



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS RAOS Y COAGULACIÓN –
FLOCULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO
HUMANO EN LA CIUDAD DE CALCA”**

Presentado por:

Bach. Harded Montesinos Paro

Bach. Patricia Guevara Vera

Para optar al Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

ING. William R. Delgado Salazar

CUSCO – PERÚ

2019

**DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios y a mi madre en toda su extensión por ser el pilar fundamental emocional y económico en cada aspecto de mi vida, por haberme apoyado en todos y cada uno de mis días. Sin ti nada hubiera logrado no me alcanza la vida para devolver todo lo que has hecho por mí. Eres mi más grande amor.

Patricia Guevara Vera

Dedico este gran logro a mis padres Aurelio y Cleofe, por ser los pilares en mi vida, siempre fueron el motor que me impulso a cumplir mis metas, por su apoyo incondicional durante el proceso de la investigación, a mis hermanos Manuel, Jaime, Vanessa y Elias, que han sido siempre un apoyo invaluable en mi vida, por sus consejos y por su motivación para terminar con éxito este trabajo.

Harded Montesinos Paro



AGRADECIMIENTOS

A dios por habernos guiado en todo momento dándonos sabiduría y fortaleza para hacer posible este gran triunfo.

A nuestros padres por haber sido el sustento económico y emocional a lo largo de este camino y toda la vida.

A nuestra casa de estudios superiores Universidad Andina del Cusco.

A nuestros docentes ingenieros Walter Álvarez, Rodeluz Arohuanca, María Isabel Callahui, Carmen Gil, Alberto Mosqueira, Jackeline Pelaez, William Delgado, Heiner Soto, Elvis Mamani que aportaron de gran manera a los conocimientos que nos llevamos.

A nuestro asesor William Delgado por su paciencia y conocimiento brindado en la elaboración de esta investigación desde su inicio hasta su culminación.

En la EPS SEDA- CUSCO por la facilidad que se nos brindó para usar sus instalaciones y equipos mediante el ingeniero Efraín Silva.

Al químico Jorge Choqueneira de la UNSAAC por su ayuda y paciencia en la realización del análisis de resultados.

Harded y Patricia



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo comparar la efectividad de los métodos RAOS y Coagulación – Floculación para la remoción de arsénico en agua de consumo humano en la Ciudad de Calca, Provincia de Calca, Departamento de Cusco, mediante la evaluación de la fuente denominada manantial de ladera Ayaccaca, la cual en la actualidad no cumple con los requisitos mínimos de calidad exigidos por el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA., presentando arsénico en concentraciones hasta 0.053mg/L, cantidad que excede los límites máximos permisibles (LMP) dados por el reglamento de 0.01mg/L.

La investigación contempla el análisis de eficacia y eficiencia de ambos métodos, así como la efectividad de estos.

Se presenta los ensayos, coagulantes, y análisis utilizados en ambos métodos para verificar la efectividad en cuanto a costo, tiempo, grado de remoción y aplicabilidad de los mismos. Para el primer método se utilizó como coagulantes cloruro férrico y sulfato de aluminio en cantidades que varían de 20mg/l a 50mg/L, llegando a una remoción de hasta 99% mediante la adición de una dosis de 50mg/L de cloruro férrico. El segundo método utiliza para su elaboración alambre de hierro N°16 y jugo de limón en cantidades que varían de 4gr a 8gr y de 1.1 ml y 1.5ml, llegando a alcanzar remociones de hasta 84% con una dosis de 7gr de alambre más 1.4 ml de jugo de limón.

El método elegido tomando en cuenta su efectividad será aplicado en el diseño de la Planta de tratamiento de agua Potable que sugiere la investigación.

Palabras clave:

Coagulación, floculación, RAOS, LMP, eficacia eficiencia, efectividad, cloruro férrico, sulfato de aluminio, remoción, arsénico.

**ABSTRACT**

The present research work aims to compare the effectiveness of RAOS and Coagulation - Flocculation methods for the removal of arsenic in human drinking water in the City of Calca, Province of Calca, Department of Cusco, by evaluating the source named Ayaccaca hillside spring, which currently does not meet the minimum quality requirements required by the Water Quality Regulation for Human Consumption DS No. 031-2010-SA., presenting arsenic in concentrations up to 0.053mg / L, quantity exceeding the maximum allowable limits (LMP) given by the 0.01mg / L regulation.

The research contemplates the analysis of effectiveness and efficiency of both methods, as well as the effectiveness of these.

It presents the tests, coagulants, and analyzes used in both methods to verify the effectiveness in terms of cost, time, degree of removal and applicability thereof. For the first method ferric chloride and aluminum sulfate coagulants were used in amounts ranging from 20mg / l to 50mg / L, reaching a removal of up to 99% by adding a dose of 50mg / L of ferric chloride. The second method uses for its elaboration iron wire No. 16 and lemon juice in quantities ranging from 4gr to 8gr and 1.1 ml and 1.5ml, reaching removals of up to 84%,

The method chosen taking into account its effectiveness will be applied in the design of the Drinking Water Treatment Plant that the research suggests.

Keywords:

Coagulation, flocculation, RAOS, LMP, efficiency, effectiveness, ferric chloride, aluminum sulfate, removal, arsenic.



INTRODUCCIÓN

El agua, es de gran importancia para la supervivencia del ser humano y es necesaria su potabilización para que su consumo no represente peligro para nuestra salud.

En la ciudad de Calca, Provincia de Calca, Departamento de Cusco, se cuenta con el servicio de agua potable a partir de captaciones subterráneas ubicadas en el sector de Accha Baja y Totorá, administradas por la Empresa Municipal de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Calca (EPS - EMSAPA CALCA S.A.).

Según el estudio proporcionado por EPS EMSAPA CALCA S.A. se observó que, la concentración de Arsénico existente en esta excede los Límites Máximos Permisibles (LMP), lo cual es perjudicial para la salud, por ser este un metal pesado altamente tóxico, la exposición prolongada de éste puede provocar cáncer a la piel, vejiga y pulmón produciendo daños a nivel celular.

En esta investigación se evaluó dos métodos utilizados para la remoción de Arsénico en agua de consumo humano, determinados por la eficacia representada por el porcentaje de remoción de arsénico y la eficiencia que engloba el costo y tiempo empleados en cada proceso, los que en conjunto nos darán la efectividad que nos permita dar solución al problema que a su vez se adaptó a las características de la zona de estudio.

En el primer capítulo del trabajo de investigación se desarrolló el planteamiento, descripción, justificación, formulación y objetivos del problema, así como el método.

El segundo capítulo, marco teórico damos a conocer los antecedentes nacionales e internacionales, conceptos básicos, características del arsénico, efectos en la salud y parámetros de los métodos existentes para remoción de arsénico en agua. Para ello nos apoyamos en la normativa vigente, para terminar este capítulo estableciendo la hipótesis que responde al problema que se constató con el desarrollo de los ensayos y verificación de las variables que intervienen en el trabajo de investigación.

El tercer capítulo mostramos la población y muestra elegida, siendo esta el manantial de ladera AYACCACA que entre las 11 captaciones que contempla el estudio brindado por la Empresa Municipal de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Calca (EPS - EMSAPA CALCA S.A.), es el de mayor contenido de arsénico, seguido de los instrumentos que fueron para la realización de la investigación, el procedimiento que se organizó para la recolección de datos y las pruebas de laboratorio.

El cuarto capítulo contempla los resultados de los métodos investigados.

Para finalizar, el quinto capítulo, Discusión, en el que se detalla el contraste de la investigación con el marco teórico, la interpretación de los resultados encontrados, la demostración de la



hipótesis, el aporte que tiene la investigación y la incorporación de nuevos temas que se encontraron durante el proceso que no estuvieran contemplando esta.



ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	vi
ÍNDICE	viii
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Identificación del problema	1
1.1.1. Descripción del problema	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema	2
1.1.2.1. Problema general	2
1.1.2.2. Problemas específicos	3
1.2. Justificación e importancia de la investigación	3
1.2.1. Justificación técnica	3
1.2.2. Justificación social	4
1.2.3. Justificación por viabilidad	4
1.2.4. Justificación por Relevancia	4
1.3. Limitaciones de la Investigación	4
1.4. Objetivos de la investigación	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual	6
2.1.1. Antecedentes a nivel nacional	6
2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional	8
2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes	10
2.2.1. Agua	10
2.2.2. Calidad de agua	11
2.2.2.1. Características físicas	11



2.2.2.1.1. Turbidez	11
2.2.2.1.2. Sólidos y residuos	13
2.2.2.1.3. Color	13
2.2.2.1.4. Olor y sabor	13
2.2.2.1.5. Temperatura	14
2.2.2.2. Características químicas	14
2.2.2.2.1. PH	14
2.2.2.3. Normas nacionales sobre calidad de Agua	16
2.2.3. Agua potable	16
2.2.3.1. Estándares de calidad ambiental para el agua – decreto supremo N°- 004-2017-MINAN.	17
2.2.4. Control de calidad de agua potable	20
2.2.5. Reglamento de la calidad de agua para consumo humano – MINSA	24
2.2.6. Ley de recursos hídricos ley N° 29338	27
2.2.7. Presencia de metales pesados en las fuentes de agua	27
2.2.8. Arsénico	27
2.2.8.1. Origen del Arsénico en el agua.	27
2.2.8.2. Toxicidad del arsénico	28
2.2.8.3. Tecnologías de remoción de arsénico	28
2.2.8.3.1. Oxido reducción.	29
2.2.8.3.2. Separación solido líquido.	29
2.2.8.3.3. Ablandamiento con cal	30
2.2.8.3.4. Coagulación filtración adsorción	30
2.2.8.3.5. Coagulación filtración	30
2.2.8.3.6. Coagulación absorción	31
2.2.8.3.7. Presencia de hierro y manganeso	32
2.2.8.3.8. Hierro con filtración directo	32
2.2.8.3.9. Alúmina activa	32
2.2.8.3.10. Intercambio iónico	32
2.2.8.3.11. Separación física	33
2.2.8.3.12. Osmosis inversa y nanofiltracion	33
2.2.8.3.13. Electrodialisis inversa	33
2.2.8.3.14. Procesos biológicos	33
2.2.8.3.15. Remoción de arsénico por oxidación solar (RAOS – SORAS)	34



2.2.8.4. Tecnologías de bajo costo	34
2.2.8.4.1. Desinfección solar (DSAUI – SODIS)	34
2.2.8.4.2. Remoción de arsénico por oxidación solar (RAOS – SORAS)	35
2.2.8.4.3. Fotocatálisis Heterogénea Solar con Dióxido de titanio (FH).	36
2.2.9. Coagulación	36
2.2.9.1. Coagulantes y sustancias químicas	39
2.2.9.2. Coagulantes metálicos inorgánicos	39
2.2.9.3. Dosis típicas	39
2.2.10. Floculación	39
2.2.10.1. Sistemas de floculación más comunes	40
2.2.11. Test de jarras	40
2.2.11.1. Descripción del equipo de prueba de jarras	40
2.2.11.2. Descripción del Sistema	41
2.2.12. Principios del mezclado para coagulación y floculación	42
2.2.12.1. Mezcla rápida	42
2.2.12.1.1. Mezcladores rápidos mecánicos	42
2.2.12.1.2. Mezclado rápido hidráulico	42
2.2.12.2. Mezcla lenta	43
2.2.13. Filtración rápida	43
2.2.13.1. Clasificación del filtrado rápido por su nivel de tratamiento previo	44
2.2.13.1.1. Filtrado directo	44
2.2.13.1.2. Filtrado en línea (filtrado de contacto)	44
2.2.13.1.3. Filtrado de dos etapas	44
2.2.13.2. Filtros lentos de arena	44
2.2.14. Sedimentación	45
2.2.14.1. Tipos de sedimentadores	45
2.2.14.1.1. Clasificación de Sedimentadores	45
2.2.15. Parámetros de calidad del agua	46
2.2.16. Planta de tratamiento de agua potable	49
2.2.16.1. Planta de tratamiento convencional	50
2.2.16.2. Tratamiento de Agua	51
2.2.16.3. Objetivo del tratamiento	51
2.2.16.4. Criterios para una planta de tratamiento de agua potable según Reglamento Nacional de Edificaciones 2006.	51



2.3. Hipótesis	55
2.3.1. Hipótesis general	55
2.3.2. Sub hipótesis	55
2.4. Definición de variables	55
2.4.1. Variables dependientes	55
2.4.2. Variables intermitentes	55
2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables	56
3. MEDOLOGÍA	57
3.1. Metodología de la investigación	57
3.1.1. Enfoque de la investigación	57
3.1.2. Nivel o alcance de la investigación	57
3.1.3. Método de investigación	57
3.2. Diseño de la investigación	57
3.2.1. Diseño metodológico	57
3.2.2. Diseño de ingeniería	58
3.3. Población y Muestra	59
3.3.1. Población	59
3.3.1.1. Descripción de la población	59
3.3.1.2. Cuantificación de la población	60
3.3.2. Muestra	60
3.3.2.1. Descripción de la muestra	60
3.3.2.2. Cuantificación de la muestra	62
3.3.2.3. Método de muestreo	62
3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra	63
3.3.3. Criterios de inclusión	63
3.4. Instrumentos	63
3.4.1. Instrumentos metodológicos	63
3.4.1.1. Entrevista	63
3.4.1.2. Observación experimental	65
3.4.1.3. Softwares	67
3.4.2. Instrumentos de ingeniería	69
3.5. Procedimientos de recolección de datos	69



3.5.1. Coagulación y floculación – Test de Jarras	74
3.5.1.1. Especificaciones técnicas del equipo de prueba de jarras.	74
3.5.1.2. Materiales y equipos utilizados en la prueba de laboratorio	75
3.5.1.3. Procedimiento	76
3.5.1.4. Toma de datos en Laboratorio	86
3.5.2. Remoción de arsénico por oxidación solar – RAOS	87
3.5.2.1. Materiales utilizados	87
3.5.2.2. Procedimiento	88
3.5.2.3. Toma de datos en las hojas de registro	90
3.5.2.4. Caracterización de insumos	91
3.6. Procedimiento de análisis de datos	91
3.6.1. Recopilación de información necesaria para la investigación	91
3.6.1.1. Prueba de Jarras Coagulación – Floculación	91
3.6.1.1.1. Barrido de metales	91
3.6.1.1.2. Preparación de las soluciones	92
3.6.1.1.3. Medida de la turbidez	93
3.6.1.1.4. Medida del pH	93
3.6.1.1.5. Proporciones de solución para cada Vaso Precipitado.	94
3.6.1.1.6. Diagramas o tablas	97
3.6.1.1.7. Análisis de la prueba (comentario de los resultados de la prueba que se realizó)	102
3.6.1.2. Radiación solar – RAOS	103
3.6.1.2.1. Barrido de metales	103
3.6.1.2.2. Medida de turbidez	104
3.6.1.2.3. Medida de pH	104
3.6.1.2.4. Diagramas o tablas	105
3.6.1.2.5. Análisis de resultados.	106
3.6.1.3. Procedimiento de análisis de datos	107
3.6.1.3.1. Características del equipo Horno de Grafito	108
3.6.1.3.2. Principios de atomización por Horno de Grafito	108
3.6.1.3.3. Programación del Método	109
3.6.1.4. Análisis del contenido inicial de arsénico por el método As Aguas ZEEMAN-Horno de Grafito.	117



3.6.1.5. Análisis del contenido de arsénico final según el método As Aguas ZEEMAN - Horno de Grafito	119
3.6.1.5.1. Coagulación – floculación	119
3.6.1.5.2. Remoción de arsénico por oxidación solar - RAOS	130
3.6.2. Implementación de ambos métodos	135
Método de coagulación – Floculación	135
3.6.2.1. Propuesta de diseño de planta de tratamiento de agua potable	135
3.6.2.2. Propuesta de la implementación del método RAOS a nivel familiar.	153
4.RESULTADOS	155
4.1. Validación inicial de la muestra	155
4.2. Análisis de resultados	155
4.2.1. Coagulación- Floculación	155
4.2.2. Remoción de Arsénico por oxidación sola – RAOS	157
4.3. Resumen y análisis de resultados	158
4.3.1. Coagulación – floculación	158
4.3.2. Remoción de arsénico por oxidación solar - RAOS	163
4.4. Efectividad por método	165
4.4.1. Eficacia del Método de Coagulación – Floculación	165
4.4.2. Eficacia del Método RAOS	166
4.4.3. Eficiencia del Método de Coagulación – Floculación	166
4.4.3.1. Tiempo de Remoción de Arsénico mediante el método coagulación – floculación.	166
4.4.3.2. Costo de remoción de arsénico por el método coagulación floculación.	167
4.4.4. Eficiencia del Método RAOS	168
4.4.4.1. Tiempo de Remoción de Arsénico mediante el método RAOS.	168
4.4.4.2. Costo de Remoción de Arsénico mediante el método RAOS.	168
5.DISCUSIÓN	170
GLOSARIO	173
CONCLUSIONES	176
RECOMENDACIONES	178
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	179



ANEXOS

182

APÉNDICES

206



ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA 1 Las mejores tecnologías disponibles (BATS) y su eficiencia de remoción de arsénico.</i>	29
<i>TABLA 2 Tabla Eficiencia de coagulantes en la remoción de arsénico.</i>	30
<i>TABLA 3 Tabla Remoción de arsénico por coagulación</i>	31
<i>TABLA 4 Características de los agitadores.</i>	42
<i>TABLA 5 Flujograma</i>	58
<i>TABLA 6 Fuentes de captaciones</i>	60
<i>TABLA 7 Contenido de arsénico en manantes</i>	62
<i>TABLA 8 Formato de recolección de datos usado</i>	67
<i>TABLA 9 Formato de recolección de datos usado</i>	68
<i>TABLA 10 Formato de recolección de datos usado</i>	68
<i>TABLA 11 Sales para preparación de solución</i>	78
<i>TABLA 12 Cantidad de sales para solución</i>	79
<i>TABLA 13 Dosificación de coagulante para cada vaso</i>	80
<i>TABLA 14 Cantidad de arcilla usado como sedimento.</i>	82
<i>TABLA 15 Gradiente hidráulico y tiempo de agitación por mezclado</i>	83
<i>TABLA 16 Análisis de arsénico en la Fuente de los años 2017 a 2019.</i>	92
<i>TABLA 17 Cantidad de Cloruro Férrico</i>	92
<i>TABLA 18 Cantidad de Sulfato de Aluminio</i>	92
<i>TABLA 19 Resultados de turbidez inicial y final muestra sin alterar.</i>	93
<i>TABLA 20 Resultados de turbidez inicial y final muestra alterada.</i>	93
<i>TABLA 21 Contenido de pH inicial y final de muestra sin alterar.</i>	94
<i>TABLA 22 Contenido de pH inicial y final de muestra alterada.</i>	94
<i>TABLA 23 Dosificación de coagulante vaso 1.</i>	95
<i>TABLA 24 Dosis de coagulante para el vaso 2.</i>	95
<i>TABLA 25 Dosificación de coagulantes para el vaso N° 3.</i>	95
<i>TABLA 26 Dosificación de coagulantes para el vaso N° 4./</i>	96
<i>TABLA 27 Dosis de coagulante para el vaso N°5</i>	96
<i>TABLA 28 Contenido de arsénico registrado en los últimos años.</i>	97
<i>TABLA 29 Esquema estadístico de contenido de arsénico registrado en los últimos años.</i>	97
<i>TABLA 30 Turbidez inicial y final de muestra sin alterar.</i>	98
<i>TABLA 31 Esquema comparativo de turbidez inicial y final en muestra sin alterar.</i>	98
<i>TABLA 32 Turbidez inicial y final de muestra alterada.</i>	98



<i>TABLA 33 Esquema comparativo de turbidez inicial y final en muestra alterada.</i>	99
<i>TABLA 34 pH inicial y final de muestra sin alterar.</i>	99
<i>TABLA 35 Esquema comparativo del pH inicial y final en muestra sin alterar.</i>	99
<i>TABLA 36: pH inicial y final de muestra alterada.</i>	100
<i>TABLA 37 Esquema comparativo del pH inicial y final en muestra alterada.</i>	100
<i>TABLA 38 Dosis de cloruro Férrico.</i>	100
<i>TABLA 39 Dosis de cloruro férrico.</i>	101
<i>TABLA 40 Dosis de sulfato de aluminio.</i>	101
<i>TABLA 41 Dosis de sulfato de aluminio.</i>	101
<i>TABLA 42 Análisis de arsénico en la Fuente de los años 2017 a 2019.</i>	104
<i>TABLA 43 Resultados de turbidez inicial y final.</i>	104
<i>TABLA 44 Resultados de pH inicial y final.</i>	104
<i>TABLA 45 Turbidez inicial y final.</i>	105
<i>TABLA 46. Comparación de turbidez inicial y final.</i>	105
<i>TABLA 47 pH inicial y final</i>	105
<i>TABLA 48 Comparación de pH inicial y final</i>	106
<i>TABLA 49 Validación de contenido inicial de arsénico</i>	155
<i>TABLA 50 Resumen de lecturas en muestra sin alterar</i>	156
<i>TABLA 51 Formula de conversión microgramos por litro a miligramos por litro.</i>	156
<i>TABLA 52 Porcentaje de remoción muestra sin alterar.</i>	156
<i>TABLA 53 Resumen de lecturas en muestra alterada.</i>	157
<i>TABLA 54 Porcentaje de Remoción en muestra alterada.</i>	157
<i>TABLA 55 Resumen de lecturas RAOS.</i>	158
<i>TABLA 56 Formula de conversión microgramos por litro a miligramos por litro</i>	158
<i>TABLA 57 Porcentaje de remoción RAOS.</i>	158
<i>TABLA 58 Resumen de características analizadas.</i>	159
<i>TABLA 59 Turbidez y porcentaje de remoción.</i>	159
<i>TABLA 60 pH y porcenje de remoción.</i>	160
<i>TABLA 61 Porcentaje de remoción de arsénico en función a la dosis de coagulante.</i>	160
<i>TABLA 62 Porcentaje de remoción de turbidez en función a la dosis de coagulante.</i>	161
<i>TABLA 63 Resumen de características analizadas.</i>	161
<i>TABLA 64 Turbidez y porcentaje de remoción.</i>	162
<i>TABLA 65 pH y porcentaje de remoción.</i>	162
<i>TABLA 66 Porcentaje de remoción de arsénico en función a dosis de coagulante</i>	163



<i>TABLA 67 Porcentaje de remoción de turbidez en función a dosis de coagulante.</i>	163
<i>TABLA 68 Resumen de características analizadas RAOS.</i>	164
<i>TABLA 69 Turbidez y porcentaje de remoción.</i>	164
<i>TABLA 70 Porcentaje de remoción en función a dosis de coagulantes.</i>	165
<i>TABLA 71 Porcentaje de remoción eficaz del método RAOS. 162.</i>	165
<i>TABLA 72 Tiempo empleado para método Coagulación – Floculación.</i>	166
<i>TABLA 73 Costo de reactivos utilizados método coagulación - floculación.</i>	167
<i>TABLA 74 Costo de materiales utilizados método coagulación - floculación</i>	167
<i>TABLA 75 Costo de análisis de método coagulación floculación.</i>	167
<i>TABLA 76 Costo total método coagulación – floculación.</i>	167
<i>TABLA 77 Tiempo empleado para método RAOS..</i>	167
<i>TABLA 78 Gramos de Alambre utilizado en el método RAOS.</i>	167
<i>TABLA 79 Costo del alambre eficiente en el método RAOS.</i>	167
<i>TABLA 80 Mililitros de jugo de limon utilizado en el método RAOS.</i>	167
<i>TABLA 81 Costo del jugo de limón eficiente en el método RAOS.</i>	167
<i>TABLA 82 Costo de analisis del método RAOS.</i>	167
<i>TABLA 83 Costo de análisis Total del método RAOS.</i>	167
<i>TABLA 84 Dosis óptima coagulación – floculación.</i>	171
<i>TABLA 85 Dosis óptima RAOS</i>	171

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1: Ubicación geográfica</i>	2
<i>FIGURA 2 Características del agua</i>	11
<i>FIGURA 3: Distribución de tamaños de partículas en el agua</i>	12
<i>FIGURA 4: Olores característicos de agua y su origen</i>	13
<i>FIGURA 5: Criterios de calidad para agua potable.</i>	14
<i>FIGURA 6: Criterios de calidad para agua potable</i>	15
<i>FIGURA 7: Organismos Involucrados en el Sector Saneamiento.</i>	15
<i>FIGURA 8: Categorías determinadas en relación al uso que se le va a dar al cuerpo natural de agua.</i>	18
<i>FIGURA 9: Categoría 1: Poblacional y Recreacional. Subcategoría A: Aguas Superficiales Destinadas a la Producción de Agua Potable.</i>	19
<i>FIGURA 10: Parámetros para metales pesados.</i>	19
<i>FIGURA 11: Guía Para el Control de Calidad del Agua Potable.</i>	21
<i>FIGURA 12: Frecuencia de muestreo para el control bacteriológico en plantas, fuentes y reservorios.</i>	22
<i>FIGURA 13: Frecuencia de muestreo para el control bacteriológico en la red de distribución.</i>	22
<i>FIGURA 14: Frecuencia de muestreo para el control físico químico en plantas, fuentes y reservorios.</i>	23
<i>FIGURA 15: Frecuencia de muestreo para el control físico químico en la red de distribución.</i>	24
<i>FIGURA 16: Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos parasitológicos.</i>	24
<i>FIGURA 17: Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptico.</i>	25
<i>FIGURA 18: Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos.</i>	25
<i>FIGURA 19: Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos.</i>	26
<i>FIGURA 20: Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos.</i>	26
<i>FIGURA 21: Tecnologías de remoción de arsénico.</i>	29
<i>FIGURA 22: Esquema simple de la Tecnología DSAUI-SODIS.</i>	35
<i>FIGURA 23: 1 Esquema de oxidación de arsénico (III) a arsénico (V) mediante luz solar.</i>	35
<i>FIGURA 24: Esquema del proceso fotocatalítico.</i>	36



<i>FIGURA 25: Proceso de coagulación.</i>	37
<i>FIGURA 26: Proceso de Floculación.</i>	39
<i>FIGURA 27: Equipo de Jarras.</i>	40
<i>FIGURA 28: Iluminador de flóculos.</i>	41
<i>FIGURA 29: Dimensiones de vaso precipitado.</i>	41
<i>FIGURA 30: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Microbiológicos y Parasitológicos</i>	46
<i>FIGURA 31: Límites Máximos Permisibles de Parámetros de calidad Organoléptica.</i>	47
<i>FIGURA 32: : Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos y Orgánicos</i>	47
<i>FIGURA 33: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos y Orgánicos</i>	48
<i>FIGURA 34: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos y Orgánicos.</i>	48
<i>FIGURA 35: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos y Orgánicos</i>	49
<i>FIGURA 36: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Radiactivos</i>	49
<i>FIGURA 37: Procesos de tratamiento de una planta</i>	50
<i>FIGURA 38: Esquema del procesos de tratamiento.</i>	50
<i>FIGURA 39: Vista del sector 2 de captaciones de manantiales.</i>	59
<i>FIGURA 40: Captación Manantial de Ladera Ayaccaca.</i>	61
<i>FIGURA 41: Cantidad de arsénico en la Fuente en fecha 07/04/2017.</i>	61
<i>FIGURA 42; Cantidad de arsénico en la Fuente en fecha 03/01/2019</i>	62
<i>FIGURA 43: Oficio de petición n° 001</i>	64
<i>FIGURA 44: Información de fuentes de captación</i>	65
<i>FIGURA 45: Reconocimiento de la zona de estudio</i>	69
<i>FIGURA 46: Manante AYACCACA.</i>	70
<i>FIGURA 47: Interior de la captación AYACCACA</i>	70
<i>FIGURA 48: Extracción de primeras muestras.</i>	72
<i>FIGURA 49: Extracción de muestras para ensayos.</i>	73
<i>FIGURA 50: Extracción de arcillas de la APV Sucso Aucaylle.</i>	73
<i>FIGURA 51: Tamizado de arcilla.</i>	74
<i>FIGURA 52: PTAP Santa Ana – Cusco.</i>	74
<i>FIGURA 53 : Elementos del Equipo de Jarras.</i>	75
<i>FIGURA 54 : Fabricador Equipo de Jarras.</i>	75
<i>FIGURA 55 Contenido inicial de arsénico</i>	76
<i>FIGURA 56 : Contenido inicial de arsénico.</i>	77
<i>FIGURA 57 : Extracción de muestras para el ensayo.</i>	77



<i>FIGURA 58: Pesado de sales.</i>	78
<i>FIGURA 59: Preparación de soluciones al 0.2%</i>	78
<i>FIGURA 60: Soluciones preparadas al 0.2%.</i>	79
<i>FIGURA 61: Medición de 1lt. De agua para cada fiola.</i>	80
<i>FIGURA 62: Dosificación de dosis elegida a cada vaso.</i>	81
<i>FIGURA 63: Colocación de dosis a cada fiola.</i>	81
<i>FIGURA 64: Medición de arcilla para preparar la solución.</i>	82
<i>FIGURA 65: Preparación de solución con turbidez.</i>	82
<i>FIGURA 66: Colocación de dosis de coagulante a cada fiola</i>	83
<i>FIGURA 67: Pantalla de programación del equipo de jarras.</i>	83
<i>FIGURA 68: Formación de flóculos en el vaso N° 1.</i>	84
<i>FIGURA 69: Proceso de sedimentación.</i>	84
<i>FIGURA 70: Proceso de filtrado.</i>	85
<i>FIGURA 71: Almacenado de muestra para su análisis.</i>	85
<i>FIGURA 72: Incorporación de turbidez a la muestra.</i>	86
<i>FIGURA 73: Hoja de registro N° 1.</i>	86
<i>FIGURA 74: Hoja de registro N° 2.</i>	87
<i>FIGURA 75: Materiales utilizados.</i>	88
<i>FIGURA 76: Proceso de limado de alambre.</i>	88
<i>FIGURA 77: Insumos utilizados.</i>	89
<i>FIGURA 78: Exposición de botellas radiación solar.</i>	89
<i>FIGURA 79: Almacenado de muestras para su análisis.</i>	90
<i>FIGURA 80: Hoja de registro N° 3.</i>	90
<i>FIGURA 81: Características de los limones, variedad sutil.</i>	91
<i>FIGURA 82: Horno de grafito</i>	107
<i>FIGURA 83: Especificaciones del equipo Horno de Grafito.</i>	108
<i>FIGURA 84: Etapas térmicas del Horno de Grafito.</i>	108
<i>FIGURA 85: Cámara registra ingreso de gota de agua.</i>	109
<i>FIGURA 86: Selección del Elemento químico a detectar.</i>	109
<i>FIGURA 87: Selección de modo de medida y número de réplicas.</i>	110
<i>FIGURA 88: Selección del óptico.</i>	110
<i>FIGURA 89: Lámpara encendida.</i>	111
<i>FIGURA 90: Selección de características del horno.</i>	111
<i>FIGURA 91: Soluciones de paladio y arsénico en el carrusel.</i>	112



<i>FIGURA 92: Patrones de concentración de arsénico.</i>	112
<i>FIGURA 93: Muestra de patrones de calibración.</i>	113
<i>FIGURA 94: Frecuencia de calibración del equipo.</i>	113
<i>FIGURA 95: Selección de muestreador.</i>	114
<i>FIGURA 96: Recetario indicado por el equipo.</i>	114
<i>FIGURA 97: Cámara del equipo.</i>	115
<i>FIGURA 98: muestra de carrusel en la pantalla.</i>	115
<i>FIGURA 99: Visualización de pantalla principal del equipo.</i>	116
<i>FIGURA 100: lugar de Viales principales.</i>	116
<i>FIGURA 101: Pasos realizados por el Horno de Grafito.</i>	116
<i>FIGURA 102: Lectura estándar del equipo.</i>	117
<i>FIGURA 103: Curva patrón</i>	117
<i>FIGURA 104: Primera lectura contenido inicial</i>	118
<i>FIGURA 105: Segunda lectura contenido inicial</i>	118
<i>FIGURA 106: Tercera lectura contenido inicial.</i>	118
<i>FIGURA 107: lista de muestreo por triplicado.</i>	119
<i>FIGURA 108 : carrusel con todos los viales.</i>	119
<i>FIGURA 109: Primera lectura Cloruro férrico 50 ppm.</i>	120
<i>FIGURA 110: Segunda lectura Cloruro férrico 50 ppm</i>	120
<i>FIGURA 111: Segunda lectura Cloruro férrico 50 ppm.</i>	120
<i>FIGURA 112: Primera lectura para Sulfato de Aluminio 50 ppm</i>	121
<i>FIGURA 113: Segunda lectura para Sulfato de Aluminio 50 ppm.</i>	121
<i>FIGURA 114: Tercera lectura para Sulfato de Aluminio 50 ppm.</i>	121
<i>FIGURA 115: Primera lectura para. Cloruro Férrico 30 mg/L más sulfato de aluminio 20 mg/L.</i>	122
<i>FIGURA 116: Segunda lectura para. Cloruro Férrico 30 mg/L más sulfato de aluminio 20 mg/L.</i>	122
<i>FIGURA 117: Tercera lectura para. Cloruro Férrico 30 mg/L más sulfato de aluminio 20 mg/L.</i>	122
<i>FIGURA 118: Primera Lectura para Cloruro Férrico 20 mg/L más sulfato de aluminio 30 mg/L.</i>	123
<i>FIGURA 119: Segunda Lectura para Cloruro Férrico 20 mg/L más sulfato de aluminio 30 mg/L.</i>	123



<i>FIGURA 120: Tercera Lectura para Cloruro Férrico 20 mg/L más sulfato de aluminio 30 mg/L.</i>	123
<i>FIGURA 121: Primera lectura para Cloruro Férrico 50 mg/L más sulfato de aluminio 50 mg/L.</i>	124
<i>FIGURA 122: Segunda lectura para Cloruro Férrico 50 mg/L más sulfato de aluminio 50 mg/L</i>	124
<i>FIGURA 123: Tercera lectura para Cloruro Férrico 50 mg/L más sulfato de aluminio 50 mg/L.</i>	124
<i>FIGURA 124: Primera lectura para cloruro férrico 50 ppm.</i>	125
<i>FIGURA 125: Segunda lectura para cloruro férrico 50 ppm.</i>	125
<i>FIGURA 126: Tercera lectura para cloruro férrico 50 ppm.</i>	125
<i>FIGURA 127: Primera lectura para sulfato de aluminio 50 ppm.</i>	126
<i>FIGURA 128: Segunda lectura para sulfato de aluminio 50 ppm.</i>	126
<i>FIGURA 129: Tercera lectura para sulfato de aluminio 50 ppm.</i>	126
<i>FIGURA 130: Primera lectura para. Cloruro Férrico 30 mg/L más sulfato de aluminio 20 mg/L.</i>	127
<i>FIGURA 131: Segunda lectura para. Cloruro Férrico 30 mg/L más sulfato de aluminio 20 mg/L.</i>	127
<i>FIGURA 132: Primera lectura para. Cloruro Férrico 30 mg/L más sulfato de aluminio 20 mg/L.</i>	127
<i>FIGURA 133: Primera lectura para Cloruro Férrico 20 mg/L más sulfato de aluminio 30 mg/L.</i>	128
<i>FIGURA 134: Segunda lectura para Cloruro Férrico 20 mg/L más sulfato de aluminio 30 mg/L.</i>	128
<i>FIGURA 135: Tercera lectura para Cloruro Férrico 20 mg/L más sulfato de aluminio 30 mg/L</i>	128
<i>FIGURA 136: Primera lectura para Cloruro Férrico 50 mg/L más sulfato de aluminio 50 mg/L.</i>	129
<i>FIGURA 137: Segunda lectura para Cloruro Férrico 50 mg/L más sulfato de aluminio 50 mg/L.</i>	129
<i>FIGURA 138: Tercera lectura para Cloruro Férrico 50 mg/L más sulfato de aluminio 50 mg/L.</i>	129
<i>FIGURA 139: Nomenclatura RAOS</i>	130



<i>FIGURA 140: Primera lectura para Alambre negro n° 16 - 4 gr más 1.1 ml de jugo de limón.</i>	130
<i>FIGURA 141: Segunda lectura para Alambre negro n° 16 - 4 gr más 1.1 ml de jugo de limón.</i>	130
<i>FIGURA 142: Tercera lectura para Alambre negro n° 16 - 4 gr más 1.1 ml de jugo de limón.</i>	131
<i>FIGURA 143: Primera lectura para Alambre negro n° 16 5 gr más 1.2 ml de jugo de limón.</i>	131
<i>FIGURA 144: Segunda lectura para Alambre negro n° 16 5 gr más 1.2 ml de jugo de limón.</i>	131
<i>FIGURA 145: Tercera lectura para Alambre negro n° 16 5 gr más 1.2 ml de jugo de limón.</i>	132
<i>FIGURA 146: Primera lectura para Alambre negro n° 16 6 gr más 1.3 ml de jugo de limón.</i>	132
<i>FIGURA 147: Segunda lectura para Alambre negro n° 16 6 gr más 1.3 ml de jugo de limón.</i>	132
<i>FIGURA 148: Primera lectura para Alambre negro n° 16 6 gr más 1.3 ml de jugo de limón.</i>	133
<i>FIGURA 149: Primera lectura para Alambre negro n° 16 7 gr más 1.4 ml de jugo de limón.</i>	133
<i>FIGURA 150: Segunda lectura para Alambre negro n° 16 7 gr más 1.4 ml de jugo de limón.</i>	133
<i>FIGURA 151: Tercera lectura para Alambre negro n° 16 7 gr más 1.4 ml de jugo de limón.</i>	134
<i>FIGURA 152: Primera lectura para Alambre negro n° 16 8 gr más 1.5 ml de jugo de limón.</i>	134
<i>FIGURA 153: Segunda lectura para Alambre negro n° 16 8 gr más 1.5 ml de jugo de limón.</i>	134
<i>FIGURA 154: Tercera lectura para Alambre negro n° 16 8 gr más 1.5 ml de jugo de limón.</i>	135
<i>FIGURA 155: vista de la zona de propuesta para PTAP.</i>	135
<i>FIGURA 156: Situación actual de la PTAP.</i>	136
<i>FIGURA 157: Situación actual de la PTAP.</i>	136
<i>FIGURA 158: Población actual servida.</i>	137



<i>FIGURA 159: Número de conexiones,</i>	<i>137</i>
<i>FIGURA 160: Análisis de crecimiento poblacional años 2000 a 2015.</i>	<i>138</i>
<i>FIGURA 161: Método de Interés Simple.</i>	<i>138</i>
<i>FIGURA 162: cálculo de población futura.</i>	<i>139</i>
<i>FIGURA 163: consumo mensual por persona.</i>	<i>139</i>
<i>FIGURA 164: Calculo de dotación</i>	<i>140</i>
<i>FIGURA 165: Porcentaje de remoción con 50mg/L de cloruro férrico</i>	<i>165</i>



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema








La calidad de agua para consumo humano es un problema con el que tenemos que lidiar día a día no solo en nuestra región si no a nivel mundial. Hablar de agua para consumo humano, quiere decir libre de cualquier agente que pudiese alterar la salud de las personas.

En la Ciudad de Calca en el Departamento de Cusco se encontró que el agua que viene consumiendo la población presenta arsénico en concentraciones mayores a los LMP impuestos por la OMS; Este importante dato sale a luz después de haber solicitado información a la EPS EMSAPA CALCA S.A., con el fin de evaluar las características físicas químicas y bacteriológicas así como el barrido de metales, para lo que sería en un inicio la evaluación preliminar a fin de decidir qué tipo de tratamiento debería considerarse, ya que actualmente solo es potabilizada antes de su consumo y con ello no cumple con los requisitos del Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA, pero durante la evaluación a la información brindada se observó que representaba un problema aun mayor que el agua contiene arsénico en parámetros mayores a los permitidos por la OMS (0.01 mg/lit) lo que nos abrió una nueva ventana para lo que hoy es el trabajo de investigación “COMPARACION ENTRE LOS MÉTODOS RAOS Y COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO EN LA CIUDAD DE CALCA”

Existen diferentes métodos en cuanto a remoción de Arsénico, Basados en investigaciones cuyo objetivo es precisamente este, dado que el agua contaminada con arsénico es un peligro latente para la salud humana. Entre ellos seleccionamos los dos procesos antes mencionadas basándonos en que son tecnologías ya aplicadas y de este modo probamos la veracidad de estas, así como su mejor adaptación a las características de la zona de estudio. El trabajo de investigación pretende evaluar la efectividad de ambos métodos para la remoción del Arsénico en agua de consumo humano.

Ubicación Geográfica

La provincia de Calca es una de las trece que conforman el departamento del Cuzco en el Perú. Limita al Norte con la provincia de La Convención, al Este con la provincia de Paucartambo, al Sur con la provincia de Quispicanchis y la provincia del Cuzco y al Oeste con la provincia de Urubamba.

-  Capital: Calca
-  Idioma oficial: español
-  Distritos: 8
-  Superficie: Total 4414.49 km²
-  Altitud: Media 2925 m s. n. m.
-  Población (2017): Total 63 155 hab.
-  Densidad 14,31 hab/km

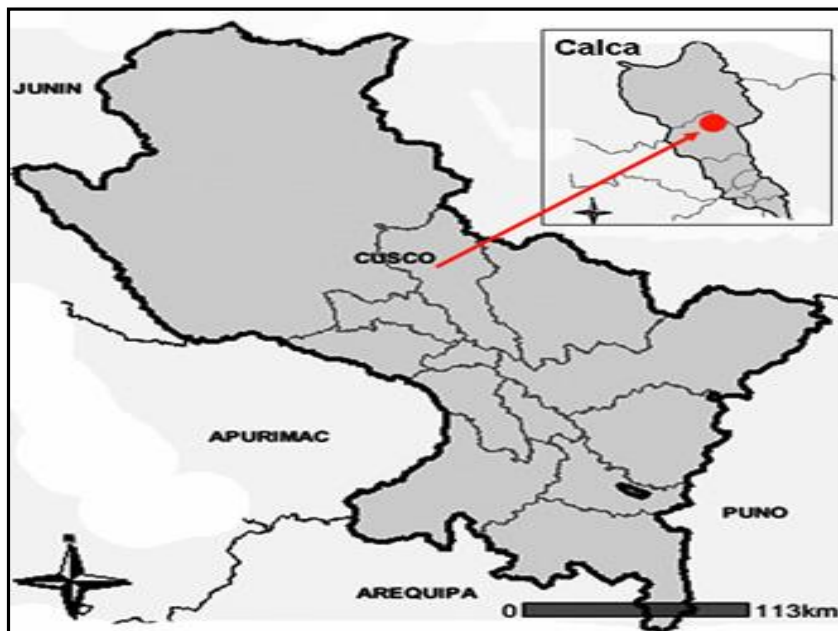


FIGURA 1: Ubicación geográfica

FUENTE: GOOGLE

1.1.2. Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es la diferencia del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar) en comparación al método de Coagulación – Floculación para la remoción de arsénico en agua de consumo humano en la Ciudad de Calca



1.1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es la eficacia del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar) frente al método de Coagulación - Floculación para la remoción de arsénico en agua de consumo humano en la Ciudad de Calca?

¿Cuál es la eficiencia del método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar) frente al método de Coagulación - Floculación para la remoción de arsénico en agua de consumo humano en la Ciudad de Calca?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

La toxicidad del arsénico es conocida a través de los incidentes por envenenamiento de seres humanos y por el uso que se le ha dado en medicina. En la actualidad, los reportes epidemiológicos de cáncer y problemas como la enfermedad de pie negro y lesiones cutáneas, asociados al arsénico han generado un creciente interés sobre los efectos que la exposición crónica de este elemento causa, debido a la ingesta y uso de agua contaminada, por lo que ya se le considera un problema de salud pública (Tseng, 1977; Kumar y Suzuki, 2002).

La mayor amenaza del arsénico para la salud pública, proviene del agua que es bebida, generalmente como resultado de la ingestión prolongada de agua con altas concentraciones de arsénico inorgánico. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido como máxima concentración de arsénico en agua para consumo humano de 0.010 mg/L.

1.2.1. Justificación técnica

Esta investigación está desarrollada en la rama de la ingeniería Hidráulica que engloba saneamiento, abastecimiento, fluidos y todos los procesos realizados en esta investigación están basados en actividades que académicamente están sustentadas en las ramas mencionadas que sirven de formación para los profesionales de ingeniería civil.

En el ámbito de la Ingeniería Civil, la presente investigación hace énfasis y contribuirá al conocimiento, aplicación e importancia de procesos para la mejora de calidad de agua y con ello aportar a la mejora de calidad de vida en la población de Calca puesto que en muchos casos los estándares de calidad impuestos por la OMS no se respetan y los rangos en el reglamento de calidad de agua para el consumo humano no exactamente indica calidad por lo que es posible lograr un producto final de mejor calidad mediante la implantación de diferentes procesos.

Esta investigación no solo es un aporte académico al conocimiento de procesos hidráulicos en remoción de arsénico del agua si no también será un antecedente para nuevos estudios y para



futuros proyectos que planteen diseñar plantas que incluyan la remoción de metales pesados en condiciones similares de la Ciudad de Calca.

1.2.2. Justificación social

Investigar en temas relacionados con el recurso hídrico es fundamental y sobre todo trabajar en el manejo y mejora en la calidad de esta importante fuente de vida, es de conocimiento general que no solo en nuestra región si no en el Perú y en el mundo se tiene el gran problema con la calidad y abastecimiento de agua para consumo humano y es necesario enfocarse en ello ya que precisamente se trata del líquido fuente vida, por lo cual se propone la implementación de uno de estos dos procesos que constituyen obras hidráulicas y de saneamiento para aportar en la solución y partiendo sobre todo en el descontento de la ciudadanía Calqueña con la calidad de agua e inadecuado abastecimiento con los que a diario deben lidiar. La constante búsqueda de mejorar la calidad de vida de las personas es uno de los temas principales que como futuros ingenieros debemos trabajar y es precisamente en vista de ello que desarrollo esta investigación.

1.2.3. Justificación por viabilidad

Esta investigación es totalmente aplicable en cuanto al aspecto económico; ya que los gastos necesarios para la elaboración y desarrollo de la investigación están solventados por ambas partes por otro lado la información que se tiene acerca del tema de investigación es abundante y puede ser recopilada de diferentes fuentes y por último con respecto a los materiales y los equipos los encontramos en el medio.

1.2.4. Justificación por Relevancia

La aplicación de los métodos seleccionados en remoción de arsénico será fundamental para la parcial eliminación de este metal pesado que actualmente se encuentra excediendo los LMP impuestos por la OMS, lo que es altamente perjudicial para la salud de la población Calqueña.

1.3. Limitaciones de la Investigación

- a.** La investigación se limita al estudio, análisis y comparación de dos métodos utilizados para remoción de arsénico en agua de consumo humano, Coagulación – Flocculación y Remoción de Arsénico por Oxidación Solar. Métodos elegidos por ser tecnologías adaptables a la zona de estudio, disponibilidad de equipos y materiales para su realización y efectividad

mostrada en investigaciones anteriores. Cuya selección estará en función al porcentaje de remoción, costo de implantación a escala de laboratorio y tiempo de remoción.

- b.** La investigación se limitó al estudio de barrido de metales brindado por la EPS EMSAPA-CALCA, concretamente a la captación manante de ladera Ayaccaca que se encuentra en el sector de Accha Baja a 30min en carro de la Ciudad de Calca. Exclusivamente el contenido de arsénico, no se tocó otros metales según este estudio.
- c.** El método de Coagulación - Flocculación se limita a la utilización de dos tipos de coagulantes, Cloruro Férrico y Sulfato de Aluminio.
- d.** La implementación del método RAOS, se limita únicamente a nivel domiciliario, ya que este método es simple y está basado en el uso de botellas transparentes PET (polietileno tereftalato), jugo de limón, alambres de hierro y está en función de la radiación solar y un periodo de tiempo para su remoción.
- e.** La propuesta de diseño de la planta de tratamiento de agua potable se limita a las recomendaciones de diseño especificadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones OS. 020.
- f.** Se considera un periodo de diseño de 20 años para el diseño de la planta de tratamiento de agua potable.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Comparar el método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar) frente al método de Coagulación – Flocculación para la remoción de arsénico en agua de consumo humano en la Ciudad de Calca.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a.** Determinar la eficacia que alcanza el método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar) frente al método de Coagulación – Flocculación para la remoción de arsénico en agua de consumo humano en la Ciudad de Calca.
- b.** Evaluar la eficiencia que alcanza el método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar) frente al método de Coagulación – Flocculación para la remoción de arsénico en agua de consumo humano en la Ciudad de Calca.

**CAPITULO II****2. MARCO TEÓRICO****2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual****2.1.1. Antecedentes a nivel nacional**

Autor: Clido Jorge Rimachi

Título: “ESTUDIO FÍSICO QUÍMICO DE LAS TÉCNICAS DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO”

Institución: Universidad Nacional De Ingeniería

Año: 2009

Resumen

En el presente trabajo se implementó la tecnología RAOS Remoción de Arsénico por Oxidación Solar resultados comparados con los obtenidos mediante irradiación con luz ultravioleta de una lámpara. Para concentraciones de arsénico de hasta de 200 ppb y una relación de $FE2+$ / citrato de 20:11, el arsénico pudo ser removido hasta en 95% después de una irradiación solar de 4 horas.

Se han realizado estudios de remoción en el departamento de Tacna en el sur del Perú. En este lugar, el agua es traída del subsuelo, realizando 2 años un estudio sistemático de la calidad de agua de subsuelo en el distrito de Sama Las Yaras, obteniendo una remoción por radiación solar de más de 99%.

Conclusiones

- a. En este trabajo se comprobó que el método utilizado para la remoción de arsénico con alambres de hierro y gotas de jugo de limón obtuvo una remoción de más de 99.4 % de arsénico por lo que se comprobó su efectividad.
- b. Se comprobó que el método RAOS para descontaminar las aguas Sama Las Yaras es afectiva siempre y cuando se realice la modificación de la tecnología para ser adaptada a cada realidad geográfica ambiental.
- c. Con la adición en las botellas de 3 gotas de jugo de limón más hierro, debido a la ausencia de este en su estado natural en la fuente, se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de arsénico llegando al 99%.

Autor: Pedro Ivar Bohórquez Aliaga

Título: “ESTUDIO DE LA FUENTE SACAY PARA CONSUMO DE AGUA POTABLE EN LAS LOCALIDADES DE LA REAL, COCHATE Y EL MONTE, DISTRITO DE APLAO, PROVINCIA DE CASTILLA”



Institución: Universidad Nacional San Agustín, Facultad de Ingeniería Civil

Año: 2018

Resumen

El presente trabajo de investigación como las diferentes que se ira mencionando, tiene por objetivo principal mejorar la calidad de vida en este caso de la población de “La Real, Cochate y El Monte” mediante una evaluación de problemas de calidad para posterior solución de la fuente de agua potable denominada manantial Sacay, la que actualmente no cumple con los parámetros exigidos en el reglamento de calidad de agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA, en cuanto al contenido de arsénico.

Así mismo se hace una evaluación de diferentes coagulantes y se determina la eficiencia y cantidad optima de cada uno en remoción de arsénico y finalmente propone una planta de tratamiento de agua potable (PTAP).

Conclusiones

- a. Mediante la evaluación se concreta que la cantidad de arsénico en el manantial de Sacay es de 0.013ml/lit, que excede el límite máximo permisible del reglamento de la calidad de agua para el consumo humano DS N° 031-2010-SA (0.010ml/lit). Por lo que su remoción debe realizarse mediante la implementación de una PTAP.
- b. Se utilizó diversos coagulantes como sulfato de aluminio tipo B, sulfato de aluminio tipo A, cloruro férrico, policloruro de aluminio y coagulante orgánico. Resultando el más eficiente en sulfato de aluminio tipo A para la remoción de arsénico y turbidez con concentración de 1% y en una dosis de 30 ppm, la cual presentó una remoción de 38.40% obteniendo un valor de 0.00801 ml/lit de arsénico que cumple con la norma, debe resaltarse el proceso no alteró el pH del agua.

Autor: Carmen Rosa Escarcena Flores

Título: “REMOCIÓN DEL ARSÉNICO DE LAS AGUAS MUNICIPALES Y POZOS DOMÉSTICOS EN A CIUDAD DE JULIACA POR PRECIPITACIÓN ALCALINA”

Institución: Universidad Nacional del Altiplano

Año: 2018

Resumen

el presente trabajo de investigación desarrolló un método que consistió en el proceso de precipitación alcalina (coagulación. Floculación), se utilizó como coagulante el sulfato de aluminio y como floculante el hidróxido de calcio. Las aguas municipales tienen presencia de arsénico 0.053ml/lit y aguas de pozo presencia de Arsénico 0.058ml/lit, ambas en la ciudad de

Juliaca. Se demostró que el mejor agente precipitante para la recuperación del Arsénico fue el hidróxido de calcio. También se pudo demostrar que el tratamiento de remoción de Arsénico por el método de remoción alcalina es eficiente ya que se obtuvo remociones de 78.3% y 77.29% respectivamente cumpliendo así la normativa en cuanto a límites máximos permisibles para arsénico que es de 0.01ml/lit.

Los parámetros físico químicos evaluados en el proceso de recuperación de Arsénico por el método de precipitación alcalina son la velocidad de 150 rpm en un tiempo de 20 minutos para mezcla rápida y un PH de 3.5, siendo este el factor más importante al tiempo de cambio para aguas de pozo y este factor fue 3.5 utilizando hidróxido de calcio como coagulante.

Conclusiones

- a. Se puede concluir que el mejor agente precipitante para la recuperación de arsénico fue el hidróxido de calcio, por la cantidad de iones que tiene dentro de su molécula y cuya agitación debe mantenerse en continuo movimiento para tener suspensión homogénea.
- b. Se demostró que el mejor tratamiento para la remoción de arsénico es el método de precipitación alcalina porque disminuye la contaminación de aguas municipales, luego del proceso de precipitación se obtuvo la concentración promedio de arsénico en el agua municipal es de 0.0115ml/lit con un 78.3% y de aguas de pozo es de 0.0134ml/lit con un 77.29% de recuperación.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

Autor: Juan Luis Paredes Ramírez

Título: “REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO MEDIANTE DIFERENTES MATERIALES DE ABSORCIÓN”

Institución: Universidad Nacional Autónoma de México.

Año: 2012

Resumen

El objetivo esta investigación consistió en la procura de remoción de arsénico a través de diferentes medios absorbentes en laboratorio de modo tal que cumpla los requerimientos que impone la Norma Oficial Mexicana. Se utilizó dos tipos de agua: sintética y natural, para la sintética, se preparó una solución con una concentración de arsénico de 0.2ml/lit y para el agua natural se recolecto muestras de la fuente Huauatla Moreles. Se emplearon tres tipos de absorbentes (DOW, GOETHITA y PECTINA DE MARACUYA).



Después del proceso se pudo observar que el mejor absorbente para ambos tipos de muestra fue la Goethita dado que en 20 minutos alcanza una remoción de 99% y con ello logramos que cumpla con los límites máximos permisibles que marca la norma NOM- 127-SSA1-1994.

Conclusiones

- a. Se puede concluir que al utilizar los tres absorbentes, se obtuvo con la goethita 0.015mg/lit, con el DOW 0.015mg/lit y con la Pectina de Maracuyá 0.02mg/lit de remoción de arsénico, resultando que el adsorbente óxido-hidróxido de hierro (Goethita) una mayor velocidad de absorción, cumpliendo así con los LMP que marca la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 de 0.025mg/lit.

Autor: Franco M. Francisca y Magaly Evelin Carro Pérez

Título: “PROCESO DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA MEDIANTE PROCESOS DE GOAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN”

Institución: Universidad Nacional de Córdoba

Año: 2014

Resumen

En este trabajo de investigación se realizaron procesos de coagulación- floculación a nivel de laboratorio con el objetivo principal de evaluar la eficiencia en remoción de arsénico en aguas de consumo. En los ensayos realizados se varió la dosis de coagulantes partículas sólidas y la concentración de arsénico realizando con estas más de 100 experimentos con lo que se obtuvo porcentajes de remoción de arsénico que varían de 0 a 95 %.

Se utilizó como coagulantes cloruro férrico y sulfato de aluminio con los que se obtuvo una remoción de 95% y 80% respectivamente, se determinó con esto que la variable principal que controlan la remoción de arsénico será la dosis de coagulante y que deberá contralarse el pH.

Conclusiones

- a. Del estudio se determina que el arsénico en estado oxidado tiene mayor respuesta a los ensayos de coagulación floculación. Y con ello se puede concluir que se alcanza mejores remociones a menor concentración inicial de arsénico en la solución.
- b. Se obtuvo porcentajes de remoción de 80% con sulfato de aluminio 50mg/L y 95% con cloruro férrico 50mg/L para concentraciones iniciales de arsénico de 0.5 ml/lit.
- c. Se puede concluir también que para concentraciones iniciales de arsénico similares se obtiene mayor porcentaje de remoción utilizando cloruro férrico como coagulante que al usar sulfato de aluminio.



Autor: Freddy Alexander Carranza Estrada

Título: “EVALUACIÓN DE DOS TECNOLOGÍAS ARTESANALES PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y ARSÉNICO EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO”

Institución: Universidad de El Salvador

Año: 2015

Resumen

En este trabajo de investigación se analizaron dos diferentes tecnologías artesanales para remoción de plomo y arsénico en agua para consumo humano: estos fueron remoción de Arsénico por oxidación Solar (RAOS) y la unidad de tratamiento con dos cubetas, ambos métodos se basaron en la propiedad coaguladora que tiene el hidróxido de hierro III, el cual retiene las partículas del arsénico y plomo presentes en el agua de estudio gracias a su propiedad de absorción, como coagulante se utilizó clavos de hierro de una pulgada, los que pusieron en contacto con 100ml de agua destilada a diferentes periodos de tiempo obteniendo así la sustancia coaguladora.

Los resultados obtenidos en la remoción de arsénico fueron: por el método RAOS 81.5% y para la unidad de tratamiento con dos cubetas 83.5%.

Según lo establecido en la norma salvadoreña obligatoria para el agua potable NSO 13.07.01:08. no se logró cumplir con dicha normativa para el arsénico no así para el plomo.

Conclusiones

- a. El porcentaje de remoción de arsénico obtenido por el método RAOS fue del 81.5 % (0.185 ppm de arsénico) y por la unidad de tratamiento con dos cubetas fue de 83.5% (0.165 ppm de arsénico), en ambos casos la cantidad de arsénico no cumple con la norma salvadoreña NSO 13.07.01:08. Que marco un LMP de 0.01 ppm de arsénico en agua de consumo humano.
- b. Según el tratamiento de datos estadístico no existen diferencias significativas en los resultados que se obtuvieron por el método RAOS y la unidad de tratamiento por dos cubetas.
- c. Se concluye que ambos procesos serán más eficientes a la hora de remover plomo que al remover arsénico en agua de consumo humano.

2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1. Agua

Elemento fundamental para la supervivencia de todas las especies vivas. Este elemento lo encontramos en la naturaleza en forma líquida, sólida o gaseosa, está compuesta por dos átomos de oxígeno más uno de hidrogeno.

Entre sus muchas propiedades, el agua es considerada el disolvente universal.

“El agua es el elemento más frecuente en la tierra, aunque solo el 2.53% es agua dulce y las dos terceras partes de esta agua se encuentran inmobilizadas en glaciares o como nieves perpetuas” (UNESCO, 2004, p. 05).

2.2.2. Calidad de agua

El agua es esencial para la vida, esta deberá ser adecuada para el uso y consumo humano; por lo que no deberá presentar ningún riesgo de enfermedades para los consumidores. La mejora del agua potable proporciona beneficios tangibles para la salud, es por eso que debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que el agua de consumo humano sea la mejor posible. (OMS, 2006)

La calidad del agua deberá especificarse según al uso que se le dará, lo que significa que el agua estará contaminada si sus características afectan el uso real o potencial que se le dará. Para ellos se hará una evaluación analítica para cada caso, los resultados de estos análisis deberán manejarse estadísticamente para darles mayor validez dado que esto nos mostrar relaciones físicas y químicas entre el agua y las probables fuentes de contaminación

La calidad de agua está definida por un conjunto de características fisicoquímicas y biológicas, su origen, importancia en la salud, procesos de tratamiento, y límites máximos permitidos, establecidos por organismos mundiales encargados en la calidad de agua para consumo humano que a continuación se detalla. (OMS, 2006)

2.2.2.1. Características físicas

“Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua” (CEPIS/OPS, 2004, pág. 5).

Se consideran importantes los siguientes:

- | | |
|---|--------------------------------|
| — | turbiedad; |
| — | sólidos solubles e insolubles; |
| — | color; |
| — | olor y sabor; |
| — | temperatura, y |

FIGURA 2 Características del agua

FUENTE: (CEPIS/OPS, 2004)

2.2.2.1.1. Turbidez

Está originada por aquellas partículas que reducen la transparencia del agua, están pueden ser arcillas, limos, etc. Estas partículas o coloides estarán suspendidas en el medio acuoso

debido a su tamaño. La medición de la turbidez se realiza con un Turbidímetro, la medición estará dada en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).

La remoción de turbidez es un proceso de fácil realización, no obstante, es uno de los procesos de más costo dentro de una planta de tratamiento porque requiere del uso de coagulantes generalmente químicos, así como estabilizadores de PH, la remoción de turbidez estará en función al tipo, tamaño y comportamiento de las partículas existentes lo que influirá directamente en el tipo de sustancia coagulante a usar. Si bien la turbidez en el agua de consumo no afecta de manera significativa en la salud, está afecta la estética del agua generando rechazo frente al consumidor. Los diferentes organismos que regulan los estándares de calidad de agua como, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establecen que ningún caso la turbidez deberá exceder 5 UNT. En la figura 03 se muestra la distribución de partículas en el agua según su tamaño (CEPIS/OPS , 2004).

Según (CEPIS/OPS , 2004, pág. 8) “las partículas pueden ser”:

- ☛ **Disueltas** (Hasta un milimicrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbidez, pero sí podrían definir su color u olor.
- ☛ **Formando sistemas coloidales** (1 a 1.000 milimicrómetros), que son las causantes de la turbidez neta del agua.
- ☛ **En forma de partículas suspendidas** (por encima de 1.000 milimicrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo.

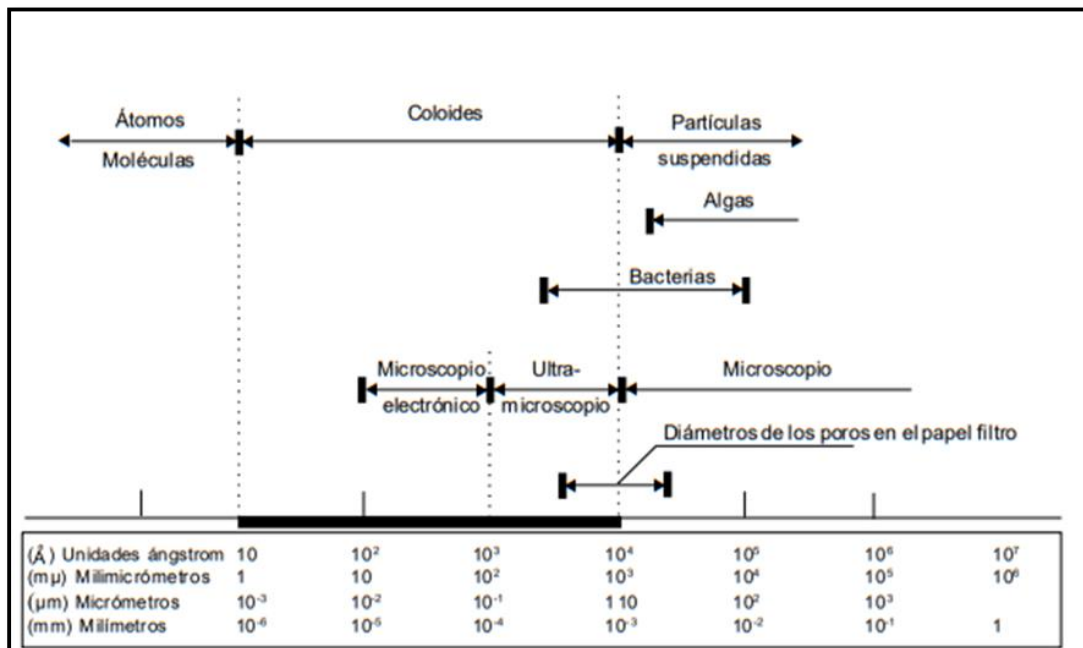


FIGURA 3: Distribución de tamaños de partículas en el agua
FUENTE: (CEPIS/OPS , 2004)

2.2.2.1.2. Sólidos y residuos

“Son aquellos que podrán encontrarse suspendidos o disueltos, será la materia sobrante luego de evaporar y secar una muestra de agua a determinada temperatura” (CEPIS/OPS , 2004).

2.2.2.1.3. Color

El color puede estar relacionado a la turbidez como puede ser independiente a ella, esta característica del agua se da debido a presencia de diferentes agentes como taninos, lignina, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, entre otros. Existen también otros agentes responsables de color natural del agua como la descomposición de materia, materia orgánica en el suelo y presencia de metales y otros compuestos metálicos, otros factores que influyen en el color del agua serán el pH y la temperatura. Existen diferentes métodos de remoción del color del agua el más empleado es el de coagulación mediante compuestos químicos como el sulfato de aluminio y cloruro férrico. El valor impuesto por la OMS en de 15 unidades de color (UC) para agua de bebida (CEPIS/OPS , 2004).

2.2.2.1.4. Olor y sabor

Ambos parámetros están relacionados y los más importantes al momento de consumir el agua. El olor en el agua será indicio directo de la presencia o ausencia de sustancias contaminantes. Tanto el olor como el sabor en agua están relacionadas a los compuestos orgánicos que derivan de actividad de microorganismos, algas o desechos industriales. La eliminación del olor podrá darse mediante la aireación o adición de carbón activado, la OMS recomienda que las fuentes agua deberán estar razonablemente libres de olor y sabor a un nivel aceptable. En el cuadro se muestra los olores característicos del agua y su origen (CEPIS/OPS , 2004).

Naturaleza	Origen
Olor balsámico	Flores
Dulzor	<i>Coelosphaerium</i>
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor medicamentoso	Fenol, yodoformo
Olor a azufre	Ácido sulfhídrico, H ₂ S
Olor a pescado	Pescado, mariscos
Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas húmedas
Olor fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a moho	Cueva húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

FIGURA 4: Olores característicos de agua y su origen
FUENTE (CEPIS/OPS , 2004).

2.2.2.1.5. Temperatura

La temperatura influye en la aceleración o retardo de actividad biológica, absorción de oxígeno, precipitación de compuestos, formación de depósitos, desinfección, los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Los factores ambientales serán los principales responsables de la alteración de la temperatura en el agua (CEPIS/OPS , 2004).

2.2.2.2. Características químicas

2.2.2.2.1. PH

El pH es una característica que tiene efectos directos sobre la salud, no obstante, influye en los procesos de tratamiento de agua, así mismo el pH incide en fenómenos como son la corrosión e incrustaciones en redes de distribución. El pH es un parámetro que se puede ajustar mediante la adición de distintas sustancias como la cal, para optimizar los procesos de coagulación. Las guías establecen que el pH en agua potable deberá estar en un rango de 6.5 a 8.5 para agua potable (CEPIS/OPS , 2004).

“El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor” (CEPIS/OPS , 2004, pág. 13).

Parámetros		Regulaciones Internas Primarias	Guías de Calidad para el Agua de Bebida del Canadá-1978 (2)	Guidelines for Drinking-Water Quality OMS, 1996 (3)
Unidades		Nivel máximo del contaminante	Concentración máxima aceptable	Valor guía
Físicos				
Color	TCU	—	15	15
Sabor y olor		Aceptable	—	Aceptable
Turbiedad	UNT	5 ^a	5	5 ^b
Inorgánicos				
Aluminio	mg/L	—	—	0,2
Amonio	mg/L	—	—	1,5
Antimonio	mg/L	0,006	—	0,005 ^(p)
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,01 ^c
Bario	mg/L	2,0	1,0	0,7
Boro	mg/L	—	5,0	0,3
Cadmio	mg/L	0,005	0,005	0,003
Cianuro	mg/L	0,2	0,2	0,07
Cinc	mg/L	—	5,0	3
Cloro	mg/L	—	—	5 ^d
Cloruro	mg/L	—	250	250
Cobre	mg/L	1,3 ^m	1,0	2 ^d
Cromo (total)	mg/L	0,1	0,05	0,05 ^(p)
Fluoruro	mg/L	4	1,5	1,5
Hierro	mg/L	—	0,3	0,3
Manganeso	mg/L	—	0,05	0,5 ^(p)
Mercurio	mg/L	0,002	0,001	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10	10 ^r	50 ^j
Nitrito (como N)	mg/L	1	1,0 ^r	3 ^j
pH	—	—	6,5 – 8,5	—
Plata	mg/L	—	0,05	0 ⁱ
Plomo	mg/L	0,015 ^m	0,05	0,01
Selenio	mg/L	0,05	0,01	0,01
Sulfato	mg/L	—	500	250
Sulfuros (H ₂ S)	mg/L	—	0,05	0,05 ^o
Sólidos disueltos	mg/L	—	500	1.000

FIGURA 5: Criterios de calidad para agua potable.
FUENTE: (CEPIS/OPS , 2004).

Parámetros		Regulaciones Internas Primarias EPA (2000)	Guías de Calidad para el Agua de Bebida del Canadá-1978 (2)	Guidelines for Drinking-Water Quality OMS, 1996 (3)
Orgánicos	Unidades µg/L	Nivel máximo permitido	Concentración máxima aceptable	Valor guía
Aldrin + dieldrin	µg/L		0,7	0,03
Benceno	µg/L	5	—	10 ^c
Carbofurano	µg/L	40	—	5
Clordano	µg/L	2	7	0,2
Clorobenceno	µg/L	100	—	—
Cloroformo	µg/L	—	100	200 ^c
DDT	µg/L	—	30	2
Dioxina	µg/L	0,00003	—	—
Endrin	µg/L	2	0,2	—
Fenoles	µg/L	—	2	—
Heptacloro + heptaclor-epóxido	µg/L	0,6	3	0,03
Lindano	µg/L	0,2	4	2
Metoxyclo	µg/L	40	100	20
Monocloramina	µg/L	—	—	3.000
Parathión	µg/L	—	35	—
PCB	µg/L	0,5	—	—
Plaguicidas (total)	µg/L	—	100 ^b	—
Tetracloruro de carbono	µg/L	5	—	2
Tolueno	µg/L	1.000	—	700 ^d
Toxafeno	µg/L	3	5	—
2,4-D	µg/L	70	100	30
2,4,5-TP	µg/L	50	10	9
Trihalometanos	µg/L	100	350	—

FIGURA 6: Criterios de calidad para agua potable
FUENTE: (CEPIS/OPS, 2004)

“Cada país tiene un ente regulador del agua destinada al consumo humano; los que marcan que el agua no debe contener ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia en cantidad que represente peligro para la salud humana” (ANDA, 2015, p.1).

En el Perú esta responsabilidad recae en el Ministerio de Salud ente que regula la calidad de agua para consumo humano y de los afluentes.

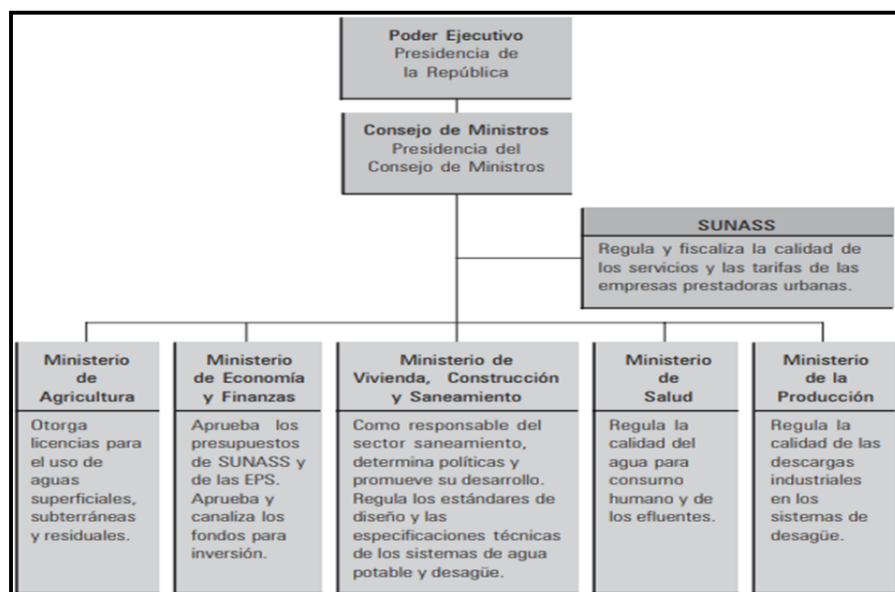


FIGURA 7: Organismos Involucrados en el Sector Saneamiento.
FUENTE: (SUNASS, 2004).

2.2.2.3. Normas nacionales sobre calidad de Agua

Se tiene 4 normas que se apoyan en bases tales como la constitución política del Perú, la ley general de salud, el Código del medio Ambiente y los Recursos Naturales y la ley Marco para el crecimiento de la inversión privada.

La constitución política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. La Ley General de Salud concierta que la condición indispensable para el desarrollo humano y el medio fundamental para alcanzar el bienestar colectivo es la salud. El Código del Medio Ambiente y Recursos Naturales establece que el estado es el gran vigía encargado de mantener la calidad de vida de las personas en un nivel compatible con la dignidad humana.

Las normas referidas estrictamente a la calidad del agua potable, el Perú cuenta con una norma vigente, el Reglamento de los Requisitos Físico, Químicos y Bacteriológicos que deben cumplir las aguas de bebida para ser consideradas potables, que se promulgó mediante una Resolución Suprema el 17 de diciembre del 1946.

En el reglamento se marca el aspecto físico químico en el que hace énfasis en cuatro elementos como son el plomo, flúor, arsénico y selenio que no deberán exceder los límites indicados para estos.

2.2.3. Agua potable

Es aquella agua óptima para el consumo por lo tanto inocua para la salud que hubiera sido sometida a procesos físicos, químicos y/o biológicos para con ello cumplir los requisitos de calidad exigidos por el reglamento de la calidad del agua para consumo humano. Deberá estar libre de: Bacterias coliformes totales, termo tolerantes y Escherichia coli, Virus, Huevos y larvas de helmintos, quistes y oquistes de protozoarios patógenos, organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos y nemátodos en todos sus estadios evolutivos; y para el caso de Bacterias Heterotróficas menos de 500 UFC/ml a 35° (MINSa, 2011).

El tratamiento de agua se hará con el fin de eliminar sustancias y/o especies que la hacen inaceptable y con ello hacerla apta para el uso y consumo humano.

La (OMS, 2006) “dice sobre agua potable que es toda aquella usada para fines domésticos y de higiene personal que cumple con las características fisicoquímicas, microbianas establecidas en este mismo”.

2.2.3.1. Estándares de calidad ambiental para el agua – decreto supremo N°- 004-2017-MINAN.

ARTÍCULO 31 del Estándar de Calidad Ambiental

31.1 El estándar de calidad Ambiental – ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire agua o suelo, en condiciones de cuerpo receptor que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente.

31.2 El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas. Es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental

ARTÍCULO 32 del Límite Máximo Permisible

32.1 El Límite Máximo Permisible – LMP es la medida de la concentración o al grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un afluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud al bienestar humano y al ambiente.

32.2 El LMP guarda coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generales que se establecen en los ECA.

ARTÍCULO 33 de la elaboración del ECA y LMP

33.1 La Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y LMP, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga, las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo.

33.2 La Autoridad Ambiental Nacional en el proceso de elaboración de los ECA y LMP y otros estándares o parámetros para el control y la protección ambiental, debe tomar en cuenta lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) o de las entidades de nivel internacional especializadas en cada uno de los temas ambientales.

DECRETA:

ARTICULO 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua. Apruébese los Estándares de la Calidad Ambiental (ECA) para agua, que como anexo forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

ARTÍCULO 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua. Para la aplicación de los ECA para agua se debe considerar las siguientes.

Categoría	Descripción	Subcategoría	Descripción
Categoría 1-A	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	A1	Agua que puede ser potabilizada con desinfección
		A2	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento convencional
		A3	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento avanzado
Categoría 1-B	Aguas superficiales destinadas a recreación	B1	Contacto primario
		B2	Contacto secundario
Categoría 2: Actividades de extracción y cultivo marino costeras y continentales	Agua de mar	C1	Extracción y cultivo de moluscos bivalvos
		C2	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas
		C3	Otras actividades
	Agua continental	C4	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	Parámetros para riego de vegetales	D1	Riego de cultivos de tallo alto y bajo
	Parámetros para bebida de animales	D2	Bebida de animales
Categoría 4	Conservación del Ambiente Acuático	E1	Lagunas y lagos
		E2: Ríos	Ríos de costa y sierra
			Ríos de selva
		E3: Ecosistemas marino costeras	Estuarios
			Marinos

FIGURA 8: Categorías determinadas en relación al uso que se le va a dar al cuerpo natural de agua.

FUENTE : (NINAM, 2017).

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antropogénico	Ausencia de material flotante de origen antropogénico	Ausencia de material flotante de origen antropogénico
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	\geq 6	\geq 5	\geq 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

FIGURA 9: Categoría 1: Poblacional y Recreacional. Subcategoría A: Aguas Superficiales Destinadas a la Producción de Agua Potable. FUENTE (NINAM, 2017).

Parámetro	Categoría 1		Sustento
	Antes (2008)	Ahora (2015)	
Arsénico	A1: 0,01	A1: 0,01	No se ha modificado el ECA, considerando el valor recomendado por la OMS versión 2011.
	A2: 0,01	A2: 0,01	No se ha modificado el ECA, considerando el valor recomendado por la OMS versión 2011.
	A3: 0,05	A3: 0,15	La modificación se ha efectuado sólo en esta subcategoría para permitir que más cuerpos de agua puedan ser sometidos a un tratamiento avanzado para ser utilizados para abastecimiento de agua poblacional. Se ha modificado el ECA considerando que esta subcategoría se refiere a aguas destinadas a un tratamiento avanzado, por ello se adoptó el valor normado por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. National Recommended Water Quality Criteria, año 2009.

FIGURA 10: Parámetros para metales pesados. FUENTE : (NINAM, 2017).

3.1 Precisiones sobre sus categorías:

- Categoría 1 Poblacional y Recreacional

A) **Subcategoría A:** Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable. Entiéndase como aquellas aguas que previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano”

A1. Aguas que puedan ser potabilizadas con desinfección.

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección de conformidad con la normativa vigente.

A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, Floculación, Decantación, Sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, en conformidad con la normativa vigente.

A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, Carbón Activado, Osmosis Inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector equivalente.

ARTÍCULO 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua. La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendido a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.1 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determina de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

2.2.4. Control de calidad de agua potable

El control de calidad del agua potable debe entenderse como un conjunto de actividades que incluye la planificación, programación y coordinación con los diversos sectores, con el objetivo de obtener agua potable de buena calidad y mantenerla en esas condiciones, de modo que su consumo no represente riesgo para la salud, dentro de los límites de la norma vigente. Se puede visualizar un resumen de los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable en la siguiente figura.

Tipo de control	Parámetro	Requisito de calidad	Norma/guía	Toma de muestras ^a
Desinfección	Cloro residual libre	80% de las muestras de la red deben contener >0,5 mg/L 20% de las muestras de la red pueden contener como mínimo 0,3 mg/L	Directiva sobre desinfección del agua R. S. N.º 190-97-SUNASS	- En la red de distribución - A la salida de los reservorios - A la salida de las plantas de tratamiento - A la salida de fuentes subterráneas
Bacteriológico	Coliformes totales Coliformes termotolerantes	95% de las muestras de la red deben estar sin coliformes totales 100% de las muestras de la red deben estar sin coliformes termotolerantes	Norma nacional / Guía OMS	- En la red de distribución - A la salida de los reservorios - A la salida de las plantas de tratamiento - A la salida de fuentes subterráneas
Físico	Turbiedad pH Conductividad	< 5 UNT 6,5 - 8,5 < 1.500 µS/cm	Norma nacional / Guía OMS y directiva sobre control de calidad del agua R.S. N.º 1121-99-SUNASS	- En la red de distribución - A la salida de los reservorios - A la salida de las plantas de tratamiento - A la salida de fuentes subterráneas
Químico	Afectan aceptabilidad Afectan la salud	Valores máximos permisibles referenciales * Valores máximos permisibles referenciales *	Norma nacional / Guía OMS y directiva sobre control de calidad del agua R. S. N.º 1121-99-SUNASS	- En la red de distribución - A la salida de los reservorios - A la salida de las plantas de tratamiento - A la salida de fuentes subterráneas

FIGURA 11: Guía Para el Control de Calidad del Agua Potable.
FUENTE: (SUNASS, 2004).

a. Inspecciones sanitarias

Las inspecciones sanitarias en las fuentes de agua y en el sistema de agua potable tienen por finalidad detectar posibles factores o circunstancias que ocasionen la pérdida de la calidad del agua potable, contingencias imposibles de determinar en los análisis rutinarios. Al inspeccionar, se observa en qué condiciones físicas están las instalaciones de los sistemas de producción, almacenamiento y distribución del agua potable, principalmente las partes más vulnerables, vinculadas a la conservación de la calidad. La finalidad es identificar las deficiencias estructurales u operativas en el sistema de abastecimiento.

b. Control del cloro residual

El control de cloro residual debe realizarse a la salida de las plantas de tratamiento, fuentes subterráneas y reservorios, y en el sistema de distribución, en el cual cada EPS establece zonas de abastecimiento o sectores, programa el número de muestras y la frecuencia del control que se debe realizar, de conformidad con lo dispuesto en la directiva 190-97-SUNASS: una muestra diaria en zonas de abastecimiento con población menor de

20.000 habitantes y en las zonas en las que la población exceda esta cifra, una muestra diaria por cada 20.000 habitantes. esta cifra, una muestra diaria por cada 20.000 habitantes.

c. Control de la calidad bacteriológica del agua potable

El control de la calidad bacteriológica se debe realizar a la salida de las plantas de tratamiento, fuentes subterráneas y reservorios, así como en las redes de distribución. Su finalidad es garantizar a la población que el agua potable que se está suministrando se encuentra libre de bacterias. El número y frecuencia de muestreo deben ser proporcionales a la complejidad del sistema y a la población atendida. En las figuras 14 y 15 se indica la frecuencia mínima para cada caso. (SUNASS, 2004, pág. 59)

Parámetro	Capacidad de producción ^a		En fuentes subterráneas	En plantas de tratamiento	En reservorios
	L/s	m ³			
Coliformes totales	Hasta 50	< 500	Trimestral	Mensual	Mensual
Coliformes termotolerantes	50-100	500-2.000	Trimestral	Quincenal	Mensual
Bacterias heterotróficas ^b	101-400	2.001-4.000	Trimestral	Semanal	Mensual
	401-1.000	> 4.000		Dos veces por semana	Mensual
	> 1.000			Diario	

FIGURA 12: Frecuencia de muestreo para el control bacteriológico en plantas, fuentes y reservorios.

FUENTE : (SUNASS, 2004).

Parámetro	Población servida ^a (habitantes)	Frecuencia de muestreo	Muestras por año
Coliformes totales	Hasta 5.000	Mensual	12
Coliformes termotolerantes	5.001-20.000	Quincenal	26
Bacterias heterotróficas ^b	20.001-500.000 (por cada 20.000 hab.)	Quincenal	26-650
	500.001-6.500.000 (por cada 20.000 hab.)	Quincenal	650-8.450

FIGURA 13: Frecuencia de muestreo para el control bacteriológico en la red de distribución.

FUENTE : (SUNASS, 2004).

d. Control de calidad físico química del agua potable

El control de la calidad física y química del agua potable se realiza en todo en el sistema de abastecimiento; es decir, a la salida de las plantas de tratamiento, fuentes subterráneas, reservorios y redes de distribución. Para ello, las EPS establecerán un programa de acuerdo con las características de su sistema de abastecimiento y el nivel de control establecido por la SUNASS. Asimismo, el número de muestras dependerá del tipo de fuente y del volumen de producción. La frecuencia mínima de muestreo para el control a la salida de plantas, fuentes superficiales, reservorios y redes se indica en las imágenes 16 y 17 respectivamente. (SUNASS, 2004, pág. 61)

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que serán de origen natural o antrópico, marca la composición físico química y bacteriológicas tanto en aguas subterráneas como superficiales, debido a la presencia de estos contaminantes es fundamental conocer estas características en la fuente de agua cruda, para darle el tratamiento adecuado antes de su consumo.

Parámetro	Producción (L/s) o almacenamiento (m³) ^a		En fuentes subterráneas	En plantas de tratamiento	En reservorios
	L/s	m³			
pH	Hasta 50	< 500	Trimestral	Mensual	Mensual
Turbiedad	50-100	500 – 2.000	Trimestral	Quincenal	Mensual
Conductividad ^b	101-1.000	2.001– 4.000	Trimestral	Semanal	Mensual
	>1.000	> 4.000		Diario	Mensual
Color	Hasta 50	< 500	Anual	Trimestral	Mensual
Nitratos	50-100	500-2.000	Anual	Mensual	Mensual
Hierro	101-1.000	2.001-4.000	Anual	Mensual	Mensual
Manganeso	>1.000	> 4.000	Anual	Mensual	Mensual
Aluminio					
Dureza total					
Cloruros					
Sulfatos					
Plomo					
Arsénico					
Mercurio					
Cadmio					
Cromo total					

FIGURA14: Frecuencia de muestreo para el control físico químico en plantas, fuentes y reservorios.
FUENTE : (SUNASS, 2004).

Parámetro	Población servida ^a (habitantes)	Frecuencia de muestreo	Muestras por año (por cada 20.000 hab.)
pH Turbiedad Conductividad	Hasta 5.000	Mensual	12
	5.001-30.000	Quincenal	30
	30.001-500.000 (por cada 20.000 hab.)	Quincenal	30-650
	500.001-6.500.000 (por cada 20.000 hab.)	Quincenal	650-8.450
Nitratos Hierro Manganeso Aluminio Dureza total Cloruros Sulfatos	Hasta 5.000	Semestral	2
	5.001-20.000	Semestral	2-10
	20.001-500.000 (por cada 20.000 hab.)	Semestral	10-50
	500.001-6.500.000 (por cada 20.000 hab.)	Anual	50-325
Plomo ^b Arsénico ^b Mercurio ^b	5.001-20.000	Anual	12
	20.001-500.000 (por cada 50.000 hab.)	Semestral	2-20
	500.001-6.500.000 (por cada 100.000 hab.)	Anual	20-130

FIGURA 15: Frecuencia de muestreo para el control físico químico en la red de distribución.

FUENTE : (SUNASS, 2004).

2.2.5. Reglamento de la calidad de agua para consumo humano – MINSA

El Reglamento DS N° 031-2010-SA. Establece las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, con la finalidad de garantizar su inocuidad, prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población. (MINSA, 2011, pág. 9)

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	N° org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	N° org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias
 (*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 / 100 ml

FIGURA 16: Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos parasitológicos.

FUENTE : (MINSA, 2011).

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁻ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoniaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

FIGURA 17: Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptico.

FUENTE: (MINSA, 2011).

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015
Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales (nota 3)		1,00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL ⁻¹	0,01
3. Aceites y grasas	mgL ⁻¹	0,5
4. Alacloro	mgL ⁻¹	0,020
5. Aldicarb	mgL ⁻¹	0,010
6. Aldrín y dieldrín	mgL ⁻¹	0,00003
7. Benceno	mgL ⁻¹	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,001
10. Endrín	mgL ⁻¹	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL ⁻¹	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL ⁻¹	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL ⁻¹	0,00003
14. Metoxicloro	mgL ⁻¹	0,020
15. Pentaclorofenol	mgL ⁻¹	0,009
16. 2,4-D	mgL ⁻¹	0,030
17. Acrilamida	mgL ⁻¹	0,0005
18. Epiclorhidrina	mgL ⁻¹	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mgL ⁻¹	0,0003
20. Benzopireno	mgL ⁻¹	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
22. Tetracloroetano	mgL ⁻¹	0,04

FIGURA 18: Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos.

FUENTE : (MINSA, 2011).

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
23. Monocloramina	mgL ⁻¹	3
24. Tricloroetano	mgL ⁻¹	0,07
25. Tetracloruro de carbono	mgL ⁻¹	0,004
26. Ftalato de di (2-etilhexilo)	mgL ⁻¹	0,008
27. 1,2- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	1
28. 1,4- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	0,3
29. 1,1- Dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
30. 1,2- Dicloroetano	mgL ⁻¹	0,05
31. Diclorometano	mgL ⁻¹	0,02
32. Ácido edético (EDTA)	mgL ⁻¹	0,6
33. Etilbenceno	mgL ⁻¹	0,3
34. Hexaclorobutadieno	mgL ⁻¹	0,0006
35. Acido Nitrilotriacético	mgL ⁻¹	0,2
36. Estireno	mgL ⁻¹	0,02
37. Tolueno	mgL ⁻¹	0,7
38. Xileno	mgL ⁻¹	0,5
39. Atrazina	mgL ⁻¹	0,002
40. Carbofurano	mgL ⁻¹	0,007
41. Clorotoluron	mgL ⁻¹	0,03
42. Cianazina	mgL ⁻¹	0,0006
43. 2,4- DB	mgL ⁻¹	0,09
44. 1,2- Dibromo-3- Cloropropano	mgL ⁻¹	0,001
45. 1,2- Dibromoetano	mgL ⁻¹	0,0004
46. 1,2- Dicloropropano (1,2- DCP)	mgL ⁻¹	0,04
47. 1,3- Dicloropropeno	mgL ⁻¹	0,02
48. Dicloroprop	mgL ⁻¹	0,1
49. Dimetato	mgL ⁻¹	0,006
50. Fenoprop	mgL ⁻¹	0,009
51. Isoproturon	mgL ⁻¹	0,009
52. MCPA	mgL ⁻¹	0,002
53. Mecoprop	mgL ⁻¹	0,01
54. Metolacoloro	mgL ⁻¹	0,01
55. Malinato	mgL ⁻¹	0,006
56. Pendimetalina	mgL ⁻¹	0,02
57. Simazina	mgL ⁻¹	0,002
58. 2,4,5- T	mgL ⁻¹	0,009
59. Terbutilazina	mgL ⁻¹	0,007
60. Trifluralina	mgL ⁻¹	0,02
61. Cloropirifos	mgL ⁻¹	0,03
62. Piriproxifeno	mgL ⁻¹	0,3
63. Microcistin-LR	mgL ⁻¹	0,001

FIGURA 19: Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos.

FUENTE : (MINSa, 2011).

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
64. Bromato	mgL ⁻¹	0,01
65. Bromodichlorometano	mgL ⁻¹	0,06
66. Bromoformo	mgL ⁻¹	0,1
67. Hidrato de cloral (tricloroacetaldehído)	mgL ⁻¹	0,01
68. Cloroformo	mgL ⁻¹	0,2
69. Cloruro de cianógeno (como CN)	mgL ⁻¹	0,07
70. Dibromoacetónitrilo	mgL ⁻¹	0,1
71. Dibromoclorometano	mgL ⁻¹	0,05
72. Dicloroacetato	mgL ⁻¹	0,02
73. Dicloroacetónitrilo	mgL ⁻¹	0,9
74. Formaldehído	mgL ⁻¹	0,02
75. Monocloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
76. Tricloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
77. 2,4,6- Triclorofenol	mgL ⁻¹	0,2

FIGURA 20: Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos.

FUENTE: (MINSa, 2011).

2.2.6. Ley de recursos hídricos ley N° 29338

En el título III, USOS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, teniendo como artículo 39 USO POBLACIONAL DEL AGUA. El uso poblacional consiste en la captación del agua de una fuente o red pública, debidamente tratada, con el fin de satisfacer las necesidades humanas básicas: preparación de alimentos y hábitos de aseo personal. Se ejerce mediante derechos de uso de agua otorgados por la Autoridad Nacional. (Congreso de la República Peruana, 2009)

2.2.7. Presencia de metales pesados en las fuentes de agua

La presencia de metales pesados en el agua se debe a la capacidad que tiene para disolver o dispersar la mayoría de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas con las que entra en contacto y forman iones complejos, coloides o partículas de diferente tamaño y peso.

“Los problemas más severos en salud pública global provienen por la contaminación de metales pesados y metaloides en fuentes de agua” (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, y González, 2016, pág. 66). Los metales pesados persisten en el tiempo, no pueden ser creados o degradados mediante procesos biológicos o antropogénicos. Al entrar en los sistemas acuáticos se transforman a través de procesos bioquímicos lo cual se distribuye en indistintamente con características físico químicas. Entre los principales metales pesados tenemos al plomo, mercurio, cadmio, cromo, y arsénico.

2.2.8. Arsénico

El arsénico (As) es un elemento de carácter metálico distribuido en la corteza de la Tierra. Su concentración natural en la superficie de la Tierra es de 1.5 a 2.0 mg/L, dependiendo de las condiciones ambientales se encuentra principalmente el arsénico inorgánico, existen dos condiciones, un oxidante arsénico (+5) arseniato y reductora (+3) arsenito, teniendo una distribución variada (Jones, 2007, pág. 2).

Se presenta en el agua de manera natural de forma trivalente o pentavalente, tanto en compuestos orgánicos como inorgánicos según el estado de oxidación y es tóxico para el hombre. En aguas subterráneas el arsénico puede encontrarse en ambos estados de oxidación dependiendo del ingreso del Arsénico al agua, en condiciones reductoras y biológicas.

2.2.8.1. Origen del Arsénico en el agua.

El origen del arsénico en el ambiente y en aguas superficiales o subterráneas que son aptas para consumo humano es debido a factores geológicos de origen natural y sin duda a

actividades antropogénicas como la minería y por último y no menos importante al uso de plaguicidas arsenicales orgánicos.

El rango de concentraciones de As que se encuentra en las aguas naturales es grande, desde menos de 0.5 mg/l hasta más de 5000 mg/l. Las concentraciones típicas en agua dulce son menos de 10 mg/l y frecuentemente menos de 1 mg/l. Raramente, se encuentran concentraciones mucho más altas, particularmente en las aguas subterráneas. (Smedley y Kinniburgh, 2002, pág. 517) “En el agua se encuentra el arsénico en sus formas trivalente y pentavalente esto de acuerdo a las condiciones del medio, así, en aguas superficiales lo encontramos en forma oxidada y en aguas subterráneas en formas reducida” (CEPIS/OPS, 2004).

2.2.8.2. Toxicidad del arsénico

El arsénico es muy tóxico y cancerígeno para el organismo del ser humano. Y no solo en concentraciones altas, donde la exposición causa efectos agudos que puede llegar a ser letales, sino también tiene efectos negativos crónicos para la salud a través de la ingesta de agua por largos periodos a bajas concentraciones. (Alarcon, Leal, Martín, Miranda y Benavides 2014, p.9)

Los efectos toxicológicos que produce el arsénico en el hombre son absorbidos a través de la vía digestiva, que ocasiona alteraciones en forma de cólicos, vómitos, diarreas, la vía respiratoria produce irritación en las vías respiratorias que puede ocasionar cáncer al pulmón y la vía cutánea efectos en la piel. (Marruecos, Morán, Martínez y Nogué 2011)

El alto contenido de arsénico en aguas subterráneas naturales es una gran amenaza para la salud a través del agua potable. Para el desarrollo sostenible del agua se necesita tener un enfoque en los problemas de movilización, metabolismo y mitigación. (Vahter, et al., 2003)

2.2.8.3. Tecnologías de remoción de arsénico

Para la remoción del arsénico en agua existen 14 tecnologías las cuales llegan de 70 hasta 99% de eficiencia. Las técnicas más utilizadas son coagulación – floculación y ablandamiento con cal, la eficiencia en cada tecnología depende de las características del agua a tratar. (Sandoval, 2000, p.3)

Según Castro de Esparza (2006) existen las siguientes tecnologías:

- Óxido reducción
- Separación sólido- líquido:
 - Ablandamiento con cal
 - Coagulación - Adsorción - filtración
 - Coagulación-Adsorción
 - Coagulación- Filtración
 - Con sales de hierro y aluminio
 - Presencia de hierro y manganeso
 - Hidróxido férrico granular
 - Hierro con filtración directa
 - Alúmina activada
 - Intercambio iónico
- Separación física
 - Electrodiálisis inversa
 - Osmosis inversa y nano filtración
- Procesos biológicos

FIGURA 21: Tecnologías de remoción de arsénico.

FUENTE: (Castro de Esparza, 2006).

La USEPA determinó siete tecnologías de remoción de arsénico como las mejores tecnologías disponibles (BATS iniciales en inglés), el porcentaje de remoción indicada son para arsenato y estas tecnologías relacionado con sus máximo remoción de arsénico se dan en la Tabla 3. (Wickramasinghe et al., 2004)

TABLA 1 Las mejores tecnologías disponibles (BATS) y su eficiencia de remoción de arsénico.

Tecnología de tratamiento	Remoción de arsénico, %
Intercambio Iónico	95
Alúmina Activada	95
Osmosis Inversa	> 95
Coagulación/Filtración Modificada	95
Ablandamiento con cal modificado (pH>10.5)	90
Electrodiálisis Inversa	85
Oxidación/Filtración (Hierro:Arseńico=20:1)	80

FUENTE: wickramasinghe et al, 2004).

2.2.8.3.1. Óxido reducción.

Este proceso tiene como objetivo oxidar el arsenito a arsenato para mejorar su remoción. Los elementos más utilizados son el cloro, dióxido de cloro, ozono y permanganato de potasio. El arsénico se puede oxidar al entrar en contacto directo con agentes químicos como el cloro gaseoso, el hipoclorito, ozono, permanganato, peróxido de hidrógeno, óxidos de manganeso y el reactivo de Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}). Teniendo al cloro como un oxidante rápido y efectivo, pero puede conducir a reacciones con la materia orgánica, produciendo trihalometanos tóxicos como subproductos. (Holl & Litter 2010, p.20)

2.2.8.3.2. Separación sólido líquido.

Técnica donde el arsénico puede pasar de una fase disuelta a una fase sólida mediante los métodos de precipitación, coprecipitación, absorción e intercambio iónico.

Precipitación: se transforma el arsénico disuelto en un sólido de baja solubilidad y puede ser removido por sedimentación y filtración.

Adsorción e intercambio iónico: La diversidad de elementos sólidos incluido los flóculos de hidróxido de hierro y aluminio pueden absorber el arsénico por medio de un mecanismo de adsorción de la superficie y de esta manera ser removidos del agua.

2.2.8.3.3. Ablandamiento con cal

Es una técnica que consiste en transformar la piedra caliza con agua y ácido carbónico formando carbonato de calcio; donde el arsénico es adsorbido por este compuesto, y continúa por coagulación. Esta técnica es empleada para reducir altas concentraciones de arsénico en aguas muy duras. Una de las desventajas de esta técnica que tengan pH muy alto (10-12) y se necesita dosis muy altas de coagulantes, igual es muy difícil reducir el arsénico hasta llegar por debajo de 1mg/L necesitando un tratamiento (Holl y Litter 2010, p23)

“La remoción con ablandamiento con cal en pH de 10.6 – 11.4 llega al 95% con una concentración inicial de 12mg/L de arsénico” (Kirchmer y Esparza, 1978)

2.2.8.3.4. Coagulación filtración adsorción

Para tratar el agua es necesario saber sus características y si podemos aplicar la coagulación combinando con filtración y con absorción estudiando sus condiciones.

2.2.8.3.5. Coagulación filtración

El arsénico con valencia 5 puede ser removido por coagulación teniendo como coagulantes al sulfato de aluminio o hierro, las aguas que contienen gran cantidad de coloides necesitan altas dosis de coagulantes para poder removerse (Castro, 2006, p. 4).

TABLA 2 Tabla Eficiencia de coagulantes en la remoción de arsénico.

Coagulante	arsenato, As ⁺⁵		arsenito As ⁺³	
	remoción (%)	pH	remoción (%)	pH
sulfato férrico Fe ₂ (SO ₄) ₃	100	< 9.0	20	< 9.0
sulfato de aluminio Al ₂ (SO ₄) ₃	90	< 7.0	50	< 7.0

FUENTE: (Remoción del arsénico en el agua de bebida y biorremediación de suelos, 2006).

La remoción por procesos de coagulación depende de la concentración inicial del elemento químico, características del agua a tratar (pH, dosis y tipo de coagulante).

Es la técnica más utilizada para reducir el As +5, que al ser atrapados por los floculos se puede filtrar para ser removido (Holl y Litter, 2010, p.22).

TABLA 3 Tabla Remoción de arsénico por coagulación

Formas Arsenicales	Método de tratamiento	Dosis coagulante (mg/L)	del	Concentración inicial (mg/L)	Remoción (%)	pH inicial
As ⁺⁵	FeCl ₃	5		0,050	100	7,0
As ⁺³	FeCl ₃	6		0,005	72	8,0
As ⁺³	FeCl ₃	18		0,005	84	8,0
*	Aereación, coagulación con alúmina, sedimentar 6 días y filtración	7		0,8	70	7,4
*	Aereación, coagulación con FeCl ₃ , sedimentar 10 días y filtración	18.5		0,69	60	7,4
*	Aereación, coagulación con alúmina, sedimentar 12 días y filtración	21		0,70	46	7,4
*	Cloro (20 mg/L), oxidación, aereación, coagulación con FeCl ₃ , sedimentar 20 días y filtración	51		0,83	100	7
*	FeCl ₃	30		1	92	6,8
As ⁺⁵	Cloruro férrico	20		0,045	96	7,5
As ⁺⁵		40		0,045	95	7,5
As ⁺⁵	Cloruro férrico	40		0,043	97	8
As ⁺⁵	Sulfato de Aluminio	60		0,043	97	8
As ⁺⁵	Coagulación con sulfato de aluminio	30		< 1 – 2	≥ 90	6,4
As ⁺⁵	Coagulación con sulfato férrico	30		< 1 / 2	> 90	6,4
As ⁺³	Cloruro férrico	*		30 – 40	90 - 95	5,5
As ⁺⁵ y arseniato de metano	Alúmina	> 5		0,2	97,5	7,0
As ⁺⁵	Sulfato férrico	5		0,2	97,5	7,0
As ⁺⁵	Óxido de manganeso hidratado	20		0,2	76	7,0
As ⁺³	Cloruro férrico	200		31	86	10,0
As ⁺³	Cloruro férrico	500		31	92	10,0
As ⁺³	Cloruro férrico	1000		31	93	10,0
As ⁺⁵	Adición de hierro electroquímico, oxidación con peróxido de hidrógeno, sedimentación y filtración	*		56	99,8	6,5
As ⁺³	Coagulación con sulfato férrico	10		0,2	62	7,5
As ⁺³	Coagulación con sulfato férrico	10		0,2	75	7,5
As ⁺³	FeCl ₃	10		0,2	76	7,5
As ⁺³	Coagulación con sulfato cúprico	10		0,2	88	7,5
As ⁺³	Coagulación con cloruro cuproso	10		0,2	85	7,5
As ⁺³	Coagulación con cloruro de zinc	10		0,2	84	7,5
As ⁺³	FeCl ₃ .6H ₂ O	300		100	78	8,0
As ⁺³	Ag ₂ SO ₄	625		100	82	8,0
As ⁺³	CuSO ₄ .5H ₂ O	300		100	85	8,0
As ⁺³	Al ₂ SO ₄ .18H ₂ O	300		100	73	8,0
*	KMnO ₄ (13.8 mg/L), oxidación, coagulación con sulfato férrico y filtración	28		0,7	86	7,4

FUENTE: (Viraraghavan, 1996).

2.2.8.3.6. Coagulación absorción

Es la tecnología más hablada utilizando aluminio o hierro para remover el arsénico y también compuestos y suspendidos del agua como la turbidez, manganeso, fosforo, arsénico y flúor.

Para el tratamiento de agua el coagulante más utilizado es el sulfato de aluminio siendo este el más comercial por su bajo costo y el más sencillo de manipular (Avilés, Tirado y Pardón, 2000). El sulfato de aluminio teniendo mejores resultados con pH menores a 7, cloruro férrico es

menos dependiente del pH y teniendo mayor concentración de coagulante llega a remociones más altas (Cheng, Liang, Wang y Beuhler, 1994).

2.2.8.3.7. Presencia de hierro y manganeso

Según los estudios geoquímicos se reveló que la alta concentración de arsénico en aguas subterráneas es debido a la gran cantidad de hierro y manganeso, las que pueden tratarse por métodos convencionales y estos reducen significativamente el arsénico.

Al ser removido el hierro atrapa hasta un 83% de arsénico, llegando por debajo del límite y ser apto para el consumo humano.

2.2.8.3.8. Hierro con filtración directa

El hidróxido de hierro está suspendido en forma irregular llegando a un tamaño máximo de 2mm, absorbe el arsénico, casi independiente del pH, disminuye la absorción cuando se incrementa. Al comparar con el método de floculación es más confiable, utiliza energía mínima y menos costosa pero los niveles de producción costoso (Jekel y Seith, 2000, p. 628).

Por este método puede llegar a removerse el arsénico trivalente y pentavalente con contenido inicial de arsénico 50g o más (Stamer y Nielsen, 2000, p. 625).

2.2.8.3.9. Alúmina activa

Es el proceso más efectivo para tratar agua con alta concentración de suelos disueltos. A pesar de ello, la alúmina activada es altamente selectiva para As +5, teniendo una remoción mayor al 95%, por la selectividad que tiene para regenerarse con una pérdida del 5 al 10% de su absorción por ciclo del tratamiento.

La alúmina activada, $Al_2O_3/Al(OH)_3$, es un material frecuentemente aplicado a la remoción de arsénico. Este material posee una superficie interna en el rango de 200-300 m² g⁻¹. Su pH es de aproximadamente 8,2. A pH 6, se ha informado una capacidad cercana a 1,6 g L⁻¹ de lecho empaquetado. (Holl y Litter 2010, p.24)

2.2.8.3.10. Intercambio iónico

Para el intercambio iónico se requiere resinas de base débil y fuerte, la de base fuerte es la que remueve menos de 0.001 mg/L de arsénico.

El arsénico se intercambia con iones en una resina, uniéndose en grupos con iones de base fuerte en forma de cloruro, que es fácil de encontrar en el mercado (Holl y Litter 2010, p.25).



Utilizando resinas de sulfato con concentraciones iniciales de 0.01 mg/L llego a reducirse 0.002 mg/L (EPA, 1997).

2.2.8.3.11. Separación física

Existen membranas sintéticas que se utilizan como filtros moleculares para reducir el contenido de arsénico y partículas disueltas, con permeabilidad para compuestos disueltos (Castro, 2006).

2.2.8.3.12. Osmosis inversa y nanofiltración

Los porcentajes de eficiencia de remoción es del 95% cuando la presión de operación está a 1 psi ideal (75 a 250 psi). La reducción del As no depende del pH ni de otros solutos. Para poder tratar el agua es necesario que contenga material coloidal y la nanofiltración alcanza una remoción de 90% (Epa, 1997; Johnnton et al., 2001).

Una de las desventajas es el alto costo, como también la recuperación baja del agua y altas presiones de operación, teniendo bajos niveles de solidos disueltos el agua adquiere características corrosivas” (Joshnston et al., 2001).

2.2.8.3.13. Electrodiálisis inversa

Con un contenido inicial de arsénico de 0.021 mg/L se llegó hasta 0.03 mg/L de arsénico llegando así a una eficiencia de remoción más del 80%. Esta técnica no es costosa y es eficiente en el proceso (EPA, 1997).

2.2.8.3.14. Procesos biológicos

“En varios técnicos de remoción de arsénico la actividad bacteriana puede jugar un papel importante como catalizador, pero se conoce poco sobre estas técnicas biológicas para eliminar arsénico en agua” (Johnston et al., 2001).

El pH optimo, la temperatura y oxígeno permiten la filtración biológica y la reducción simultanea de As^{+3} cuando la concentración de hierro es alta puede llegar hasta 90% de eficiencia de la remoción y si es baja hasta 40%.

2.2.8.3.15. Remoción de arsénico por oxidación solar (RAOS – SORAS)

Es un método totalmente casero y con materiales que se encuentran en el medio doméstico, fue creado por el Instituto Suizo EAWAG de Zurich con el objetivo de eliminar la intoxicación masiva en Bangladesh por el consumo de aguas subterráneas con arsénico.

El ensayo realizado consistió en la adición de jugo de limón en botellas PET contenidas de agua contaminada expuestas al sol por varias horas, observando durante el tiempo la formación de floculos de hidróxido de hierro (el agua contaminada tiene suficiente hierro), donde se oxida el arsénico y el hierro.

Según la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo, ((AICD), 2002)

Con el marco de Proyecto OEA/AE/141, un grupo de expertos en tratamiento de aguas por tecnologías solares de 6 países Argentina, Chile, Brasil, México, Perú y Trinidad & Tobago, empezaron a desarrollar y validar tecnologías de bajo costo para tratar aguas en botellas en localidades poco accesibles. Se propuso tres tecnologías que son Desinfección Solar (DSAUI-SODIS), Remoción de Arsénico por Oxidación Solar (RAOS-SORAS) y Fotocatálisis Heterogénea Solar con Dióxido de Titanio (FH). (pág.7)

Estas tecnologías pueden ser utilizadas solas o en conjunto, aceptadas en comunidades rurales y no requieren equipamiento ni desarrollo tecnológico sofisticado o caro, su mayor ventaja que solo dependen de la energía solar.

2.2.8.4. Tecnologías de bajo costo

2.2.8.4.1. Desinfección solar (DSAUI – SODIS)

Este método se aplicó en Bolivia, Tailandia, Colombia, México y Bangladesh teniendo bastante éxito. El procedimiento experimental es muy sencillo, se trata el agua contaminada en botellas de plástico transparente (PET) expuestas por algunas horas a la radiación solar. Con una combinación de radiación UV-A (315-400 nm) y la infrarroja que sube la temperatura del agua a unos 50-55 °C, llegando a esta temperatura las bacterias y virus se desactivan, se sugiere una inducción de cambios en ácidos nucleídos de los microorganismos.

El método puede mejorarse con un concentrador solar como la madera o cartón forrado con papel aluminio, el pintado de la botella de color negro o su colocación sobre una superficie negra que concentra más radiación solar y aumenta la temperatura del agua.

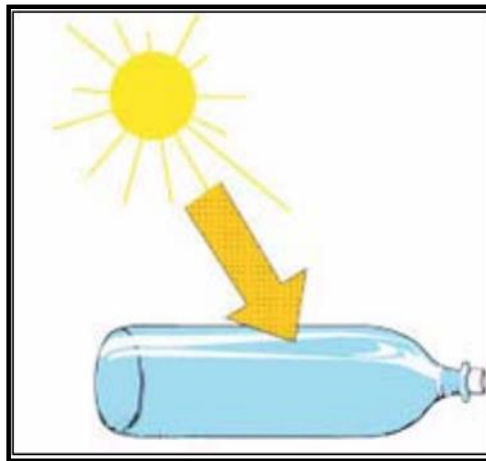


FIGURA 22: Esquema simple de la Tecnología DSAUI-SODIS.
FUENTE: Revista RAOS

2.2.8.4.2. Remoción de arsénico por oxidación solar (RAOS – SORAS)

RAOS es una técnica muy fácil para combatir la contaminación por arsénico en zonas aisladas. RAOS emplea citrato de Fe(III) que bajo radiación solar y en presencia de oxígeno, este método convierte el arsénico +3 cuya remoción es difícil mediante la formación de especies muy activas logra oxidarse en arsénico +5, lo cual es menos toxico y más fácil de eliminar por su alta adsorción sobre el precipitado de hidróxido de hierro.

En proceso experimental se añade jugo de limos al agua a tratar (que contiene Fe), depositadas en botellas plásticas, y en exposición al sol por un periodo de tiempo seguidamente durante toda la noche se colocan las botellas en posición vertical donde el hierro y el arsénico forman floculos y por decantación obtenemos el agua purificada o se filtra a través de paños textiles.

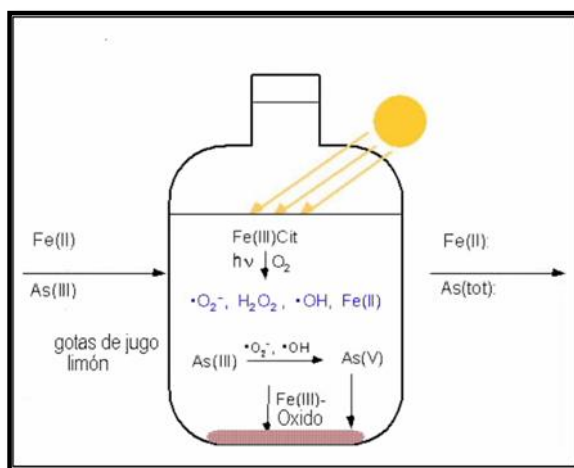


FIGURA 23: 1 Esquema de oxidación de arsénico (III) a arsénico (V) mediante luz solar.
FUENTE: Revista RAOS

RAOS es una técnica económica que reduce niveles de arsénico a valores por debajo de los límites permitidos. La eficiencia de este método depende de la matriz de agua y debe efectuarse varias pruebas para que se pueda adaptar en cada región (Holl y Litter 2010, p.76).

2.2.8.4.3. Fotocatálisis Heterogénea Solar con Dióxido de titanio (FH).

La Fotocatálisis Heterogénea con TiO_2 (FH) incluida en el grupo de tecnologías Avanzadas de oxidación para purificación de agua. Esta técnica usa como conductor las propiedades del titanio, para poder absorber los rayos UV del sol, formando centros oxidantes los cuales transforman químicamente los contaminantes.

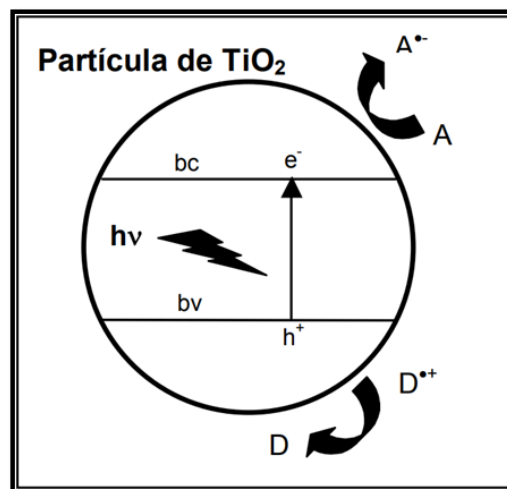


FIGURA 24: Esquema del proceso fotocatalítico.
FUENTE: Revista RAOS

2.2.9. Coagulación

“Técnica que consiste en desestabilizar los coloides, neutralizar las fuerzas que los mantienen separados adicionando coagulantes químicos y aplicándole una energía de mezclado” (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL], 2000, pág.9).

El tratamiento mediante coagulación es muy eficaz si se realiza de manera correcta y también el más utilizado para eliminar diversas sustancias del agua a menor costo.

La técnica de coagulación está condicionada con la dosis de coagulante para su funcionamiento correcto, si la dosis de coagulante está mal conduce a degradar rápidamente la calidad del agua y genera gastos injustificados, es imposible realizar una clarificación (SEDAPAL, 2000, p.9).

El principal objetivo es desestabilizar las partículas coloidales para la formación de flóculos y así atrapar materias orgánicas, elementos químicos y la eliminación de la turbidez.

En la figura 25 se muestra como los coagulantes químicos anulan las cargas eléctricas de la superficie coloide formando flóculos.

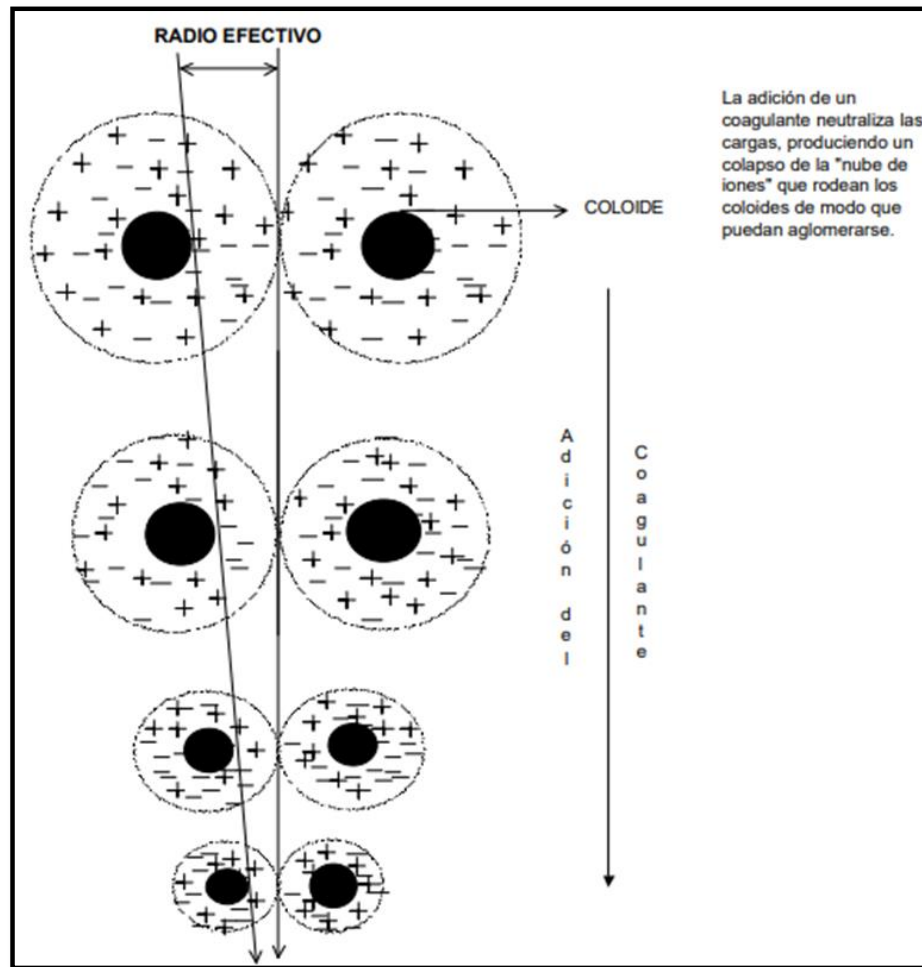


FIGURA 25: Proceso de coagulación.
FUENTE: (SEDAPAL, 2000).

La coagulación incluye todos los mecanismos en el proceso total del crecimiento y de agregación de la partícula, incluyendo la formación in situ del coagulante, la desestabilización química de la partícula y contactos físicos inter-partícula. La ventaja del proceso de coagulación es que los coagulantes (sales férricas) son fácilmente disponible, barato, no peligrosos y fáciles de manipular. (Bissen y Frimmel, 2003)

El proceso de coagulación/ filtración/Sedimentación se ha utilizado tradicionalmente para remover los sólidos de fuentes de agua potable; sin embargo, puede también remover especies disueltas por adsorción sobre las partículas hidróxidos del metal, que son producidas por la adición de sales del metal tales como cloruro férrico y sulfato de aluminio. Los componentes importantes de una coagulación/filtración básica son sistemas de alimentación químicos, equipo de mezcla, material para la mezcla rápida, floculación, colocar el filtro medio, instalaciones de turbulencia del filtro, y el equipo de dirección del lodo. (EPA, 2000)

Edwards (1994) llevo a cabo estudios de coagulación a escala laboratorio y reveló que 90ppm (5 mg/L) de Fe remueve más del 80% de arsenito con concentración inicial 300 ppb en rango



del pH de 5.5 a 8.0. El autor también predijo remoción del arsenito y del arseniato con 50 ppb de concentración inicial, usando un modelo de adsorción de capa difusa y datos anteriores. La remoción del arseniato fue alrededor del 100% en pH neutro cuando 5 mg/L o dosis más altas de FeCl₃ fueron utilizados, mientras que la remoción de arsenito fue cerca del 70% y 89% a pH neutro cuando fueron aplicadas dosis de 5 mg/L y 20 mg/L de FeCl₃, respectivamente.

Wickramasinghe et al. (2004) investigó la remoción de arsénico por coagulación y filtración usando agua subterránea de una ciudad en Colorado meridional, E.E.U.U. y de Sonargaon, Bangladesh. Los experimentos a escala laboratorio indicó que la coagulación con iones férricos seguidos por filtración es eficaz para la remoción de arsénico, pero la eficacia real es sobre todo dependiente de la calidad del agua cruda.

Han et al. (2003) también estudió la remoción de arsénico por coagulación/filtración modificadas usando agua subterránea de una pequeña ciudad rural en Colorado, y alcanzó concentraciones de arsénico residual más bajos de 2 ppb con dosis de ión férrico de 6 mg/L a pH inicial de 6.8 a partir de concentración inicial de arsénico de 68 ppb.

Los experimentos pilotos fueron llevados a cabo en Albuquerque, NM, estación aérea naval, NV, y en El Paso Water Utility, Tx para evaluar la eficacia de remoción de arsénico del agua subterránea usando procesos de coagulación/microfiltración, y la salida de arsénico fue reducido a niveles por debajo de los límites de detección cuando se mantiene la dosis de pH y FeCl₃ apropiada (Chwirka et al., 2004).

Ghurye et al. (2004) ha realizado pruebas a escala laboratorio y un estudio piloto en Albuquerque, NM, para determinar los impactos de variables operacionales en la remoción de arsénico usando la coagulación de hierro seguida por la microfiltración directa. El pH y la dosis férrica fueron determinados ser los parámetros más significativos para la remoción de arsénico. Concentraciones de arsénico más bajo de 2 ppb fue alcanzado usando una dosis de 7 mg/L de Fe sin reducción deliberada del pH (pH=7.3) o una dosis de 1.9 mg/L de Fe con adición de ácido sulfúrico para bajar el pH a 6.4 para concentración inicial de arseniato de 40 ppb.

Después de realizar pruebas a escala piloto, Cheng et al., (1994) “indicó que concentración residual de 0.22 ppb de arsénico se podrían alcanzar por coagulación mejorada cuando una dosis de 10 mg/L de FeCl₃ se utiliza para remoción de arsénico con una concentración en el efluente menos de 5 ppb”. Scott et al., (1995) evaluó la remoción de arsénico en una planta de tratamiento convencional a escala completa, y demostró que la remoción de arsénico fue de 81 a 96 por ciento cuando la fuente de agua tiene concentración inicial de arsénico de 2.1 ug/L y fue tratada con 3 a 10 mg/L de cloruro férrico.

2.2.9.1. Coagulantes y sustancias químicas

Calidad del coagulante requerida para el agua cruda, dosis y almacenamiento según el Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2006, p.06.

2.2.9.2. Coagulantes metálicos inorgánicos

“Los coagulantes inorgánicos más empleados para tratar agua son las sales de sulfuro y cloruro de aluminio e iones férricos y sales pre hidrolizadas de estos metales” (Howe K, 2017).

2.2.9.3. Dosis típicas

Las dosis típicas de alumbre varían de 10n a 150ml/L, según la calidad y turbidez del agua turbia, la dosis típica de sulfato férrico y cloruro férrico varían de 10n a 150 ml/L y de 5 a 150 ml/L respectivamente.

2.2.10. Floculación

Es el segundo paso luego del mezclado rápido pasando a una mezcla lenta donde se observa el contacto de los floculos, turbidez y color. El mezclado lento baja la velocidad prudentemente para no correr el riesgo de que los floculos se rompan por un tiempo más prolongado que el mezclado rápido. Es el proceso donde se puede visualizar el crecimiento y aglomeración de los floculos, aumentando de tamaño y peso para poder sedimentarse. (SEDAPAL, 2000, p.30).

El proceso de floculación puede mejorar con la adición de un reactivo, en la figura 27 podemos observar el aglomeramiento de los coloides para sedimentar con rapidez.

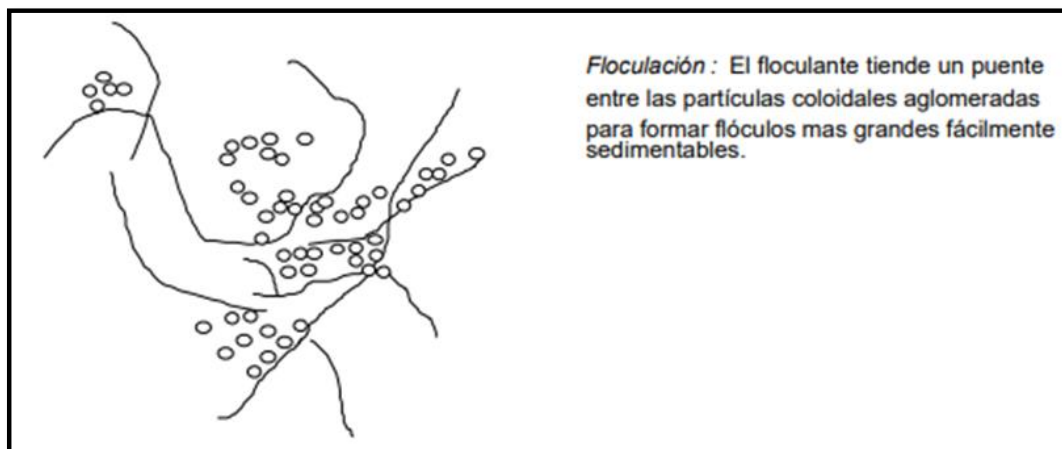





FIGURA 26: Proceso de Floculación.

FUENTE: (SEDAPAL,2000).

2.2.10.1. Sistemas de floculación más comunes

-  Sistema de floculación de turbina de eje vertical
-  Sistema de floculación de rueda de paletas horizontal
-  Sistema de floculación hidráulica.

2.2.11. Test de jarras

Para determinar la selección y dosis del coagulante se utiliza la prueba de jarras. Esta herramienta permite evaluar de manera rápida un rango de tipo y dosis de coagulante.

El equipo de test de jarras es un moderno aparato eléctrico que consiste en seis reactores de carga, cada uno equipado con un mezclador de paleta con seis de jarras de sección circular que incluye un panel de programación donde se ingresa la velocidad y el tiempo de proceso.

“El procedimiento consiste en dos fases, la primera fase de mezcla rápida de alta intensidad de mezclado con adición de carga de coagulante, seguido por un mezclado lento para simular la floculación” (Howe, Hand, Crittenden, Trussell y Tchobanoglous 2017).

2.2.11.1. Descripción del equipo de prueba de jarras

Estas pruebas son realizadas por equipos comerciales y el más conocido es el equipo de velocidad variable fabricado por la Phipps & Bird., donde desarrollaron ábacos para relacionar el gradiente de velocidad con la velocidad de rotación de la paleta.

Estos equipos tienen los siguientes elementos:

a) Un agitador mecánico

que consta de tres a seis paletas, que operan a velocidades de 0 400 revoluciones por minuto.

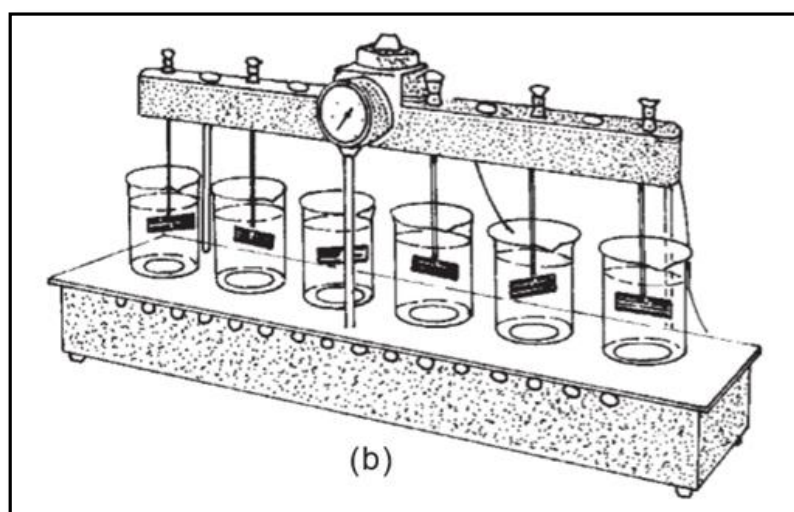


FIGURA 27 : Equipo de Jarras.
FUENTE: PHIPPS Y BIRD.

b) Un iluminador de flóculos:

ubicado en la base de agitador del equipo.

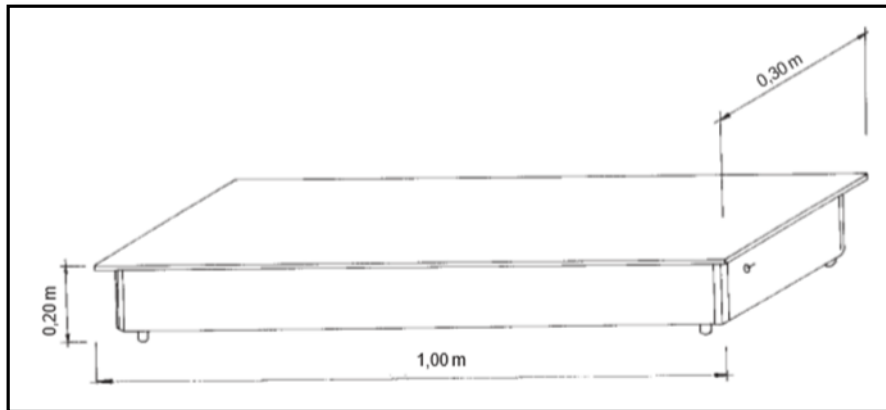


FIGURA 28: Iluminador de flóculos.
FUENTE: PHIPPS Y BIRD.

c) Vasos de precipitado:

tiene una capacidad de litros, de cristal refractario.

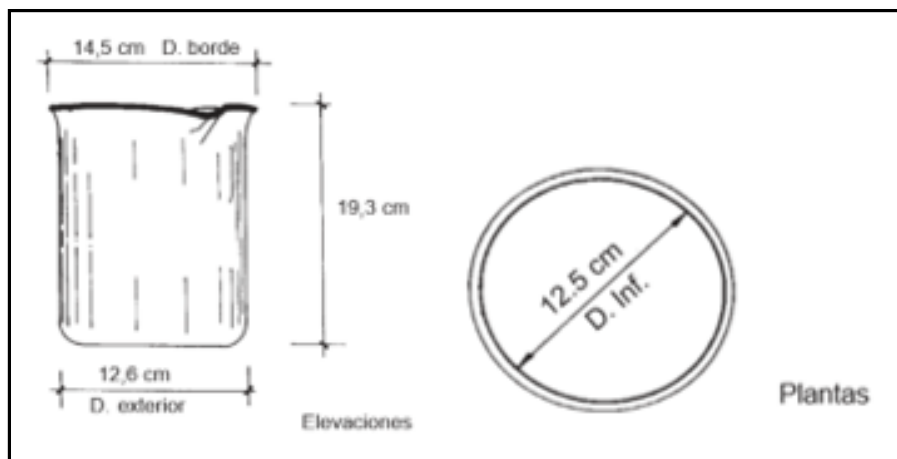


FIGURA 29: Dimensiones de vaso precipitado.
FUENTE: PHIPPS Y BIRD.

2.2.11.2. Descripción del Sistema

En la prueba de jarras la variable más importante es la intensidad de gradiente de agitación para ello se utilizan paletas que tienen acción mecánica y se utilizan de una o más paletas.

En la siguiente tabla podemos ver las características de los agitadores.

TABLA 4 Características de los agitadores.

Tipo de paleta	Número de paleta	Diámetro (D-cm)	Área proyectada (a-cm)	Observaciones
Plana-1	2	7 y 6	17,5	a
Plana-2	2	7,2	28,8	b
Plana-3	2	7,2	18,4	c
Hélice	3	5,0	4,50	d
Doblada	2	5,0	2,80	

a) Utilizada en el modelo Phipps y Bird.
b) Tipo impulsor marino.
c) Utilizada por Florida 1-Environmental specialities.
d) Utilizada por Florida 2-Environmental specialities.

FUENTE: PHIPPS Y BIRD.

La prueba de jarras tiene como objetivo reproducir las condiciones en las cuales se desarrollan los procesos de floculación y sedimentación en la planta de tratamiento.

2.2.12. Principios del mezclado para coagulación y floculación

El mezclado es un aporte fundamental en los procesos de coagulación y floculación. La coagulación se realiza mediante un mezclado rápido que está diseñado para que el coagulante y las partículas aglutinen de manera eficiente. La floculación se realiza en depósitos diseñados para que las partículas entren en contacto entre sí y puedan formarse partículas más grandes las que se podrán eliminar con mayor rapidez mediante un proceso seguido de filtración o separación gravitacional. (Howe et al., 2017)

2.2.12.1. Mezcla rápida

“Es un proceso empleado en tratamiento de agua que tiene como fin dispersar la diferentes sustancias químicas y gases de forma rápida y uniforme con la dispersión de coagulante a través del flujo del agua” (Romero, 2006).

