area-y-poblacion>
- INEN. (03 de 2006). *Agua Potable*. Obtenido de Requisitos: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10608/8/Norma%20Inen%20Agua1108-2.pdf>
- INEN. (01 de 2014). *Agua potable*. Recuperado el 15 de 05 de 2017, de Conceptos: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>
- INEN. (01 de 2014). *Agua Potable*. Recuperado el 02 de 03 de 2017, de Requisitos: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>
- Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas. (2010). *Hierro y Manganeso como contaminantes del agua potables*. Recuperado el 20 de 07 de 2017, de <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/fierromanganeso10.pdf>
- Ingeniería Sanitaria S.A. (2011). *Análisis de Aguas*. Recuperado el 17 de 05 de 2017, de Hierro y Manganeso: http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf
- Jiménez, C. (18 de 02 de 2010). *Aspectos nutricionales toxicológicos de algunos elementos minerales: Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc*. Recuperado el 15 de 05 de 2017, de Hierro y Manganeso: https://scholar.google.es/scholar?start=10&q=problemas+que+causan+el+hierro+y+el+manganeso+en+la+salud&hl=es&as_sdt=0,5
- Ki-moon, B. (2015). *ONU-DAES*. Recuperado el 05 de 06 de 2017, de Secretaria General de las Naciones Unidas: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- Lampoglia, T. C. (2013). *ORIENTACIONES SOBRE AGUA Y SANEAMIENTO*. Recuperado el 05 de Julio de 2017, de http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d21/019_SER_OrientacionesA&Szonasrurales/Orientaciones%20sobre%20A&S%20para%20zonas%20rurales.pdf



- Lazo, M. M. (2015). Calidad del agua y propuestas de conservación del río Chirapa. *Rev Tecnológica*, 2-3. doi:1729-7532
- Lenntech. (2016). *Tratamiento y purificación del agua*. Recuperado el 05 de Julio de 2017, de <http://www.lenntech.es/>
- Loheches, M. M., & Ferreiro, L. R. (2004). *Agua superficial y subterráneas del campo*. Recuperado el 15 de 07 de 2017, de Generalidades: <https://www.uah.es/export/sites/uah/es/conoce-la-uah/.galleries/Galeria-de-descarga-de-Conoce-la-UAH/Ecocampus/aguas-superficiales.pdf>
- Matute, J. B., & Paidá, R. C. (2015). *Determinación de tarifas en la empresa pública municipal Emopal*. Recuperado el 20 de 06 de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22183/1/TESIS.pdf>
- Natural Salusvir. (28 de 05 de 2010). *Manganeso*. Recuperado el 15 de 07 de 2017, de Importancia: <http://www.rdnatural.es/plantas-y-nutrientes-para-el-organismo/minerales/manganeso/>
- Nordberg, G. (2004). *Enciclopedia de la salud y seguridad para el trabajo*. Recuperado el 15 de 07 de 2017, de Manganeso: propiedades químicas y toxicidad: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>
- OMS. (2003). *Manganeso*. Recuperado el 19 de 05 de 2017, de Generalidades: http://who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_12.pdf?ua=1
- OMS. (2006). *Guías para la Calidad del Agua Potable*. Recuperado el 25 de 06 de 2017, de Hierro: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- OMS. (01 de 2010). *Guías para la calidad del agua potable*. Recuperado el 03 de 03 de 2017, de Apendice de la calidad del agua potable: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- OMS. (16 de Diciembre de 2016). *Responsabilidad social sanitaria*. Recuperado el 05 de 06 de 2017, de <https://www.responsabilidadsocio-sanitaria.com/secciones/medio-ambiente/mas-de-840-personas-mueren-en-el-mundo-de-diarrea-por-la-insalubridad-del-agua-8397>
- Pulloquina, D. (31 de 07 de 2017). El proceso de potabilización, ayuda en la eliminación de las bacterias del agua. *La Gaceta*, págs. 1-2. Obtenido de <https://lagaceta.com.ec/proceso-potabilizacion-ayuda-la-eliminacion-las-bacterias-del-agua/>
- Restrepo, I., Sacher, L. D., Galvis, A., Rojas, J., & Sanabria, I. J. (2007). *Avances en Investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio*. Recuperado el 19 de 05 de 2017, de Hierro y manganeso: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=vpFqgpFHBmYC&oi=fnd&pg=PA288&dq=presencia+de+manganeso+y+hierro+en+el+agua+&ots=M13VxkaUzL&sig=LOHgZ0HuHJ2kUofPHXYj5hXXpw0#v=onepage&q=presencia%20de%20manganeso%20y%20hierro%20en%20el%20agua&f=false>



- Reynerio, J., & Castillo, F. (2011). *Propiedades físico-químicas de las aguas minerales y naturales*. Recuperado el 18 de 05 de 2017, de Origen de su composición:
<http://www.fagundojr.com/documentos/Conferencia%203.pdf>
- Rodríguez, F. B. (2010). *Propiedades del Hierro*. Recuperado el 20 de 05 de 2017, de Generalidades:
<https://materiales.wikispaces.com/file/view/Propiedades+del+Hierro.pdf>
- Rodríguez, M., Sales, M. M., Rodríguez, A., & M, A. (2010). *Hierro y Manganeso en Aguas Subterráneas*. Recuperado el 15 de 07 de 2017, de
<http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v160/pdf/ciencia16-3.pdf>
- Tamay, E. (Marzo de 2014). *Municipalidad de Azogues*. Recuperado el 15 de 07 de 2017, de <http://azogues-rrodasc.blogspot.com/2014/03/ubicacion-geografica-de-azogues.html>
- Toxqui, L., & colaboradores. (2010). *Deficiencia y sobrecarga de hierro: implicaciones en el estado oxidativo y la salud cardiovascular*. Recuperado el 15 de 07 de 2017, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309226757003>
- UNESCO. (2015). *Agua para un mundo sostenible*. Recuperado el 19 de 04 de 2017, de Datos y Cifras:
http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf