

FACULTAD DE INGENIERÍA
Carrera de Ingeniería Industrial

**“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE
COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN CON
SULFATO DE ALUMINIO TIPO A PARA
MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE REGIÓN NORTE DEL PERÚ, 2021”**

Tesis para optar el título profesional de

Ingeniera Industrial

Autora:

Luz Marina Fernandez Huaripata

Asesora:

Mg. Ing. Karla Rossemary Sisniegas Noriega

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FÍGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I	11
INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad Problemática.....	11
1.2. Formulación del problema	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	16
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	16
1.4. Hipótesis	16
CAPÍTULO II. MÉTODOLÓGÍA	17
2.1. Tipo de investigación	17
2.1.1. <i>Enfoque</i>	17
2.1.2. <i>Diseño</i>	17
2.1.3. <i>Tipo</i>	18
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	19
2.2.1. <i>Población</i>	19
2.2.2. <i>Muestra</i>	19
2.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	19
2.3.1. <i>Métodos</i>	19
2.3.1.1. <i>Inductivo y Deductivo</i>	19
2.3.1.2. <i>Hermenéutico</i>	19
2.3.2. <i>Técnicas</i>	20
2.3.3. <i>Instrumentos</i>	20
2.4. Procedimiento	23
2.4.1. <i>Encuesta</i>	23
2.4.2. <i>Test o Prueba de Jarras</i>	23
2.4.3. <i>Validez y confiabilidad de información</i>	25
2.4.4. <i>Para analizar la información</i>	25
2.4.5. <i>Aspectos Éticos de la investigación</i>	26
2.5. Matriz de operacionalización de variables	27

CAPÍTULO III. RESULTADOS	29
3.1. Diagnóstico actual de la planta de tratamiento de agua potable.....	29
3.1.1. <i>Diagnóstico general del área de estudio</i>	<i>29</i>
3.1.2. <i>Diagnóstico de la Variable de los Procesos de Coagulación y Floculación.....</i>	<i>41</i>
3.1.2.1. <i>Diagnóstico de la dimensión de dosificación del agente coagulante.</i>	<i>41</i>
3.1.2.2. <i>Diagnóstico de la dimensión de remoción de la turbiedad.</i>	<i>48</i>
3.1.2.3. <i>Diagnóstico de la dimensión de eficiencia económica.</i>	<i>50</i>
3.1.3. <i>Diagnóstico de la Variable Calidad del agua.....</i>	<i>52</i>
3.1.3.1. <i>Diagnóstico de la dimensión de la calidad del agua.....</i>	<i>52</i>
3.1.4. <i>Matriz de operacionalización de variables con resultados diagnóstico.....</i>	<i>55</i>
3.2. Diseño de mejora para optimización de procesos de coagulación y floculación	57
3.3. Medición de mejoras en variable independiente con el diseño propuesto	65
3.3.1. <i>Mejora en la dimensión de dosificación de coagulante</i>	<i>65</i>
3.3.2. <i>Mejora en dimensión de remoción de la turbiedad.....</i>	<i>70</i>
3.3.3. <i>Mejora en dimensión de la eficiencia económica</i>	<i>72</i>
3.3.4. <i>Resultados de los indicadores después de la propuesta</i>	<i>75</i>
3.4. Cuantificación de la Calidad del agua.....	77
3.5. Presupuesto económico para la mejora del diseño.....	79
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	80
4.1. Discusión.....	80
4.2. Conclusiones	81
REFERENCIAS	83
ANEXOS	86
ANEXO n.º 1. Validez por juicio de expertos n° 1.....	86
ANEXO n.º 2. Validez por juicio de expertos n° 2.....	90
ANEXO n.º 3. Validez por juicio de expertos n° 3.....	94
ANEXO n.º 4. Cuestionario para los operadores del área de producción y tratamiento	98
ANEXO n.º 5. Cuestionario para los operadores del área de producción y tratamiento	100
ANEXO n.º 6. Cuestionario para los operadores del área de producción y tratamiento	102
ANEXO n.º 7. Cuestionario para los operadores del área de producción y tratamiento	104
ANEXO n.º 8. Matriz de consistencia.....	106
ANEXO n.º 9. Equipo de Test o prueba de jarras.....	108
ANEXO n.º 10. Proceso de coagulación.....	108
ANEXO n.º 11. Formación de flocs.....	109
ANEXO n.º 12. Sedimentación en Prueba de Jarras.....	109
ANEXO n.º 13. Toma de muestra después del proceso de sedimentación	110
ANEXO n.º 14. Formato de recolección de datos de prueba de jarras	111
ANEXO n.º 15. Prueba n° 1 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	112
ANEXO n.º 16. Prueba n° 2 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	113

ANEXO n.º 17. Prueba n° 3 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	114
ANEXO n.º 18. Prueba n° 4 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	115
ANEXO n.º 19. Prueba n° 5 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	116
ANEXO n.º 20. Prueba n° 6 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	117
ANEXO n.º 21. Prueba n° 7 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	118
ANEXO n.º 22. Prueba n° 8 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	119
ANEXO n.º 23. Prueba n° 9 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	120
ANEXO n.º 24. Prueba n° 10 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	121
ANEXO n.º 25. Prueba n° 11 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	122
ANEXO n.º 26. Prueba n° 12 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	123
ANEXO n.º 27. Prueba n° 13 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	124
ANEXO n.º 28. Prueba n° 14 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	125
ANEXO n.º 29. Prueba n° 15 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	126
ANEXO n.º 30. Prueba n° 16 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	127
ANEXO n.º 31. Prueba n° 17 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	128
ANEXO n.º 32. Prueba n° 18 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	129
ANEXO n.º 33. Prueba n° 19 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	130
ANEXO n.º 34. Prueba n° 20 de jarras en la planta de tratamiento de agua potable	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Métodos de Análisis de Datos	20
Tabla 2 Técnicas e Instrumentos	22
Tabla 3 Condiciones de Operación.....	24
Tabla 4 Instrumentos empleados en la Investigación.....	25
Tabla 5 Operacionalización de Variables.....	27
Tabla 6 Tabla de dosificación en planta.....	41
Tabla 7 Errores en tabla de dosificación en planta.....	43
Tabla 8 Dato de intervalo elegido aleatoriamente de la tabla de dosificación en planta Caso 1	44
Tabla 9 Dato de intervalo elegido aleatoriamente de la tabla de dosificación en planta Caso 2	46
Tabla 10 Remoción de la turbiedad.....	48
Tabla 11 Costos de adquisición de Sulfato de Aluminio año 2021	51
Tabla 12 Anexo II Límites Máximos Permisibles de Parámetros de calidad Organoléptica	53
Tabla 13 Turbiedad y ph después de prueba de jarras con dosis de tabla en planta.....	54
Tabla 14 Resultados de Diagnóstico.....	55
Tabla 15 Tabla propuesta con dosificación de Sulfato de Aluminio caudal 20 L/seg - 30 L/seg	60
Tabla 16 Tabla propuesta con dosificación de Sulfato de Aluminio caudal 30 L/seg - 40 L/seg	61
Tabla 17 Tabla propuesta con dosificación de Sulfato de Aluminio caudal 40 L/seg - 50 L/seg	62
Tabla 18 Tabla propuesta con dosificación de Sulfato de Aluminio caudal 50 L/seg - 60 L/seg	63
Tabla 19 Tabla propuesta con dosificación de Sulfato de Aluminio caudal 60 L/seg - 70 L/seg	64
Tabla 20 Comparativo de dosificaciones de Sulfato de Aluminio en tabla en planta con tabla propuesta.....	66
Tabla 21 Dosificación con tabla en planta con una turbiedad de 221-265 UNT y caudal 60 L/seg	68
Tabla 22 Dosificación con tabla propuesta con una turbiedad de 221-265 UNT y caudal 60 L/seg	68
Tabla 23 Dosificación con tabla en planta con una turbiedad de 501-580 UNT y caudal 65 L/seg	69
Tabla 24 Dosificación con tabla propuesta con una turbiedad de 501-580 UNT y caudal 65 L/seg	69
Tabla 25 Remoción de la turbiedad.....	71
Tabla 26 Comparativo de costo de dosificación de Sulfato de Aluminio en tabla en planta con tabla propuesta	73
Tabla 27 Resultados de los indicadores después de la propuesta.....	75
Tabla 28 Turbiedad y ph después de prueba de jarras con dosis de tabla propuesta.....	77
Tabla 29 Costos por incurrir en la propuesta de mejora.....	79
Tabla 30 Matriz de Consistencia	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de relación de las variables.....	18
Figura 2. Diagrama de Flujo de Producción y Tratamiento	29
Figura 3. Ishikawa de baja calidad del área de Producción.....	37
Figura 4. Años de experiencia de los operadores en planta	39
Figura 5. Factor importante de coagulación y floculación.....	40

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Hallar el volumen de Sulfato de Aluminio	44
Ecuación 2. Hallar porcentaje de remoción.....	48
Ecuación 3. Hallar eficiencia económica.....	51

RESUMEN

El estudio fue realizado en una planta de tratamiento agua potable en la Región Norte del Perú, donde se evidenció cuan involucrado está la optimización de los procesos de coagulación y floculación para mejorar la calidad del agua en el tratamiento de agua potable, motivo por lo cual se desarrolla este estudio. Teniendo un enfoque cuantitativo y de diseño experimental puro, utilizando las técnicas de encuestas a operadores de planta y Test o Prueba de Jarras con distintas turbiedades. Se encontraron deficiencias en la cantidad de dosificación de coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A, viéndose afectado directamente la calidad del agua en el tratamiento de potabilización. Debido a esto se realizaron 120 pruebas con dosificaciones para distintas turbiedades de agua cruda que ingresó a planta. Con el objetivo de diseñar una nueva tabla, cuyos resultados se dan en 34 intervalos distintos y se interpolaron para obtener una tabla de dosificaciones en un rango de 8 U.N.T hasta 1850 U.N.T. Con el diseño presentado se obtuvo una diferencia en cuanto a turbiedad de 25.6 % menor y respecto al Ph fue de 3.7 % mayor, teniendo así un ph con más cercanía a ph básico que a ph ácido. Además, se realizó un presupuesto económico para la mejora del diseño del año 1 al año 3 y será de S/. 124.80 respectivamente. Finalmente se concluye que al aplicar las dosificaciones de la tabla propuesta se lograría optimizar el proceso de coagulación y floculación mejorando directamente la calidad del agua.

Palabras clave: Tratamiento de agua potable, coagulación, floculación, optimización, dosificación, coagulante, turbiedad, ph.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS

- Araque Arellano, M. (2022). *Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable* (1ra ed.). Quito, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22350/4/DISEN%cc%83O%20HIDRA%cc%81ULICO%20DE%20PLANTAS%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20POTABLE.pdf>
- Ávila Velastegui, A. F. (2015). *Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Baños de Agua Santa*. Tesis, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4110/1/96T00288%20UDCTFC.pdf>
- Bautista Vásquez, J. F., & Huamán Tanta, R. M. (2018). *Propuesta de mejora de los procesos en la línea de quesos y su relación con la productividad en la empresa Industria Alimentaria Huacariz S.A.C. - Cajamarca*. Cajamarca. Obtenido de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=1&sid=251ec912-6d96-415d-b031-a697c0c2a1b9%40sdc-v-sessmgr03&bdata=JmxhbmMc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=upn.11537.13674&db=ir00628a>
- Chulluncuy, N. C. (16 de Junio de 2011). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima. Obtenido de www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495008
- Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. (7 de Junio de 2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Decreto Supremo N°031-2010-DIGESA. (Febrero de 2011). Reglamento de la calidad del agua para Consumo Humano. *Reglamento de la calidad del agua para Consumo Humano*. Lima, Perú: Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud. Obtenido de http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
- Dirección General de Salud Ambiental , & Ministerio de Salud. (2011). *Reglamento de la calidad del agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA*. Decreto Supremo, Lima, Perú. Obtenido

http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf

Dávila Newman, G. (2006). El Razonamiento Inductivo y Deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales. *Laurus Revista de Educación*, 12. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/761/76109911.pdf>

Domínguez Amorocho, M. F. (2010). *Optimización de la coagulación - floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre - Cajasan*. Tesis, Bolivia. Obtenido de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/848/digital_19174.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gallart, R. (2019). *Operaciones básicas de laboratorio*. Sevilla: Mc Graw - Hill. Obtenido de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448184491.pdf>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). México D.F.: McGRAW-HILL. Recuperado el 18 de Junio de 2020, de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Iglesias Ordoñez, M. L. (2018). *Optimización de los Procesos De Coagulación – Floculación en la planta de potabilización perteneciente al Cantón Cañar*. Cuenca, Ecuador.

Lorenzo Acosta , Y. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación - floculación*. Revista Científica de América Latina, Instituto Cubano de Investigaciones de los, Ciudad de La Habana, Cuba. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>

Medina Martinez, T. (2021). *Evaluación de los Coagulantes Sulfato de Aluminio Tipo A y Policloruro De Aluminio para reducir la turbiedad del agua de procesos para una Planta Piloto De Flotación*.

Morella Arráez, J. C., & Moreno de Tovar, L. (Diciembre de 2006). La Hermenéutica: una actividad interpretativa. *Sapiens. Revista Universitaria de Investigación*, 7(2), 171-181. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/410/41070212.pdf>

ONU. (22 de Octubre de 2014). *Departamento der Asuntos Económicos y Sociales de Naciones*

Unidas (ONU-DAES). Obtenido de

<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Pomalaza Bacilio, F. S., & Victoria Rivera, M. R. (2016). *Optimización del metodo de coagulacion-floculacion para la remocion de arsenico de fuentes de agua potable empleando sulfato de aluminio tipo A*. Tesis, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3759>

Rojas Crotte, I. R. (2011). Elementos para el diseño de técnicas de Investigación: Una propuesta de definiciones y procedimientos en la investigación científica. *Tiempo de Educar*, 12(24), 277-297. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/311/31121089006.pdf>

Salinas, P., & Cárdenas, M. (2009). *Métodos de Investigación Social*. Quito: Editorial "Quipus", CIESPAL. Recuperado el 18 de Junio de 2020, de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55376.pdf>

Vásquez Núñez, R. S. (2019). *Optimizacion del coagulante Sulfato de Aluminio en el Tratamiento de Potabilización del Agua de la Planta de Chota-Cajamarca*. Tesis, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/3347>