2.2.12.1.1. Mezcladores rápidos mecánicos

Los mezcladores mecánicos son fabricados en gran cantidad por diferentes industrias, estos consisten en hélices, paletas, turbinas y otros elementos similares, que son acoplados a un eje de rotación que girar a un número determinado generalmente alto de revoluciones lo que agita el agua de forma violenta y propicia la incorporación y mezclado de coagulante.

2.2.12.1.2. Mezclado rápido hidráulico

Estos son utilizados cuando se dispone de suficiente cabeza y energía en el flujo de entrada los más utilizados son los resaltos hidráulicos, canaletas parshal, tubos venturi, dispersores de

tubos perforados, tanques con baffles, para dispersar la energía en turbulencia y aprovecharla para la mezcla de coagulante, tiene la ventaja de no requerir un equipo mecánico. (Howe et al., 2017, p.140)

2.2.12.2. Mezcla lenta

“Se produce para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre partículas, mediante una agitación lenta donde se observa la aglomeración, incremento de tamaño y adición de densidad de las partículas durante tiempo prolongado” (Romero, 2006).

2.2.13. Filtración rápida

La filtración consiste en la eliminación de partículas suspendidas y coloides que están presentes en suspensión acuosa, es la última etapa del tratamiento de agua, la que garantiza la calidad del agua a condiciones aptas para el consumo humano. (Howe et al., 2017, pág.150).

La filtración consiste en dos mecanismos el primero el transporte a un medio filtrante y el segundo la adherencia a los granos, resistiendo a la acción de las fuerzas de corte debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento. (Howe et al., 2017, pág.150).

El transporte y adherencia entre partículas se da por dos fenómenos el primero físico e hidráulico y el segundo acción superficial, influenciados por fenómenos físicos y químicos.

Según Chulluncuy, (2011) etapas de la filtración:

Transporte de las partículas dentro de los poros.

Es un fenómeno físico e hidráulico, que está influenciado por parámetros que gobiernan la transferencia de masas. Los mecanismos que pueden realizar transporte son: cernido, sedimentación, intercepción, difusión, impacto inercial y acción hidrodinámica.

Adherencia a los granos del medio

Es un fenómeno de acción superficial, que está influenciado por parámetros físicos y químicos. Los mecanismos que pueden realizar adherencia son: fuerzas de Van der Waals, fuerzas electroquímicas y puente químico. Las unidades de filtración se clasifican teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Lecho filtrante

Simple (arena o antracita) y lechos dobles o múltiples.

Sentido del flujo

Descendente, ascendente y ascendente-descendente.

Forma de aplicar la carga de agua sobre el lecho

A gravedad y a presión.

Forma de control operacional

Tasa constante y nivel variable, tasa constante y nivel constante y tasa declinante.

Según Chulluncuy (2011) los factores que influyen en la filtración son:

- **Características de la suspensión:** Tipo, tamaño, densidad, dureza o resistencia de las partículas suspendidas (flóculos), temperatura del agua por filtrar y concentración de partículas suspendidas en el afluente.
- **Características del medio filtrante:** Tipo, granulometría, peso específico del material filtrante y espesor de la capa filtrante.
- **Características hidráulicas:** Tasa de filtración, carga hidráulica disponible para la filtración, método de control de los filtros y calidad del efluente.

2.2.13.1. Clasificación del filtrado rápido por su nivel de tratamiento previo

Filtrado convencional Sistema más común utilizado en cualquier tipo de agua superficial, empleado incluso en agua con alto contenido de turbidez por su adaptación a los cambios en las características del agua cruda.

2.2.13.1.1. Filtrado directo

Ideal para tratar aguas superficiales de grado de turbidez bajo provenientes de lagos y presas.

2.2.13.1.2. Filtrado en línea (filtrado de contacto)

De uso en aguas superficialidad de alta calidad de poca variabilidad en sus características sin partículas o sedimentos.

2.2.13.1.3. Filtrado de dos etapas

Usado en pequeñas plantas de tratamientos con aguas de alto nivel de turbidez.³²

2.2.13.2. Filtros lentos de arena

Consiste en la circulación del agua a través de arena, formando una capa biológica y desarrollando procesos de degradación química y biología reduciendo la materia en formas más simples (Blacio y Palacios, 2011, pág.1).

Blacio y Palacios (2011) afirman que los filtros tienen los siguientes componentes:

Caja del filtro: se determina por lecho de arena, capa de soporte y sistema de drenaje, agua sobrenadante y borde libre.

Capa sobrenadante de agua cruda: proporciona carga hidráulica para pasar agua sobre el lecho filtrante, crea un periodo de retención.

Lecho de arena filtrante: compuesto por material granular (arena). Se describe en función de diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad.

Sistema de drenaje: sirve para: soporte de material filtrante, asegura recolección uniforme del agua, llenado de los filtros.




Estructura de entrada y salida: sirve para: regular caudales de ingreso, ingreso de flujo uniforme, drenaje, graduación del líquido sobrenadante.

Dispositivos reguladores: sirven para controlar operaciones más importantes por medio de válvulas, vertederos y otros dispositivos. Ventajas de este tratamiento: mejoran la calidad física, química y bacteriológica del agua sin uso de químicos, además de una operación sencilla, económica y eficaz.

2.2.14. Sedimentación

Proceso físico que consiste en la separación o remoción de las partículas suspendidas por efecto de la gravedad. Dichas partículas tienen que estar concentradas y el fluido clarificado, para poder remover por filtrado, sedimentado o ejecutando ambos procesos complementarios (Chulluncuy 2011, pág. 160).

factores que influyen en la sedimentación podemos citar los siguientes

-  La calidad del agua (variación de concentración de materias en suspensión, temperatura del agua).
-  Las condiciones hidráulicas.
-  Procesos previos a la sedimentación.

2.2.14.1. Tipos de sedimentadores

2.2.14.1.1. Clasificación de Sedimentadores

Sedimentadores o decantadores estáticos

En estas unidades se produce la sedimentación normalmente con caída libre según (Chulluncuy 2011). Se distinguen los siguientes tipos:

- Desarenadores: Tienen como objetivo eliminar la arena del agua cruda, evitando que estas partículas interfieran en la operación de las bombas y en los siguientes procesos.
- Unidades de flujo horizontal: Pueden ser sedimentadores de forma rectangular, circular o cuadrados. La remoción de lodos se puede hacer en forma continua o intermitente.
- Unidades de flujo vertical: Son unidades de forma cilíndrica.
- Unidades de flujo helicoidal: Se utilizan para tratar aguas con alto contenido de flóculos y que tengan alta velocidad de sedimentación.

Decantadores dinámicos

Requieren una alta concentración de partículas para incrementar las posibilidades de contacto en un manto de lodos, con una concentración de partículas de 10 a 20% en volumen. Tenemos los siguientes tipos:

- Unidades de manto de lodos con suspensión hidráulica: La ventaja es que no tienen, generalmente, ninguna pieza removible dentro del tanque ni requieren energía eléctrica para funcionar; asimismo, es necesario evitar turbulencia en la entrada del agua, puesto que esto afectaría al manto de lodos.
- Unidades de manto de lodos con suspensión mecánica: Pueden ser de agitación, de separación y pulsante o de vacío

Decantadores laminares

Son aquellos cuya eficiencia decrece a medida que aumenta la carga superficial en las celdas, también depende de las características del agua tratada y del diseño del sedimentador.

- Decantadores laminares de flujo horizontal: Con láminas planas paralelas inclinadas (ángulo de 5°), para obtener la pendiente adecuada que favorezca el escurriendo de los flóculos.
- Decantadores laminares de flujo inclinado: Con módulos instalados con un ángulo de 60°. El sistema de módulos facilita la decantación de sólidos, por acortar el recorrido de deposición de las partículas sólidas e inducir a que el flujo del agua sea laminar

2.2.15. Parámetros de calidad del agua

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS		
Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. <i>E. Coli</i>	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y oquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias
(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml

FIGURA 30: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Microbiológicos y Parasitológicos

FUENTE : (MINSA, 2011).

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA		
Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escaia Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoniaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

FIGURA 31: Límites Máximos Permisibles de Parámetros de calidad Organoléptica.
FUENTE: (MINSA, 2011).

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS		
Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015

FIGURA 32: : Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos y Orgánicos
FUENTE: (MINSA, 2011).

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales (nota 3)		1,00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL ⁻¹	0,01
3. Aceites y grasas	mgL ⁻¹	0,5
4. Alacloro	mgL ⁻¹	0,020
5. Aldicarb	mgL ⁻¹	0,010
6. Aldrín y dieldrín	mgL ⁻¹	0,00003
7. Benceno	mgL ⁻¹	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,001
10. Endrín	mgL ⁻¹	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL ⁻¹	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL ⁻¹	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL ⁻¹	0,00003
14. Metoxicloro	mgL ⁻¹	0,020
15. Pentaclorofenol	mgL ⁻¹	0,009
16. 2,4-D	mgL ⁻¹	0,030
17. Acrilamida	mgL ⁻¹	0,0005
18. Epiclorhidrina	mgL ⁻¹	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mgL ⁻¹	0,0003
20. Benzopireno	mgL ⁻¹	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
22. Tetracloroetano	mgL ⁻¹	0,04

FIGURA 33: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos y Orgánicos
FUENTE: (MINSa, 2011).

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
23. Monocloramina	mgL ⁻¹	3
24. Tricloroetano	mgL ⁻¹	0,07
25. Tetracloruro de carbono	mgL ⁻¹	0,004
26. Ftalato de di (2-etilhexilo)	mgL ⁻¹	0,008
27. 1,2- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	1
28. 1,4- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	0,3
29. 1,1- Dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
30. 1,2- Dicloroetano	mgL ⁻¹	0,05
31. Diclorometano	mgL ⁻¹	0,02
32. Acido edético (EDTA)	mgL ⁻¹	0,6
33. Etilbenceno	mgL ⁻¹	0,3
34. Hexaclorobutadieno	mgL ⁻¹	0,0006
35. Acido Nitrilotriacético	mgL ⁻¹	0,2
36. Estireno	mgL ⁻¹	0,02
37. Tolueno	mgL ⁻¹	0,7
38. Xileno	mgL ⁻¹	0,5
39. Atrazina	mgL ⁻¹	0,002
40. Carbofurano	mgL ⁻¹	0,007
41. Clorotoluron	mgL ⁻¹	0,03
42. Cianazina	mgL ⁻¹	0,0006
43. 2,4- DB	mgL ⁻¹	0,09
44. 1,2- Dibromo-3- Cloropropano	mgL ⁻¹	0,001
45. 1,2- Dibromoetano	mgL ⁻¹	0,0004
46. 1,2- Dicloropropano (1,2- DCP)	mgL ⁻¹	0,04
47. 1,3- Dicloropropano	mgL ⁻¹	0,02
48. Dicloro-prop	mgL ⁻¹	0,1
49. Dimetato	mgL ⁻¹	0,006
50. Fenoprop	mgL ⁻¹	0,009
51. Isoproturon	mgL ⁻¹	0,009
52. MCPA	mgL ⁻¹	0,002
53. Mecoprop	mgL ⁻¹	0,01
54. Metolacloro	mgL ⁻¹	0,01
55. Molinato	mgL ⁻¹	0,006
56. Pencimetalina	mgL ⁻¹	0,02
57. Simazina	mgL ⁻¹	0,002
58. 2,4,5- T	mgL ⁻¹	0,009
59. Terbutilazina	mgL ⁻¹	0,007
60. Trifluralina	mgL ⁻¹	0,02
61. Clorpirifos	mgL ⁻¹	0,03
62. Piriproxiteno	mgL ⁻¹	0,3
63. Microcistin-LR	mgL ⁻¹	0,001

FIGURA 34: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos y Orgánicos.
FUENTE: (MINSa, 2011).

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
64. Bromato	mgL ⁻¹	0,01
65. Bromodichlorometano	mgL ⁻¹	0,06
66. Bromoformo	mgL ⁻¹	0,1
67. Hidrato de cloral (tricloroacetaldehído)	mgL ⁻¹	0,01
68. Cloroformo	mgL ⁻¹	0,2
69. Cloruro de cianógeno (como CN)	mgL ⁻¹	0,07
70. Dibromoacetnitrilo	mgL ⁻¹	0,07
71. Dibromoclorometano	mgL ⁻¹	0,1
72. Dicloroacetato	mgL ⁻¹	0,05
73. Dicloroacetnitrilo	mgL ⁻¹	0,02
74. Formaldehído	mgL ⁻¹	0,9
75. Monocloroacetato	mgL ⁻¹	0,02
76. Tricloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
77. 2,4,6- Triclorofenol	mgL ⁻¹	0,2

FIGURA 35: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos y Orgánicos

FUENTE: (MINSa, 2011).

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS RADIATIVOS		
Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Dosis de referencia total (nota 1)	mSv/año	0,1
2. Actividad global α	Bq/L	0,5
3. Actividad global β	Bq/L	1,0

FIGURA 36: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Radiactivos

FUENTE: (MINSa, 2011).

2.2.16. Planta de tratamiento de agua potable

Es un conjunto de sistemas y operaciones de tipo físico, químico y biológico, que tiene como objetivo principal reducir los contaminantes o características no deseables del agua para que sea apta para el consumo humano

En la siguiente figura se observa los procesos de una planta de tratamiento de agua potable.

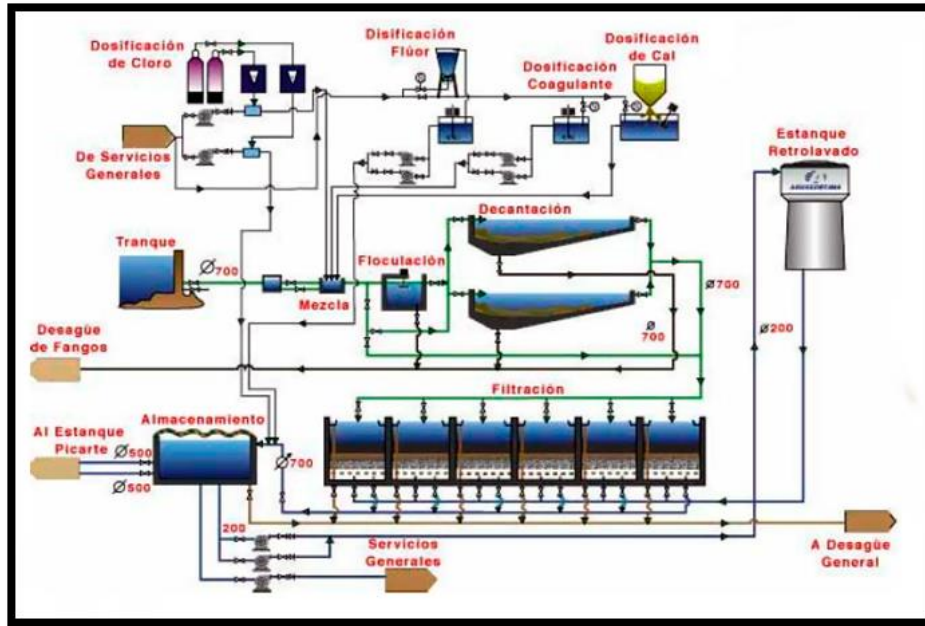


FIGURA 37: Procesos de tratamiento de una planta
FUENTE: Revista Aguasistec.

2.2.16.1. Planta de tratamiento convencional

Sistema de tratamiento que incluye proceso como coagulación (mezcla rápida), floculación, sedimentación, filtración.

Para que el sistema de una planta de tratamiento funcione correctamente se debe diseñar de acuerdo a las características del agua y sus contaminantes.

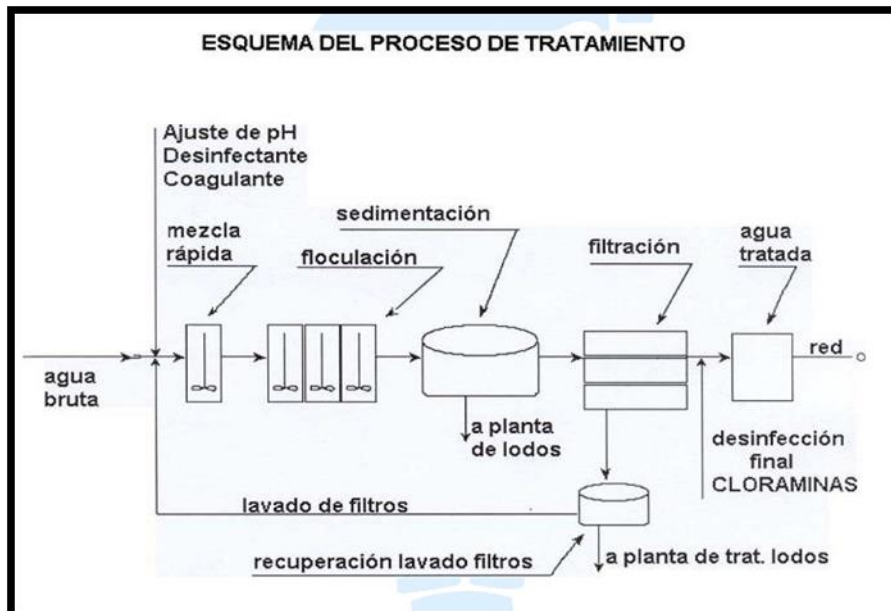


FIGURA 38: Esquema del procesos de tratamiento.
FUENTE: Revista del agua potable.

2.2.16.2. Tratamiento de Agua

“Remoción por métodos naturales o artificiales de todas las materias objetables presentes en el agua, para alcanzar las metas especificadas en las normas de calidad de agua para consumo humano” (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006, p.7).

2.2.16.3. Objetivo del tratamiento

“El objetivo del tratamiento es la remoción de los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del agua de bebida hasta los límites establecidos en las NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DE AGUA vigentes en el país” (RNE, 2006, p.7).

2.2.16.4. Criterios para una planta de tratamiento de agua potable según Reglamento Nacional de Edificaciones 2006.

Coagulantes Empleados

Clase

El proyectista deberá sustentar ante la autoridad competente el coagulante a utilizar.

- a) Se determinará, para cada tipo de agua a tratar, mediante ensayos de laboratorio de pruebas de jarras.
- b) Se recomienda, en general, el uso de sales metálicas, especialmente compuestos de Al^{3+} o Fe^{3+} .

Cantidad

La cantidad de coagulante a dosificar será determinada mediante ensayos de laboratorio con el agua a tratar. Se recomienda, como el método más eficaz, el sistema de simulación del proceso de coagulación, denominado prueba de jarras.

Dosificación de coagulantes y otras sustancias químicas.

El coagulante siempre deberá ser agregado en solución.

El coagulante, antes de ser aplicado, deberá tener la concentración óptima necesaria para mejorar la eficiencia del proceso. Esta concentración se deberá seleccionar mediante ensayos de laboratorio. Cuando estos ensayos no hayan sido efectuados, la concentración empleada deberá ser de 1 a 2 %.

Mezcla Rápida

Requisitos generales

Si las características topográficas e hidráulicas de la planta lo permiten, sólo deberán usarse dispositivos de mezcla hidráulicos. Cualquiera que sea el dispositivo elegido, se debe garantizar una mezcla completa y casi instantánea.

En mezcladores de flujo a pistón, el cálculo hidráulico debe ser, en cada caso, el siguiente: