

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



**REMOCION DEL MANGANESO PARA MEJORAR LA CALIDAD DE
LAS AGUAS DE CONSUMO HUMANO EN LA LAGUNA AZULCOCHA**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS
CON MENCION EN MINERIA Y MEDIO AMBIENTE**

ELABORADO POR:

LIZ RAQUEL LAZO CORILLOCLA

ASESOR:

M. SC. SANTIAGO VALVERDE ESPINOZA

LIMA – PERU

2012

DEDICATORIA

*A mis hijitos: Nicolle y Gerardo por ser
la razón de vivir.*

*En memoria a mi querida mamita:
Raquel Corilloella Mendoza.*

AGRADECIMIENTO

Al ver fructificado los esfuerzos, realizados durante la Maestría, por los conocimientos recibidos y la orientación a seguir una disciplina; mis agradecimientos a la plana docente de la Sección de Post Grado de La Facultad Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica de la UNI, por los conocimientos que imparten, permitiendo adquirir nuevos paradigmas en los conceptos modernos de Minería y Medio Ambiente.

A mis asesores, M.Sc VALVERDE ESPINOZA, Santiago y M.Sc VIDALON GALVEZ, José, quienes me impartieron sus enseñanzas, consejo además sus sugerencias para el desarrollo de mi tesis.

A Dios por las leyes que rigen su creación y por la capacidad que me ha dado para conocer unos detalles más de sus obras en los años de haber llevado la Maestría.

INDICE

RESUMEN	8
CAPÍTULO I	10
INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Antecedentes.....	10
1.2 Determinación del Problema.....	12
1.3 Objetivos de la Investigación	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 Justificación	13
1.5 Método de la Investigación	13
1.6 Diseño de Investigación.....	14
1.7 Alcance	14
1.8 Limitaciones de la investigación.....	14
1.9 Hipótesis.....	14
CAPÍTULO II	15
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
2.1 Manganeso	15
2.1.1 Propiedades Físicas – Químicas.....	15
2.1.2 Abundancia del Manganeso	16
2.1.3 Sistemas de Cristalización del Manganeso	17
2.1.4 Formas del Manganeso en el agua	17
2.1.5 Diagrama de Predominancia de Pourbaix	18
2.1.6 Características químicas	25
2.2. Efectos del manganeso sobre la salud humana	26
2.3. Toxicidad por manganeso.....	28
2.4. Efectos ambientales del manganeso en el agua, aire y suelo	32
2.5. Tecnologías de remoción de Manganeso	33
2.5. Elección de tratamientos para la remoción de manganeso.....	47
2.5.1. La Coagulación.....	50
2.5.2. La Sedimentación.....	52
2.5.3. La Filtración	56
2.5.4. Desinfección y Oxigenación	57
2.6. Calidad del Agua potable.....	60
CAPÍTULO III.....	62

MARCO LEGAL.....	62
3.1 Normativa General nacional.....	62
3.2 Normativa específica	64
3.2.1. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. D.S. N° 002-2008-MINAM.	64
3.2.2. Reglamento de la calidad del agua para consumo Humano D.S. 031-2010 S.A.	64
CAPÍTULO IV	68
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	68
4.1 Ubicación y Accesibilidad.....	68
4.2 Geología Local.....	68
4.3 Litoestratigrafía	69
4.4 Hidrología.....	70
CAPÍTULO V	73
METODOLOGÍA.....	73
5.1. Caracterización del Agua.....	73
5.2. Implementación de sistema de tratamiento.....	74
5.3. Pruebas de Jarras.....	75
5.3.1. Fundamento.....	75
5.3.2. Procedimiento.....	75
CAPÍTULO VI	83
RESULTADOS Y DISCUSIONES	83
6.2. Resultados de las pruebas de jarras	92
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES.....	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Propiedades Físicas – Químicas del Manganeso.....	15
Tabla 2.2.	Impurezas del Agua.....	34
Tabla 2.3.	Tratamiento del Hierro y Manganeso	35
Tabla 2.4.	Materiales utilizados como medios filtrantes.	57
Tabla 3.1.	Parámetros organolépticos para evaluar la calidad de agua potable de acuerdo a la normativa nacional e internacional...66	
Tabla 3.2.	Parámetros químicos orgánicos para evaluar la calidad de agua potable de acuerdo a la normativa nacional e internacional.	67
Tabla 4.1.	Acceso al lugar del Proyecto	68
Tabla 4.2.	Características fisiográficas de la Cuenca Quebrada Pozocancha.....	72
Tabla 5.1.	Ubicación de la Estación de muestreo	73
Tabla 5.2.	Ensayos realizados en el estudio	77
Tabla 6.1.	Caracterización del agua cruda de la laguna Azulcocha.	83
Tabla 6.2.	Parámetros Físicos Químicos.....	85
Tabla 6.3.	Resultados de la Prueba N° 01	93
Tabla 6.4.	Resultados de la Prueba N° 02	93
Tabla 6.5.	Resultados de la Prueba N° 03	94
Tabla 6.6.	Resultado de la Prueba N° 04	96
Tabla 6.7.	Parámetros de la calidad de agua cruda y tratada.	97

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 4.1.	Laguna Azulcocha y Formación Cercapuquio	70
Fotografía 5.1.	Vista de pruebas de jarras.....	79
Fotografía 5.2.	Vista de pruebas de remoción.....	80
Fotografía 5.3.	Vista pruebas de filtración.	80
Fotografía 5.4.	Vista de medición de pH.	81
Fotografía 5.5.	Ensayos para reducir el Manganeso.	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Celda Electrolítica.....	19
Figura 2.2.	Grado de acidez de una solución química.....	21
Figura 2.3.	Diagrama de Pourbaix del Agua.....	23
Figura 2.4.	Diagrama de Pourbaix para las principales Especies del Manganese.....	25
Figura 2.5.	Enfermedad del Parkinsonismo mangánico, la postura ligeramente flexionadas las articulaciones grandes y una ronda de respaldo alto, similar a una máscara facial expresión.....	30
Figura 2.6.	Alteraciones por efecto del Manganese en las hojas de las plantas (la hoja de la derecha esta afectada por el manganese).....	31
Figura 2.7.	Tecnología de tratamiento completo (adaptado)	49
Figura 2.8.	Coagulación de partículas coloidales	50
Figura 2.9.	Fuerzas actuantes en una partícula sólida durante la sedimentación (Di Bernardo, 1993).	52
Figura 2.10.	Fuerzas totales actuantes en una partícula granular en suspensión en un líquido en reposo.	54
Figura 4.1.	Microcuencas de la Subcuenca Huasiviejo.	71
Figura 6.1.	Variación pH de la Laguna Azulcocha.....	86
Figura 6.2.	Variación de Plomo en la laguna Azulcocha.....	87
Figura 6.3.	Variación de Cobre en la laguna Azulcocha.....	87
Figura 6.4.	Variación de Zinc en la laguna Azulcocha.....	88
Figura 6.5.	Variación de Hierro en la laguna Azulcocha.....	89
Figura 6.6.	Variación de Arsénico en la laguna Azulcocha.....	89
Figura 6.7.	Variación de Cromo en la laguna Azulcocha.....	90
Figura 6.8.	Variación de Manganese en la laguna Azulcocha.....	91
Figura 6.9.	Variación de Coliformes Totales en la laguna Azulcocha.....	92
Figura 6.10.	Diagrama de Flujo de una Planta de Tratamiento	100

RESUMEN

Este trabajo de tesis se realizó con el objetivo de remover el manganeso con concentraciones entre 0.093 mg/L y 0.688 mg/L presente en aguas de la Laguna Azulcocha mediante el proceso de oxidación-filtración, con la finalidad de emplearla como fuente de agua potable.

De acuerdo al protocolo de monitoreo de calidad de aguas, se tomó muestras de agua de la Laguna Azulcocha ubicada en el distrito de San José de Quero, provincia de Concepción, departamento de Junín. Se realizó la caracterización físico-química de la fuente de agua determinándose que la concentración promedio de manganeso excede los valores límites establecidos por DIGESA D.S. N° 031-2010-S.A.

En tal sentido para definir la cantidad de reactivos a dosificar durante la remoción del manganeso para mejorar la calidad de las aguas de consumo humano en la Laguna Azulcocha, se realizó la caracterización del agua y cuatro pruebas de jarras a escala de laboratorio para ajustar los reactivos a usar, donde se ha determinado que la remoción de manganeso con la tecnología de oxidación-filtración tuvo una eficiencia de 83%, empleando una dosificación de reactivos de 6 mg/L de Cal, 2.5 mg/L de Hipoclorito de Calcio y 6 mg/L de Sulfato de Aluminio.

ABSTRACT

This thesis was performed in order to remove the manganese concentrations between 0.093 mg/L and 0.688 mg/L present in the waters of Laguna Azulcocha by oxidation-filtration process, in order to use it as a source of drinking water.

According to the protocol for water quality monitoring, water samples were taken from the Laguna Azulcocha located in the district of San Jose de Quero, province of Concepcion, Junin. We performed the physico-chemical characterization of the water source was determined that the average concentration of manganese exceeds the limits set in the DS N ° 031-2010-S.A.

In this regard to define the amount of reagents to be dispensed during the removal of manganese for improving the quality of drinking water in the lagoon Azulcocha characterization was performed and four water jar tests on a laboratory scale for adjusting the reagents in use, where it has been determined that the removal of manganese oxidation technology had a filtration efficiency of 83%, using a reagent dosage of 6 mg/L of lime, 2.5 mg/L of calcium hypochlorite and 6 mg/L Aluminum Sulfate.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En 1899 Harry Clark, reportó por primera vez la presencia de hierro y manganeso en el agua como resultado de la percolación de aguas saturadas con oxígeno disuelto que estaban en contacto con materia orgánica y solo hasta 1960, Griffin afirma que la presencia de manganeso está asociada a la actividad bacteriana (Avendaño, 2002).

Las concentraciones en el agua dulce varían habitualmente entre 0.001 y 0.200 mg/l, aunque se han descrito concentraciones de hasta 10 mg/l en aguas subterráneas ácidas y niveles aún más altos en aguas aerobias, habitualmente asociados a contaminación industrial (OMS, 2006).

Las aguas de pozos contienen mayores concentraciones de hierro y manganeso que las aguas superficiales, debido al bajo pH, a la alta concentración de CO₂ y al escaso contenido de oxígeno disuelto (Avendaño, 2002).

Por otro lado las aguas superficiales sufren alteraciones en su calidad debido a que son receptores de vertimientos generados en los centros poblados, industrias, producto de actividades y las escorrentías,

limitando los múltiples usos actuales. Debido a la presencia de hierro y manganeso en las aguas subterráneas y superficiales y a su efecto en los sistemas de abastecimiento es necesario removerlos. La oxidación-filtración, son las barreras de tratamiento más comunes.

La Laguna Azulcocha se ubicada en el distrito de San José de Quero, provincia de Concepción, departamento de Junín, de acuerdo a su formación geológica tiene concentraciones naturales de manganeso.

Geológicamente, el área de la Laguna Azulcocha presenta rocas Jurásicas pertenecientes al Grupo Pucará, Cercapuquio y Chunumayo, así como rocas cretácicas denominadas formación Goyllar, Chulec-Pariatambo y Jumasha. Las formaciones calcáreas en contacto con las rocas ígneas intrusivas han sido consideradas la fuente de la mineralización formando un yacimiento de contacto de mineralización polimetálica, cuya génesis está relacionada al stock diorítico Terciario.

A 500 m de la laguna Azulcocha se ha desarrollado la explotación de labores de una mina de zinc antimonio (Mina Gran Bretaña) que estuvo en operación entre los años 1971 y 1985. Históricamente conocida como una mina de zinc, sin embargo, varias perforaciones descubrieron zonas de oro, plomo y manganeso.

A la fecha estas concesiones son de propiedad de Vena Resources, la cual viene desarrollando actividades de exploración. Este proyecto tiene previsto la instalación de campamentos para trabajadores, oficinas y

comedores para, donde se ha determinado emplear como fuente de abastecimiento de agua a la laguna Azulcocha para una población de 500 personas, con una demanda de agua de agua potable de 5.2 m³/hora.

1.2 Determinación del Problema

La laguna Azulcocha, presenta elevados contenidos de manganeso, lo que no la hace apta para el consumo humano. El manganeso es un elemento traza, que en elevadas concentraciones puede ser tóxico para la salud, además de presentar problemas de incrustaciones en las tuberías, manchas en la ropa a la salud humana y equipos sanitarios, además genera incremento del color y la turbiedad del agua, olor y sabor, y contribuyen a la generación de biopelículas en las redes de distribución incrementando los riesgos microbiológicos.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Remover el manganeso presente en las aguas de la Laguna Azulcocha mediante técnicas de oxidación-filtración para obtener agua apta para el consumo humano.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar físico-química y comparar con los valores límites los parámetros del D.S. N° 031-2010-S.A. las aguas de la Laguna Azulcocha.
- Definir un proceso para remover manganeso del agua de la laguna Azulcocha. Este proceso debe ser factible de aplicación tanto técnica, económica como ambiental.
- Mediante pruebas de laboratorio, determinar las proporciones de reactivos a dosificar, para lograr la remoción de manganeso.

1.4 Justificación

El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible). La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. Debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la inocuidad del agua de consumo sea la mayor posible.

1.5 Método de la Investigación

La investigación que se realiza es de campo y documental. Es una investigación de campo ya que se recopilan los primeros datos primarios, o sea tomados directamente del lugar objeto de este estudio.

1.6 Diseño de Investigación

En la investigación se basó en pruebas de laboratorio.

1.7 Alcance

Esta investigación pretende proponer un sistema de tratamiento adecuado para reducir las concentraciones de manganeso en el agua de la Laguna Azulcocha, para brindar la información necesaria para el diseño e implementación de una planta de potabilización.

1.8 Limitaciones de la investigación

La eficiencia del sistema de tratamiento propuesto en esta investigación y los parámetros de operación podrán ser usados únicamente para fuentes de aguas de características similares a la laguna Azulcocha.

1.9 Hipótesis

El tratamiento de oxidación-filtración es eficiente para la remoción de manganeso en el agua de la Laguna Azulcocha para hacerla apta para el consumo humano.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Manganeseo

El manganeseo es un metal que se encuentra en forma natural en diversos tipos de rocas, debido a su gran afinidad por el oxígeno, generalmente se presenta en forma de óxidos, en silicatos y carbonatos; como la Pirolusita (MnO_2), la braunita ($\text{MnS}_{12}\text{O}_3$), la rodonita ($(\text{Mn}^{+2})\text{SiO}_3$), la rodocrosita (MnCO_3).

El manganeseo se usa principalmente en la producción de acero para mejorar su dureza, rigidez y solidez. También se puede usar como aditivo en la gasolina para mejorar el octanaje de la gasolina.

2.1.1 Propiedades Físicas – Químicas

Tabla 2.1. Propiedades Físicas – Químicas del Manganeseo

Nombre:	Manganeseo
Número atómico:	25
Valencia:	2, 3, 4, 6, 7
Estado de oxidación:	+2
Electronegatividad:	1.5
Radio covalente (Å):	1.39
Radio iónico (Å):	0.80
Radio atómico (Å):	1.26
Configuración electrónica:	$[\text{Ar}]3d^54s^2$
Potencial primero de ionización (eV):	7.46

Masa atómica (g/mol):	54.938
Densidad (g/ml):	7.43
Punto de ebullición (°C):	2,150
Punto de fusión (°C):	1,245
Descubridor:	Johann Gahn en 1774
Sistema	Tetragonal
Color	Negro.
Raya	Negra.
Brillo	metálico o metaloide

Los compuestos de manganeso tienen muchas aplicaciones en la industria. El dióxido de manganeso se usa como un agente desecante o catalizador en pinturas, barnices y como decolorante en la fabricación de vidrio y en pilas secas. El permanganato de potasio se emplea como blanqueador para decoloración de aceites, como un agente oxidante en química analítica y preparativa.

2.1.2 Abundancia del Manganeso

El manganeso es el duodécimo elemento más abundante en la corteza terrestre y está ampliamente distribuido.

Se encuentra en cientos de minerales, aunque sólo una docena tiene interés industrial. Destacan: pirolusita (MnO_2), psilomelana ($\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), manganita ($\text{MnO}(\text{OH})$), braunita ($3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$), rodonita (MnSiO_3), rodocrosita (MnCO_3), hübnerita (MnWO_4), etc. También se ha

encontrado en nódulos marinos, en donde el contenido en manganeso oscila entre un 15 y un 30%, y en donde sería posible extraerlo.

Los países con mayores yacimientos de minerales de manganeso son Sudáfrica, Ucrania, Bolivia y China.

2.1.3 Sistemas de Cristalización del Manganeso

Sistemas de Cristalización de Manganeso	
Pirolusita (MnO_2)	Tetragonal
Psilomelana ($MnO_2 \cdot H_2O$)	Monoclínico, primático
Manganita ($MnO(OH)$)	Ortorrómbico
Braunita ($3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$)	Tetragonal, ditetragonal, dipiramidal
Rodonita ($MnSiO_3$)	Triclínico
Rodocrosita ($MnCO_3$)	Trigonal
Hübnerita ($MnWO_4$)	Monoclínico

2.1.4 Formas del Manganeso en el agua

En la muestra de agua, el manganeso puede estar en una de las tres formas:

- Solución: Oxido de manganeso, (Mn^{+2}).
- Estado Coloidal: como turbiedad e Hidróxido. (difícil de asentar y filtrar).
- Como partículas suspendidas relativamente gruesas: Mangánico (Mn^{4+}) formas insolubles (Orgánicas e Inorgánicas), que se agrupan por atracción iónica o por diversos mecanismos de formación.

2.1.5 Diagrama de Predominancia de Pourbaix

Los diagramas Eh – pH, también conocidos como Diagramas de Pourbaix, muestran las áreas de estabilidad termodinámica de diferentes especies en una **solución acuosa** en función del pH y del potencial electroquímico. El sistema puede contener diversos tipos de especies, tales como iones disueltos, óxidos condensados, hidróxidos, etc.

Usualmente, la escala del eje de **potencial redox** está basada en el Electrodo Estándar de Hidrógeno (SHE por sus iniciales en inglés). El potencial redox de un sistema representa su habilidad para cambiar electrones. El sistema tiende a remover electrones de las especies cuando el potencial es alto ($Eh > 0$). Estas condiciones pueden existir cerca del ánodo en una celda electroquímica, pero también pueden ser generadas por la acción de un agente oxidante ($Cu + H_2O_2 = CuO + H_2O$).

Bajo condiciones reductoras, el potencial es bajo ($Eh < 0$) y el sistema es capaz de suministrar electrones a las especies, por ejemplo, con un cátodo o con agentes reductores, como se muestra en la Figura 2.1.

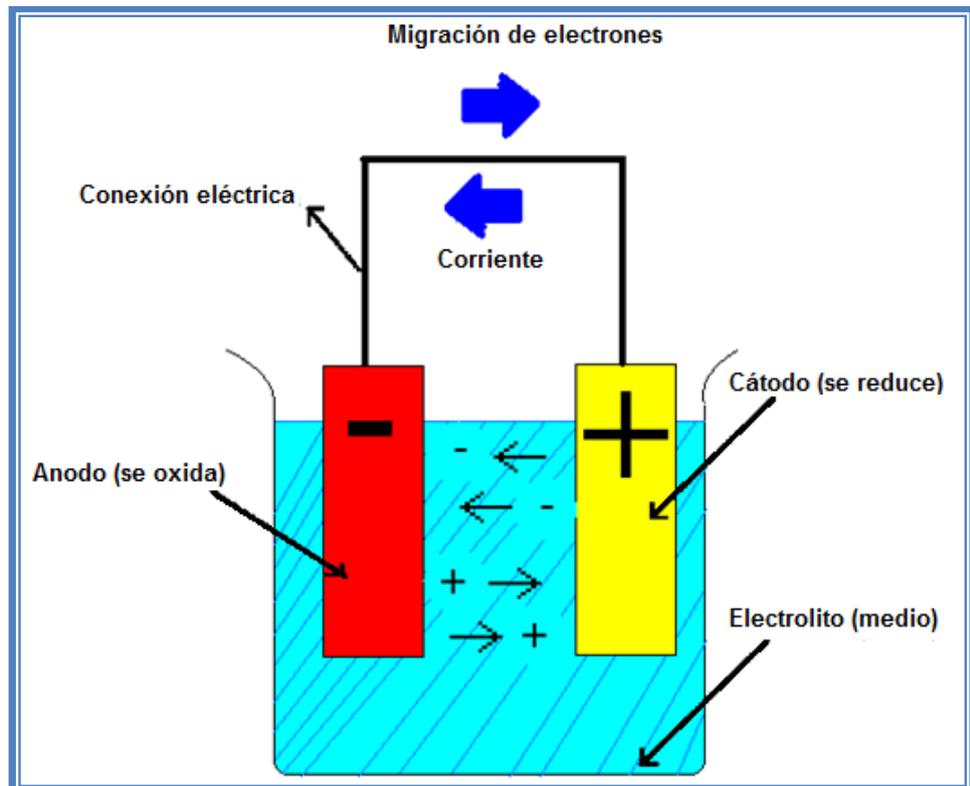


Figura 2.1. Celda Electrolítica

El término pH se usa para expresar la intensidad de la acidez o de la alcalinidad de una solución y representa la concentración de ion hidrógeno. Se define como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno, pues la disociación del agua en cationes y aniones es pequeña, donde un litro de agua pura contiene 1/10.000.000, o 10^{-7} , moléculas grama de iones de hidrógeno $\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$

Para el agua neutra: $\text{pH} = -\log_{10} [10^{-7}] = -(-7)\log_{10} = 7$

Cuando es menor el pH, más ácida es la solución, y cuando es mayor el pH, más alcalina es la solución. Es un parámetro importante en la coagulación, filtración, desinfección.

El pH del sistema describe su habilidad para suministrar protones (H^+) a las especies. En condiciones ácidas ($pH < 7$) la concentración de los protones es alta y en condiciones cáusticas ($pH > 7$) la concentración de protones es baja.

El grado de acidez de una solución química se expresa mediante una magnitud llamada pH (significa potencial Hidrógeno; se lee pH), que indica la concentración de iones Hidrógeno (H^+) en la solución. El pH se define mediante la siguiente fórmula:

$$pH = - \log [H^+]$$

El $[H^+]$ representa la concentración de iones hidrógeno por litro de sustancia (indicada en moles por litro).

El agua pura, es una solución neutra y tiene un $pH = 7$. Cuando el pH de una sustancia es menor que 7 decimos que es ácida; Si es mayor que 7 decimos que es básica. Figura 2.2.

Ejemplo: La concentración de $[H^+]$ de la muestra es de $0.6 \cdot 10^{-6}$ moles por litro.

$$pH = - \log_{10} [H^+]$$

$$pH = - \log_{10} (0.6 \cdot 10^{-6})$$

$$pH = - (-0.222 - 10^{-6})$$

$$pH = 6.222$$

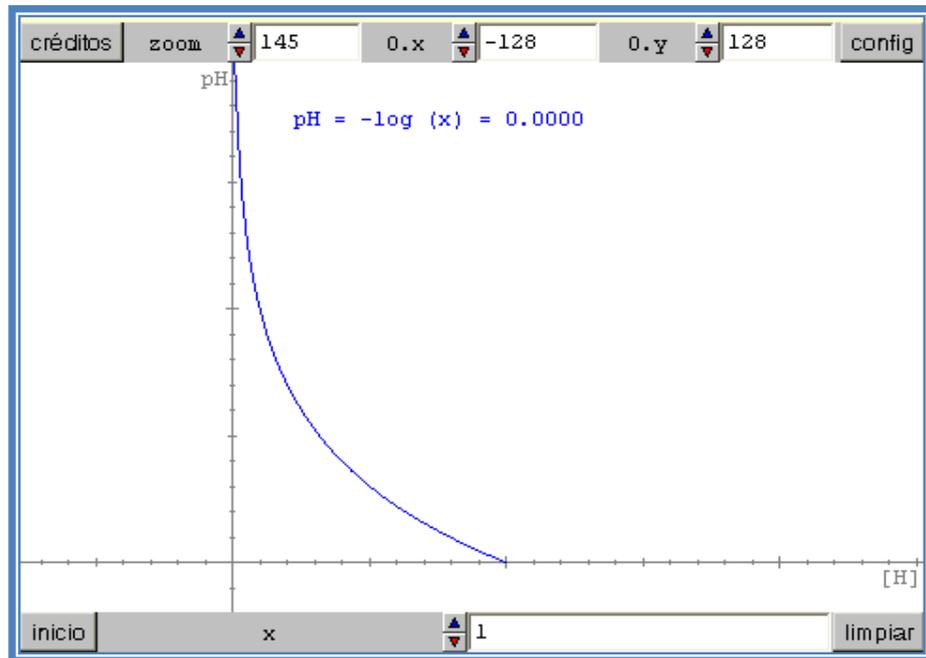


Figura 2.2. Grado de acidez de una solución química.

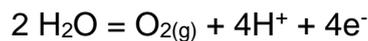
Generalmente, una gran cantidad de especies diferentes existen simultáneamente en una mezcla acuosa bajo condiciones fijas de Eh-pH. Los diagramas de Pourbaix simplifican esta situación ya que solo muestran las especies predominantes en cada área de estabilidad. Las líneas en los diagramas representan las condiciones de Eh-pH donde el contenido de las especies adyacentes es el mismo en el estado de equilibrio. No obstante, estas especies siempre existen en pequeñas cantidades en ambos lados de las líneas y podrían tener algún efecto sobre aplicaciones prácticas. Figura 2.3.

Las líneas en los diagramas pueden además ser representadas con ecuaciones químicas, las que pueden ser divididas en tres grupos de acuerdo a los tipos de reacción:

- **Líneas horizontales.** Estas líneas representan reacciones que están involucradas con electrones y que son independientes del pH. Tanto los iones H^+ como OH^- no participan en estas reacciones, como se muestra en Figura 2.3.
- **Líneas diagonales** con pendientes positivas o negativas. Estas líneas representan reacciones que involucran electrones y iones (H^+ y OH^-), como se muestra en Figura 2.3.
- **Líneas verticales.** Estas líneas representan reacciones que están involucradas con iones (H^+ y OH^-), pero que son independientes del Eh. En otras palabras, los electrones no participan en estas reacciones, como se muestra en Figura 2.3.

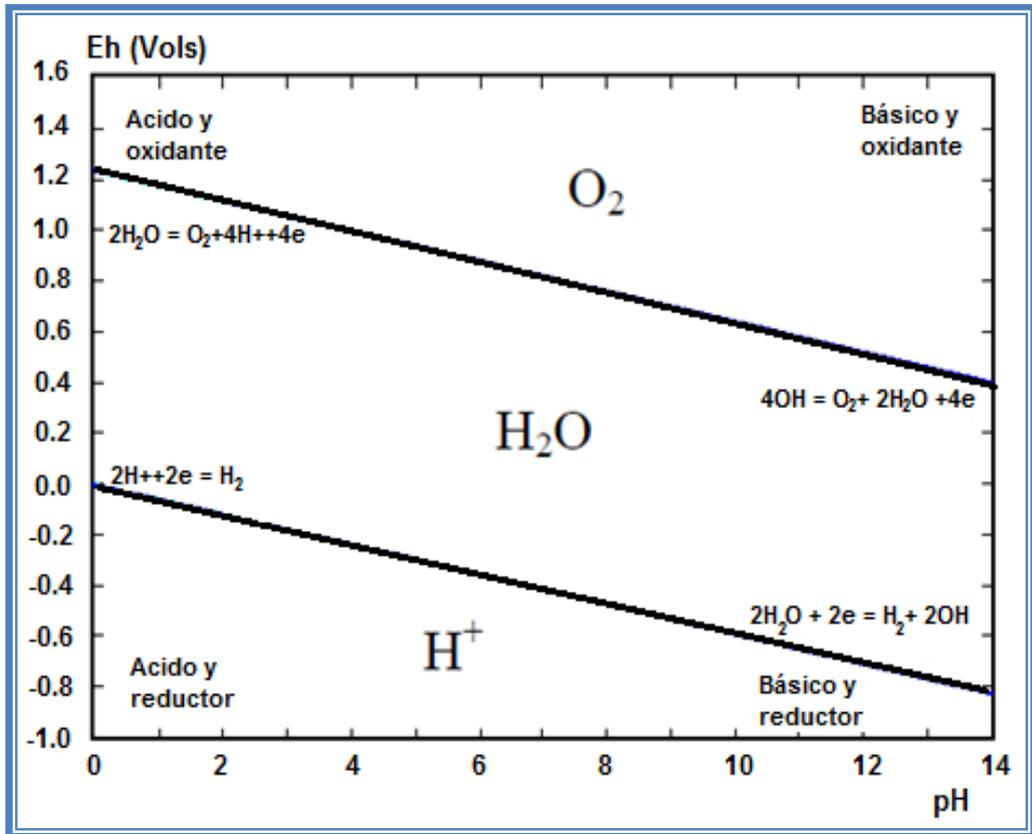
La región de la Figura 2.3. entre las líneas es el área de estabilidad termodinámica de agua bajo una presión de 1 atm y para una temperatura de 25 °C.

El área de estabilidad química del agua se muestra en la Figura 2.3 en los diagramas Eh-pH con líneas. El límite de estabilidad superior del agua está basado en el potencial cuando la generación de oxígeno empieza sobre el ánodo, según la reacción:



El límite de estabilidad inferior está basado en la formación de hidrógeno sobre el cátodo de acuerdo a la siguiente reacción:





Fuente: Marcel Pourbaix (1904-1998).

Figura 2.3. Diagrama de Pourbaix del Agua.

Los diagramas de Pourbaix contienen información básica de un sistema acuoso en una forma compacta e ilustrativa, y han encontrado muchas aplicaciones en ingeniería de corrosión, geoquímica e hidrometalurgia.

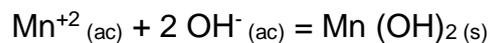
En hidrometalurgia, los diagramas Eh-pH pueden ser usados, por ejemplo, para especificar las condiciones de lixiviación selectiva o precipitación. En ingeniería de corrosión, ellos pueden ser usados para analizar el comportamiento de disolución o pasivación de diferentes metales en ambientes acuosos. Estos diagramas pueden además ser usados para ilustrar el comportamiento químico de diferentes iones en soluciones acuosas.

Los geoquímicos usan los diagramas de Pourbaix con bastante frecuencia para estudiar los procesos de intemperismo y sedimentación química. Los procesos de intemperismo se usan para predecir que sucederá con un mineral que está expuesto a condiciones ácidas oxidantes a altas temperaturas y presiones.

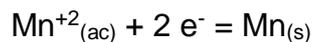
Sistema Mn – H₂O.

Del estudio del diagrama Mn – H₂O mostrado en la Figura 2.3 se puede deducir lo siguiente:

- El ion Mn⁺² puede pasar directamente a hidróxido de manganeso en una solución acuosa aumentando el pH por encima de 7:

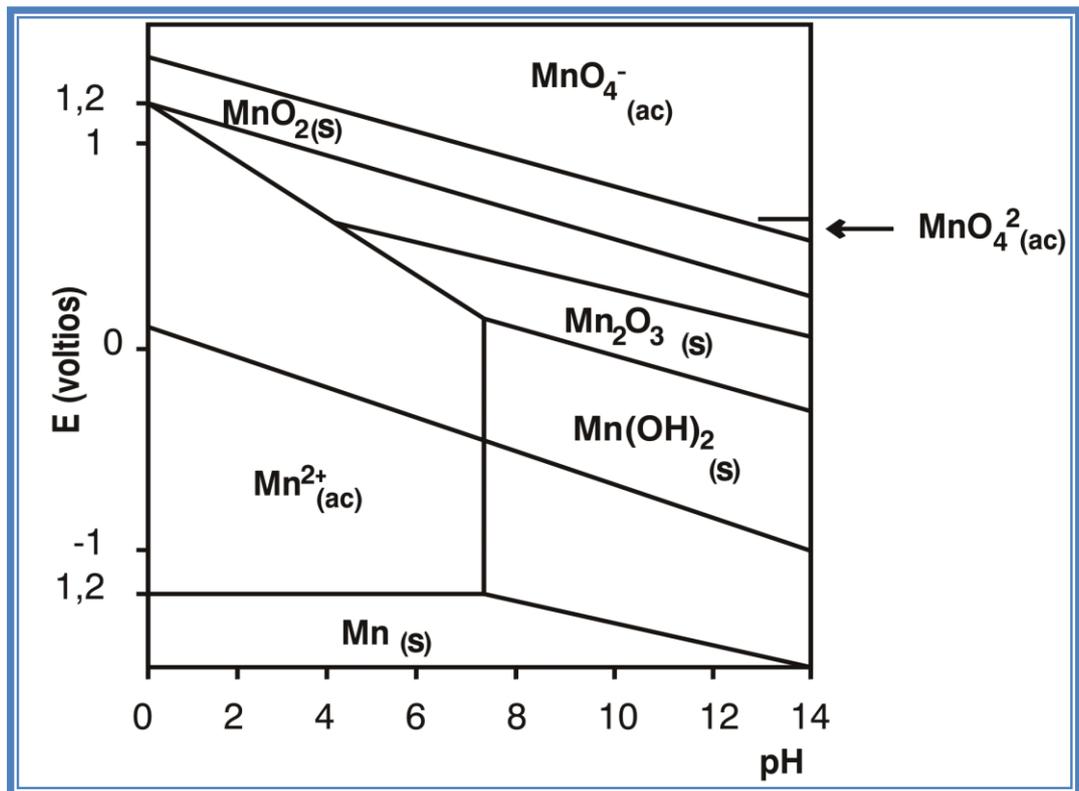


- El Mn puede precipitar sobre un cátodo como Mn metálico a diferentes valores de pH bajo condiciones fuertemente reductoras (Eh < -1,18V):



- El Mn metálico puede disolverse como Mn⁺² en soluciones ácidas requiriendo un potencial igual a -1.18V.
- El Mn se oxida bajo condiciones moderadamente oxidantes (Eh>0), prevaleciendo el Mn₂O₃ en medio básico. En condiciones fuertemente oxidantes (Eh>1V), predominará el MnO₂ tanto en medio ácido como básico.

Para reducir el contenido del ion manganeso (Mn^{2+}) en una solución acuosa, se podrían aprovechar los considerandos arriba indicados: incrementar el pH hasta alcanzar un medio básico y adicionar un agente oxidante fuerte, de tal manera que se forme el MnO_2 sólido, el cual podría luego ser separado por medios físicos. (Ver Figura 2.4.)



Fuente: Marcel Pourbaix (1904-1998).

Figura 2.4. Diagrama de Pourbaix para las principales Especies del Manganeso.

2.1.6 Características químicas

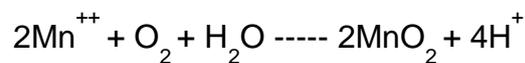
El manganeso se encuentra frecuentemente en el agua como ión manganeso (Mn^{++}). Las sales del manganeso son generalmente más solubles en soluciones ácidas que en soluciones alcalinas.

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.

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

El bicarbonato de manganeso en solución no genera color. Al exponerse al aire se convierte de agua clara en agua de color negro, la cual contiene el compuesto insoluble de dióxido de manganeso.

La reacción ocurre cuando el ión manganeso se convierte a dióxido de manganeso de la manera siguiente:



2.2. Efectos del manganeso sobre la salud humana

El manganeso es un elemento de traza esencial, lo cual significa que es esencial para la supervivencia de los humanos en pequeñas concentraciones, sin embargo, puede causar toxicidad cuando está presente en elevadas concentraciones en los humanos.

La toma de manganeso por los humanos mayoritariamente tiene lugar a través de los alimentos, como son: las espinacas, el té, arroz, las semillas de soja, huevos, frutos secos, aceite de oliva y ostras. Después de ser absorbido en el cuerpo humano el Manganeso será transportado

a través de la sangre al hígado, los riñones, el páncreas y las glándulas endocrinas.

Según estudios realizados por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), ciertos individuos expuestos a niveles de manganeso muy altos por largo tiempo en el trabajo sufrieron perturbaciones mentales, emocionales y exhibieron movimientos lentos y faltos de coordinación. Esta combinación de síntomas constituye una enfermedad llamada “manganismo”, dañando una parte del cerebro que ayuda a controlar los movimientos. La exposición a altos niveles de manganeso en el aire o en una planta de baterías, puede afectar la habilidad motora tal como mantener una mano inmóvil. La exposición a altos niveles del metal también puede causar problemas respiratorios y alteración en la función sexual.

La ATSDR también indica que los niños deben ingerir una pequeña cantidad diaria de manganeso para mantener el crecimiento y buena salud. El manganeso está presente constantemente en la madre y está disponible para el feto durante el embarazo. También se transfiere manganeso al niño en la leche materna a niveles apropiados para un buen desarrollo.

Los niños y adultos que pierden la capacidad para remover exceso de manganeso del cuerpo desarrollan problemas del sistema nervioso. Ya que los niños a ciertas edades ingieren más manganeso que los adultos,

hay preocupación de que los niños pueden ser más susceptibles a los efectos tóxicos del exceso de manganeso.

Estudios en animales indican que la exposición a altos niveles de manganeso puede causar defectos de nacimiento. No hay ninguna información acerca de si madres expuestas a niveles de manganeso excesivos pueden transferir el exceso al feto durante el embarazo o a niños que lactan la leche materna.

Se considera que el manganeso es uno de los elementos menos tóxicos. En experimentos de ingestión crónica realizados con conejos, cerdos y ganado vacuno, con niveles de dosificación de 1 – 2 mg/L de peso corporal, no se manifestaron otros efectos que un cambio en el apetito y una reducción en el metabolismo del hierro para formar hemoglobina.

