



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN EN LOS SISTEMAS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, 2010-2020. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Industrial

Autor:

Luz Marina Fernández Huaripata

Asesor:

Mg. Ing. Karla Rossemary Sisniegas Noriega

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios por darme la fuerza y la motivación necesaria en la vida,
a mis padres por el apoyo que me brindan en este proceso de aprendizaje y crecimiento
profesional, también a las personas que me ayudaron a cumplir mis objetivos
universitarios.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por hacer posible mi crecimiento profesional, a mis padres, familiares y amigos por ayudarme en cada paso de experiencia universitaria, finalmente agradezco a la Universidad Privada del Norte por brindarme una enseñanza de calidad y docentes capaces de lograr un mejor desempeño académico.



TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
RESUMEN.....	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	11
CAPÍTULO III. RESULTADOS	14
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	24
REFERENCIAS.....	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	14
 ✓  ✦ ✓ 	17
Tabla 3	18
Tabla 4	19
 ✓  ✦ ✓ 	22

RESUMEN

De acuerdo a la literatura, la optimización de los procesos de coagulación y floculación es una de las operaciones más importantes, ya que son los primeros procesos que se realizan dentro de la potabilización de agua cruda, estos son los que dan paso a los demás procesos del tratamiento de agua. Sin embargo, su efectividad se ve afectada por diversos factores uno de los principales es el cálculo de la dosificación de coagulante a aplicar. (Domínguez Amorocho, 2010). Es por esto, el objetivo de la presente investigación es conocer la cantidad de dosificación óptima de coagulantes para optimización los procesos de coagulación y floculación. Se utilizó la metodología de revisión sistemática, teniendo en cuenta el idioma, el año, relación de variables, y fuentes confiables, se encontraron 102 documentos de diferentes bases de datos como: EBSCO, Google Académico, Plataforma Proquest, Redalyc, Scielo, y la Plataforma vLex. Los diferentes estudios concluyeron al 100 % que la mejor metodología para encontrar las dosis óptimas era mediante pruebas en Test de Jarras o Prueba de Jarras. Como principales hallazgos, se ha encontrado que para la optimización del proceso de coagulación - floculación es directamente proporcional a la dosificación de coagulantes, coadyuvantes, y polímeros. Es por esto que en los estudios se analiza la efectividad de los mismos, tanto de productos químicos como orgánicos o naturales, dando como resultado en la mayoría de investigaciones el Sulfato de Aluminio como el coagulante químico más efectivo, barato, dominante y más utilizado del mercado, adicional a esto se encontraron diferentes variables que no son objetivo de estudio que influyen en la en las variables de estudio.

PALABRAS CLAVES: Tratamiento de agua potable, coagulación, floculación, optimización, dosificación, coagulantes.



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El agua es un líquido fundamental e imprescindible para todas las formas de vida en la tierra, y se define como una sustancia compuesta, producto de la combinación de dos átomos de hidrógeno con uno de oxígeno (H_2O). La encontramos en la naturaleza en diferentes fuentes que el hombre utiliza para abastecerse: lluvia, subterránea (aljibes y pozos perforados), superficial (ríos, lagos, quebradas y mares) y en forma de neblina y glaciares. Los cambios en la naturaleza y actividades del hombre, pueden causar deterioro de las fuentes de agua, haciendo que esta no sea adecuada para los seres humanos. En un inicio el hombre se limitaba a usar el agua para subsistir; es decir, la aprovechaba como bebida y para preparar los alimentos, sin embargo, la difusión de hábitos higiénicos y el desarrollo industrial hicieron que aumentara el consumo de agua por el hombre (Chulluncuy, 2011).

Dada la capacidad del agua para disolver casi cualquier sustancia, el agua químicamente pura – sin ninguna sustancia disuelta – no existe en la naturaleza. Es frecuente que el agua adquiera sustancias que resultan indeseables para un uso determinado y, por ello, se puede decir que se contamina fácilmente (López, 2018).

Ya sea, que entre en contacto con el aire, el suelo o incluso el propio hombre, adquiere impurezas y modifica su composición, lo que puede producir enfermedades y perjuicios para el ser humano. Por esta razón, el hombre debe disponer de agua en cantidad suficiente y de calidad adecuada para que pueda atender todas sus necesidades. El deterioro de la calidad de agua de las fuentes de abastecimiento, incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su potabilización; la evaluación de calidad de agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizado el suministro de agua segura (Barajas Garzón & León Luque, 2015).

Es por ello la creación de plantas de tratamiento de agua potable desde tiempos remotos, las cuales buscan tratar el agua cruda con la finalidad de potabilizarla, reduciendo impurezas perjudiciales y nocivas para el ser humano, mejorando la calidad del agua natural. Las plantas de tratamiento se dividen en: plantas de tratamiento de filtración lenta, que son altamente eficientes en remoción microbiológica, no pueden operar con altas turbiedades, tienen bajos niveles de operación y mantenimiento; y plantas de tratamiento de filtración rápida, en el cual intervienen procesos de remoción químicos y físicos, y pueden tratar eficientemente altas turbiedades (Sorangel Rivas, Gerardo Menés, & Aimet Rómulo, 2017).

Las características físicas del agua son: turbiedad, color, olor, sabor, temperatura; y las características químicas del agua son: aceites y grasas, agentes espumantes, alcalinidad, amonio, cloruros, dureza, hierro, pH, plomo, sulfatos, entre otros. El proceso de potabilización del agua consiste en primera instancia medir, y mantenerse dentro del nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y microbiológicos presentes en el agua de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (Decreto Supremo N°0004-2017-MINAM, 2008, art.1).

Para posteriormente realizar el tratamiento para la potabilización del agua con los procesos de: Coagulación, donde se produce la mezcla del coagulante con el agua para provocar que las partículas que producen turbiedad puedan juntarse, aumentar su tamaño y peso para luego ser separadas del agua por medio de la sedimentación y filtración; Floculación, reúne las partículas desestabilizadas para formar partículas de mayor tamaño y peso que se denominan flóculos; Sedimentación, es la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión de un fluido, y que tengan peso específico mayor que el fluido; Filtración, separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias,

virus) a través de un medio poroso; y Desinfección, garantiza la potabilidad del agua, destruyendo selectivamente los organismos potencialmente infecciosos (Chulluncuy, 2011).

El proceso de coagulación y floculación es una de las operaciones más importantes, ya que son los primeros procesos que se realizan dentro de la potabilización de aguas, estos son los que dan paso a los demás procesos del tratamiento de agua. Sin embargo, su efectividad se ve afectada por diversos factores tales como, el cálculo de la dosificación de coagulante a aplicar, irregularidades en la unidad de mezcla rápida, restos de material flotante, entre otros (Domínguez Amorocho, 2010).

Es por esto que en las dos últimas décadas se ha profundizado en el estudio de la coagulación-floculación y en el empleo de nuevos coagulantes y coadyuvantes, tanto inorgánicos como orgánicos, para conseguir una buena eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión totales, en el proceso de depuración de aguas y efluentes. (Aguilar, Sáez, LLoréns, & Soler, 2002).

Aunque Sulisty, Rahayu, Sediawan, Sarto, Yusuf y Nainggolan (2012) ya presentaron una revisión sistemática para el tratamiento del agua por coagulación-floculación utilizando sulfato férrico como coagulante; su investigación se basa sólo en trabajos publicados entre 1954 y 2006 y en inglés. Además que en ellos utilizan como coagulante sulfato férrico para optimizar de los proceso de coagulación y floculación.

Solis, Laines, & Barajas (2012) Presentan una revisión sistemática de mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales; su trabajo sólo se basa en trabajos publicados entre 1975 y 2009 y en español. Además, en ellos se compararon mezclas con potencial coagulante compuestas por almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y sulfato

de aluminio grado comercial, que permitirían reducir la cantidad sulfato de aluminio usado en plantas de tratamiento de agua.

Vásquez (2018) Presentan una revisión sistemática de la optimización de coagulantes sulfato de aluminio en el tratamiento de potabilización del agua de la planta de Chota-Cajamarca; su trabajo sólo se basa en trabajos publicados entre 2006 y 2017 y en español. Además, en ellos se muestran datos para optimizar la concentración del sulfato de aluminio como coagulante del agua de la planta de Chota-Cajamarca, y evaluar su incidencia en su calidad.

Tomando las investigaciones anteriores, la muestra resulta siendo importante las siguientes razones, (a) no han incluido restricciones temporales en la búsqueda, (b) los procesos de interés del tratamiento de agua potable, fueron coagulación y floculación, lo que excluye cualquier otro proceso (sedimentación, filtración y desinfección), (c) se han considerado investigaciones con diferentes tipos de coagulantes, con la finalidad de obtener diferentes datos para optimizar de los procesos de coagulación y floculación de las plantas de tratamiento de agua potable (d) la búsqueda incluye investigaciones en inglés y español. Entonces, en este artículo se responde a la siguiente pregunta: ¿Qué se conoce de la optimización del procesos de coagulación y floculación en los sistemas de las plantas de tratamiento de agua potable en los 10 últimos años?

El objetivo de este estudio es realizar una revisión sistemática de trabajos publicados que informasen de la optimización de procesos de coagulación y floculación en las plantas de tratamiento de agua potable. Además, se incluye información sobre los diferentes coagulantes y coadyudantes de la coagulación para obtener mejores resultados en estos procesos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática siguiendo las recomendaciones propuestas por la extensión de la declaración PRISMA (Hutton, Catalá, & Moher, 2016). La búsqueda se realizó en las bases de datos EBSCO, Google Académico, Plataforma Proquest, Redalyc, Scielo, y la Plataforma vLex, con la intención de responder a la siguiente pregunta. ¿Qué se conoce de la optimización del procesos de coagulación y floculación en los sistemas de las plantas de tratamiento de agua potable en los 10 últimos años?

La ecuación de búsqueda utilizada en inglés fue «*Coagulation AND flocculation AND treatment plants*» y en español «coagulación AND floculación AND plantas de tratamiento». Con el objetivo de minimizar el potencial sesgo de publicación, la búsqueda tuvo limitación temporal de los 10 últimos años, pero no del tipo de coagulantes y coadyudantes de la coagulación a utilizar en los procesos.

La búsqueda se realizó en Abril de 2020 y mostró 102 resultados, que se redujeron a 34 estudios tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión. El proceso completo, con indicación de los trabajos descartados junto a los motivos de su eliminación, queda detallado en la figura 1.

Como criterios de exclusión se utilizaron: (a) estudios que no se realizaron en el periodo de los 10 últimos años, (b) que no responde a la pregunta de investigación, (c) fuentes no confiables y (d) estudios que no tiene relación con la temática.

Calificación de los resultados y análisis de información

Un manual de codificación fue creado para el registro de las variables; dicho material se encuentra disponible previa posición el autor de correspondencia.

Se obtuvo de cada uno de los trabajos la siguiente información: autores, propósito principal de la investigación, año de publicación, país donde se desarrolla el estudio, idioma (español e inglés), diseño de la investigación, tamaño y tipo de proceso de tratamiento de agua (coagulación y floculación), tipos de coagulantes y coadyuvantes de la coagulación (químicos o naturales), fórmulas para encontrar dosis óptima de coagulante dependiendo de los parámetros medidos, comparación de efectividad de coagulantes químicos y así como el tipo de revista en que se publica la investigación.

Los estudios empíricos fueron codificados de forma independiente por los investigadores. El grado de acuerdo a parámetros medibles como son turbiedad de UNT que se debe tener un valor (mínimo= 5); Ph, muestras de agua cruda con un valor inicialmente de un pH 7 y modificada a pH a 6 y 7.8 con ácido cítrico (C₆H₈O₇) y cal (CaO) respectivamente (mínimo= 6.85, máximo=8.5); y conductividad en 25° C que se debe tener un valor (mínimo=1000 umho/cm).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Respecto a la localización de los estudios, un 35.3% se realizaron en Colombia, un 14.7% en Perú, un 8.8% en México, un 5.9% en Cuba y Ecuador, y un 2.9% en cada uno de los países siguientes: Argentina, Bolivia, India, Turquía, China, Indonesia, Bosnia y Herzegovina, Rumania, Grecia y Costa Rica. En cuanto al idioma, el 72.2% de los estudios estaban publicados en español y el 25.9% en inglés (Pomalaza Bacilio & Victoria Rivera, 2016).

Tabla 1

Información General de Estudios de Inclusión

N°	Título	Autor(es)	Buscador	Idioma	Año de Publicación
1	Mezclas con Potencial Coagulante para Clarificar aguas Superficiales	Solis Silvan, Rudy; Laines Canepa José Ramón; Hernández Barajas; José Roberto	Redalyc	Español	2012
2	Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua	Choque Quispe, David; Choque Quispe, Yudith; Solano Reynoso, Aydeé M.; Ramos Pachecho, Betsy S.	Redalyc	Español	2018
3	Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara	Sorangel Rivas-Romero, Gerardo Menés-Vuelta, Aimet Rómulo-Rodríguez	Redalyc	Español	2017
4	Tratamiento de agua para consumo humano	Chulluncuy Camacho, Nadia Cristina	Redalyc	Español	2011
5	Tratamiento por electrocoagulación y coagulación-floculación de la vinaza de destilerías	Ojeda Armaignac, Elaine; Hing Cortón, Romelia	Redalyc	Español	2009
6	Optimización de la coagulación - floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre - Cajasan	Gondres Torné, Israel, Lajes Choy. Santiago, del Castillo Serpa, Alfredo	Google Académico	Español	2013
7	Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio (al ₂ (so ₄) ₃ 18h ₂ o) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial.	Barajas Garzón, Claudia Lorena. León Luque, Andrea Juliana	Google Académico	Español	2015
8	Optimización del coagulante Sulfato de Aluminio en el Tratamiento de Potabilización del Agua de la Planta de Chota-Cajamarca	Vásquez Núñez, Rosmery Stefany	Google Académico	Español	2019
9	Optimización del método de coagulación-floculación para la remoción de arsénico de fuentes de agua potable empleando sulfato de aluminio tipo A	Pomalaza Bacilio, Fannie Susan; Victoria Rivera, Mashyory Rosmery	Google Académico	Español	2016

10	Propuesta para optimizar la dosificación de los reactivos químicos para el Tratamiento de agua potable en la PTAP del Municipio de Simiti, Bolivar	Iglesias Hernández, Oscar Javier	Google Académico	Español	2018
11	Optimización del sistema del tratamiento de agua potable cantón Tisaleo.	Córdova Aroca, Christian Paúl	Google Académico	Español	2014
12	Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Baños de Agua Santa	Ávila Velastegui, Andrés Francisco	Google Académico	Español	2015
13	Optimización de sulfato de aluminio para la remoción de materia orgánica en la obtención de agua potable	Mendoza Ascurra, Jorge Luis; Miranda Cabrera, Danton Jorge; Vásquez Clavo, Guillermo Napoleón; Fernández Herrera, Fredesvindo; Rojas Paz, Jorge Luis; Cabello Blanco, Jaqueline Jessica	Google Académico	Español	2014
14	Determinación de los coeficientes del modelo de San, para calcular el porcentaje de remoción de partículas floculantes con tres tipos de coagulantes	Ruge, Juan Carlos; Pulgarín, Diego; Santamaría, Felipe; Orduz, Oscar Ivan	ProQuest	Inglés	2019
15	Clarificación del agua de un humedal usando una mezcla de coagulantes naturales / Aclaración del agua de los humedales usando una mezcla de coagulantes naturales	Rianos, Katerin; María Carolina Meza Leones; Mercado Martínez, Ivan Darío	ProQuest	Inglés	2019
16	Estudio de las características de coagulación / floculación de polímeros orgánicos extraídos de residuos biológicos para tratamiento de aguas	María Belén Aldás Sandoval; Brenda Belén Buenaño Bautista; Vera Calle, Edwin Rafael	ProQuest	Inglés	2019
17	Potencial zeta como criterio de optimización de dosificación de coagulante en planta de tratamiento de agua potable	Bibiana Betancur Corredor; Jiménez García, David Mauricio; Balmes G Gonzaga Linares	ProQuest	Español	2012
18	DECRETO SUPREMO, N° 004-2017-MINAM, PODER EJECUTIVO, AMBIENTE - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias-DECRETO SUPREMO-N° 004-2017-MINAM	Diario Oficial El Peruano	vLex	Español	2017
19	DECRETO SUPREMO N° 031-2010-SA - Aprueban Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano	Diario Oficial El Peruano	vLex	Español	2010
20	Analysis and optimization of coagulation and flocculation process.	Saritha, V.; Srinivas, N.; Vuppala, N. V. Srikanth	EBSCO	Inglés	2017
21	Optimización de los procesos de coagulación-floculación de una celulosa de fruta vacía cauterizada de palma aceitera recién sintetizada por metodología de superficie de respuesta hacia la aplicación del proceso de tratamiento de agua potable.	Che Yunus, Mohd; Mat, Hanapi; Mohtar, Safia; Tengku Malim Busu, Tengku; Md. Noor, Ahmad; Shaari, Norsalliana; Yusoff, Nor	EBSCO	Inglés	2017
22	Tratamiento del agua por coagulación-floculación utilizando sulfato férrico como coagulante.	Sulistyo, Hary; Suprihastuti Sri Rahayu; Wahyudi Budi Sediawan; Sarto; Yusuf; Nainggolan, Ronald	EBSCO	Inglés	2012

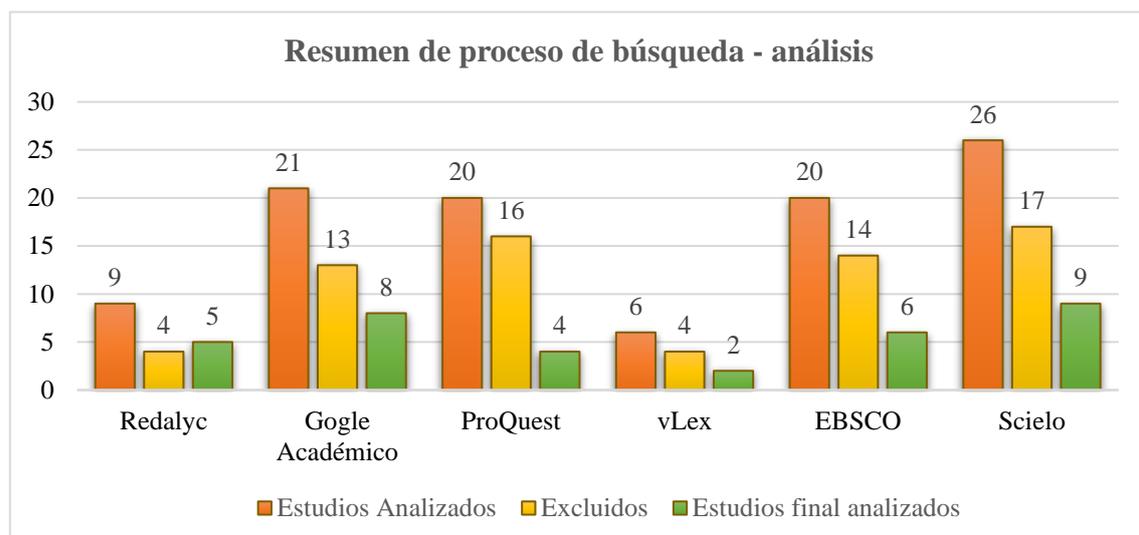
23	Coagulación y floculación en tecnología de tratamiento de agua potable.	Jusić, S.; Ademović, M.	EBSCO	Inglés	2012
24	Estudio del crecimiento de precipitados en la coagulación - floculación basada en comerciales inorgánicos	Kouachi, Redha; Apostol, Dumitru Giani; Costache, Cristina; Constantinescu, Ionel	EBSCO	Inglés	2010
25	Avances en el campo de la coagulación / floculación: reactivos de coagulación compuestos basados en Al y Fe.	Moussas, P. A.; Tzoupanos, N. D.; Zouboulis, A. I.	EBSCO	Inglés	2011
26	Evaluación de FeCl ₃ y PAC para la potabilización de agua con alto contenido de color y baja turbiedad	Yanza-López, Jeffrey, Rivera-Hernández, Robert, Gómez-Torres, Luisa, Zafra-Mejía, Carlos	Scielo	Español	2019
27	Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del Al ₂ (SO ₄) ₃ para clarificación de aguas	Fuentes Molina, Natalia, Molina Rodríguez, Emiro José, Ariza, Carla Patricia	Scielo	Español	2016
28	Estudio de remoción de arsénico en agua potable a nivel domiciliario mediante oxidación solar y coagulación-floculación	Rojas-Chaves, Paola, Vargas-Benavides, María J., Araya Obando, Andrés, Valverde-Cerdas, Johnny, Romero-Esquivel, Luis G.	Scielo	Español	2015
29	Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano	Trujillo, Daniela, Duque, Luisa Fernanda, Arcila, Juan Sebastián, Rincón, Alejandro, Pacheco, Sebastián, Herrera, Oscar Fernando	Scielo	Español	2014
30	Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación	FRANCISCA, Franco M., CARRO PÉREZ, Magalí Evelín	Scielo	Español	2014
31	Evaluación de almidones de malanga (Colocasia esculenta) como agentes coadyuvantes en la remoción de turbiedad en procesos de potabilización de agua	López-Vidal, R., Laines-Canepa, J.R., Hernández-Barajas, J.R., Aparicio-Trápala, M.A.	Scielo	Español	2014
32	Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal Opuntia ficus-indica	Olivero Verbel, Rafael Enrique, Mercado Martínez, Iván Darío, Montes Gazabón, Luz Elena	Scielo	Español	2013
33	Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales	SOLÍS SILVAN, Rudy, LAINES CANEPA, José Ramón, HERNÁNDEZ BARAJAS, José Roberto	Scielo	Español	2012
34	Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio	COGOLLO FLÓREZ, JUAN MIGUEL	Scielo	Español	2011



Tabla 3

Proceso de búsqueda - análisis

Base de Datos (BD)	Estudios Analizados	Excluidos	Estudios final analizados
Redalyc	9	4	5
Google Académico	21	13	8
ProQuest	20	16	4
vLex	6	4	2
EBSCO	20	14	6
Scielo	26	17	9
Total	102	68	34



En el gráfico nos muestra el resumen del proceso de búsqueda y análisis en los buscadores Redalyc, Google académico, ProQuest, vLex, EBSCO y Scielo cuales fueron 9, 21, 20, 6, 20, y 26. Los cuales fueron excluidos 4, 13, 16, 4, 14, y 17 por no contar con algunos criterios de inclusión. Y finalmente, el número de estudios analizados fueron 5, 8, 4, 2, 6, y 9 respectivamente. (Domínguez Amorocho, 2010)

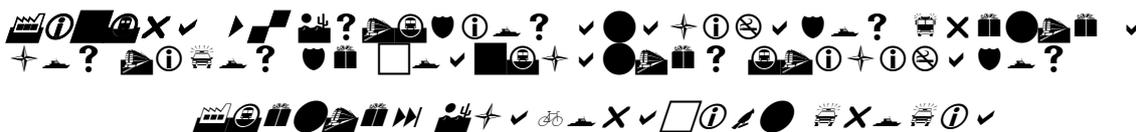
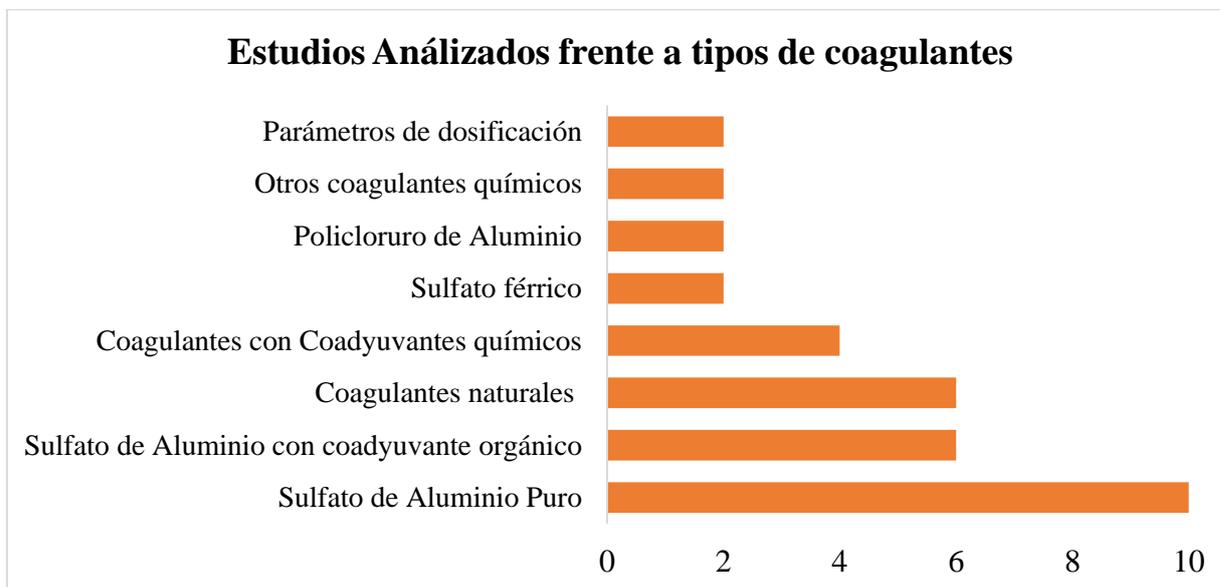
Tabla 4

Resultados de Estudios de Inclusión

N°	Título	Resultados
1	Mezclas con Potencial Coagulante para Clarificar aguas Superficiales	Método prueba de jarras, combinación tiene un potencial de coagulación-floculación de la dosis óptima utilizada es 28mg/L de Sulfato de Aluminio (agente coagulante) y 2mg/L de Almidón de Yuca (coadyuvante en la remoción de color), obteniendo una remoción del 91.6% de color, disminución de turbiedad y aumento gradual del Ph, permitiría reducir el costo económico, el impacto ambiental y los riesgos de salud pública.
2	Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua	Método de Prueba de Jarras, Echinopsis pachanoi (coagulante natural) presenta mejores resultados para la actividad Floculante y % de remoción alcanzando valores de $48.580 \pm 0.063\%$ y $99.329 \pm 0.060\%$ respectivamente, cuando es extraído con el solvente etanol, incrementando el Ph. El uso de coagulante natural permitirá disminución de sustancias químicas sintéticas, y a la vez la producción de lodos biodegradables.
3	Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara	Método prueba de jarras, de todos los distintos coagulantes inorgánicos utilizados los mejores resultados de precipitación de níquel total y de níquel disuelto, 91,70 y 88,67 % respectivamente, se lograron con el empleo del sulfato de aluminio a una dosis de 300 mg/L y cal hidratada a 150 mg/L. Cabe resaltar que el empleo de la pre-destilación no se obtienen buenos resultados para ningún coagulante.
4	Tratamiento de agua para consumo humano	Método prueba de jarras, la dosis óptima que se utilizó para el proceso de coagulación-floculación fue 36 mg/L de Sulfato de Aluminio y 75 mg/L de Sulfato férrico. Reduciendo de una turbiedad inicial de 20 NTU a 0.54 NTU y 0.84 NTU respectivamente. Se concluyó que ambos coagulantes tienen ventajas y desventajas, sin embargo el Sulfato de Aluminio es el más usado en el mercado y de bajo costo.
5	Tratamiento por electrocoagulación y coagulación-floculación de la vinaza de destilerías	Método prueba de jarras, la concentración de la dosis óptima de PERCOL 734 fue entre rangos de 60 y 80 mg/L, obtenido de la coagulación-floculación, las variables SST, DQO Y conductividad residual, disminuyeron. Si se sobre pasa las dosis óptimas el pH se verá afectado.
6	Optimización de la coagulación - floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre – Cajasan	Método prueba de jarras, el coagulante utilizado fue el Sulfato de aluminio y se concluyó que el rango de dosis óptima se registró entre 20-40 mg/L, además de la gradiente y tiempo de mezcla rápida fueron de 250RPM (248s) en tiempos de 54 y 35 minutos, óptimos para periodos de lluvia para floculación.
7	Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial.	Método Prueba de Jarras, se utilizó el coagulante $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (Sulfato de Aluminio), y su dosis óptima se encuentra en los intervalos de 5.5 y 8 mg/L. Se plantea también un sistema de Red Neuronal con la finalidad de predecir la dosis óptima de coagulante, sin embargo se necesitan una serie de datos introducidas para el entrenamiento y calibración.
8	Optimización del coagulante Sulfato de Aluminio en el Tratamiento de Potabilización del Agua de la Planta de Chota-Cajamarca	Método de Prueba de Jarras, permitió la optimización de coagulante sulfato de aluminio en la planta de tratamiento de agua en la ciudad de Chota-Cajamarca, siendo la de 38 ppm para una turbiedad de 12.1 UNT, 180 ppm para 50 UNT y finalmente 40 ppm para 15 UNT. Así mismo se determinó que los mayores porcentajes de remoción se encuentra a un pH7, obteniendo 83 % para una turbiedad inicial de 12.1 UNT, 97% para 50 UNT y finalmente 78 % para 15 UNT.

- 9 Optimización del método de coagulación- floculación para la remoción de arsénico de fuentes de agua potable empleando sulfato de aluminio tipo A
- 10 Propuesta para optimizar la dosificación de los reactivos químicos para el Tratamiento de agua potable en la PTAP del Municipio de Simiti, Bolívar
- 11 Optimización del sistema del tratamiento de agua potable cantón Tisaleo.
- 12 Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Baños de Agua Santa
- 13 Optimización de sulfato de aluminio para la remoción de materia orgánica en la obtención de agua potable
- 14 Determinación de los coeficientes del modelo de San, para calcular el porcentaje de remoción de partículas floculantes con tres tipos de coagulantes
- 15 Clarificación del agua de un humedal usando una mezcla de coagulantes naturales
- 16 Estudio de las características de coagulación / floculación de polímeros orgánicos extraídos de residuos biológicos para tratamiento de aguas
- 17 Potencial zeta ([zeta]) como criterio de optimización de dosificación de coagulante en planta de tratamiento de agua potable
- 18 DECRETO SUPREMO, N° 004-2017-MINAM, PODER EJECUTIVO, AMBIENTE - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua
- La metodología utilizada fue prueba de jarras, se utilizó como coagulante sulfato de Aluminio tipo A, determinando que la dosis óptima para la remoción de arsénico es 120 mg/L en condiciones de 15,8°C de temperatura, pH 8, tiempo de mezcla rápida 5 minutos, gradiente de velocidad de mezcla rápida de 200rpm, 15 minuto de mezcla lenta, gradiente de mezcla lenta de 60rpm y de 30 minutos de sedimentación.
- La PTAP Simiti metodología utilizada Test de Jarras, con el coagulante policloruro de aluminio en estado granular, se utilizan en la PTAP dos sacos de 25 kg en 500 Lts de agua se utiliza a una concentración del 10%, realizando así pruebas entre los rangos 14 mg/L y 34 mg/L.
- Con el método de prueba de Jarras, y utilizando Policloruro de Aluminio como coagulante, se concluyó que para la época Invernal para PAC se necesitarán 199.64 kg/d para cumplir con los parámetros para consumo Humano de agua potable.
- Método de prueba de jarras, se determinó que la dosificación de Sulfato de Aluminio debería ser de 323,97 g por día en temporada lluviosa (Concentración 15 p.p.m.) y 258,9 g por día en temporada seca (Concentración 12 p.p.m.) y con la dosificación de Cloro Gas de 24,3 kg. Es de suma importancia la dosificación en la etapa de coagulación para así poder optimizar el Tratamiento de agua potable.
- En el estudio se ha obtenido la concentración óptima de Oxido de Calcio (Coadyuvante) fue de 200 mg/l, utilizando el método de Prueba de Jarras. La concentración óptima de Sulfato de Aluminio (Coagulante) fue de 120 mg/l. Así mismo hemos obtenido una sistematización que nos permite relacionar la concentraciones de Oxido de Calcio y Sulfato de Aluminio con el Nivel e Turbidez.
- Utilizando el Test de jarras como metodología se aplicó, Sulfato de aluminio tipo A, o sulfato de aluminio tipo B se utilizaron como coagulantes, tipo II. Se produjo sedimentación. El porcentaje promedio de material eliminado de acuerdo con el sulfato de aluminio tipo A fue del 59,3%. El material promedio eliminado bajo las mismas condiciones para el sulfato de aluminio tipo B fue del 40,5%, y para férrico cloruro fue del 65%.
- Identificado las tres mejores remociones, 89.7, 93.0 y 93.4% que se obtuvieron con una proporción 80:20, 60:40 y 50:50, de almidón de yuca-Moringa semillas Oleífera cuando dosis de 470, se usaron 600 y 500, g / L respectivamente.
- En comparación con los 65 mg / L de sulfato de aluminio utilizados como coagulante sin la adición de polímeros, el uso de las ayudas de floculación permitieron un ahorro de sulfato de aluminio de 15 mg / L cuando se usa almidón y PAM y de 5 mg / L cuando utilizando pectina y extracto de tamarindo en agua, cloruro de sodio y acetato de amonio.
- Las dosis de SAL se aplicaron en el rango 20- 60 ppm y de PAC en el rango 5-15 ppm. La muestra se agitaba durante 1 minuto a 400 rpm, 7 minutos a 40 rpm, 7 minutos a 22 rpm, y 7 minutos a 12 rpm respectivamente. Posteriormente se dejaban las jarras en reposo durante 15 minutos, se tomaban 20 ml de muestra de cada recipiente y se realizaba la medición de turbiedad y color, mediante el método de pruebas de jarras.
- Aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

- 19 DECRETO SUPREMO N° 031-2010-SA - Aprueban Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano
- 20 Analysis and optimization of coagulation and flocculation process.
- 21 Optimización de los procesos de coagulación-floculación de una celulosa de fruta vacía cauterizada de palma aceitera recién sintetizada por metodología de superficie de respuesta hacia la aplicación del proceso de tratamiento de agua potable
- 22 Tratamiento del agua por coagulación-floculación utilizando sulfato férrico como coagulante
- 23 Coagulación y floculación en tecnología de tratamiento de agua potable
- 24 Estudio del crecimiento de precipitados en la coagulación - floculación basada en coagulantes comerciales inorgánicos
- 25 Avances en el campo de la coagulación / floculación: reactivos de coagulación compuestos basados en Al y Fe
- 26 Evaluación de FeCl₃ y PAC para la potabilización de agua con alto contenido de color y baja turbiedad
- 27 Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del Al₂(SO₄)₃ para clarificación de aguas
- 28 Estudio de remoción de arsénico en agua potable a nivel domiciliario mediante oxidación solar y coagulación-floculación
- Que, mediante Resolución Suprema del 17 de diciembre de 1946, se aprobó el “Reglamento de los requisitos oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables”, el cual se encuentra desactualizado y obsoleto en el contexto actual.
- El color se reduce hasta un 90% con Sulfato de Aluminio a pH 7 en ambos velocidades de mezcla, mientras que la quitina se redujo más del 92% a el mismo pH a ambas velocidades de mezcla en todas las dosis.
- El rango de dosificaciones de coagulante - floculante, pH, y la concentración de caolín fue entre 50-70, 5.5-7 y 1200–2300 mg/L, respectivamente. Específicamente, el valor de la deseabilidad de la respuesta general fue 62.5, 7.0 y 1400 mg / L para dosis de coagulación-floculante, pH y concentraciones de caolín, respectivamente, para obtener [99% de et y 10.74 mg / L de SVI. A través del método de prueba de jarras.
- La dosis óptima de sulfato férrico a la concentración sólida se puede determinar diluyendo la muestra y reduciendo cantidad de sulfato férrico en el que se diluye factor posterior puede ser utilizado como la relación entre la concentración sólida y el sulfato férrico en la muestra, como 320 ppm: 100 ppm.
- La reacción inicial del agua cruda con el coagulante es extremadamente rápida y termina en menos de 1 segundo o antes de que se completen las reacciones iniciales. Con este enfoque, el uso del término mezcla actual es más adecuado que el término mezcla rápida. El tamaño del gradiente de velocidad para la floculación varía de 20 a 150 s, y el tiempo de mezcla de 20 a 45 minutos.
- Para determinar el crecimiento de los flóculos durante el tiempo, 500 ml de suspensión han sido tratados con las dosis óptimas de coagulantes, 3.3 mg / L PAX 18, respectivamente 2.9 mg / L PIX 113, y las mezclas suspensión - el coagulante se ha mezclado de acuerdo con Método Jar-Test, durante 2 minutos a 150 rpm en etapa de coagulación, y 15 minutos a 50 rpm en fase de floculación. Como tiempo de referencia, momento de se ha considerado la dosificación de coagulante.
- Los coagulantes compuestos exhiben mejor rendimiento, que PACl y AP, con el PACAP 1/15 para ser un poco más efectivo, logrando una tasa de eliminación del 99% para la dosis más alta de coagulante aplicada (es decir, 250 mg / L)
- El FeCl₃ + PAC como auxiliar de coagulación es más económica en relación con el tratamiento con PAC. En promedio, a nivel mensual, puede pronosticarse que para tratar un caudal mínimo de 80 L/s la diferencia promedio entre los dos tratamientos es de tres millones de pesos; mientras que para un caudal máximo de 210 L/s esta diferencia aumenta a ocho millones de pesos.
- Las concentraciones para la biomasa moringa (260 y 326, 67 mg/L), almidón de yuca (304.33 mg/L, 524.17 mg/L), algas (194,17 mg/L y 208,33 mg/L) y cactus opuntia (173,33 y 390,33 mg/L), y reportan concentraciones finales después del tratamiento de 580 mg/L, manejando una concentración inicial de 810 mg/L.
- La concentración óptima de polímero catiónico estuvo en el rango de 1-1,8 mg/L con una remoción del 96%. En el caso del mozote, la dosis óptima fue de 250 mg/L correspondiente a una remoción del 98%. Esta dosis se encuentra dentro del rango (200-400 mg/L) empleando sulfato de aluminio como coagulante, con una dosis de 1 mg/L.



De los estudios analizados 29% de los autores concluyen que utilizar el Sulfato de Aluminio puro como coagulante permitirá, la optimización de los procesos de coagulación y floculación, mientras que el 18 % analiza la efectividad del Sulfato de Aluminio con un coadyuvante orgánico, y otro 18% estudia los resultados de sólo utilizar coagulantes naturales, así mismo el 12% opina que es mejor utilizar Coagulantes y Coadyuvantes químicos, no obstante, el 6% concreta que es mejor la utilización del Sulfato férrico como coagulante y el otro 6 % utilizar Policloruro de Aluminio. Existen autores que realizan sus análisis con diferentes coagulantes químicos representando como el 6%. Y finalmente de estudios que representa los parámetros para la mejor la dosificación para la optimización de los procesos y mejorar la calidad de agua representados en un 6%; el 100 % de los estudios concluyeron que la mejor metodología para encontrar las dosis óptimas era mediante Test de Jarras o Prueba de Jarras.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

El análisis de la información recogida indica que más del 60% de los estudios realizados encuentran más efectivo utilizar sólo coagulantes, coadyuvantes, o polímeros químicos como Sulfato de Aluminio, Sulfato férrico, Óxido de Magnesio, Hidróxido de calcio, entre otros, para una mejor optimización de los procesos de coagulación – floculación (Moussas, Tzoupanos, & Zouboulis, 2011), por otro lado menos del 40% ofrece como alternativa la utilización de coagulantes y/o coadyuvantes, o polímeros orgánicos extraídos de distintos elementos naturales como *Echinopsis pachana*, *Neoraimondia Arequipensis*, *Opuntia ficus* y distintos tipos de almidones, o inclusive toman en cuenta la combinación de ambos tipos de coagulantes tanto químicos como naturales para la obtención de mejores resultados (Choque Quispe, Choque Quispe, Solano Reynoso, & Ramos Pachecho, 2018).

Empleando coagulantes químicos como el policloruro de aluminio permite obtener un rango más amplio respecto al Ph del agua, para encontrar ya que tiene un mejor comportamiento en aguas frías en remoción de turbiedad y color, en comparación del Sulfato de Aluminio tipo B (Iglesias , 2018). Así mismo, el uso de coagulantes polimerizados como el hidroxiclورو de aluminio puede lograr un mejor desempeño del proceso de clarificación tanto desde el punto de vista del mejoramiento de la calidad del agua tratada como del costo del tratamiento, en comparación con los coagulantes convencionales como el sulfato de aluminio (Cogollo Flórez , 2011).

La utilización de la mezcla de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio granulado con un coadyuvante natural como almidón de yuca tienen un potencial de coagulación-floculación y ayudar al tratamiento de las aguas superficiales, permitiendo

reducir el impacto ambiental y los efectos a la salud pública (Domínguez Amoroch, 2010), igualmente la combinación de Sulfato de Aluminio líquido como coagulante químico y el almidón de plátano como coadyuvante orgánico de la coagulación, permitirá substituir el uso de polielectrolitos comerciales y reducir así los costos de los tratamientos por coagulación/floculación (Trujillo, y otros, 2014).

Respecto a coagulantes químicos, el uso de sulfato férrico en el proceso de coagulación-floculación ofrece ventajas tales como no producir aluminio residual, en algunos casos produce un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que el Sulfato de Aluminio, puede trabajar con un rango de Ph amplio, sin embargo, su costo es elevado, y puede producir color en el agua (Sulistyo H. , y otros, 2012) .Por otro lado, de todos los coagulantes químicos más dominante del mercado, el más utilizado por su efectividad, y bajo costo es el sulfato de aluminio (Sorangel Rivas, Gerardo Menés, & Aimet Rómulo, 2017), incluyendo que su manejo es sencillo por el personal, puesto que no requiere de cuidados especiales para su uso, así mismo, este no se modifica en el tiempo (Chulluncuy, 2011).

Los resultados de los procesos de coagulación- floculación se pueden ver afectados por la dosificación incorrecta en estas etapas por ende el tratamiento de agua potable, o en la realización de las pruebas de jarras proceso mediante el cual se obtiene las dosis óptimas de los diferente coagulantes, coadyuvantes y polímeros (Ávila Velastegui, 2015), otro factor relevante es también, es la diferencia que existen en el tiempo de adicción de los reactivos químicos de las soluciones al realizar la prueba de jarras, o en la misma planta, particularmente cuando se utilizan coadyuvantes de la coagulación (Pomalaza Bacilio & Victoria Rivera, 2016).

Una manera adecuada de poder optimizar la dosificación de coagulantes, es el potencial Zeta, ya que, debido a su diminuto tamaño y su complejo comportamiento las partículas coloidales no pueden ser removidas por métodos de sedimentación y filtración convencional. Es por ello que hoy en día estos se eliminan mediante la disminución de este potencial con coagulantes tales como el alumbre, cloruro férrico y/ o polímeros catiónicos. Una vez reducida o eliminada la carga no existirán fuerzas repulsivas que impidan la formación de macropartículas (Vásquez Núñez, 2019), de esta manera se obtendrá turbiedad y color más bajos en el agua sedimentada. Optimizando la cantidad de coagulante requerido, mejorando el proceso de coagulación-floculación, y a su vez disminuyendo costos, ya que, se evitarán dosificaciones excesivas de coagulante asociadas a incrementos en el costo del tratamiento (Corredor, Jimenez García, & Linares, 2012)

Conclusiones

Se ha encontrado que para la optimización del proceso de coagulación - floculación es directamente proporcional a la dosificación de coagulantes, coadyuvantes, y polímeros. Es por esto que en los estudios se analiza la efectividad de los mismos, tanto de productos químicos como orgánicos o naturales, dando como resultado en la mayoría de investigaciones el Sulfato de Aluminio como el coagulante químico más efectivo, barato, dominante y más utilizado del mercado; y almidón de yuca como coadyuvante natural.

En todos los estudios revisados concluyen en el pilar fundamental es la realización de prueba de Jarras para la obtención de las dosis óptimas, para posteriormente trasladar toda esta información de los datos obtenidos a las plantas de tratamiento para la optimización de estos procesos. Sin embargo, existen variables que pueden afectar la optimización de las mismas, tales como medidas incorrectas de dosificación, y diferencia que existen en el

tiempo de adicción de los reactivos químicos de las soluciones particularmente cuando se utilizan coadyuvantes de la coagulación.

Finalmente, a la optimización del proceso de dosificación se puede tomar como medida implementar con el potencial Z.

Recomendaciones

Se recomienda para posteriores realizaciones de revisión sistemática tomar la mayor cantidad de documentos realizados en el extranjero, puesto que utilizan diferentes tipos de procesos, reactivos naturales y/o químicos, y soluciones. Ya que por otro lado la información peruana es un poco limitada y la mayoría de estudios son de pregrado.

Se recomienda que el área de investigación científica de ingeniería se mantenga en constante actualización, debido a que al pasar el tiempo aparecen nuevas metodologías e implementaciones de procesos.

REFERENCIAS

- Iglesias, J. O. (2018). *Propuesta para optimizar la dosificación de los reactivos químicos para el Tratamiento de agua potable en la PTAP del Municipio de Simití, Bolívar*. Tesis, Colombia.
- Aguilar, M., Sáez, J., LLoréns, M., & Soler, A. y. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*. f.g. Graf S.L. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8vIQBXPvhAUC&oi=fnd&pg=PA17&dq=info:ilNMGwmJRcsJ:scholar.google.com/&ots=cjUPaYCow5&sig=C6ov46PX-FXyJepXIBJT1obJn9o#v=onepage&q=Dos%20%C3%BAltimas%20d%C3%A9cadas%20&f=false>
- 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/handle/123456789/4110>
- Barajas Garzón, C. L., & León Luque, A. J. (2015). *Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial*. Tesis, Colombia. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11634/2916>
- Betancur, Jiménez, & Linares. (2012). *POTENCIAL ZETA (ζ) COMO CRITERIO DE OPTIMIZACIÓN*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49624958021.pdf>
- Choque Quispe, D., Choque Quispe, Y., Solano Reynoso, A. M., & Ramos Pachecho, B. S. (2018). *Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua*. Revista tecnológica y Química, Perú. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4455/445558422008/index.html>
- Chulluncuy, N. C. (16 de Junio de 2011). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima, Perú.
- Cogollo Flórez, J. M. (2011). *Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio*. Artículo de Investigación, Colombia. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532011000100002&lang=pt
- Corredor, B. B., Jimenez García, D. M., & Linares, B. G. (2012). *Potencial zeta ([zeta]) como criterio de optimización de dosificación de coagulante en planta de tratamiento de agua potable*. Journal Article, Colombia. Obtenido de <https://search.proquest.com/docview/1677458260?accountid=36937>
- Decreto Supremo N°0004-2017-MINAM. (31 de Julio de 2008). *El Peruano*. Lima, Perú.

- 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 de Bachiller, Bolivia. Obtenido de <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/848?show=full>
- Hutton, B., Catalá, F., & Moher, D. (2016). La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA-NMA. *ELSEVIER*, 5.
- López, A. E. (22 de Octubre de 2018). *CIDETEQ*. Obtenido de <https://www.cideteq.mx/CentrodeInformacion/2018/10/22/sabias-que-el-agua-quimicamente-pura-no-existe-en-la-naturaleza/>
- Moussas, P. A., Tzoupanos, N. D., & Zouboulis, A. I. (2011). *Advances in coagulation/flocculation field: Al- and Fe-based composite coagulation reagents*. Journal Article, Grecia. Obtenido de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=shib&db=eih&AN=73537469&lang=es&site=ehost-live&custid=s4509042>
- Pomalaza Bacilio, F. S., & Victoria Rivera, M. (2016). *Optimización del método de coagulación-floculación para la remoción de arsénico de fuentes de agua potable empleando sulfato de aluminio tipo A*. Tesis, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3759>
- Solis, R., Laines, J. R., & Barajas, H. (2012). Mezclas con Potencial Coagulante para Clarificar aguas Superficiales. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, 229-236.
- Sorangel Rivas, R., Gerardo Menés, V., & Aimet Rómulo, R. (2017). *Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara*. Revista tecnológica y Química, Cuba. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445551175003>
- Sulistyo, H., Rahayu, S. S., Sediawan, W. B., Sarto, Yusuf, & Nainggolan, R. (2012). *Water Treatment by Coagulation-Flocculation Using Ferric Sulphate as Coagulant*. Journal Article, Indonesia. Obtenido de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=shib&db=egs&AN=89484772&lang=es&site=ehost-live&custid=s4509042>
- Sulistyo, H., Rahayu, S., Sediawan, W. B., Sarto, Yusuf, & Nainggolan, R. (2012). Water Treatment by Coagulation-Flocculation Usign Ferric Sulphate as Coagulant. *Ajche*, 42-45.
- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Alejandro, R., Sebastián, P., & Fernando, H. O. (2014). *Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano*. Revista, Colombia. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003&lang=pt



Vásquez Núñez, R. S. (2019). *Optimización 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>

Vásquez, R. S. (2018). Optimización del coagulante sulfato de aluminio en el tratamiento de potabilización del agua de la planta de Chota-Cajamarca. Lambayeque, Perú.