

REVISTA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



ISSN: 2709-4502

Alpha Centauri

Vol. 02 Nro. 03 | 2021



Remoción de turbidez de aguas del canal madre de Chavimochic empleando diseño de mezclas de coagulantes



Removal of water turbidity from the Chavimochic mother canal using coagulant mixture design



Remoção de turvação da água do canal mãe Chavimochic utilizando o desenho de mistura coagulante

<https://doi.org/10.47422/ac.v2i3.41>

Remoción de turbidez de aguas del canal madre de Chavimochic empleando diseño de mezclas de coagulantes

Removal of water turbidity from the Chavimochic mother canal using coagulant mixture design

Remoção de turvação da água do canal mãe Chavimochic utilizando o desenho de mistura coagulante.

 GUERRERO ESCOBEDO, Adolfo Enrique
Universidad Nacional de Trujillo

 MENDOZA BOBADILLA, Jorge Luis
Universidad Nacional de Trujillo

 VERDE LUJAN, Hernán Edwin
Universidad Nacional de Barranca

 RODRIGUEZ ESPINOZA, Ronald Fernando
Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

 CELIS ROJAS, Santos Ricardo
Universidad Nacional de Barranca

 LEIVA JACOBO, Piero Adrian
Universidad Nacional de Trujillo

 PEDRO VILCHEZ, Saul Alexander
Universidad Nacional de Trujillo

RESUMEN

En la presente investigación, se estudió la remoción de turbidez de aguas pertenecientes al efluente del canal de Chavimochic ubicada en la región La Libertad, para ello se evaluaron los coagulantes sulfato férrico, amina policuaternaria, policloruro de aluminio y clorhidrato de aluminio. Se dosificaron los coagulantes por separado a muestras de 100 mL con 175 NTU, a concentraciones de 20, 30, 40 y 50 ppm determinando que la mayor remoción se obtiene a la concentración de 40 ppm. El objetivo trazado fue la formulación de una mezcla de tres coagulantes mediante la metodología del diseño de mezclas reticular simplex aumentado. Se realizó un modelamiento tipo cuártico especial reducido de las variables implicadas, resultando significativo según el análisis de varianza. El modelo obtenido alcanzó un coeficiente de correlación R^2 de 0,9302. La optimización de los resultados al 96,45% de remoción sugiere trabajar con concentraciones de 9,14 ppm, 3,38 ppm y 27,49

ppm de sulfato férrico, policloruro y clorhidrato de aluminio respectivamente. La turbidez se midió utilizando un sensor de bajo costo en conjunto con microcontrolador Arduino Uno previamente calibrado con un turbidímetro Hach Q2100Q.

Palabras clave: coagulante, turbidez, optimización.

ABSTRACT

In the present investigation, the removal of turbidity from the waters belonging to the effluent of the Chavimochic canal located in the La Libertad region was studied, for this, the coagulants ferric sulfate, polyquaternary amine, poly aluminum chloride and aluminum hydrochloride were evaluated. Coagulants were dosed separately to 100 mL samples with 175 NTU, at concentrations of 20, 30, 40 and 50 ppm, determining that the greatest removal is obtained at the concentration of 40 ppm. The objective set was the formulation of a mixture of three coagulants using the methodology of the augmented simplex reticular mixture design. A reduced special quartic type modeling of the variables involved was carried out, resulting in significance according to the analysis of variance. The model obtained reached a correlation coefficient R^2 of 0.9302. Optimizing the results at 96.45% removal suggests working with concentrations of 9.14 ppm, 3.38 ppm and 27.49 ppm of ferric sulfate, polychloride and aluminum hydrochloride, respectively. Turbidity was measured using an inexpensive sensor in conjunction with an Arduino Uno microcontroller previously calibrated with a Hach Q2100Q turbidimeter.

Keywords: coagulant, turbidity, optimization.