2.3. Toxicidad por manganeso

Los problemas más comunes expuestos a niveles altos de manganeso involucran al sistema nervioso. Estos efectos incluyen alteraciones del comportamiento y otros efectos del sistema nervioso, tales como movimientos lentos y faltos de coordinación. Cuando esta combinación de síntomas es severa, la condición se conoce como «manganismo». Otros efectos del sistema nervioso de menor severidad, tal como movimientos lentos de las manos.

La inhalación de una gran cantidad de polvo o vapores que contienen manganeso puede producir irritación de los pulmones y posiblemente neumonía.

En hombres expuestos a niveles altos de manganeso en el aire del trabajo se han descrito pérdida del apetito sexual y daño de los espermatozoides.

Las concentraciones de manganeso que produjeron efectos tales como movimientos lentos de las manos en algunos trabajadores son aproximadamente veinte mil veces más altas que las concentraciones que se encuentran normalmente en el ambiente. El manganismo ha ocurrido en algunos trabajadores expuestos a concentraciones de manganeso cerca de un millón de veces más altas que las que ocurren normalmente en el aire.

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. En algunos casos, se sospecha que estos niveles de exposición causaron síntomas graves de manganismo (incluso dificultad para hablar y caminar). No se sabe con certeza si estos efectos fueron causados exclusivamente por el manganeso. Tampoco se sabe si estas alteraciones son transitorias o permanentes. No se sabe si los niños son más susceptibles que los

adultos a los efectos del manganeso, pero hay algunas indicaciones de experimentos en animales de laboratorio que sugieren que sí lo son.

Neumonía química se ha observado en trabajadores expuestos a la escoria de Thomas y en minas de manganeso.

El target es el S.N.C. donde predomina la lesión del cuerpo estriado. Este compromiso se traduce por la aparición de un Síndrome de Parkinson o Parkinsonismo mangánico. Figura 2.5.

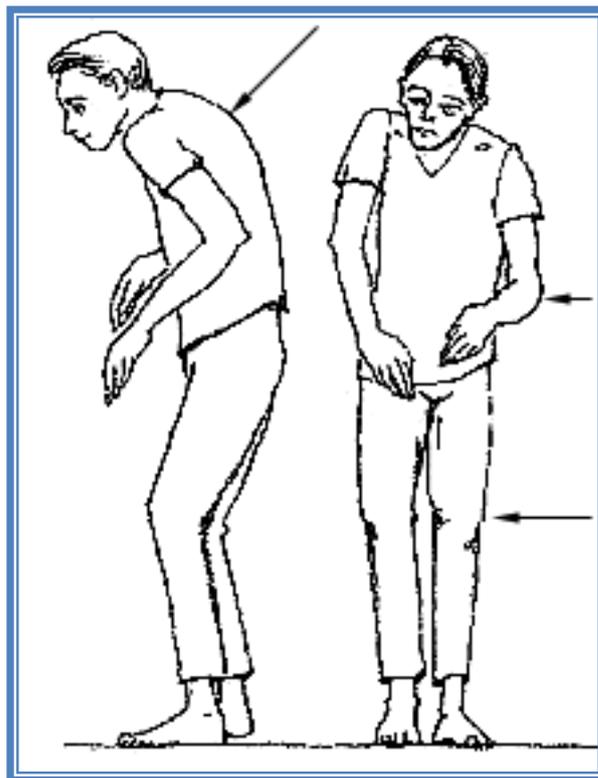


Figura 2.5. Enfermedad del Parkinsonismo mangánico, la postura ligeramente flexionada las articulaciones grandes y una espalda alta, similar a una máscara facial expresión.

Los síntomas de la toxicidad provocada por el Mn se manifiestan primero en la hoja más vieja de la planta y avanzan hacia las hojas más jóvenes.

Los síntomas pueden cambiar de una variedad a otra e incluyen clorosis con poca necrosis, clorosis que se convierte en necrosis y, en algunos casos, enrojecimiento combinado con necrosis y clorosis. Estos síntomas comienzan a aparecer en el ápice de la hoja más vieja y avanzan a lo largo de la hoja; los bordes son las partes más afectadas. En algunas variedades aparece una mancha café en la hoja, mientras que en otras se observan pecas grisáceas de tejido necrótico en toda la hoja, generalmente acompañado de clorosis y/o necrosis del ápice. Figura 2.6.



Figura 2.6. Alteraciones por efecto del Manganeso en las hojas de las plantas (la hoja de la derecha esta afectada por el manganeso).

2.4. Efectos ambientales del manganeso en el agua, aire y suelo

Los compuestos del manganeso existen de forma natural en el ambiente como sólidos en suelos y pequeñas partículas en el agua. Las partículas de manganeso en el aire están presentes en las partículas de polvo, estas usualmente se depositan en la tierra en unos pocos días.

Los humanos aumentan las concentraciones de Manganeso en el aire por las actividades industriales y a través de la quema de productos fósiles. El manganeso que deriva de las fuentes humanas puede también entrar en la superficie del agua, aguas subterráneas y aguas residuales. A través de la aplicación del manganeso como pesticida el manganeso entrará en el suelo.

Para los animales el manganeso es un componente esencial sobre unas 36 enzimas que son usadas para el metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas. Con animales que comen muy poco manganeso interfiere en el crecimiento normal, la formación de huesos y en la reproducción.

Para algunos animales la dosis letal es bastante baja, lo cual significa que tienen pocas posibilidades de supervivencia incluso a pequeñas dosis de manganeso cuando este excede la dosis esencial. El Manganeso puede causar problemas en los pulmones, hígado y vasculares, decremento de la presión sanguínea, fallos en el desarrollo de fetos de animales y daños cerebrales.

Cuando el Manganeseo es tomado a través de la piel puede causar temblores y fallos en la coordinación. Finalmente, las pruebas de laboratorio con animales han mostrado que diversos envenenamientos con Manganeseo deberían incluso ser capaces de causar el desarrollo de tumores en animales.

En plantas los iones del Manganeseo son transportados hacia las hojas después de ser tomados en el suelo. Cuando muy poco manganeseo puede ser absorbido desde el suelo esto causa alteración en los mecanismos de las plantas. Por ejemplo perturbaciones en la división del agua en hidrógeno y oxígeno, el Manganeseo juega un papel importante. El Manganeseo puede causar síntomas de toxicidad y deficiencia en plantas.

Concentraciones altamente tóxicas de Manganeseo en el suelo pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en las hojas.

2.5. Tecnologías de remoción de Manganeseo

El agua que contiene niveles altos de minerales como el Manganeseo, fierro y Aluminio, por alguna razón puede o no ser apta para diversas actividades o agresivas para ciertas instalaciones. Los minerales disueltos en el agua, pueden sedimentar o precipitarse en las plantas de tratamiento cuando aplicamos las operaciones o procesos controlados, acompañados por el uso de reactivos químicos apropiados para tal fin.

En la tabla 2.2 se muestra las impurezas que puede tener el agua.

Tabla 2.2. Impurezas del Agua

Símbolo	Nombre	Descripción
TS	Sólidos Totales	Todas las sustancias disueltas y en suspensión en el agua, excepto CO ₂ , O ₂ y gases.
DS	Sólidos Disueltos	Todas las sustancias solubles en el agua excepto gases.
SS	Sólidos en Suspensión	Lodos y sustancias que pueden ser filtrados.
PO ₄	Fosfatos	Fosfatos Sódicos.
O ₂	Oxígeno	Gas Oxigenado.
SiO ₂	Sílice	Sílice Soluble.
Al ₂ O ₃	Alúmina	Alúmina Soluble
Fe y Mn	Hierro y Manganeso	Todas las formas de Hierro y Manganeso.
NH ₃	Amoniaco	Nitrógeno como Amoniaco.
NO ₂	Nitritos	Nitrógeno como Nitritos.
NO ₃	Nitratos	Nitrógeno como Nitratos
NaCl	Cloruros	Cloruros de Sodio
D	Dureza	Sales de Calcio y Magnesio

Se muestra las impurezas que puede tener el agua entre ellos encontramos el Manganeso. Si la fuente a tratar contiene niveles indeseables de hierro y/o manganeso, se tiene varios métodos efectivos para removerlos, como se puede visualizar en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Tratamiento del Hierro y Manganeso

Tratamiento para el hierro y manganeso en el agua potable		
Causa	Indicación	Tratamiento
Hierro y manganeso disueltos	El agua está clara cuando es tomada pero aparecen partículas rojizas o negruzcas cuando se estancan. Manchas rojizas-cafés o negras en los accesorios de plomería o en la ropa lavada	Compuestos de fosfato (úsese para <3mg/L) Suavizador de agua (úsese para concentraciones combinadas de hierro y manganeso >5mg/L) Filtro Oxidante – de arena verde de manganeso o zeolita. (úsese para concentraciones combinadas de hierro y manganeso >15mg/L). Aireación/filtración (Úsese para concentraciones combinadas de hierro y manganeso >25mg/L). Oxidación y filtración química (úsese para concentraciones combinadas de hierro y manganeso >10mg/L).
Hierro o manganeso disuelto (coloidal) (complejos orgánicos de estos minerales)	El agua del grifo esta rojiza o negruzca y el color se mantiene por más de 24 horas (no hay precipitación de partículas).	Oxidación y filtración química
Hierro oxidado en el suministro del agua	El agua del grifo contiene partículas rojizas-cafés que se asientan cuando el agua se estanca.	Filtro de partículas
Corrosión de tubería y equipo	El agua del grifo contiene partículas rojizas-cafés que se asientan cuando el agua se estanca.	Eleve el pH del agua y use un filtro de partículas
Bacterias de hierro o de manganeso	Babas rojizas-cafés en los tanques de los inodoros, y drenajes de los lavamanos y tinas.	Tratamiento de shock y filtración

La elección del método más apropiado depende de factores como la concentración de hierro y manganeso en el agua, si hay bacterias presentes y la cantidad de agua que necesita tratar.

Para la remoción del manganeso lo más utilizado es la precipitación, por lo que resulta indispensable promover a nivel de planta de tratamiento utilizando los mecanismos, procedimientos y reactivos adecuados, acompañado de dispositivos para el manejo de lodos; siempre que esté ligado al mantenimiento o acondicionamiento de pH en los rangos adecuados.

De acuerdo a los procesos que se utilizan en las plantas de tratamiento, podemos emplear para la remoción de manganeso, los sistemas convencionales de clarificación (modificación de pH, coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección) mediante el uso de dispositivos de dosificación de reactivos, reactores con tiempos de retención adecuados y gradientes óptimas, bajo las siguientes condiciones:

Normales: cuando el contenido de manganeso en el agua a tratar es permanente, en este caso podremos utilizar los dispositivos y reactivos normalmente utilizados en la operación de la planta de tratamiento, siempre que se acondicione el pH del agua cruda a los rangos en que la precipitación del elemento se efectúa eficientemente, para su posterior eliminación por decantación y filtración.

De emergencia: cuando de manera espontánea tenemos una súbita presencia de manganeso, se debe de implementar el nivel de emergencia, la aplicación de algunos procedimientos alternativos capaces de ser puestos en operación utilizando los componentes físicos

del sistema de tratamiento, como por ejemplo promover la precipitación del manganeso mediante la dosificación de permanganato de potasio. Sin embargo, se deberá tener cuidado en el manejo de lodos y la vigilancia permanente de la calidad del agua, desde la captación hasta las redes de distribución.

2.4.1. Tratamiento asociado a una descarbonatación:

La descarbonatación con cal, que produce un pH elevado, favorece la eliminación del hierro y del manganeso. La precipitación del carbonato ferroso es prácticamente total a pH 8.2, y la del hidróxido ferroso a pH 10.5. En presencia de un potencial Redox elevado, el hierro (II) disuelto puede precipitar en forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Para el manganeso, los valores del pH de precipitación son del orden de 9.2 para el carbonato y de 11.5 para el hidróxido, respectivamente.

2.4.2. Tratamiento biológico

El metabolismo de algunos microorganismos autótrofos se basa en la oxidación del hierro y del manganeso; en condiciones favorables, las reacciones son muy rápidas y la eliminación de estos dos elementos es completa. El nitrógeno amoniacal es un elemento esencial de la nutrición bacteriana, por lo que la presencia de amoníaco en el agua bruta favorece este tipo de tratamiento (por otra parte, generalmente se produce una nitrificación simultánea).

En su principio, estos tratamientos biológicos no difieren esencialmente de la oxidación-filtración que se ha examinado anteriormente; pero, en su realización, presentan ciertas particularidades en lo que concierne al contenido de oxígeno, la velocidad de filtración y la talla efectiva de la arena. Esta técnica, que se aplica especialmente en Holanda y en Alemania, resulta interesante, sobre todo, cuando el agua bruta contiene simultáneamente hierro, manganeso y amoníaco. **Los filtros secos** constituyen su ejemplo más conocido; asimismo, da lugar a instalaciones de **filtración doble**, cuya secuencia es: adición de un caudal muy pequeño de aire al agua bruta (en función del potencial Redox), desferrización en una primera etapa de filtración, aeración intensiva, eliminación de manganeso en una segunda etapa de filtración (los microorganismos que oxidan el manganeso sólo pueden desarrollarse cuando es muy pequeño el contenido de hierro). Pero nunca se tiene «a priori» la certeza del desarrollo de los microorganismos, por lo que a veces resulta difícil controlar el funcionamiento de las instalaciones proyectadas según este principio: por lo tanto, sólo puede elegirse este tipo de procesos cuando se ha demostrado su fiabilidad, mediante ensayos previos.

En realidad, no está claramente definida la frontera entre oxidación puramente química y tratamiento biológico, por lo que el buen funcionamiento de muchas instalaciones del primer tipo se debe al desarrollo de microorganismos.

2.4.3. Filtración a través de materiales especiales:

Intercambiadores de iones: sólo podrían preverse para la eliminación de pequeñas cantidades de hierro y de manganeso. Por otra parte, pueden atascarse rápidamente, y eliminan asimismo otros cationes (Ca, Mg), por ello, normalmente no se utilizan para problemas específicos de hierro y de manganeso, tanto más cuanto que no serían económicos y rara vez serían admitidos por los diferentes Servicios de Higiene para el tratamiento de aguas para el consumo humano.

Materiales recubiertos de MnO_2 : En EE.UU., a veces se utiliza zeolitas o arenas verdes. En primer lugar, deben enriquecerse en MnO_2 (que son capaces de fijar por intercambio iónico), funcionando entonces como intercambiadores de electrones: el dióxido de manganeso oxida el hierro y el manganeso bivalentes (que precipitan y son retenidos por la masa filtrante), y se reduce a su vez en forma de sesquióxido Mn_2O_3 . El dióxido se regenera seguidamente, de forma continua o discontinua, con permanganato potásico.

Ciertos productos, tales como pirolusita, CZ, etc., pueden incluirse dentro de esta categoría. Pero estas técnicas sólo son aplicables a pequeñas instalaciones, y con dosis reducidas de hierro y manganeso, en un agua desprovista de materia orgánica, que son poco frecuentes en Europa.

Si se ha sometido al agua bruta a una aeración previa, los materiales recubiertos de MnO_2 pueden ejercer igualmente un efecto catalítico sobre la oxidación del hierro y del manganeso con oxígeno; en este caso, no se produce transformación del dióxido de manganeso, por lo que la regeneración no es necesaria.

Carbón activo: sólo se consigue la retención total del hierro y del manganeso, después de la aplicación de un oxidante potente, como el ozono o el permanganato. Este procedimiento es costoso, pero está justificado cuando es preciso eliminar también los malos sabores.

Productos alcalinos: se han utilizado a veces carbonatos o dolomita calcinada: Neutralite, Akdolit, Magno-dol, etc. Estos tratamientos presentan poco interés si no es necesario neutralizar gas carbónico agresivo, aumentando al mismo tiempo la alcalinidad del agua. De todas formas, la doble función del material filtrante (desferrización y neutralización) puede crear dificultades de explotación.

2.4.4. Magnesio en polvo y diatomeas:

Este procedimiento consiste en introducir magnesio en polvo en el agua bruta, después de una aeración, y en filtrarla a través de diatomeas. La magnesio actuaría de forma triple:

- ✓ Adsorción del ion ferroso sobre el polvo de magnesio;
- ✓ Precipitación de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y FeCO_3 ;

- ✓ Catálisis de la oxidación del hierro con oxígeno (fenómeno preponderante).

Esta técnica, de difícil aplicación, no se ha puesto en práctica en instalaciones importantes.

En resumen, los tratamientos de eliminación de hierro y manganeso son generalmente delicados, y al mismo problema pueden aplicarse soluciones diversas. Ante todo, es preciso hacer un planteamiento correcto del problema: se necesita tener un profundo conocimiento de las características del agua bruta, y los ensayos previos, en instalaciones piloto, son en este caso aún más útiles que en el tratamiento de aguas de superficie.

2.4.5. Tratamiento de fosfato

Si la concentración de fierro es menor a 0.1 ppm y la de manganeso es igual o mayor a 0.3 ppm, puede darse un tratamiento con fosfatos, el cual es un proceso simple y de bajo costo.

Esto implica la adición de fosfatos preferentemente en la forma de metafosfato de sodio. El efecto del polifosfato es prevenir la precipitación del óxido de manganeso por algunos días, lo cual da tiempo a que el agua se utilice y se deseche sin causar problemas en su tránsito por el sistema o en su empleo.

Además de fosfatos, se debe agregar cloro para prevenir el crecimiento de las bacterias del hierro, que proliferan si no se da un tratamiento de desinfección.

Para evaluar el tratamiento, se deben efectuar pruebas de laboratorio, y si es posible pruebas piloto para determinar si el tratamiento es efectivo y la dosis de fosfato y de cloro más adecuada para evitar la precipitación y el crecimiento bacteriano.

2.4.6. Oxidación – Filtración:

El proceso de oxidación-filtración es 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 Ca(OH)_2 o carbonato de sodio (Na_2CO_3). Este proceso opera a pH mayor o igual a 8.4, pero se tienen deficiencias en el proceso de filtración por la formación de precipitados coloidales que pasan a través del filtro. Como agentes oxidantes pueden usarse Cloro, Dioxido de Cloro, Ozono.

Cloro

El cloro, oxidante poderoso, es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación y costo conveniente. La coagulación convencional mediante el sulfato de aluminio, especialmente cuando se practica la precloración, remueve el hierro y el manganeso.

Se obtienen mejores resultados cuando se utiliza sulfato de hierro II clorado o sal de hierro III con cal como coagulante para la coagulación en valores altos de pH.

Dióxido de cloro

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

El dióxido de cloro reacciona con sustancias orgánicas, generalmente por oxidación, y forma pocos compuestos orgánicos clorados. Los compuestos fenólicos presentes en el agua potable se deben principalmente a la contaminación proveniente de fuentes industriales. Estas moléculas, aun cuando están en concentraciones de microgramos por litro, dan un olor y sabor desagradables. El dióxido de cloro reacciona rápidamente con los fenoles. Esta reacción puede variar en diferentes sistemas y ocasionar:

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

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

Ozono

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

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

Además como un proceso alternativo de remoción tenemos el ablandamiento, que es un proceso que se aplica para eliminar la dureza del agua, donde la remoción del Fe y Mn 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.

2.4.7. Aireación / Filtración:

El proceso de aireación-filtración se recomienda para agua con alta concentración de hierro (mayor de 5 mg/L) con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado en este proceso incluye comúnmente un aireador, un tanque de retención y filtros. El oxígeno de la atmósfera reacciona con las formas solubles de hierro 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 vía el O_2 (ac) 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 el costo inicial alto, y el requerimiento de un tiempo de retención y tratamiento químico adicionales si la concentración de Mn soluble del agua a tratar es mayor a 1 mg/L.

2.4.8. Oxidación Química:

Niveles altos de Hierro y Manganeseo disuelto u oxidado o en combinación hasta 25 mg/L, pueden ser tratadas por oxidación química. Este método es particularmente de gran ayuda cuando el Hierro es combinado con materia Orgánica.

2.4.9. Elevando el pH y la filtración de las partículas:

Si los tubos corroídos son la fuente de partículas de Hierro/ Manganeseo en el agua, elevar el pH del agua y usar un filtro de sedimento es la solución más simple para este problema.

2.4.10. Tratamiento por shock y filtración:

El tratamiento por Shock es el método más común de eliminar bacterias y el cloro es el químico más usado en este proceso.

2.4.11. Tratamiento multipasos:

Si el agua tiene altos niveles de Hierro y Manganeseo en las formas disueltas y sólidas, un tratamiento multipaso es necesario.

El primer paso es la clorinación para oxidar el hierro disuelto y matar bacterias, el agua puede ser filtrada después por medio de un aparato mecánico para remover partículas.

Esto puede continuar con una filtración con carbón activado para remover el exceso de cloro y finalmente, ablandar para controlar la dureza y remover cualquier mineral residual disuelto.

2.5. Elección de tratamientos para la remoción de manganeso

El agua puede contener muchas impurezas, tales como las partículas coloidales, sustancias húmicas y microorganismos. Todas estas impurezas presentan carga superficial negativa, impidiendo la aproximación entre ellas (Di Bernardo, 1993). Sin embargo, se pueden combinar varias etapas de tratamientos con características físicas, químicas o biológicas, con el objetivo de depurar el agua, eliminando primero las materias en suspensión, después las sustancias coloidales y, por último, las sustancias disueltas, que pueden ser minerales u orgánicas (Degrémont, 1979). Para eso, hace falta alterar algunas características del agua y, consecuentemente, de las impurezas, utilizando la coagulación, floculación, sedimentación y filtración (Di Bernardo, 1993). Si es necesario, pueden corregirse algunas características del agua antes de la distribución para el consumo humano.

De esa manera, el tratamiento convencional (tratamiento del agua bruta en ciclo completo) consiste en la coagulación del agua con una sal de

aluminio o hierro mediante el mecanismo de barredura, donde ocurre la formación de precipitados del metal del coagulante, que aprisionan las impurezas. El agua coagulada se somete a la agitación lenta hasta que los flóculos adquieran masa específica y tamaño suficiente para la eliminación por sedimentación o flotación. El agua clarificada, producida en los decantadores o flotadores, pasa por los filtros con flujo descendente (Di Bernardo et al., 2002), pues solamente en la filtración se puede eliminar, casi que en su totalidad, las partículas coloidales suspendidas y microorganismos en general para que la desinfección final sea efectiva y que el agua atienda el Patrón de Potabilidad.

La coagulación ocurre en la unidad de mezcla rápida, que puede ser hidráulica o mecanizada; la sedimentación o la flotación ocurre en los decantadores o flotadores, respectivamente; y la filtración ocurre en unidades que contienen materiales granulares con granulometría apropiada, generalmente arena o antracita y arena. La Figura 2.4 muestra esquemas de tratamiento de agua en ciclo completo.

Lo que determina si la mezcla rápida podrá ser hidráulica o mecanizada es el flujo a ser tratado, la variación de la calidad del agua bruta y la disponibilidad para operación y manutención. Lo que determina la adopción de unidades mecanizadas en la floculación, que también puede ser realizada en unidades mecanizadas o hidráulicas, es la calidad del agua bruta que impone la necesidad de variación de la intensidad en la agitación; pero, siendo posible, se debe emplear la floculación hidráulica. Ya los decantadores pueden ser convencionales, consistiendo en tanques grandes, con flujo horizontal o vertical; o de alta

tasa, donde se utilizan módulos de plástico o placas planas paralelas (Di Bernardo et al., 2002).

Para conocer el mecanismo de coagulación apropiado para cada tecnología de tratamiento, existe la necesidad de ejecutar ensayos en laboratorio, exigiéndose así, personal cualificado para la operación de un sistema de tratamiento con coagulación química (Di Bernardo, 1993).

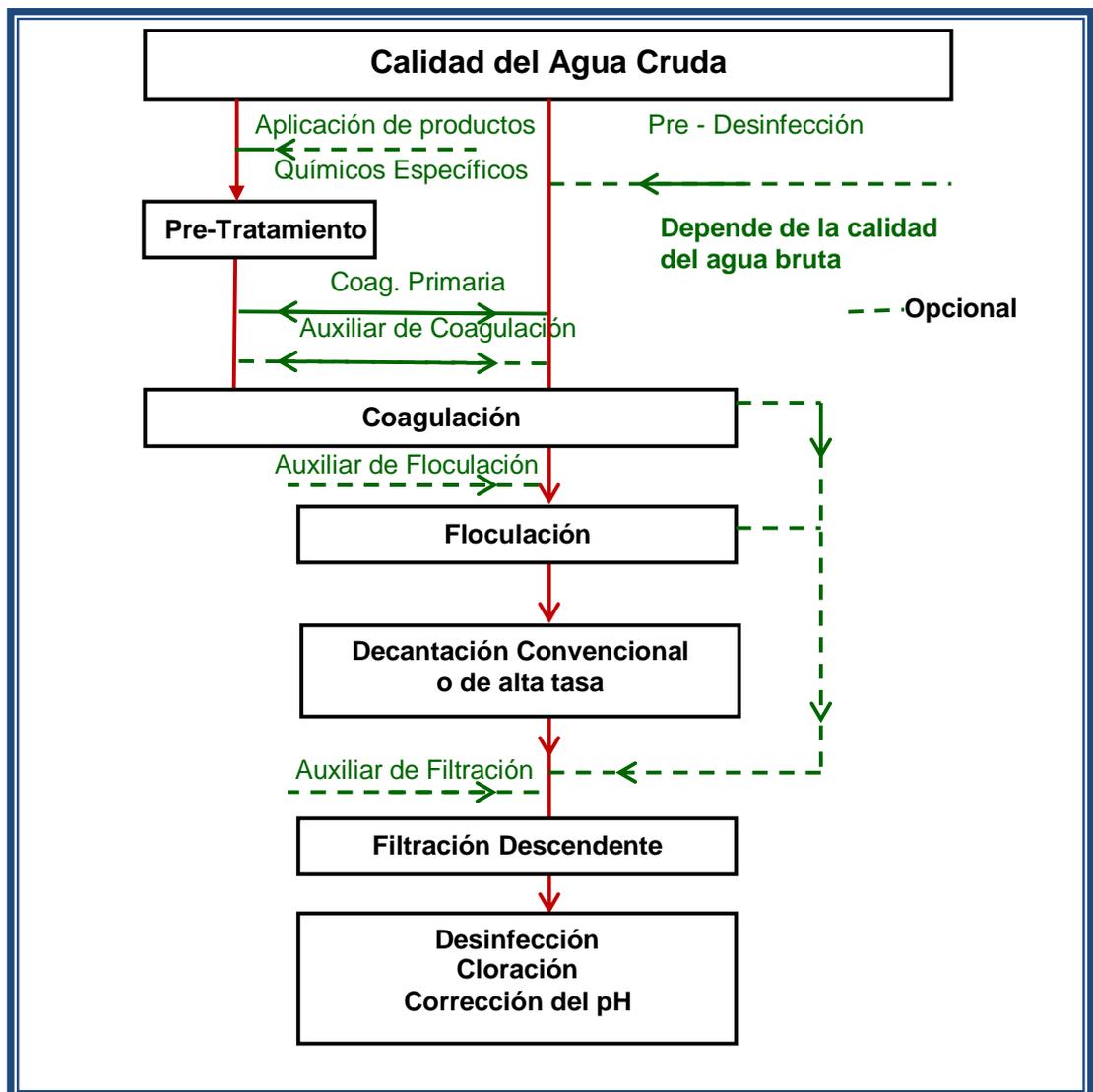


Figura 2.7. Tecnología de tratamiento completo (adaptado) (Di Bernardo, 1993).

A continuación, se exponen, de forma general, los procesos de clarificación empleados para el tratamiento convencional, objeto de la tesis, que son: la coagulación, la floculación, la sedimentación y la filtración.

2.5.1. La Coagulación

La coagulación, en el campo del tratamiento de aguas, es el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas (Degrémont, 1979), que se consigue mediante la adición de coagulantes en el agua, reduciendo, así, las fuerzas que separan las partículas en suspensión (Richter y Azevedo Netto, 2003). La figura 2.5 muestra este proceso.

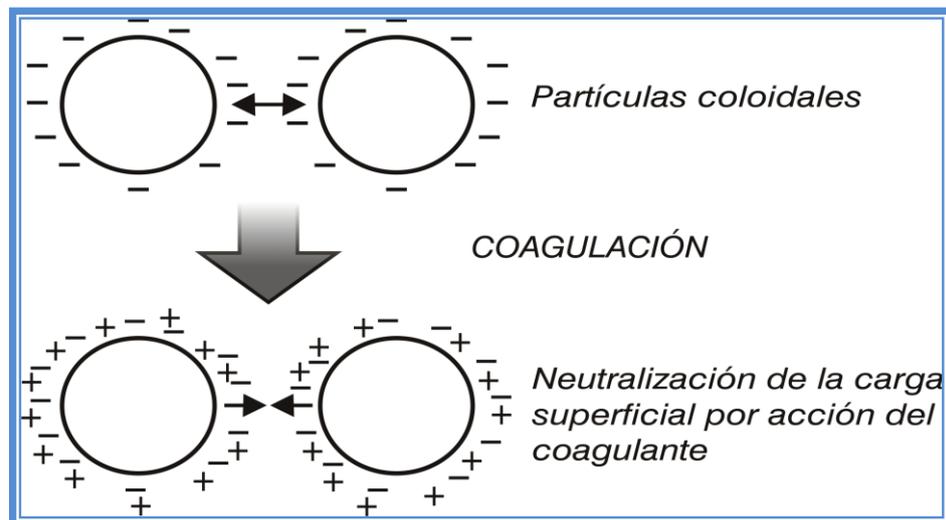


Figura 2.8. Coagulación de partículas coloidales

Las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general impiden la aproximación entre ellas debido a que todas presentan carga negativa en el agua. Adicionando sales de aluminio o de hierro o de polímeros sintéticos, se puede alterar la fuerza iónica del medio, caracterizando el fenómeno de la coagulación en el tratamiento de agua (Di Bernardo, 1993). Los coagulantes más utilizados son las sales de aluminio y de hierro, siendo el sulfato de aluminio y el cloruro férrico los más económicos. Para su utilización, se puede determinar la dosis adecuada realizando ensayos de laboratorio con el agua de estudio (Degrémont, 1979).

Conocer el agua de estudio es importante porque la coagulación depende de las impurezas presentes y de las características del agua, como pH, temperatura, turbidez, color verdadero, alcalinidad, sólidos totales disueltos, movilidad electroforética, fuerza iónica, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión etc. (Di Bernardo, 1993).

El pH, por ejemplo, es muy importante en la coagulación-floculación porque el aumento de la concentración de los iones H^+ destruye parte de la carga de las partículas coloidales que han adsorbido iones OH^- , haciendo que disminuya la estabilidad de la suspensión coloidal. Por otro lado, lo mejor es que el pH esté dentro del rango donde la solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado sea mínima.

2.5.2. La Sedimentación

La sedimentación es el fenómeno físico donde las partículas en suspensión se mueven en sentido descendente, en medio líquido de menor masa específica, debido a la acción de la gravedad. La sedimentación separa las fases líquida y sólida, propiciando la clarificación del medio líquido.

La teoría de la sedimentación se basa en el hecho de que la fuerza de la gravedad (F_G) acelerará cualquier partícula no coloidal (suspendida en un medio acuoso, en reposo y con menor masa específica) hasta que las fuerzas de resistencia viscosa (F_E) y de deformación del líquido (F_D) se igualen a la resultante del peso efectivo de la partícula (Figura 2.6). A partir de este momento, su velocidad descendente será constante. Esta velocidad es conocida como velocidad terminal de sedimentación o velocidad de sedimentación.

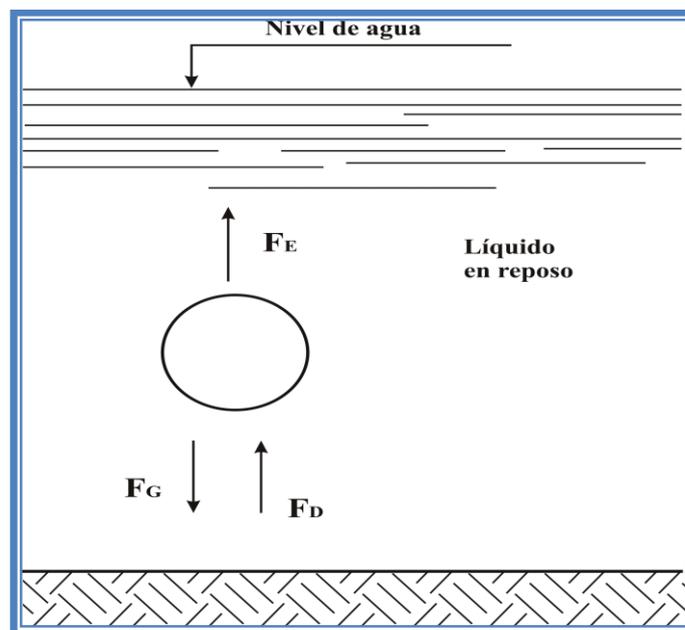


Figura 2.9. Fuerzas actuantes en una partícula sólida durante la sedimentación (Di Bernardo, 1993).

Como ejemplo general la Figura 2.6, se puede mostrar una partícula granular, en suspensión en un líquido en reposo. Esta se encuentra sometida a una fuerza " F_G ", debido a la gravedad, y a una fuerza resistente " F_D " debido a la sustentación del fluido, que es la resultante de fuerzas de viscosidad y de inercia.

La sumatoria de fuerzas de sedimentación se define: A los efectos del incremento relativo de la magnitud de fuerzas hidrodinámicas, osmóticas y electroquímicas que se presentan por la interacción que las distintas partículas que se sumergen simultáneamente tienen entre sí, se manifiesta en una variación del valor de la velocidad de sedimentación efectiva o de sumergimiento de un colectivo de partículas en un fluido viscoso, respecto a la velocidad de sumergimiento que tendría una partícula única de igual diámetro medio que las existentes en el colectivo. Dado el tamaño de orden micrométrico del sistema de partículas, estos efectos se aprecian de mejor manera en el valor que alcanza la velocidad terminal de sedimentación o sumergimiento, cuando la suma de fuerzas hidráulicas que actúan sobre la partícula se equilibran, con lo que ésta alcanza una velocidad de sumergimiento constante.

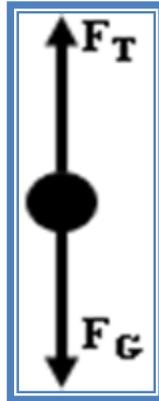


Figura 2.10. Fuerzas totales actuantes en una partícula granular en suspensión en un líquido en reposo.

Se muestra una partícula molecular en la Figura 2.7; ésta se encuentra sometida a una fuerza “ F_G ”, debido a la gravedad, y a una fuerza resistente “ F_T ” debido a la sustentación del fluido, que es la resultante de fuerzas de viscosidad y de inercia.

Cuando el grano queda en libertad de movimiento, partiendo de una velocidad nula, se acelera y alcanza una velocidad prácticamente constante (velocidad de sedimentación), al cabo de un tiempo, que casi siempre es despreciable con relación a la duración de la sedimentación, en las operaciones industriales, donde se igualan las dos fuerzas mencionadas. La fuerza que impulsa a la partícula en su descenso es:

$$F_G = (r_1 - r) g (m/r_1)$$

Donde:

r_1 = Densidad de la partícula.

r = Fluido.

g = Aceleración de la gravedad.

m = Masa de la partícula.

La resistencia debida al rozamiento de la partícula con el fluido, viene dada por la fórmula de Newton:

$$F_T = C_D A (rV^2/2)$$

Donde: “ F_T ” es la fuerza resistente, “ C_D ” es el coeficiente de rozamiento, “ A ” es el área proyectada de la partícula en la dirección de su movimiento y “ V ” es la velocidad relativa entre la partícula y el fluido.

Igualando las dos fuerzas y suponiendo la partícula esférica con diámetro “ d ”, llegamos a:

$$V = \sqrt{\frac{4gd(p_1 - p)}{3 C_D \rho}}$$

Nos da la velocidad de sedimentación para una esfera de diámetro “ d ”

Normalmente, la sedimentación simple no puede eliminar los materiales finamente divididos, en estado coloidal o en solución, requiriendo la utilización de coagulante para aglomerar los flóculos, ayudando a facilitar la sedimentación.

La mayoría de las estaciones de tratamiento utilizan el proceso de clarificación (sedimentación con previa coagulación) para reducir la carga de sólidos que llegarían a los filtros.

Los resultados obtenidos por las investigaciones llevadas a cabo hasta la actualidad, demuestran que la sedimentación de suspensiones es un fenómeno complejo, incluso en sistemas de partículas de forma regular.

Cuando el grano queda en libertad de movimiento, partiendo de una velocidad nula, se acelera y alcanza una velocidad prácticamente constante (velocidad de sedimentación), al cabo de un tiempo, que casi siempre es despreciable con relación a la duración de la sedimentación, en las operaciones industriales, donde se igualan las dos fuerzas mencionadas.

Las unidades de sedimentación o decantadores convencionales serán, determinadas en ensayos con jarras test, a partir del valor de "Vs". El valor teórico de "Vs" también sirve para proyectar los decantadores de alta tasa, juntamente con la trayectoria crítica de la partícula en el tipo de conducto diseñado, utilizando las dimensiones de los conductos (longitud, anchura y altura) para módulos tubulares y la distancia entre placas y su longitud, para placas planas paralelas.

2.5.3. La Filtración

La filtración consiste en la eliminación de partículas coloidales, en suspensión y de microorganismos presentes en el agua que fluye a

través de un medio granular. En la Tabla 2.3 se encuentran los materiales utilizados como medio filtrante.

Las unidades de filtración utilizan varios materiales como medios filtrantes, donde los más comunes son: la arena convencional, arena y antracita y arena prácticamente uniforme, conforme Tabla 2.4. Normalmente se realiza el lavado del medio filtrante con agua, pero, se recomienda aire y agua para mantener los granos libres de impurezas.

Tabla 2.4. Materiales utilizados como medios filtrantes.

Características	Arena Convencional	Arena y antracita		Arena Prácticamente Uniforme
		Arena	Antracita	
Tamaño mínimo de los granos (mm)	0.30 – 0.42	0.42 – 0.59	0.71 – 0.84	0.84 – 1.19
Tamaño máximo de los granos (mm)	1.41 – 2.00	1.41 – 2.0	2.0 – 2.4	1.41 – 1.68
Tamaño efectivo (mm)	0.40 – 0.55	0.45 – 0.55	0.90 – 1.10	1.00 – 1.20
Coefficiente de desigualdad	1.5 – 1.8	1.5 – 1.8	1.5 – 1.8	1.1 – 1.2
Espesor de la camada (m)	0.60 – 80	0.20 – 0.25	0.45 – 0.60	1.0 – 1.20

2.5.4. Desinfección y Oxigenación

La finalidad de la desinfección es destruir los microorganismos patogénicos presentes en el agua, como por ejemplo: las bacterias, los protozoarios, los virus y los helmintos; porque los procesos físico-químicos utilizados en los tratamientos no pueden garantizar la completa eliminación de estos microorganismos.

Generalmente los desinfectantes son oxidantes, pero no siempre un oxidante actúa como desinfectante. Como ejemplo de oxidantes utilizados en el tratamiento de agua se puede enumerar: el cloro, el dióxido de cloro, el ozono, el peróxido de hidrógeno, el permanganato de potasio y la radiación ultravioleta.

El desinfectante más utilizado en la purificación del agua es el cloro, porque es barato; altamente soluble (7.0 g/L a 20 °C), tornándolo de fácil aplicación; eficiente en la destrucción de la mayoría de los microorganismos patogénicos; su residuo en solución es fácil de determinar; y está disponible en la forma de gas, de líquido o de sólido (hipoclorito)

En ingeniería ambiental el término **tratamiento** de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas.

Las fuentes de abastecimiento sufren cambios, los cuales hacen variar sus condiciones de calidad, cantidad y continuidad, por lo tanto la selección de los procesos de tratamiento para la potabilización de las aguas depende de la calidad del agua cruda y del uso que se le dé al agua tratada.

Debido a que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en su aplicación para el consumo humano y animal estos se organizan con frecuencia en tratamientos de potabilización.

El agua en su forma molecular pura no existe en la naturaleza, por cuanto contiene sustancias que puedan estar en suspensión o en solución verdadera según el tamaño de disgregación del material que acarrea, los cuales se convierten en impurezas que posteriormente pueden ser causantes de problemas graves a la salud, los sistemas de tratamiento, almacenamiento y distribución.

De acuerdo con el tipo de impurezas, el agua puede aparecer como turbia o coloreada, o ambas, en algunos casos mostrar una apariencia limpia.

De otro lado, un indicador de calidad es **“Aquel que por correlación implica la presencia y remoción de otros parámetros”**. La turbiedad que no es más que la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso, puede deberse a las partículas de arcillas provenientes de la erosión del suelo, en las que puede arrastrarse algún elemento Químico, como el hierro, manganeso y aluminio, entre otros de singular importancia; a la presencia de algas o al crecimiento bacteriano.

Naturaleza de la Turbiedad

La turbiedad esta principalmente formado por la arcillas en dispersión, en poca proporción limos, la que puede contener otros elementos que alteran su calidad. El termino arcilla comprende una gran variedad de compuestos, pero en general se refiere a la tierra fina (0.002 mm de diámetro de grano a menos), a veces coloreada, que adquiere plasticidad al mezclarse con limitadas cantidades de agua.

Químicamente son silicatos de Aluminio, formulas bastantes complejas, con una estructura reticular definida.

2.6. Calidad del Agua potable

La calidad del agua, viene determinada por su composición físico-química y biológica. La calidad del agua es un concepto dinámico, ya que, por un lado, se produce un progreso constante en las técnicas de valoración y cuantificación de los distintos parámetros relativos a la calidad, y por otro se produce la incorporación al medio de nuevos productos y contaminantes que pueden llegar al agua.

Hasta hace unas decenas de años la calidad de un agua destinada a un abastecimiento se centraba principalmente en que el agua estuviera exenta de sabores, olores, no fuera muy dura y no contuviera bacterias patógenas, confiándose en gran medida en que el poder autodepurador de los embalses o ríos, y la protección de las zonas de captación eran suficientes para lograr una aceptable calidad.

Hoy día y más aún de cara al futuro, y como consecuencia de la polución creciente y los mayores avances de la técnica y la ciencia, hay que considerar además otros caracteres que inciden de forma perjudicial en la salud del consumidor (pesticidas, detergentes, subproductos de la desinfección y otras sustancias orgánicas e inorgánicas así como protozoos, virus, bacterias, etc).

La consideración legal sobre la potabilidad de un agua se apoya o se basa en fijar una serie de compuestos o sustancias y asociarlas con unos contenidos aceptables. El análisis del agua en su origen, nos proporciona los primeros datos respecto a su calidad, orientándonos en la selección de la captación y el tratamiento que hemos de aplicarle posteriormente.

El agua destinada al consumo humano, debe cumplir ante todo con una calidad sanitaria que la califique como apta para consumo, tanto inmediatamente después de su proceso de tratamiento, como en la red de distribución.

El agua que se suministra debe cumplir dos condiciones:

- 1^{ro} No debe ser peligrosa para la salud o la vida de los consumidores.
- 2^{do} El sistema debe poderse operar a un costo razonable.

Para cumplir con lo primero, el agua no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud.

Para cumplir con el segundo, las características del agua deben ser tales, que no produzcan daño a las personas, ni a la red de distribución, ni a la industria, ni a la economía privada. Esto se debe lograr sin recurrir a tratamientos costosos.

CAPÍTULO III

MARCO LEGAL

3.1 Normativa General nacional

3.1.1. Constitución Política del Perú de 1993

Es la norma legal de mayor trascendencia jurídica del país, la que resalta como uno de los derechos fundamentales de la persona humana, el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida. Del mismo modo, en su Título III del Régimen Económico, Capítulo II del Ambiente y de los Recursos Naturales (Artículos 66º al 69º) prescribe que “los recursos naturales renovables y no renovables, son considerados como patrimonio de la Nación, el Estado promueve su uso sostenible, la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

3.1.2. Ley orgánica para el aprovechamiento sostenible se los Recursos Naturales - LEY Nº 26821

La presente Ley Orgánica norma el régimen de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, en tanto constituyen patrimonio de la Nación, estableciendo sus condiciones y las modalidades de otorgamiento a particulares. Se consideran recursos naturales a todo componente de la naturaleza, susceptible de ser aprovechado por el ser humano para la

satisfacción de sus necesidades y que tenga un valor actual o potencial en el mercado, tales como: (a) las aguas: superficiales y subterráneas; (b) el suelo, subsuelo y las tierras por su capacidad de uso mayor: agrícolas, pecuarias, forestales y de protección; (c) la diversidad biológica: como las especies de flora, de la fauna y de los microorganismos o protistos; los recursos genéticos, y los ecosistemas que dan soporte a la vida; (d) los recursos hidrocarburíferos, hidroenergéticos, eólicos, solares, geotérmicos y similares; (e) la atmósfera y el espectro radioelétrico; (f) los minerales y demás considerados como tales.

3.1.3. Ley de Recursos Hídricos. Ley N° 29338

La ley de recursos hídricos tiene como finalidad regular el uso y gestión de los recursos hídricos, fue publicada el 31 de marzo del 2009 derogando el D.L N° 17752 - Ley General de Aguas. Esta ley, en el título preliminar, artículo III se menciona los siguientes principios:

- El agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre estos.
- Además señala que el acceso al agua para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana es prioritario por ser un derecho fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez.
- El Estado consagra un régimen de derechos para el uso del agua. Promueve y vela por el respeto de las condiciones que otorgan

seguridad jurídica a la inversión relacionada con su uso, sea pública o privada o en coparticipación.

3.2 Normativa específica

3.2.1. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. D.S.

Nº 002-2008-MINAM.

Los Estándares de Calidad Ambiental de Aguas aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Establece el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

3.2.2. Reglamento de la calidad del agua para consumo Humano

D.S. 031-2010 S.A.

El reglamento de la calidad del agua para consumo humano elaborado por la dirección general de salud ambiental, publicado el 26 de setiembre del 2010, a través del D.S. Nº 031-2010, reemplazando de esta manera el reglamento de los requisitos Oficiales físicos, químicos y bacteriológicos de 1946.

Este nuevo Reglamento, a través de sus 10 títulos, 81 artículos, 12 disposiciones complementarias, transitorias y finales y 5 anexos; no solo establece límites máximos permisibles, en lo que a parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos, se refiere; sino también le asigna nuevas y mayores responsabilidades a los Gobiernos Regionales, respecto a la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo humano; además de fortalecer a la DIGESA, en el posicionamiento como Autoridad Sanitaria frente a estos temas.

3.3. Normativa internacional

La organización mundial de la Salud (OMS), ha elaborado Guías para la Calidad del agua Potable, en donde explica los requisitos necesarios para garantizar la inocuidad del agua, incluidos los procedimientos mínimos y valores de referencia específicos, y el modo en que deben aplicarse tales requisitos. Describe asimismo los métodos utilizados para calcular los valores de referencia, e incluye hojas de información sobre peligros microbianos y químicos significativos. La elaboración de la presente tercera edición de las Guías para la calidad del agua potable incluye una revisión en profundidad de los métodos utilizados para garantizar la inocuidad microbiana. La OMS, actualiza constantemente sus guías siendo la más actual la del 2006, documento sustituye a las ediciones anteriores de las Guías (1983–1984, 1993–1997 y apéndices de 1998, 1999 y 2002) y a las normas internacionales anteriores (1958, 1963 y 1971).

Tabla 3.1. Parámetros organolépticos para evaluar la calidad de agua potable de acuerdo a la normativa nacional e internacional.

Parámetro	Unidad	LMP para agua potable		ECA (MINAM-2008)		
		OMS 2006 ⁽¹⁾	DIGESA 2010 ⁽²⁾	A1 ⁽³⁾	A2 ⁽⁴⁾	A3 ⁽⁵⁾
Amoniaco	mg/L	--	1.5	--	--	--
Aceites y grasas	mg/L	--	--	1.00	1.00	1.00
Cianuro libre	mg/L	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08
Cianuro Wad	mg/L	--	--	0.005	0.022	0.022
Cloruros	mg/L		250	250	250	250
Color	UCV escala Pt/Co		15	15	100	200
Conductividad	µs/cm		1500	1500	1600	
D.B.O	mg/L			3	5	10
D.Q.O	mg/L			10	20	30
Dureza	mg/L		500	500		
Detergentes (SAAM)	mg/L			0.5	0.5	
Fenoles	mg/L			0.003	0.01	
Fluoruros	mg/L	1.5		1		
Fósforo Total	mg/L P			0.1	0.15	0.15
Material flotante				Ausente		
Nitratos	mg/L N	50*	50	10	10	10
Nitritos	mg/L N	3* y 0.2**	3*y 2**	1	1	1
Nitrógeno amoniacal	mg/L N			1.5	2	3.7
Olor			Aceptable	Aceptable		
Oxígeno Disuelto	mg/L			>=6	>=5	>=4
pH	Unidad de pH	6.5-9.2	6.5-8.5	6.5 – 8.5	5.5 – 9.0	5.5-9.0
Sólidos disueltos totales	mg/L		1000	1000	1000	1500
Sulfatos	mg/L	500	250	250		
Sulfuros	mg/L			0.05		
Turbiedad	UNT			5	100	

NOTA: * Exposición corta, **Exposición larga

- (1) Guías para la calidad del agua potable. OMS. 2006
- (2) Reglamento de la calidad del agua para consumo Humano - DIGESA (D.S. 031-2010 S.A.)
- (3) Aguas que pueden ser desinfectadas con desinfección - Estándares de calidad ambiental - D.S. N° 002-2008-MINAM
- (4) Aguas que pueden ser desinfectadas con tratamiento convencional - Estándares de calidad ambiental - D.S. N° 002-2008-MINAM
- (5) Aguas que pueden ser desinfectadas con tratamiento avanzado - Estándares de calidad ambiental - D.S. N° 002-2008-MINAM.

Tabla 3.2. Parámetros químicos orgánicos para evaluar la calidad de agua potable de acuerdo a la normativa nacional e internacional.

Parámetro	Unidad	LMP para agua potable		ECA (MINAM-2008)		
		OMS 2006 (1)	DIGESA 2010 (2)	A1 (3)	A2 (4)	A3 (5)
Aluminio	mg/L	--	0.2	0,2	0,2	0,2
Antimonio	mg/L	0.02	0.02	0,006	0,006	0,006
Arsénico	mg/L	0.01	0,01	0,01	0,01	0,05
Bario	mg/L	0.7	0,7	0,7	0,7	1
Berilio	mg/L	--	--	0,004	0,04	0,04
Boro	mg/L	0.5	1.5	0.5	0.5	0.75
Cadmio	mg/L	0.003	0.003	0.003	0.003	0.01
cobre	mg/L	2	2	2	2	2
Cromo total	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Cromo VI	mg/L	--	--	0.05	0.05	0.05
Hierro	mg/L	--	0.3	0.3	1	1
Manganeso	mg/L	0.4	0.4	0.1	0.4	0.5
Mercurio	mg/L	0.006	0.001	0.001	0.002	0.002
Molibdeno	mg/L	0.07	0.07			
Niquel	mg/L	0.07	0.02	0.02	0.025	0.025
Plata	mg/L	--	--	0.01	0.05	0.05
Plomo	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05
Selenio	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05
Uranio	mg/L	0.015	0.015	0.02	0.02	0.02
Vanadio	mg/L			0.1	0.1	0.1
Zinc	mg/L		3	3	5	5

(1) Guías para la calidad del agua potable. OMS. 2006

(2) Reglamento de la calidad del agua para consumo Humano - DIGESA (D.S. 031-2010 S.A.)

(3) Aguas que pueden ser desinfectadas con desinfección - Estándares de calidad ambiental - D.S. N° 002-2008-MINAM

(4) Aguas que pueden ser desinfectadas con tratamiento convencional - Estándares de calidad ambiental - D.S. N° 002-2008-MINAM

(5) Aguas que pueden ser desinfectadas con tratamiento avanzado - Estándares de calidad ambiental - D.S. N° 002-2008-MINAM

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Ubicación y Accesibilidad

La laguna Azulcocha se ubica en el distrito de San José de Quero, provincia de Concepción, departamento de Junín, se encuentra en la zona 18 del Perú, en las coordenadas UTM (Datum WGS 84) siguientes: 426,500 Este y 8´666,500 Norte, cota 4,400 m.s.n.m.; la accesibilidad al lugar se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Acceso al lugar del Proyecto

Tramo	Km.	Tiempo de recorrido	Condiciones
Lima – La Oroya	174+000	3h 30 min	Asfaltado – Buena
La Oroya – Puente Pachacayo	39+000	40 min	Asfaltado – Buena
Puente Pachacayo – Mina	55+000	2h 20 min	Afirmado – Mala

4.2 Geología Local

Conformado por:

Formación Condorsinga (Grupo Pucará), Formación Cercapuquio, Grupos Goyllarisquizga, Formación Chúlec, Formación Pariatambo, Formación Jumasha, Formación Celendín, Formación Casapalca (Capas Rojas), Depósitos Cuaternarios, Rocas Intrusivas. La mineralización

encontrada en la zona es óxidos de manganeso (Franklinita, Psilomelano y Pirolusita).

4.3 Litoestratigrafía

En esta sección se describen y determinan las características de las rocas y depósitos cuaternarios, relacionados con el tiempo de formación, en el área de la cuenca de la quebrada Pozocancha y en el entorno del depósito de relaves.

Las principales unidades litoestratigráficas pertenecen al Jurásico, Cretácico y al Cuaternario y están presentes en la cuenca de la quebrada Pozocancha son:

Formaciones Condorsinga, Cercapuquio, Chaucha, Goyllarizquisga, Pariahuanca y los Depósitos Cuaternarios: glaciales, coluviales y tecnógenos.

A. Formación Cercapuquio (Jm – c)

Esta formación se observa en el entorno de la laguna Boliche, al Sur de la laguna Cantagallo, en la margen derecha e izquierda de la quebrada Pusucancha, a la altura del cruce de esta quebrada con la carretera y hacia el Sur Oeste de la laguna Azulcocha.

La litología de esta formación está constituida por areniscas cuarzosas y limonitas. Las areniscas son de grano grueso a fino, de color blanco a gris claro. Los granos de cuarzo tienen formas de subredondeadas a redondeadas. El cemento es de sílice y carbonatos, algunos autores lo

clasifican como subarcosas y arcosas, por la presencia del feldespato (Ver Fotografía 4.1).



Fotografía 4.1. Laguna Azulcocha y Formación Cercapuquio

4.4 Hidrología

La cuenca en estudio pertenece a la Quebrada Pozocancha, ubicada en la hoya hidrográfica del Mantaro como se observa en la Fotografía 4.1. La cuenca se localiza en la divisoria de la cuenca con el río Cañete, en la cual se da inicio el río Alis.

En la cuenca Quebrada Pozocancha, dada sus características topográficas y morfológicas se encuentran almacenamientos naturales de agua tales como:

- ⇒ Laguna Boliche
- ⇒ Laguna Cantagallo

⇒ Laguna Añascocha

⇒ Laguna Azulcocha

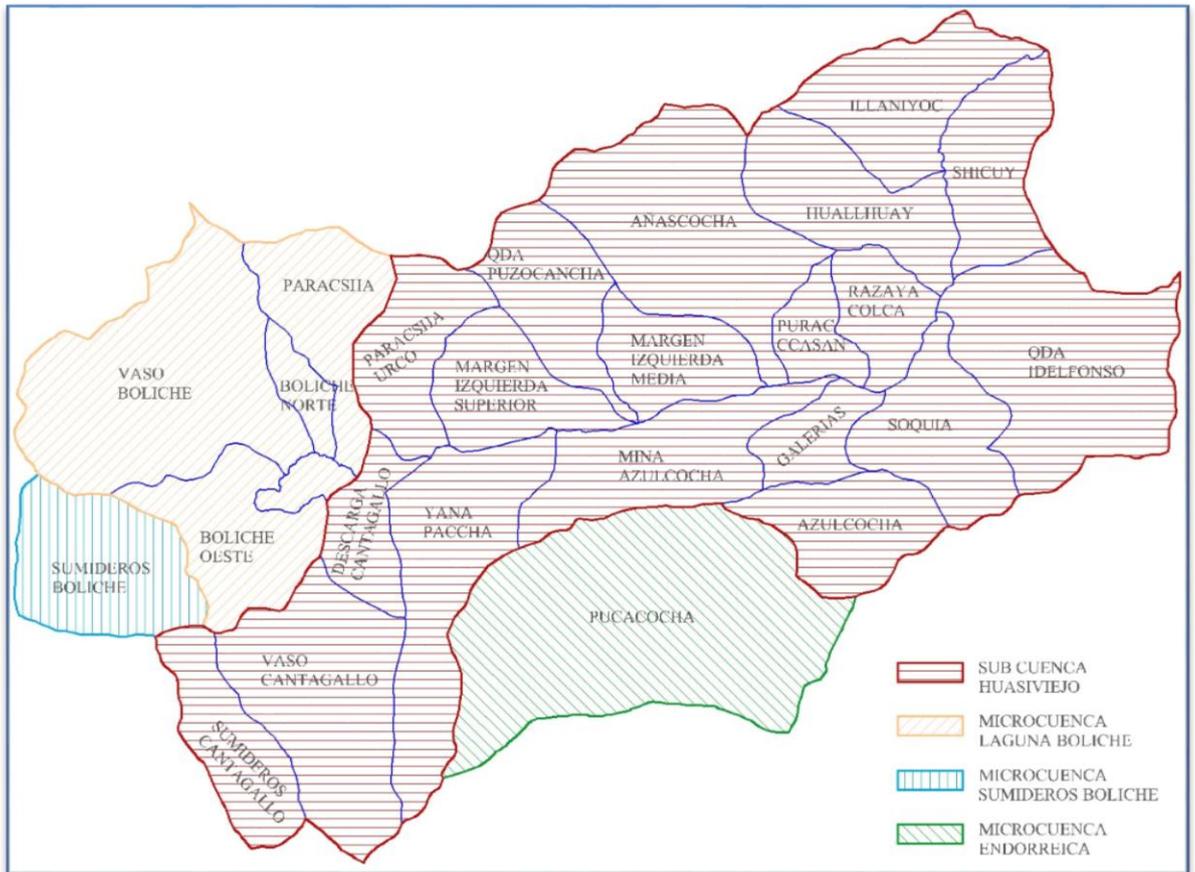


Figura 4.1. Microcuencas de la Subcuenca Huasiviejo.

La cuenca en estudio posee un buen sistema de drenaje, en el cual existen bofedales en las partes altas y en el curso de las quebradas, los cuales alimentan en forma continua la quebrada Pozocancha.

La cuenca tiene una forma rectangular, lo que permite que ante un evento extraordinario, la respuesta de la cuenca sea lenta. Asimismo, el hecho de la existencia de lagunas, reduce en mayor grado los eventos extraordinarios, puesto que lamina las crecidas.

Las características fisiográficas de la cuenca en estudio se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Características fisiográficas de la Cuenca Quebrada Pozocancha

N°	Parámetro	Cuenca Qda. Pozocancha
1	Área de cuenca (Km ²)	33.0
2	Perímetro (Km.)	24.7
3	Nivel máximo (msnm)	4,850
4	Nivel mínimo (msnm)	4,280
5	Nivel medio (msnm)	4,565
6	Longitud de la quebrada principal (Km.)	7.8
7	Pendiente de la quebrada (%)	7.3

Fuente: INRENA

Durante todo el año se tiene una variación considerable de flujo en el río Huasiviejo, debido fundamentalmente a: la infiltración en las áreas endorreicas de la zona Oeste y Sur (encima de la laguna Boliche y en la zona Sur Oeste del cerro Azulcocha, respectivamente), la importante retención superficial que se presenta en toda la naciente, la geología predominante, y las altas pendientes que tienen las laderas de los cerros ubicados en la zona central y hacia la confluencia con el río Yanamachay.

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA

5.1. Caracterización del Agua

Para la caracterización físico-químico de las aguas crudas se realizó muestreos durante el año 2010, la descripción del punto de muestreo en la Laguna Azulcocha se indica en la Tabla 5.1

Tabla 5.1. Ubicación de la Estación de muestreo

Punto de muestra	Nombre de la Fuente	Coordenadas		pH	Temp.	Cond. Eléctrica	Caudal
		UTM			(°C)	(umhos/cm)	(L/s)
		Norte	Este				
EST A 01	Rebose de la Laguna Azulcocha	8'666,609	427,226	7.04	10.2	582	0.2

De acuerdo al Protocolo de Monitoreo de Aguas, se procedió a tomar las muestras (Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA).

Durante el muestreo, se midió los parámetros físico-químicos in-situ como: pH, conductividad eléctrica, temperatura y turbidez. La extracción de muestras en el punto de monitoreo, se efectuó en tres envases de polietileno de un litro y se transportó a Lima el mismo día de muestreo en cajas herméticas (Cooler), a una temperatura adecuada de refrigeración. Las muestras recolectadas fueron preservadas y analizadas por el laboratorio SGS del Perú.

Los parámetros pH, conductividad eléctrica, temperatura y turbidez se miden en campo para determinar:

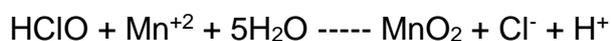
- pH: Para saber si el agua es acida o alcalina, el pH es un indicador importante de que el agua está cambiando químicamente.
- Conductividad eléctrica: Para determinar la salinidad, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía eléctrica.
- Turbidez: Para determinar la cantidad de materia sólida suspendida en el agua.

5.2. Implementación de sistema de tratamiento

En base a las características de la fuente de agua, se realizó la remoción del Manganese utilizando un sistema convencional Oxidación – Filtración.

La oxidación Química, es de ayuda cuando existen bacterias de hierro/manganese presentes. El principio de eliminación del manganese es su oxidación en MnO_2 insoluble. Para tratar el Manganese se utiliza el procedimiento físico-químico, en la cual la oxidación del manganese necesita un pH alto, para que la velocidad de reacción sea eficiente, se utilizara cal para subir el pH entre 9.5 – 10.

La cinética de reacción es proporcional a la concentración de los iones H^+ . La oxidación del Manganese se hará con cloro y la reacción es la siguiente:



Para retener los precipitados de Manganeso se necesita una decantación de los precipitados formados y una filtración.

5.3. Pruebas de Jarras

La prueba de jarras es una secuencia importante para la realización del ensayo completo para el tratamiento convencional de oxidación-filtración del agua, en escala de laboratorio.

5.3.1. Fundamento

La prueba de jarras es el procedimiento en la cual podemos reproducir a escala de laboratorio cada una de las etapas de tratamiento que intervienen en una estación de potabilización de agua. Este método tiene limitaciones, pero es el método más próximo para reproducir lo que ocurre en una planta de potabilización.

Este ensayo se realizó para remover el Manganeso, para que nos permita determinar la eficiencia de remoción, parámetros de diseño y operación.

5.3.2. Procedimiento

Preparación del material

Antes de iniciar los ensayos de laboratorio, se procedió a preparar los materiales y equipos, como se detalla a continuación:

- Preservación de muestras (48 horas turbidez, 14 días acidez y conductividad, metales 6 meses).
- Calibración de equipos para medición de pH y conductividad.

- Calibración de turbidímetro digital.
- Calibración del comparador del cloro.
- Verificación de reactivos y equipos para la determinación del Manganeso.
- Preparación de las soluciones de cal al 1%, hipoclorito de calcio al 0.1% y de sulfato de aluminio al 1%.
- Selección el material de vidrio necesario (buscando utilizar siempre los mismos recipientes).
- Se realizó una adecuada limpieza de seis (6) jarros.

Prueba de jarras

Antes de iniciar la prueba de jarras, se midieron las condiciones iniciales del agua de la laguna.

Los procedimientos reproducidos a nivel de laboratorio fueron: Mezcla rápida, coagulación-floculación, decantación. Por lo que permitirá conocer:

- Variables químicas de coagulación (tipo y dosis coagulante, concentración y pH óptimos).
- Gradiente de velocidad (coagulación y floculación).
- Periodo de retención (Coagulación, Floculación, Decantación).
- Tamaño de floculo.
- Tiempo formación de floculo.
- Tasa de decantación.
- Auxiliares de coagulación, floculación y filtración.

- Remoción de ciertas impurezas que generan problemas.

Este sistema está constituido por:

- Una base iluminada.
- Sistema de paletas giratorias, motor rotatorio de velocidad variable.
- Vasos de vidrio y sus respectivos deflectores.
- Sifones para la toma de muestras.

Posteriormente se realizaron cuatro pruebas, como se detallan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Ensayos realizados en el estudio

Nombre del ensayo		Metodología
Prueba N° 1	Determinación de dosis de cloro activo.	Adición de hipoclorito de calcio en solución al 0.1%
Prueba N° 2	Determinación de dosis de cal.	Adición de cal hidratada en solución al 1%, hasta encontrar el pH óptimo
Prueba N° 3:	Verificación de la oxidación del Manganeseo con cloro activo.	Selección de la dosis optima de hipoclorito de calcio y de cal, para la oxidación de manganeseo por el cloro activo.
Prueba N° 04	Prueba final para la selección de la dosis optima de hipoclorito de calcio, cal y sulfato de Aluminio.	Verificar el abatimiento del manganeseo, con aplicación de cal, hipoclorito de calcio y sulfato de aluminio, encontrándose la dosis óptima.

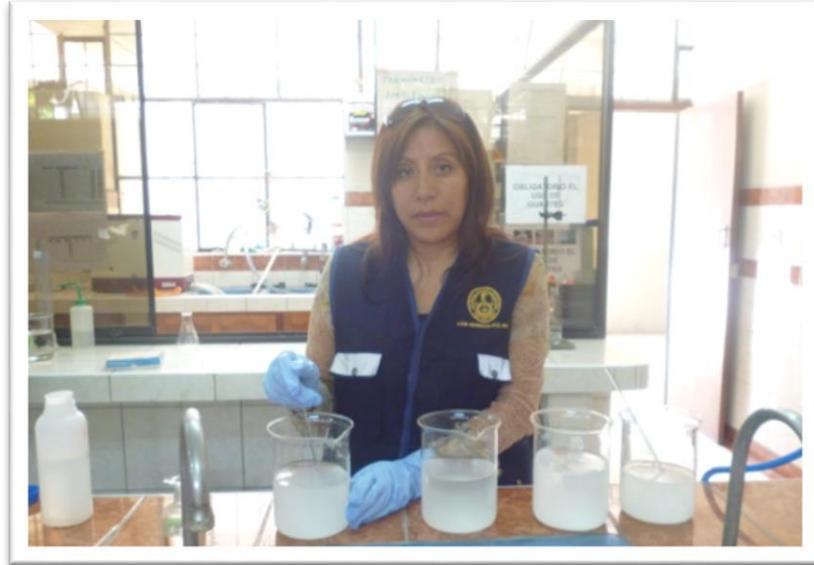
Para cada uno de los casos se realizaron seis corridas hasta determinar la concentración óptima de las sustancias a dosificar. Para realizar cada uno de los ensayos se siguió los siguientes pasos:

- **Paso 1:** Se colocó porciones del agua cruda, a la temperatura deseada, llenando los seis jarros simultáneamente, para garantizar la homogeneidad del agua contenida en cada uno de ellos. Como la temperatura influye en la viscosidad del agua y en la velocidad de reacción de las especies de aluminio o de hierro utilizadas como coagulante, la fijación de la temperatura es importante.
- **Paso 2:** Se procedió a colocar las diferentes dosis de los reactivos en los recipientes apropiados del test de jarra.
- **Paso 3:** Se colocó los recipientes de descarte y colecta de muestra de agua decantada en las posiciones apropiadas del equipo.
- **Paso 4:** Se encendió el equipo de agitación y acertar la rotación para 100 rpm.
- **Paso 5:** Se adicionó la dosis preestablecida de alcalinizante o acidificante, preoxidante o dispersión de carbón activo en polvo en los reactores.
- **Paso 6:** Después del tiempo de contacto, se realizó la rotación correspondiente al gradiente de velocidad medio de la mezcla rápida deseado.
- **Paso 7:** Se adicionó el volumen determinado del coagulante a los reactores.
- **Paso 8:** Después de la introducción del coagulante, se adicionó, cuando fue necesario la cantidad prevista de polímero.

- **Paso 9:** Después del tiempo de mezcla rápida, Se redujo la rotación del equipo al valor correspondiente al gradiente de velocidad medio de floculación.
- **Paso 10:** Después del tiempo de floculación, se desconectó el equipo.
- **Paso 11:** Se colectó las muestras de agua decantada para la velocidad desedimentación determinada, descartando, inicialmente, un pequeño volumen de agua, para que no haya interferencia del agua restante en la manguera.
- **Paso 12:** Se anotaron los parámetros de control de las muestras recolectadas.



Fotografía 5.1. Vista de pruebas de jarras.



Fotografía 5.2. Vista de pruebas de remoción.



Fotografía 5.3. Vista pruebas de filtración.



Fotografía 5.4. Vista de medición de pH.



Fotografía 5.5. Ensayos para reducir el Manganeso.



CAPÍTULO VI

RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. Resultados de la caracterización del agua cruda

En la Tabla 6.1, se observa el resultado de la caracterización del agua proveniente de la laguna Azulcocha durante el año 2010, esto para tener la certeza de la calidad de agua existente.

Tabla 6.1. Caracterización del agua cruda de la laguna Azulcocha.

Párametros	Promedio	Desviación Estandar	Valor máximo	Valor mínimo
pH	7.1533	0.084	7.300	0.084
Redox (mV)	-88.8750	29.338	-27.000	-123.000
Conductividad (uS/cm)	569.1667	9.223	582.000	9.223
Temperatura (°C)	10.4917	1.399	13.500	1.399
TDS	130.7273	48.654	187.000	0.000
Plomo (mg/l)	0.0350	0.008	0.044	0.008
Cobre (mg/l)	0.0113	0.019	0.040	0.001
Zinc (mg/l)	0.0495	0.053	0.156	0.020
Hierro (mg/l)	0.1580	0.035	0.200	0.035
Arsénico (mg/l)	0.0158	0.004	0.022	0.004
Cianuro Wad (mg/l)	0.0050	0.000	0.005	0.000
Cianuro libre (mg/L)	0.0050	0.000	0.005	0.000
Cromo (mg/l)	<0.0275	0.020	<0.04	<0.001
Manganeso (mg/l)	0.4610	0.093	0.688	0.093
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	5.9799	10.261	28.000	0.000
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	3.0799	6.441	20.000	0.000
NEMATODOS (A/P)	0.000	0.000	0.000	0.000

Se determinó que el promedio de la concentración de manganeso fue 0.46 ± 0.093 , con valores que fluctúan entre 0.093 mg/L y 0.688 mg/L. El detalle de las concentraciones de manganeso y de los otros parámetros fisico-químicos medidos durante los doce meses del año 2010 se detalla en la Tabla 6. 2.

Tabla 6.2. Parámetros Físicos Químicos

Nombre del Laboratorio	J.Ramon											
Fecha de Muestreo	07/01/10	09/02/10	03/03/10	07/04/10	12/05/10	16/06/10	30/07/10	25/08/10	08/09/10	09/10/10	30/11/10	15/12/10
Hora de Muestreo	10:30	09:00	10:45	08:40	08:40	08:00	01:35	08:30	03:30	02:45	11:30	07:00
Código de Laboratorio	90044	90285	90442	90734	90965	91293	91637	91833	91940	92216	92667	92810
Flujo en punto de muestreo (m ³ / día)	219	186	203	207	212	212	219	213	215	216	215	215
PARAMETROS												
pH	7.04	7.05	7.3	7.12	7.2	7.1	7.08	7.17	7.28	7.15	7.13	7.22
Redox (mV)	-100	-107	-123	-105.00	NM	-27.00	-71	-89	-89			
Conductividad (uS/cm)	582	576	562	564	545	568	573	573	572	570	572	573
Temperatura (°C)	10.1	9.5	9.7	9.6	10.20	10.5	10.8	9.0	13.5	13.1	9.7	10.2
TDS	0.0	130.0	174.0	156.0	128.0	158.0	187.0	131.0	122.0	NM	122.0	130.0
Plomo (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.044	0.032	<0.005	<0.005	0.029
Cobre (mg/l)	<0.02	<0.02	0.040	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.001	0.003	<0.001	0.001	0.001
Zinc (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.030	<0.02	0.043	0.020	0.156	0.024	0.024
Hierro (mg/l)	0.19	0.180	0.140	0.100	0.130	0.100	0.150	0.177	0.20	0.160	0.172	0.197
Arsénico (mg/l)	0.012	0.020	0.014	0.011	0.015	0.017	0.012	0.013	0.022	<0.003	0.02	0.018
Cianuro Wad (mg/l)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005				
Cianuro libre (mg/L)									0.005	0.005	0.005	0.005
Cromo (mg/l)	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Manganeso (mg/l)	0.5	0.41	0.44	0.47	0.43	0.46	0.31	0.37	0.431	0.688	0.52	0.503
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	<1	28	<1.00	22	1.799	5	0	0	3	0	0.0	0.000
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	<1	20	<1.00	8	1.799	1	0	0	0	0.0	0.0	0.000
NEMATODOS (A/P)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00

A continuación se analiza los parámetros medidos durante el 2010, y se compara con la normativa nacional.

Parámetro: pH

En el análisis de pH, se observa que durante todo el año estos valores se encuentran dentro de lo establecido (pH 6.5 – 8.5) de acuerdo a los ECA para agua clase A1 (potabilización por desinfección), cumpliendo a la vez con la categoría menos exigente A2 y A3 (pH 6.5 - 9.0).

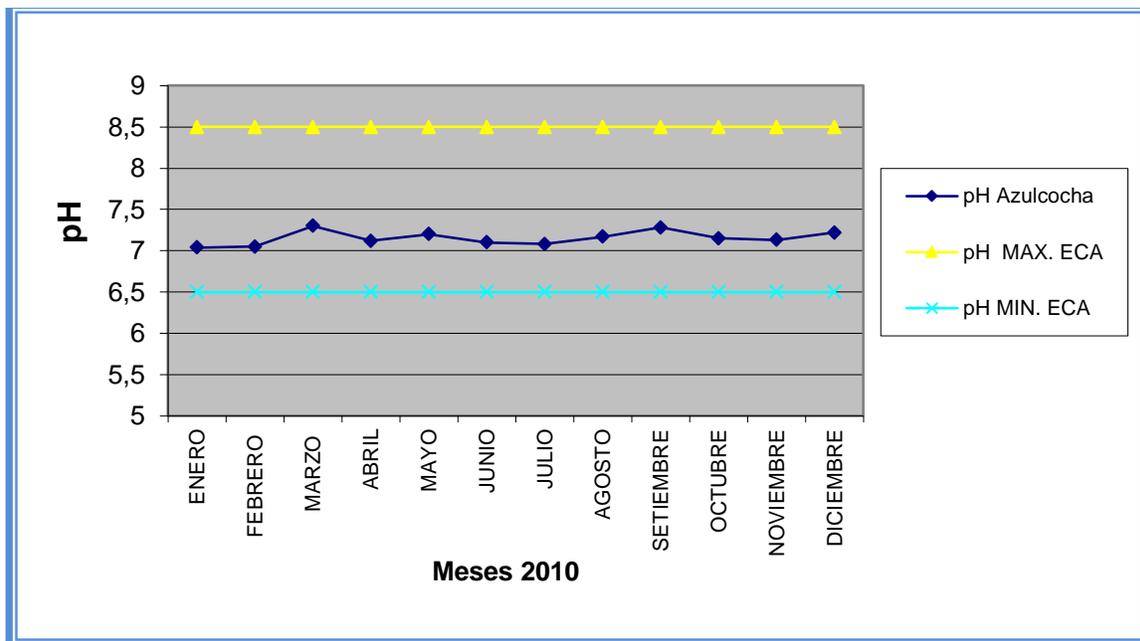


Figura 6.1. Variación pH de la Laguna Azulcocha

Parámetro: Plomo

En el análisis de plomo, se observa que de acuerdo a los ECAs, los valores se encuentran por debajo de lo establecido para fuentes naturales, para las tres clases de agua.

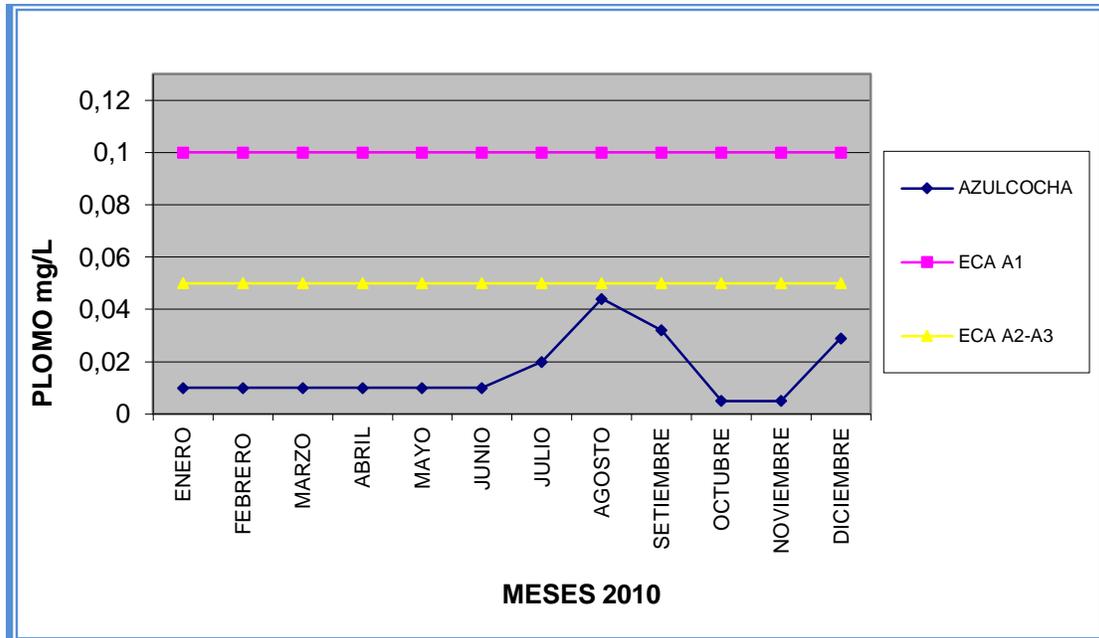


Figura 6.2. Variación de Plomo en la laguna Azulcocha

Parámetro: Cobre

En el gráfico 6.3., se observa que el Cobre presente en el agua de la laguna se encuentra muy por debajo de los estándares de Calidad.

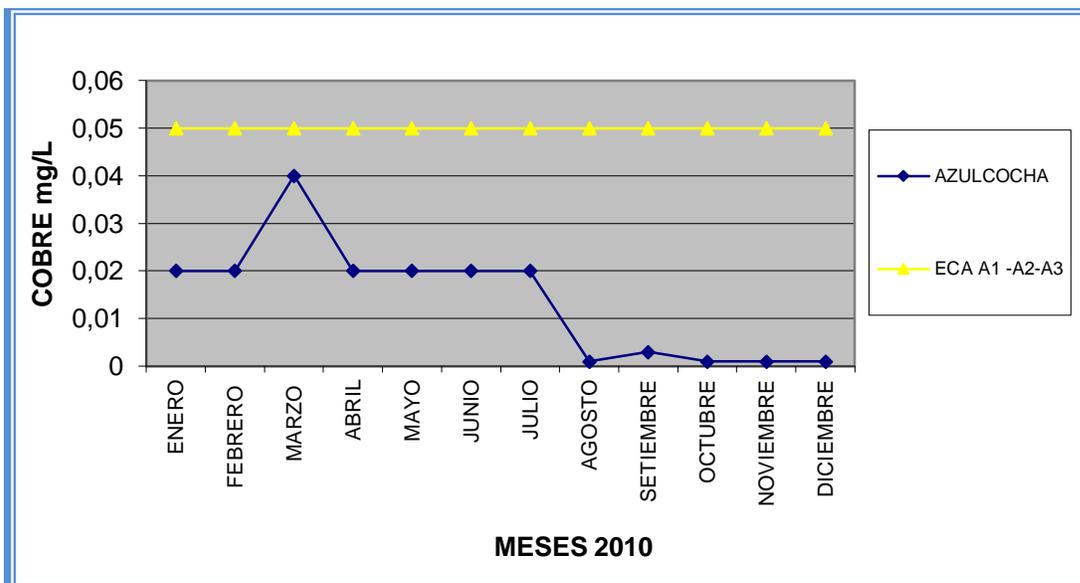


Figura 6.3. Variación de Cobre en la laguna Azulcocha

Parámetro: Zinc

En el gráfico 6.4., se observa que el Zinc presente en el agua se encuentra muy por debajo de los estándares de Calidad.

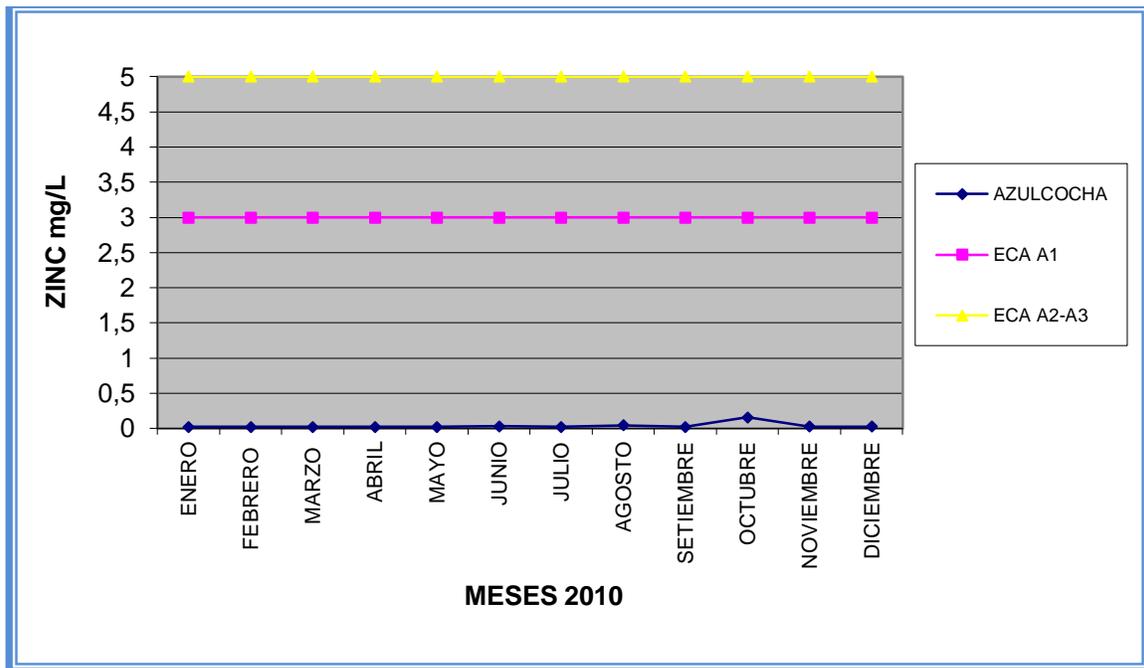


Figura 6.4. Variación de Zinc en la laguna Azulcocha

Parámetro: Hierro

En el gráfico 6.5., se observa que el hierro presente en el agua de la laguna Azulcocha, se encuentra muy por debajo de los estándares de Calidad.

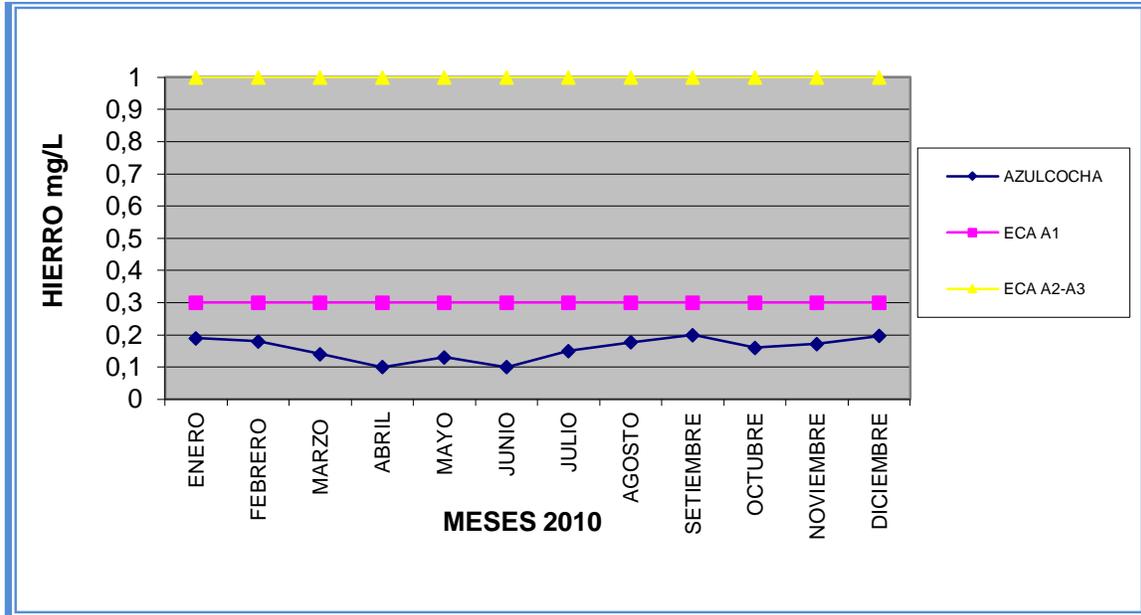


Figura 6.5. Variación de Hierro en la laguna Azulcocha

Parámetro: Arsénico

En el gráfico 6.6, se observa que los valores de arsénicos se encuentran por debajo de los estándares de calidad A2 y A3.

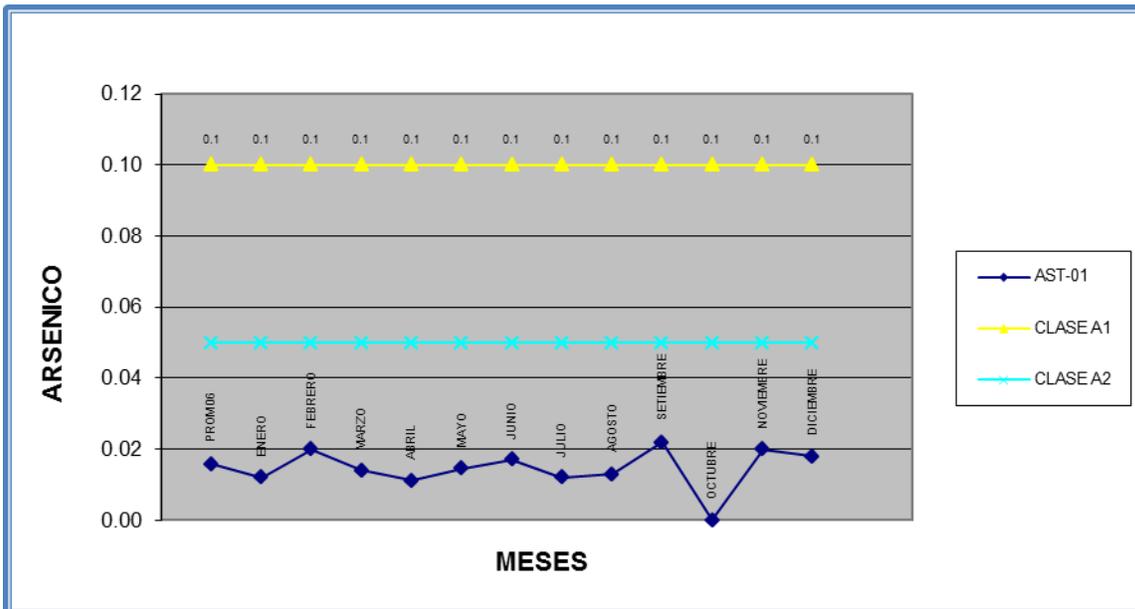


Figura 6.6. Variación de Arsénico en la laguna Azulcocha

Parámetro: Cromo

En el gráfico 6.7, se observa que el Cromo durante los doce meses se encuentra muy por debajo de los estándares de Calidad.

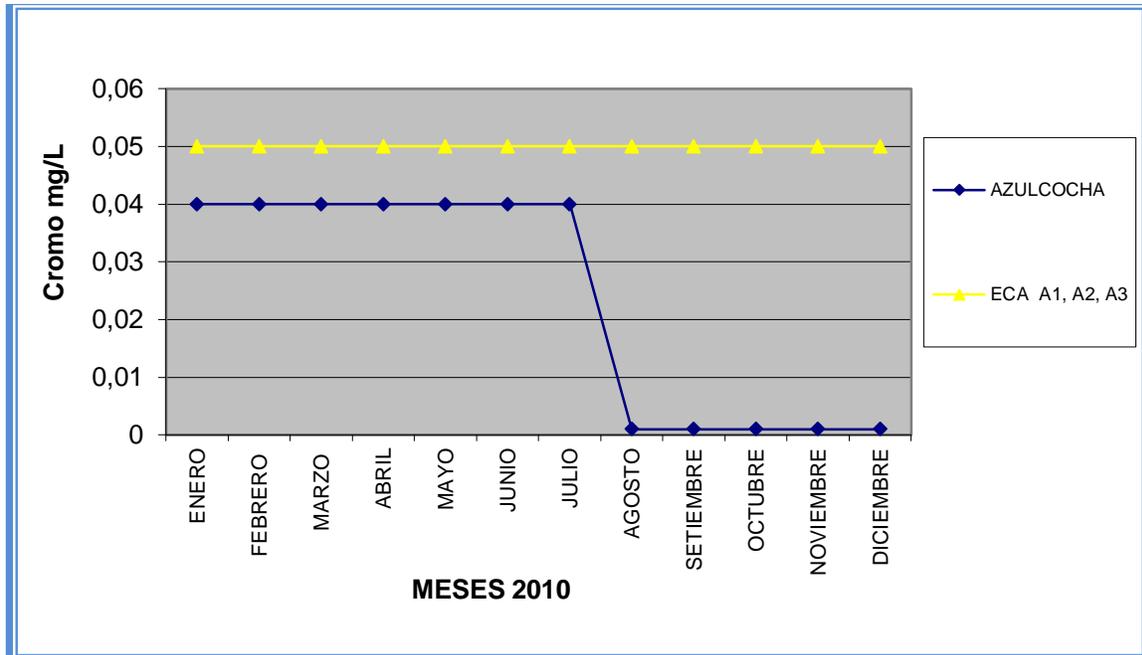


Figura 6.7. Variación de Cromo en la laguna Azulcocha

Parámetro: Manganeso

En el gráfico 6.8, observa que el Manganeso en casi todos los meses sobrepasan los Estándares de Calidad, tanto para la categoría A1 como A2 sobre pasando los 0.1 mg/l y 0.4 mg/l establecidos respectivamente.

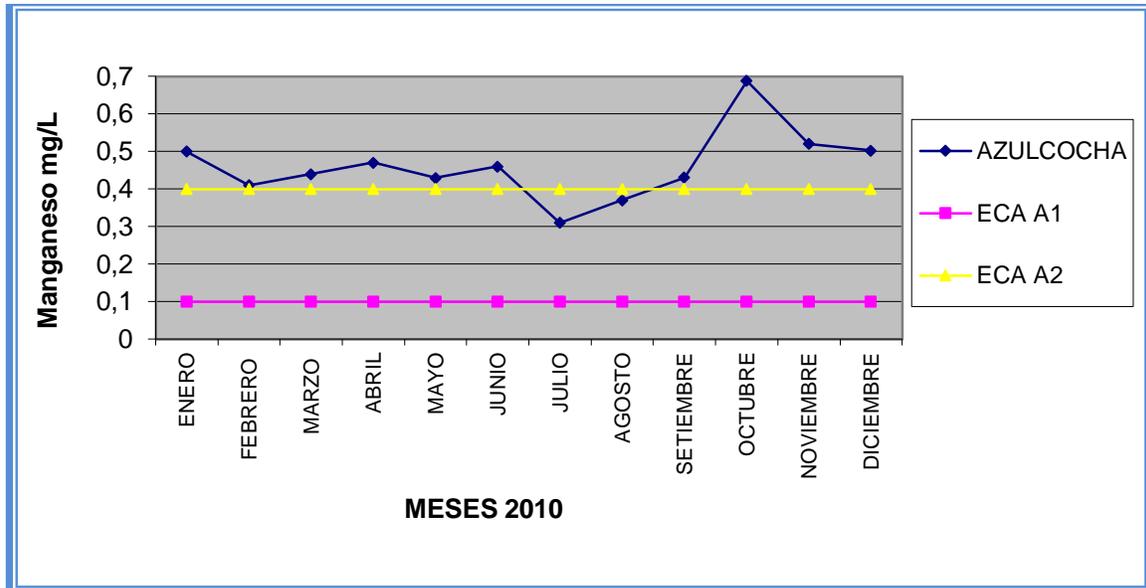


Figura 6.8. Variación de Manganeseo en la laguna Azulcocha

El agua de la Laguna Azulcocha, contiene Manganeseo más de 0.4 mg/l, esto sea probable de las descomposición de las rocas, la calidad del agua no es apta para el consumo humano sin previo tratamiento.

Parámetros Bacteriológicos

En los análisis de coliformes totales, los niveles están muy por debajo de lo establecido por la normativa nacional, como se observa en el gráfico 6.9.

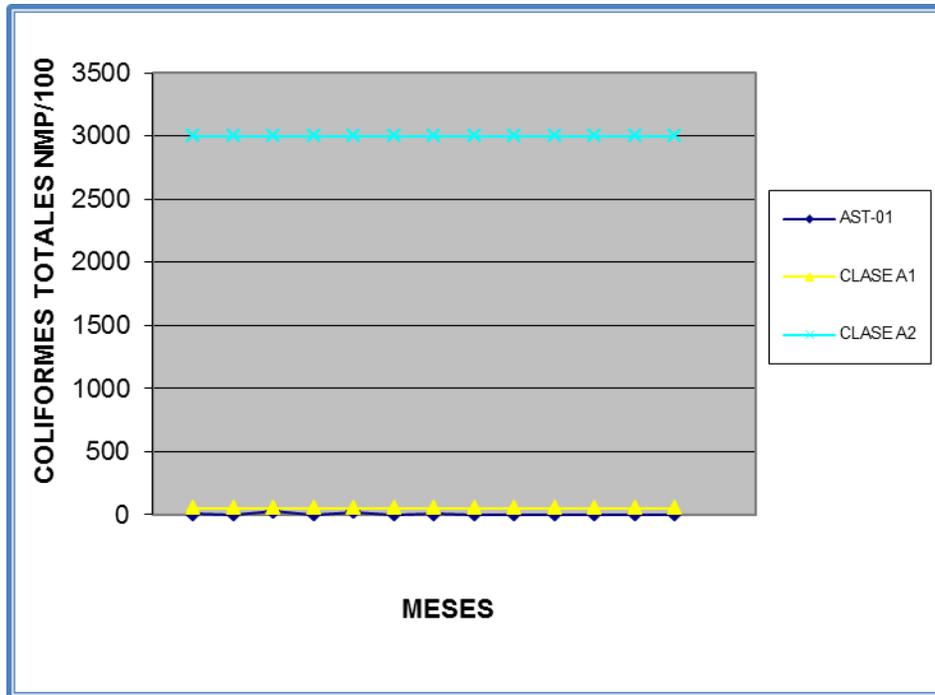


Figura 6.9. Variación de Coliformes Totales en la laguna Azulcocha

En base a esta información, se determinó realizar un tratamiento convencional de oxidación-filtración con la finalidad de obtener parámetros aceptables para el consumo humano de acuerdo a la normativa nacional.

6.2. Resultados de las pruebas de jarras

- **Prueba N° 01:** Selección de la dosis óptima de cloro activo, adicionando hipoclorito de calcio en solución al 0.1% para la oxidación del manganeso.

Tabla 6.3. Resultados de la Prueba N° 01

N° Jarra	Agua Cruda					Pre Tratamiento		Mezcla rápida: 100 rpm/5 seg.	
								Floculación: 60rpm/15 min.	
	Sedimentación: 0 rpm/ 15 min.		p H (Unid.)	Cloro Libre (mg/L)					
	pH (unid.)	Turbiedad (UNT)			Cond. CE (uS/cm)	Manganeso (mg/L)	Hierro (mg/L)	Hipoclorito de Calcio al 0,1%	
Solución (ml)			Dosis (ppm)						
1	6.89	3.01	213	0.6	0.12	1	1	6.8	0.21
2	6.89	3.01	213	0.6	0.12	1.5	1.5	6.8	0.98
3	6.89	3.01	213	0.6	0.12	2	2	6.81	2.19
4	6.89	3.01	213	0.6	0.12	2.5	2.5	6.82	3.29
5	6.89	3.01	213	0.6	0.12	3	3	6.82	4.45
6	6.89	3.01	213	0.6	0.12	3.5	3.5	6.83	6.71

En las jarras N° 04 y 05 encontramos cloro residual libre en agua sedimentada con valores de 2.8 mg/L y de 3.10 mg/L de cloro residual. Estos rangos de valores son los que más conviene para el tratamiento lo cual produce la oxidación del Manganeso. Dosis recomendada del Cloro: 2.8 y 3.0 mg/L.

- **Prueba N° 02:** Selección de la dosis óptima de cal, adicionando cal hidratada en solución al 1% para hallar el pH óptimo, incrementando la dosis de cal.

Tabla 6.4. Resultados de la Prueba N° 02

N° Jarra	Agua Cruda					Pre Tratamiento		Mezcla rápida: 100 rpm/5 seg.	
								Floculación: 60rpm/15 min.	
	Sedimentación: 0 rpm/ 15 min.		p H (Unid.)						
	pH (unid.)	Turbiedad (UNT)		Cond. CE (uS/cm)	Manganeso (mg/L)	Hierro (mg/L)	Cal solución al 1%		
Solución (ml)			Dosis (ppm)						
1	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.2	2	8.12	
2	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.3	3	8.56	
3	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.4	4	9.51	
4	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.5	5	9.72	
5	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.6	6	9.34	
6	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.7	7	10.01	

En todas las jarras se encontraron valores de pH superiores a 8, al incrementar la solución de cal entre 4.0 ppm y 7.0 ppm los valores sobrepasan pH 9 y 10. Dosis de cal recomendada: no menor de 2 mg/L.

- **Prueba N° 03:** Selección de la dosis optima de hipoclorito de calcio y de cal, para la oxidación de manganeso por el cloro activo.

Tabla 6.5. Resultados de la Prueba N° 03

N° Jarra	Agua Cruda					Pre Tratamiento		Mezcla rápida: 100 rpm/5 seg.		
								Floculación: 60rpm/15 min.		
	Sedimentación: 0 rpm/ 15 min.			Cal solución al 1%	Hipoclorito de Calcio (ppm)	Mn (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)			
	pH (unid.)	Turbiedad (UNT)	Cond. CE (uS/cm)					Mn (mg/L)	Hierro (mg/L)	Solución (ml)
1	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.2	2	1	0.40	2.91
2	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.4	4	1.5	0.32	3.44
3	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.6	6	2	0.22	4.12
4	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.8	8	2.5	0.17	4.85
5	6.89	3.01	213	0.6	0.12	1	10	3	0.11	7.86
6	6.89	3.01	213	0.6	0.12	1.2	12	3.5	0.08	9.64

A partir de la jarra N° 03 observamos remoción significativa del manganeso, reduciendo de 0.6 mg/L a 0.22 mg/L, lo que indica un porcentaje de remoción del 63%, eso va incrementando al aumentar la concentración tanto de hipoclorito y cal, llegando a un máximo de remoción de 0.6 mg/L hasta 0.08 mg/L equivalente al 87% de porcentaje de remoción.

La disminución de manganeso se da por la oxidación con cloro y aumento de pH por la cal, quien es la que da el medio para que produzca la oxidación del manganeso

logrando valores dentro de lo establecido por la normativa internacional. A partir de la jarra 5 y 6, la concentración cloro libre es superior a la establecida por la normativa, por lo cual se recomienda usar hipoclorito de calcio en concentraciones menores a 8 ppm y dosis de cal recomendada para alcalinizar el agua: no menor de 2 mg/L.

- **Prueba N° 04:** *Prueba final para la selección de la dosis óptima de hipoclorito de calcio, cal y sulfato de Aluminio para el abatimiento de Manganeseo para diferentes dosis de insumos.*

En base a las pruebas de jarra realizadas previamente, se probaron diferentes concentraciones de dosificantes, en todos los casos, los valores de manganeseo estuvieron dentro de lo establecido por la normativa internacional. Para elegir la dosis óptima se tomó en cuenta valores de pH dentro rango permitido (6.5 – 8.5) por la normativa. En este caso se encontró la dosis óptima de los insumos a utilizar, siendo la prueba de jarra N° 02 la más eficiente en cuanto a los resultados obtenidos encontrando un pH de 7.48 unidades, una concentración de Manganeseo de 0.10 mg/L.

La dosis óptima de cal determinada es 6.0 ppm, de hipoclorito de calcio de 2.5 ppm y de sulfato de aluminio de 6.0 ppm.

Tabla 6.6. Resultado de la Prueba N° 04

N° Jarra	Agua Cruda					Pre Tratamiento						Mezcla rápida: 100 rpm/5 seg.		
												Floculación: 60rpm/15 min.		
	Sedimentación: 0 rpm/ 15 min.													
	pH (unid.)	Turbiedad (UNT)	Conductividad (uS/cm)	Manganeso (mg/L)	Hierro (mg/L)	Cal solución al 1%		Hipoclorito de Calcio al 0,1%		Sulfato de Al al 1 %		p H (Unid.)	Cloro Libre (mg/L)	Mn (mg/L)
Solución (ml)						Dosis (ppm)	Solución (ml)	Dosis (ppm)	Solución (ml)	Dosis (ppm)				
1	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.5	5	2.5	2.5	0.5	5	8.43	3.01	0.20
2	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.6	6	2.5	2.5	1	10	7.48	2.89	0.10
3	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.7	7	2.5	2.5	1.5	15	6.42	2.88	0.11
4	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.8	8	2.5	2.5	2	20	6.23	2.87	0.096
5	6.89	3.01	213	0.6	0.12	0.9	9	2.5	2.5	2.5	25	6.01	2.90	0.129
6	6.89	3.01	213	0.6	0.12	1	10	2.5	2.5	3	30	5.92	2.89	0.17

6.3. Eficiencia del tratamiento

Luego de realizar la prueba de jarras y determinar las dosis óptimas se determinó la eficiencia y los resultados se muestran en la Tabla N° 6.7.

Tabla 6.7. Parámetros de la calidad de agua cruda y tratada.

Parámetros	Agua de la Laguna	Agua Tratada	DIGESA 2010
pH	6.89	7.18	6.5 - 8.0
Conductividad. uS/cm	181	269	1500
NO ₃ -N mg/L	10.5	3.9	50
Cl ⁻ mg/L	0.11	<1	250
Turbidez NTU	3.01	2	5
SO ₄ ⁼ mg/L	28	48	250
Color UC	<1	<1	15
Hg(t) mg/L	<0.0005	<0.0005	0.001
Al(t) mg/L	<0.03	<0.03	0.2
As(t) mg/L	<0.02	<0.02	0.01
Cd(t) mg/L	<0.003	<0.003	0.003
Cr(t) mg/L	<0.01	<0.01	0.050
Cu(t) mg/L	<0.005	<0.005	2
Fe(t) mg/L	0.02	<0.01	0.3
Mn(t) mg/L	0.6	0.1	0.4
Pb(t) mg/L	<0.01	<0.01	0.01
Se(t) mg/L	<0.02	<0.02	0.01
Zn(t) mg/L	<0.005	<0.005	3

En la Tabla 6.7, se observa que los valores del agua antes de tratar disminuyen después del tratamiento, lo que evidencia una eficiencia en el tratamiento propuesto. Los parámetros físico-químicos se encuentran dentro de los valores

establecidos por la DIGESA, los parámetros bacteriológicos superan los límites límites, siendo necesario que al diseñar la planta se tenga en cuenta un sistema de desinfección adicional.

En el caso del manganeso, la concentración inicial es de **0.6 mg/L** y después del tratamiento realizado en laboratorio la concentración disminuye a **0.1 mg/L**, demostrando así una eficiencia de remoción de 83%.

Los resultados obtenidos en este ensayo de laboratorio, permiten brindar información necesaria para el diseño de una planta de tratamiento de agua potable.

6.4. Criterios de Diseño para una Planta de tratamiento

Criterios de diseño de una Planta	Neutralización	Homogenización	Mezclado	Desinfección	Filtración
Caudal l/s	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
pH inicial	--	6.89	--	--	--
pH final	--	--	--	--	7.18
Consumo de cal g/m ³	1.26	--	--	--	--
Consumo de hipoclorito de calcio g/m ³	--	--	--	5.25	--
Consumo de sulfato de aluminio g/m ³	--	--	1.26	--	--
Tiempo de Retención	20 min.	3 horas	30 min	--	--
Tipo de filtro	--	--	--	--	Filtros de celulosa de 5 micras y carbón activado.

6.5. Costos de Implementación de la Planta de tratamiento

La implementación de la planta tiene un costo de \$ 46,000 dólares americanos, el costo operativo es de \$ 2/m³.

Descripción	Costo \$
Materiales	7,000
Equipos	30,000
Instrumentos	9,000
Reactivos (Cal, Hipoclorito de calcio y Sulfato de aluminio)	0.022 g/m ³
Mantenimiento	1,000/ semestral

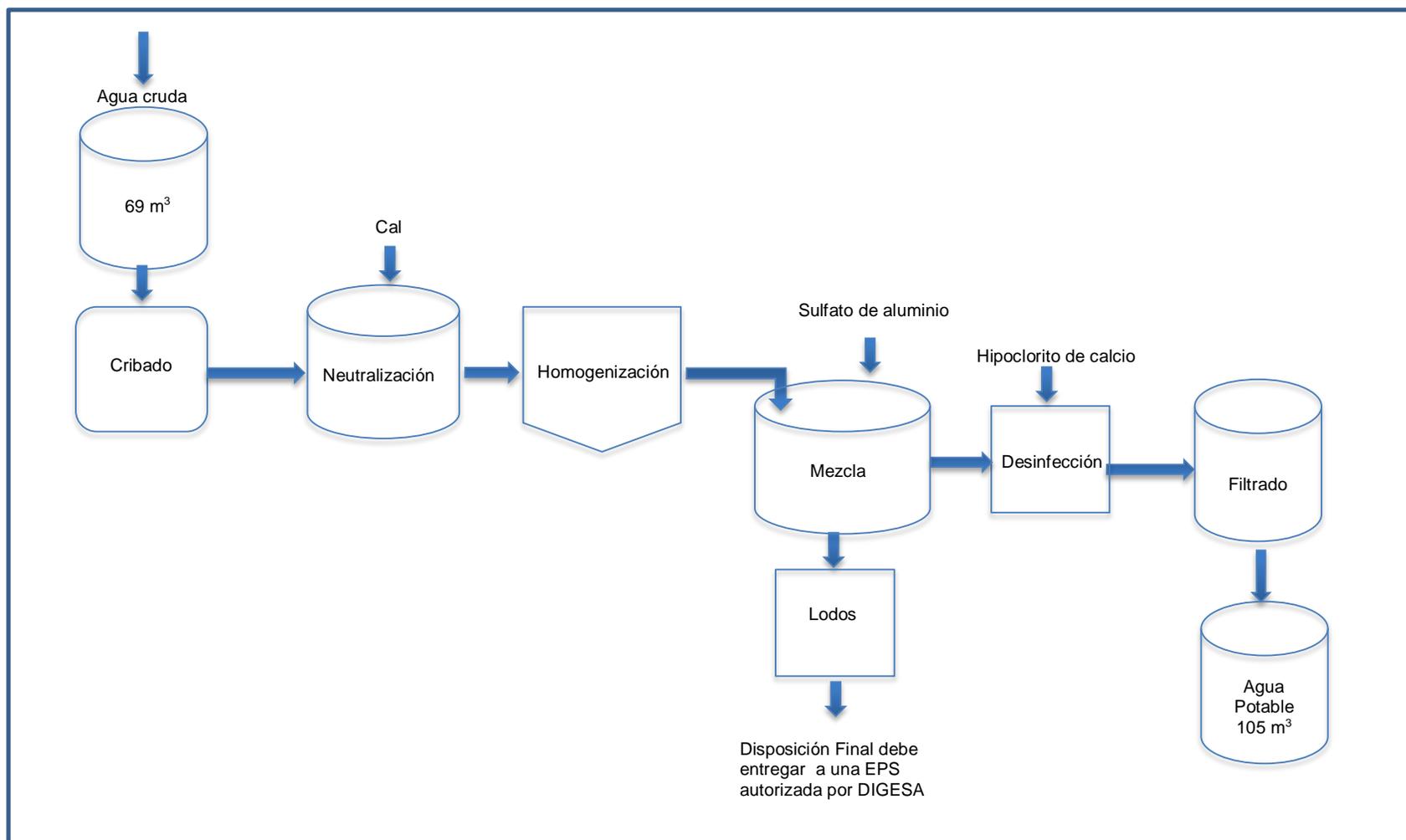


Figura 6.10. Diagrama de Flujo de una Planta de Tratamiento

CONCLUSIONES

Metodología Utilizada

- El agua proveniente de la laguna Azulcocha sobrepasa los valores límites de manganeso (promedio 0.461 mg/L y valor máximo 0.68 mg/L), no siendo apta para el consumo humano, sin previo tratamiento.
- El objetivo principal de esta tesis es definir un proceso para remover manganeso del agua de la laguna Azulcocha a escala de laboratorio. Así como determinar las proporciones de reactivos a dosificar, para lograr la remoción de manganeso.
- Se determino para este caso de la Laguna Azulcocha que, el sistema de tratamiento oxidación-filtración es eficiente porque se logró bajar el valor de 0.6 mg/L a 0.1 mg/L de manganeso en el agua de la laguna Azulcocha, cumpliendo lo establecido en los valores límites establecidos en el D.S. N° 031-2010-S.A.
- En las pruebas se determinó que la dosificación óptima de reactivos para remover el manganeso mediante el tratamiento oxidación filtración es de 6 ppm de Cal, 2.5 ppm de Hipoclorito de Calcio y 6 ppm de Sulfato de Aluminio.
- El proceso propuesto es factible desde el punto de vista técnico, ambiental y económico. El costo para el tipo de planta propuesto es de \$ 2/m³.

- La planta beneficiará a 500 personas, mejorando su calidad de vida, reduciendo enfermedades.
- La calidad del agua, debido al eficiente tratamiento de la planta, será de una calidad tal que cumpla con los valores límites establecidos en el D.S. N° 031-2010-S.A.

Limitaciones Encontradas

La presente investigación paso por diferentes desafíos junto con el ajuste de dato para su realización. Se requirió escoger un sistema de tratamiento apropiado para el estudio.

Como limitaciones de la presente tesis podemos decir que estas se dividen en dos:

- Espacio suficiente para realizar ensayos.
- Financiamiento para realizar mas ensayos.

A pesar de estas limitaciones, la tesis pudo ser realizada aplicando el criterio ingenieril.

Aplicabilidad de la Investigación

Para aguas con las características de la laguna Azulcocha.

RECOMENDACIONES

- En el diseño de la planta potabilizadora se debe tener en cuenta a implementación de un sistema de desinfección a fin de eliminar organismos patógenos que pudieran estar presentes en el agua de la laguna Azulcocha.
- El agua de salida de la planta de tratamiento que se proyecta instalar deberá estar en constante monitoreo y control de los parámetros físicos – químicos antes de ser distribuidos para el consumo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2000.** Reseña Toxicológica del Manganeso. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.
- **Avendaño, N. 2002.** Remoción de Hierro y Manganeso. Unidad de vigilancia de la Salud y Ambiente. México.
- **Burbano, L., Sánchez L. 2003.** Remoción de Hierro y Manganeso por oxidación-Filtración para agua potable. Seminario Internacional: Visión integral en el mejoramiento de la calidad del agua. Disponible en http://objetos.univalle.edu.co/files/Remocion_de_hierro_y_manganeso_por_oxidacion.pdf
- **Piña, M., Ramírez A. 2001.** Remoción de hierro y Manganeso en fuentes de agua subterránea para abastecimiento público. *Disponible en* http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_04.pdf.
- Tecnologías de Tratamiento www.avantel.net/ipotarsa/servicios.htm
- Tratamiento para la remoción del Manganeso.
Las publicaciones de Extensión del sistema Universitario de Texas A&M
<http://tee.bookstore.org>.
- Manganeso. Disponible en: <http://www.lenntech.com/español/tabla-periodica/Mn.htm>.

- Universidad de Talca. Departamento de Tecnologías Industriales, Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 15 N° 3, 2007