RESUMO

Na presente investigação, foi estudada a remoção de turbidez da água pertencente ao efluente do canal Chavimochic localizado na região de La Libertad. Para este efeito, foram avaliados os coagulantes sulfato férrico, amina poli-quaternária, policloreto de alumínio e cloridrato de alumínio. Os coagulantes foram doseados separadamente para amostras de 100 mL com 175 NTU, em concentrações de 20, 30, 40 e 50 ppm, determinando que a maior remoção é obtida na concentração de 40 ppm. O objetivo era a formulação de uma mistura de três coagulantes através da metodologia do desenho de misturas reticulares simplex aumentadas. Foi realizada uma modelação especial de tipo quartic reduzido das variáveis envolvidas, resultando



significativa de acordo com a análise de variância. O modelo obtido atingiu um coeficiente de correlação R2 de 0,9302. A otimização dos resultados a 96,45% de remoção sugere trabalhar com concentrações de 9,14 ppm, 3,38 ppm e 27,49 ppm de sulfato férrico, policloreto e cloridrato de alumínio respectivamente. A turbidez foi medida usando um sensor de baixo custo em conjunto com um microcontrolador Arduino Uno previamente calibrado com um turbidímetro Hach Q2100Q.

Palavras-chave: coagulante, turbidez, otimização.

INTRODUCCIÓN

Realizar investigaciones a bajo costo es preponderante en la actualidad ya que amplía las oportunidades de enfoque en diversos temas de interés para la solución de realidades problemáticas. Indudablemente, contar con tecnologías económicas, permitirá contar con un mayor número de investigadores. En este sentido, las tecnologías de microcontroladores y sensores para medir diversos parámetros tales como temperatura, turbidez, concentración de gases y otros; son bastante adecuadas para realizar trabajos de investigación. En el caso del monitoreo de aguas, el análisis de turbidez es uno de los indicadores de calidad; por ello, en caso de que no se cumplan los requisitos necesarios tendrá que ser mejorada con algún tipo de tratamiento.

El tratamiento de coagulantes y floculantes para disminuir la turbidez del agua pareciera ser uno de los más efectivos y ahora en la actualidad surgen nuevas necesidades de búsqueda de coagulantes naturales, ecológicos y por lo tanto sostenibles (Muniz et al., 2020). Se justifica por ello, la aproximación o incorporación de nuevos investigadores en este campo y la disponibilidad de equipos pudiera ser una limitante. La mejor

alternativa es la utilización de sensores de bajo costo. Jo et al. (2019) desarrollaron un equipo móvil para monitorear lagos provisto de sensores para medir temperatura, turbidez y pH de fuente abierta, incluidos software y hardware tanto en USA como en Perú.

Kitchener et al. (2019) innovaron un sensor de turbidez mejorando el diseño óptico y la auto calibración, con apoyo de la plataforma de fuente abierta Arduino.

En este sentido, el monitoreo de la calidad del agua cobra importancia al día de hoy y se facilita con las tecnologías existentes; tal es el caso de Usha Kumari et al. (2020) quienes diseñaron un sistema inalámbrico de monitoreo a través de sensores que envían los datos de calidad del agua a una estación base.

Así mismo, a la actualidad se están incorporando nuevos desarrollos de sensores de turbidez de bajo costo (Druine et al., 2018; Parra et al., 2018; Yeoh et al., 2019 y Zang et al., 2020). El objetivo de este estudio fue el de formular una mezcla de coagulantes siguiendo la metodología del diseño de mezclas simplex reticular aumentado utilizando un sensor de turbidez de bajo costo, integrado a una tarjeta de interfase Arduino.



MATERIAL Y MÉTODOS

Colección de la muestra

Se recolectaron 3 L de agua del canal madre de Chavimochic, ubicada en Perú, en la región La Libertad, y es parte del agua que no es procesada para el servicio de agua potable. El muestreo fue del tipo compuesto estratificado.

Caracterización de la muestra

Para la caracterización de la muestra se midió la conductividad con el equipo InoLab cond 730 el cual permite medir sólidos totales disueltos y temperatura; para la medición del pH se utilizó el medidor de pH Jenway modelo 3510.

Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla se realizó con ayuda del programa estadístico Design Expert 11. El diseño experimental seleccionado fue el diseño de mezcla simplex reticular aumentado. Este modelo ajusta más puntos en el interior que un diseño de mezcla simplex reticular. Se precisó como factores a los coagulantes sulfato férrico, policloruro de aluminio, clorhidrato de aluminio y como respuesta al porcentaje de remoción de turbidez. Los experimentos aleatorios presentan una concentración total de 40 ppm entre los tres coagulantes.

Técnica de Análisis de la muestra

Para el análisis de turbidez de la muestra se usó un sensor de la marca Scott Decor cuyas características se muestran en la Tabla 1. Este turbidímetro se utilizó en conjunto con el microcontrolador de Arduino Uno cuyo software y códigos son de uso libre.

Tabla 1

Características del Sensor de Turbidez de bajo costo.

| Ítem | Característica |
|--------------------------|----------------|
| Marca | ScottDecor |
| Voltaje de operación | 5.00 V DC |
| Corriente de trabajo | 30 mA (MAX) |
| Temperatura de operación | -30°C to 80°C |
| Rango de medición | 0 –1000 NTU |

La muestra inicial, sin tratamiento con los coagulantes, tuvo una turbidez de 175 NTU medido con el turbidímetro de bajo costo.

Calibración del sensor de turbidez

Para la calibración del sensor de bajo costo, se utilizó el medidor de turbidez HACH 2100Q para tomar las medidas de referencia. Se prepararon mezclas de agua mezcladas con diferentes cantidades de bentonita, en el rango de 0,01 – 0,08 g; para ello se utilizó la balanza analítica H.W. Kessel modelo GH-252. La turbidez de estas muestras fueron medidas con el turbidímetro HACH 2100Q y el voltaje fue medido con el sensor de turbidez marca Scott Decor de bajo costo.

Comparación de porcentaje de remoción de turbidez entre los coagulantes propuestos

Se dosificaron muestras de agua de 175 NTU con la amina policuaternaria, sulfato férrico, policloruro de aluminio, clorhidrato de aluminio por separado a 20, 30, 40 y 50 ppm y se obtuvieron los datos de turbidez con el sensor de bajo costo. Se determinó el porcentaje de remoción de turbidez para evaluar los desempeños de los cuatro coagulantes.

Figura 1

Equipamiento utilizado para la calibración del sensor de turbidez Arduino.



Técnica de Coagulación

A 13 muestras de agua, de 100 mL y turbidez 175 NTU se les agregó los tres coagulantes según el diseño experimental para mezclas simplex reticular. Se utilizó un agitador magnético marca Heidolph modelo MR 3001K. La agitación, luego de añadir los coagulantes, duró 10 min a 100 rpm, luego de ello se dejó sedimentar durante 5 minutos

para finalmente medir la turbidez con el turbidímetro de bajo costo.

Figura 2

Equipo de agitación magnética marca Heidolph modelo MR 3001 K.



RESULTADOS

Caracterización de la muestra

En la tabla 2 se resumen los datos obtenidos a partir del análisis de la muestra de agua del canal madre de Chavimochic.

Tabla 2

Caracterización de la muestra

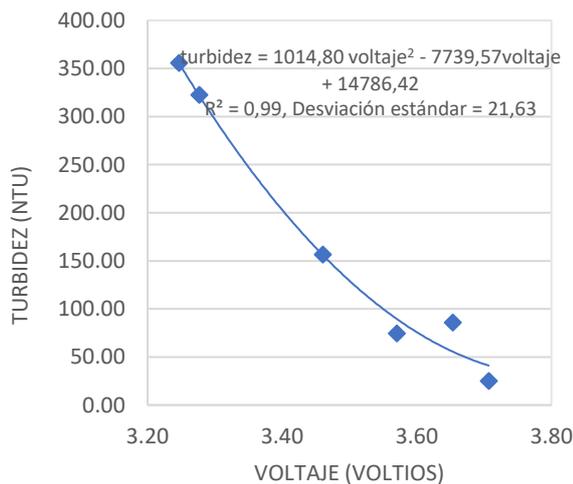
| Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) | TDS (mg/L) | pH | Temperatura $^{\circ}\text{C}$ |
|---------------------------------------|--------------------------|------|--------------------------------|
| 405.36 | 371.29 | 6.54 | 24.31 |

Calibración del sensor de turbidez Arduino

En la Figura 3 se observa la curva de calibración del sensor de turbidez equiparada con el equipo Hach. El sensor de turbidez juntamente con la tarjeta Arduino se muestran también en la Figura 1. Se observa un comportamiento cuadrático entre la turbidez y voltaje censado.

Figura 3

Curva de calibración del sensor de turbidez de bajo costo

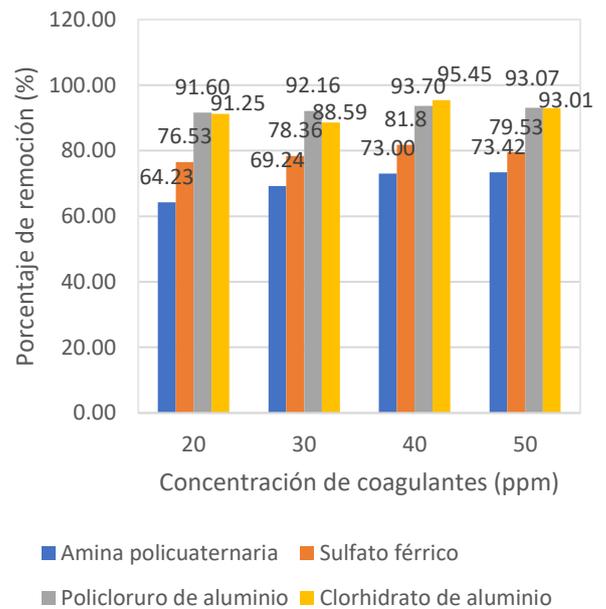


Selección de coagulantes

Siendo el objetivo formular una mezcla con tres coagulantes, en la figura 4 se observa que el coagulante que alcanzó menores porcentajes de remoción fue la amina policuaternaria. Así mismo, las mejores remociones se obtuvieron a concentraciones de 40 ppm para todos los coagulantes.

Figura 4

Porcentaje de remoción de turbidez y dosis de coagulantes de amina policuaternaria y sulfato férrico



Porcentajes de remoción de turbidez obtenidos con las formulaciones de mezclas

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 3, se presentan las proporciones de los coagulantes agregados a las muestras, cada una de 100 mL, con sus respectivos porcentajes de remoción de turbidez calculados a partir de una turbidez inicial de la muestra de 175 NTU.

Tabla 3

Tabla de porcentajes de remoción de turbidez y proporciones de coagulantes.

| N° | Concentración de Coagulantes (ppm) | | | Turbidez Final | Remoción de Turbidez |
|----|------------------------------------|-------|-------|----------------|----------------------|
| | A | B | C | NTU | % |
| 1 | 0,00 | 26,67 | 13,33 | 32,13 | 81,64 |
| 2 | 0,00 | 40,00 | 0,00 | 15,03 | 91,41 |
| 3 | 13,33 | 26,67 | 0,00 | 24,73 | 85,87 |
| 4 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 8,47 | 95,16 |
| 5 | 26,67 | 6,67 | 6,67 | 29,03 | 83,41 |
| 6 | 0,00 | 13,33 | 26,67 | 30,00 | 82,86 |
| 7 | 13,33 | 13,33 | 13,33 | 37,75 | 78,43 |
| 8 | 26,67 | 13,33 | 0,00 | 11,85 | 93,23 |
| 9 | 6,67 | 6,67 | 26,67 | 10,58 | 93,95 |
| 10 | 13,33 | 0,00 | 26,67 | 5,31 | 96,97 |
| 11 | 26,67 | 0,00 | 13,33 | 7,41 | 95,77 |
| 12 | 6,67 | 26,67 | 6,67 | 49,23 | 71,87 |
| 13 | 0,00 | 0,00 | 40,00 | 15,6 | 91,09 |

Nota: A: sulfato férrico, B: policloruro de aluminio, C: clorhidrato de aluminio.

Análisis ANOVA del modelamiento cuártico especial reducido

Para el análisis de varianza ANOVA, se utilizó el programa Design Expert Versión 11, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Tabla del análisis de varianza para la variable de respuesta porcentaje de remoción de turbidez bajo el modelamiento cuártico especial reducido

| Fuente | SC | G | MC | f | p |
|-----------------------|--------|----|--------|-------|--------|
| Modelo | 669,58 | 6 | 111,60 | 13,33 | 0,0031 |
| ⁽¹⁾ Lineal | 191,48 | 2 | 95,74 | 11,44 | 0,0090 |
| Mezcla | | | | | |
| BC | 85,73 | 1 | 85,73 | 10,24 | 0,0186 |
| A ² BC | 43,48 | 1 | 43,48 | 5,19 | 0,0629 |
| AB ² C | 140,55 | 1 | 140,55 | 16,79 | 0,0064 |
| ABC ² | 94,57 | 1 | 94,57 | 11,30 | 0,0152 |
| Residual | 50,23 | 6 | 8,37 | | |
| Correlación | 719,81 | 12 | | | |
| Total | | | | | |

Nota: A: sulfato férrico, B: policloruro de aluminio, C: clorhidrato de aluminio, SC: Suma de cuadrado, G: Grados de libertad, MC: Mínimos cuadrado, f: estadístico de prueba, p: estadístico de significancia

Para mejorar el modelamiento matemático se eliminaron las interacciones AB y AC por no ser significativas según el estadístico de prueba p. El valor F del modelo 13,33 implica que el modelo es significativo. Solo hay un 0,31% de posibilidad de que un valor F tan grande se produzca a causa del ruido.

Tabla 5

Tabla de Ajuste Estadístico

| Ítem | Valor |
|----------------------------|-------|
| Desviación estándar | 2,89 |
| Promedio | 87,82 |
| Coficiente de varianza (%) | 3,29 |



| | |
|-------------------------|---------|
| R ² | 0,9302 |
| R ² ajustado | 0,8604 |
| R ² predicho | 0,6667 |
| Precisión adecuada | 10,7014 |

A partir de los 13 datos analizados obtenemos un coeficiente de regresión R² aceptable de 0,9302. El R² predicho de 0,6667 es razonablemente aceptado con el R² Ajustado de 0,8604, ya que la diferencia entre estos es menos de 0,2. La precisión adecuada mide la relación señal/ruido. Una relación mayor de 4 es deseable, por lo que nuestro modelo indica una relación señal/ruido adecuado. Por lo tanto, se puede utilizar este modelo para navegar por el espacio del diseño.

Tabla 6

Coefficientes del modelo matemático cuártico especial reducido.

| Coefficientes | Factores |
|---------------|-------------------|
| +95,26 | A |
| +88,24 | B |
| +93,24 | C |
| -38,76 | BC |
| -643,46 | A ² BC |
| -1161,29 | AB ² C |
| +952,95 | ABC ² |

La ecuación en términos de factores codificados se puede usar para hacer predicciones sobre el porcentaje de remoción de turbidez, para niveles dados de cada coagulante. La ecuación codificada es útil para identificar el impacto relativo de los coagulantes comparando sus coeficientes.

La Figura 5 muestra que la predominancia en la respuesta se debe mayormente a los coagulantes sulfato férrico y clorhidrato de aluminio.

Analizando la Tabla 5 y la Figura 6, los coagulantes aplicados de manera independiente no logran la máxima remoción de turbidez. En los experimentos 10 y 11 es evidente que se alcanza sinergia entre el sulfato férrico y el clorhidrato de aluminio. El policloruro de aluminio, aplicado sin mezclar, puede alcanzar un porcentaje de remoción de turbidez aceptable; sin embargo, no hay un efecto fuertemente positivo cuando se mezcla con los otros dos, salvo en la menor proporción o dosis posible.

Figura 5

Gráfico de superficie 3D y contorno 2D del modelo cuártico especial reducido.

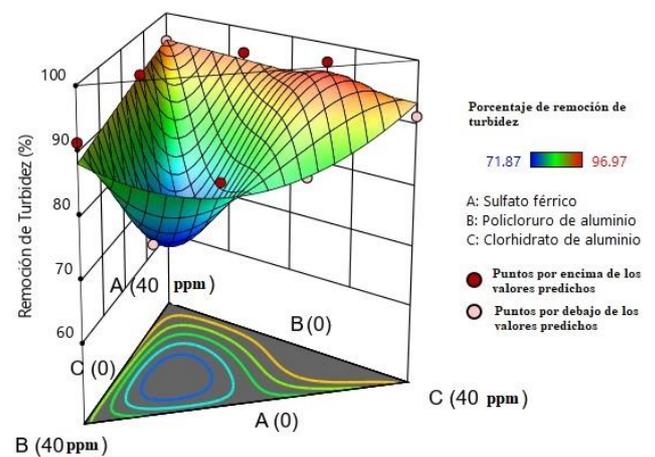
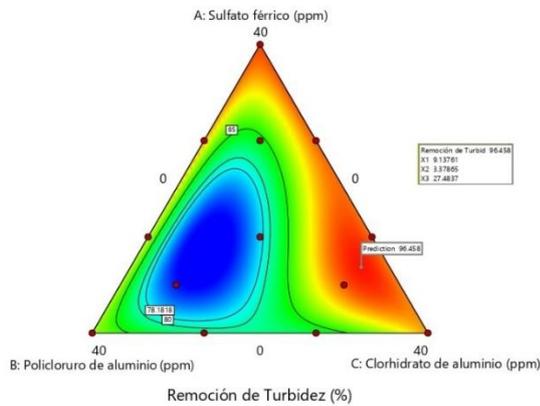


Figura 6

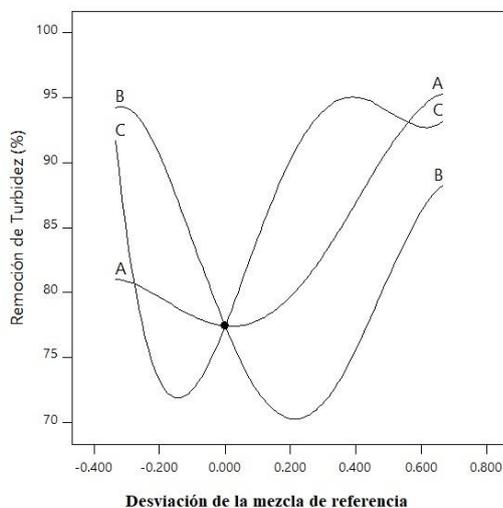
Gráfico triangular para la determinación de la formulación de los tres coagulantes usados para el porcentaje de remoción de Turbidez.



En el diagrama de trazas mostrado en la figura 7 se aprecia la influencia de la mezcla de los coagulantes, inicialmente el incremento de la proporción de cada uno de ellos disminuye el porcentaje de remoción hasta alcanzar un mínimo; sin embargo, después de este valor mínimo hay un rápido ascenso demostrando una fuerte sinergia a partir de pequeños incrementos.

Figura 7

Gráfico de trazas Cox para composiciones iguales de 13,33 ppm por cada coagulante

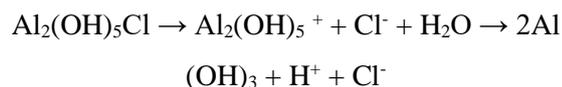


DISCUSIÓN

Con respecto a la selección de coagulantes, Wei et al., (2009) afirma que las sales metálicas tienen un mayor poder de neutralización que los polímeros orgánicos; es por ello que la amina policuaternaria tuvo menor poder de remoción que el resto.

Al respecto del éxito de un proceso de coagulación, Saritha et al. (2017) explicó que las partículas suspendidas varían en forma, carga, tamaño y densidad y la correcta aplicación será con el coagulante que interactúe con estos factores.

En las figuras 5, 6 y 7 se observa claramente que la mayor sinergia entre los coagulantes se produce entre el clorhidrato de aluminio y el sulfato férrico. Yonge (2019) evaluó independientemente en muestras de agua a los coagulantes sulfato férrico, policloruro de aluminio y clorhidrato de aluminio; entre otros, variando el pH y las dosis de aplicación. Unos de los mejores desempeños de remoción de carga orgánica, turbidez color, sin mezclar coagulantes, los obtuvo con el clorhidrato de aluminio. Esta performance se potencia cuando el pH del agua está cerca de su valor neutro. La ventaja radica en que se liberan especies cargadas de Al hacia el agua, tales como el Al_{13}^{7+} , cuya concentración se incrementa cuando aumenta la basicidad. Este producto de hidrólisis primaria, tiene mayor actividad coagulante y mayor basicidad sin dejar residuales de aluminio y exceso de lodos. Pieroni (1980) describió como el coagulante prehidrolizado clorhidrato de aluminio actúa en el agua:



Afirmando que el color y la materia coloidal se eliminan por adsorción sobre o dentro de los productos de hidrólisis que se forman, denominando a esta coagulación “barrido de flóculos”.

Los coagulantes a base de hierro suelen trabajar bien en pH de 5 a 8,5 entre dosis de 5 – 150 mg/L siendo más efectivos en la remoción de materia orgánica que en turbidez comparado con las sales de aluminio. Ello explica por qué en este diseño de mezclas el sulfato férrico ha tenido un efecto positivo final sobre la turbidez en esta formulación debido a sus propiedades oxidantes. Lin et al. (2020) ha destacado algunas bondades de los coagulantes férricos en sistemas de tratamiento de agua con membranas ya que facilita la remoción de iones bajo condiciones ácidas.

Chen et al. (2020) destacó también el papel de los iones sulfato ya que afirma, de acuerdo a sus investigaciones, que aceleran la tasa de hidrólisis de los PACs y por lo tanto la facilidad de formación de flóculos.

Miguel & Flórez (2011) explicó que las sales inorgánicas de aluminio multinuclear (PAC) tienen probado poder coagulante, actúan rápidamente sobre la turbidez en un rango de pH de 5,0 – 9,0; sin embargo, para esta investigación, mezclado con los otros dos coagulantes; su acción se ve limitada. Probablemente el clorhidrato de aluminio absorbe o apantalla su efecto dada que la interacción estadística entre estos dos es negativa como se observa en la Tabla 5.

CONCLUSIONES

Para concluir, el diseño de mezclas tipo simplex reticular aumentado permitió evaluar la mejor proporción de coagulantes para el tratamiento de agua del canal madre de Chavimochic a una concentración constante de 40 ppm. En este caso, para una turbidez de 175 NTU, según el análisis estadístico aplicado, el mayor porcentaje de remoción 96,45% se obtiene con sulfato férrico a 9,14 ppm, policloruro de aluminio a 3,38 ppm, clorhidrato de aluminio a 27,49 ppm.

El modelamiento matemático más adecuado a los datos experimentales es el cuártico especial reducido con un coeficiente de correlación R^2 de 0,9302, R^2 ajustado de 0,8604 y R^2 predicho de 0,6667.

El uso del sensor utilizado con microcontrolador Arduino Uno, previamente calibrado, permite medir con confiabilidad la turbidez de muestra de agua y, por lo tanto, realizar evaluaciones a bajo costo.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- Chen, Y., Nakazawa, Y., Matsui, Y., Shirasaki, N., & Matsushita, T. (2020). Sulfate ion in raw water affects performance of high-basicity PACl coagulants produced by $\text{Al}(\text{OH})_3$ dissolution and base-titration: Removal of SPAC particles by coagulation-flocculation, sedimentation, and sand filtration. *Water Research*, 183, 116093.



- <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116093>
- Druine, F., Verney, R., Deloffre, J., Lemoine, J. P., Chapalain, M., Landemaine, V., & Lafite, R. (2018). In situ high frequency long term measurements of suspended sediment concentration in turbid estuarine system (Seine Estuary, France): Optical turbidity sensors response to suspended sediment characteristics. *Marine Geology*, 400(February), 24–37. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.03.003>
- Jo, W., Hoashi, Y., Paredes Aguilar, L. L., Postigo-Malaga, M., Garcia-Bravo, J. M., & Min, B. C. (2019). A low-cost and small USV platform for water quality monitoring. *HardwareX*, 6, e00076. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00076>
- Kitchener, B. G. B., Dixon, S. D., Howarth, K. O., Parsons, A. J., Wainwright, J., Bateman, M. D., Cooper, J. R., Hargrave, G. K., Long, E. J., & Hewett, C. J. M. (2019). A low-cost bench-top research device for turbidity measurement by radially distributed illumination intensity sensing at multiple wavelengths. *HardwareX*, 5, e00052. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00052>
- Lin, D., Bai, L., Gan, Z., Zhao, J., Li, G., Aminabhavi, T. M., & Liang, H. (2020). The role of ferric coagulant on gypsum scaling and ion interception efficiency in nanofiltration at different pH values: Performance and mechanism. *Water Research*, 175, 115695. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115695>
- Miguel, J., & Flórez, C. (2011). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO WATER CLARIFICATION USING POLYMERIZED COAGULANTS: ALUMINUM HYDROXYCHLORIDE CASE. *Dyna*, 18–27.
- Muniz, G. L., Silva, T. C. F. da, & Borges, A. C. (2020). Assessment and optimization of the use of a novel natural coagulant (Guazuma ulmifolia) for dairy wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 744, 140864. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140864>
- Parra, L., Rocher, J., Escrivá, J., & Lloret, J. (2018). Design and development of low cost smart turbidity sensor for water quality monitoring in fish farms. *Aquacultural Engineering*, 81(February), 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.01.004>
- Pieroni, R. E. (1980). Dosage Calculation. *Archives of Internal Medicine*, 140(12), 1673. <https://doi.org/10.1001/archinte.1980.00330230119026>
- Saritha, V., Srinivas, N., & Srikanth Vuppala, N. V. (2017). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. *Applied Water Science*, 7(1), 451–460. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0262-y>



Usha Kumari, C., Laxmi Lydia, E., Sampath Dakshina Murthy, A., & Kumar, M. N. V. S. (2020). Designing of wireless sensor nodes for providing good quality drinking water to the public. *Materials Today: Proceedings*, 33(xxxx), 4250–4254. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.352>

Wei, J., Gao, B., Yue, Q., Wang, Y., Li, W., & Zhu, X. (2009). Comparison of coagulation behavior and floc structure characteristic of different polyferric-cationic polymer dual-coagulants in humic acid solution. *Water Research*, 43(3), 724–732. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.11.004>

Yeoh, S., Matjafri, M. Z., Mutter, K. N., & Oglat, A. A. (2019). Plastic fiber evanescent sensor in measurement of turbidity. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 285, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.10.042>

Yonge, D. (2019). A Comparison Of Aluminum And Iron-based Coagulants For Treatment Of Surface Water In Sarasota County , Florida. In *Electronic Theses and Dissertations, 2004-2019* (Issue 2012). University of Central Florida.

Zang, Z., Qiu, X., Guan, Y., Zhang, E., Liu, Q., He, X., Guo, G., Li, C., & Yang, M. (2020). A novel low-cost turbidity sensor for in-situ extraction in TCM using spectral components of transmitted and scattered light. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 160, 107838. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107838>

CORRESPONDENCIA:

Adolfo Enrique Guerrero Escobedo
aguerreroe@unitru.edu.pe

