

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA COAGULANTE DA SEMENTE DE MORINGA (*MORINGA OLEÍFERA*) PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA DO RIO CHURÍN, DISTRITO DE PACHANGARA, LIMA, PERU

EVALUATION OF THE COAGULANT EFFICIENCY OF MORINGA SEED (*MORINGA OLEÍFERA*) FOR THE WATER TREATMENT OF THE CHURÍN RIVER, PACHANGARA DISTRICT, LIMA, PERU

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA COAGULANTE DE LA SEMILLA DE MORINGA (*MORINGA OLEÍFERA*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DEL RÍO CHURÍN, DISTRITO DE PACHANGARA, LIMA, PERÚ

Jaqueline Heidy Chirre Flores *

Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica, Perú.

Hugo David Chirinos Collantes *

Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Facultad de Ingeniería Ambiental, Perú.

Roberto Robles Calderón

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Facultad de Química e Ingeniería Química, Perú.

Laida Vilca Calderón

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Facultad de Química e Ingeniería Química, Perú.

* *Autor correspondente*

e-mail: jchirref@uni.edu.pe

Received 02 December 2023; received in revised form 25 February 2024; accepted 20 March 2024

RESUMO

Introdução: Na pesquisa, sementes de Moringa Oleifera - MO foram utilizadas em processos de coagulação-floculação, identificando as principais propriedades que apresenta como atividade coagulante. **Objetivos:** O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito coagulante e floculante da farinha de semente de moringa no tratamento de águas turvas (com turbidez entre 700 NTU e 800 NTU). **Métodos:** Os testes experimentais foram realizados nas seguintes condições: farinha de semente de moringa descascada em solução de NaCl 1 M, observou-se que não tem efeito na clarificação de águas turvas e modifica o pH para 4,47; A mistura de farinha de semente de moringa com sulfato de alumínio (marca Aquapol) foi investigada em testes de jarros com 300 mL de água turva nas condições de: farinha de semente de moringa sem casca 1,02 g, 5,01 g e 10,02 gramas; com sulfato de alumínio 0,1 mL, 0,5 mL e 0,7 mL, respectivamente; a 200 rpm por 2 minutos. **Resultados:** Avaliação da qualidade da água após 1,5 h e 12 h de sedimentação; Foi determinado que o melhor desempenho foi a mistura de: 1,02 g de farinha de semente de moringa com 0,1 mL de sulfato de alumínio, 200 rpm por 2 minutos, depois a 70 rpm por 15 minutos e 12 h de sedimentação. **Discussão:** Testes experimentais têm sido realizados utilizando Moringa Oleifera (MO) para processos de tratamento de água bruta de rios em locais de baixa disponibilidade econômica e devido à sua disponibilidade abundante, baixo custo e não tóxica. **Conclusões:** Concluiu-se que sua aplicação mais viável seria como adjuvante de floculação, pois, quando utilizado com um Coagulante Químico, reduz a concentração do coagulante químico com bons resultados de remoção.

Palavras-chave: *Água de rio, Coagulação, Decantação, Floculação, Moringa Oleifera, Tratamento de água*

ABSTRACT

Background: In the research, Moringa Oleifera - MO seeds were used in coagulation-flocculation processes, identifying the main properties it presents such as coagulant activity. **Aims:** The purpose of the research was to evaluate the coagulant and flocculating effect of moringa seed flour in the treatment of turbid water (with turbidity

between 700 NTU and 800 NTU). **Methods:** The experimental tests were carried out under the following conditions: shelled moringa seed flour in NaCl solution, 1 M, it was observed that it has no effect on the clarification of turbid water and modifies the pH to 4.47; The mixture of moringa seed flour with aluminum sulfate (Aquapol brand) was investigated in jar tests with 300 mL of turbid water at conditions of: shelled moringa seed flour 1.02 g, 5.01 g and 10, 02 grams; with aluminum sulfate 0.1 mL, 0.5 mL, and 0.7 mL, respectively; at 200 rpm for 2 minutes, **Results:** Evaluating water quality after 1.5 h and 12 h of sedimentation; It was determined that the best performance was the mixture of: 1.02 g of moringa seed flour with 0.1 mL of aluminum sulfate, 200 rpm for 2 minutes, then at 70 rpm for 15 minutes and 12 h of sedimentation. **Discussion:** Experimental tests have been carried out using Moringa Oleifera (MO) for raw river water treatment processes in places of low economic availability and due to its abundant availability, low cost, and non-toxic. **Conclusions:** It was concluded that its most viable application would be as a flocculation adjuvant, since, when used with a Chemical coagulant, it reduces the concentration of the chemical coagulant with good removal results.

Keywords: River water, Coagulation, Decantation, Flocculation, Moringa Oleifera, Water treatment

RESUMEN

Antecedentes: En la investigación se utilizaron semillas de Moringa Oleífera - MO en procesos de coagulación-floculación, identificando las principales propiedades que presenta como la actividad coagulante. **Objetivos:** La finalidad de la investigación fue la de evaluar el efecto coagulante y floculante de la harina de las semillas de moringa en el tratamiento del agua turbia (con turbidez entre 700 UNT y 800 UNT). **Métodos:** Las pruebas experimentales se realizaron a las siguientes condiciones: harina de semillas de moringa con cáscara en solución de NaCl, 1 M, se observó que no tiene efecto en la clarificación del agua turbia y modifica el pH a 4,47; luego se investigó la mezcla de harina de semillas de moringa con sulfato de aluminio (marca Aquapol) en pruebas de jarras con 300 mL de agua turbia a las siguientes condiciones: harina de semillas de moringa con cáscara 1,02 g, 5,01 g y 10,02 g; con sulfato de aluminio 0,1 mL, 0,5 mL y 0,7 mL, respectivamente; a 200 rpm por 2 minutos, **Resultados:** evaluación de la calidad del agua después de 1,5 h y 12 h de sedimentación; determinándose que el mejor rendimiento es a las siguientes condiciones: 1,02 g de harina de semillas de moringa con 0,1 mL de sulfato de aluminio, 200 rpm durante 2 minutos y luego a 70 rpm durante 15 minutos durante 12 h de sedimentación. **Discusión:** Se han realizado pruebas experimentales utilizando la Moringa Oleifera (MO) para procesos de tratamiento de agua turbia de río en lugares con poblaciones de baja disponibilidad económica, por su abundante disponibilidad, bajo costo y porque no es toxico. **Conclusiones:** Se concluye que su aplicación más viable sería como coadyuvante de la floculación, ya que, al utilizar con un coagulante Químico, reduce la concentración del coagulante químico con buenos resultados de remoción.

Palabras clave: Agua de río, Coagulación, Decantación, Floculación, Moringa Oleífera, Tratamiento de aguas

1. INTRODUCCIÓN:

La *Moringa oleifera* (MO) es una planta de tamaño mediano, resistente a las crisis hídricas y productiva durante todo el año. Esta planta tiene varias aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y de nutrición alimentaria debido a sus propiedades, por ejemplo, la investigación farmacológica de Atolani *et al* (2021) que estudió el potencial farmacológico de la aplicación de semillas de MO. Sin embargo, desde hace muchos años, varios estudios han estado investigando el potencial de sus semillas y cáscaras de semillas en el tratamiento de agua potable. (Abaliwano *et al.*, 2008; Ghasi *et al.*,

2000; Ndabigengesere *et al.*, 1995).

En Perú hay en total 20 hectáreas de moringa instaladas en los alrededores de Ica, Pisco, Huacho, Chiclayo, Piura, Tarapoto y Madre de Dios, indicó el apoderado del Fundo Escondido SAC, uno de los principales promotores de la planta. Explicó que la moringa, en manos de diez agricultores, há demostrado excelentes resultados en zonas ubicadas por debajo de los 1.500 msnm, con requerimientos hídricos de alrededor de 3.000 m³. De allí que se sugiera que se trata de un cultivo ideal para la costa, donde la disponibilidad de agua pone límites a la producción agrícola.

(<https://agraria.pe/noticias/avanza-la-produccion-de-moringa-en-peru-4336>, 2013).

La moringa, se cultiva en todo el trópico y sub-trópico. Esta especie se desarrolla mejor en temperaturas de 25-35°C; es bastante tolerante a la sequía, pero crece mejor con precipitaciones anuales de 250-1500 mm, prefiere altitudes por debajo de los 600 m, pero puede sobrevivir a 1200 m (Parrotta, 1993).

Los estudios involucran otras técnicas de tratamiento de agua con el uso de MO. Finalmente, para hacer factible su aplicación en procesos reales, también se han investigado tratamientos híbridos, utilizando sustancias químicas complementarias y aprovechando el potencial de MO tanto para aumentar la eficiencia del proceso como para aumentar la vida útil de los equipos utilizados.

Otro uso del cultivo es en la purificación de agua usando las semillas y la torta obtenida luego del prensado de las mismas para obtener aceite. El uso artesanal para la purificación de agua se realiza moliendo las semillas en un mortero de piedra hasta triturarla muy fino, adicionando luego la harina al balde o envase conteniendo el agua a purificar. Hay estudios realizados que afirman que aclara y purifica el agua, mientras que otros dicen que solo aclara el agua y recomiendan hervir el agua para el consumo humano. Por otro lado, se han hecho pruebas en Perú utilizando la torta molida para la purificación de agua, obteniendo resultados similares al usar semillas molidas manualmente.

El uso de este producto natural es una buena alternativa al sulfato de aluminio, utilizado generalmente para este mismo propósito en las plantas de tratamiento de agua de río. Como producto natural tiene un gran potencial y es amigable con el medio ambiente (Madrigal y Avalos, 1998). Las semillas actúan como floculante natural, capturando partículas suspendidas en el agua provocando que éstas se agreguen entre sí y precipiten. El componente que permite esto es un polielectrolito como responsable de la acción purificadora de la semilla de moringa oleífera. Estudios realizados han concluido que es necesario 100 kg de semilla para obtener 1 kg de polielectrolito. (Pérez, 2010).

El modo de acción de las semillas es debido a que contiene importantes núcleos, una serie de moléculas y proteínas solubles en agua que, en solución, llevan una carga positiva. Cuando se añade al agua cruda las proteínas se unen predominantemente a la carga negativa de las aguas turbias el limo, las arcillas, algunas

bacterias.

La presencia de agentes externos derivados de las empresas de construcción, la agricultura y los poblados en sus riberas evidencian, los agentes contaminantes presentes en el agua, sólidos totales, sulfatos, carbonatos, cloruros, genticos microbiológicos y metales. Monitoreo químico –microbiológico del agua de la cuenca alta del río Huaura. Características físico-químicas e inorgánicas de las aguas del río Checras por operaciones mineras, 2002 – 2018.

Semillas de MO para procesos de coagulación/floculación El primer paso esencial en las plantas convencionales de tratamiento de agua es la adición de material particulado, seguido de la separación gravitacional y el filtrado. Este primer paso es muy importante ya que elimina una gran fracción de sólidos y también varios tipos de impurezas, reduciendo la turbidez del agua (Kansal y Kumari, 2014; Moulin *et al.*, 2019). Las plantas de tratamiento de agua utilizan coagulantes químicos inorgánicos como el aluminio y el hierro. sales y otros polímeros orgánicos cargados para la coagulación-floculación. Aunque estos coagulantes son muy eficaces para reducir las cargas orgánicas y de partículas, pueden ser caros de producir, transportar y almacenar. También pueden generar problemas secundarios de agua, como especies residuales de hierro y aluminio, y polímeros sintéticos tóxicos en el agua tratada (Ramavandi, 2014). Además, el lodo producido por estos coagulantes puede generar costos de eliminación adicionales debido a su naturaleza recalcitrante. Por lo tanto, la MO se puede utilizar como un coagulante ecológico que combate estos problemas (Arnett *et al.*, 2019; Kansal y Kumari, 2014). La reducción de la turbidez en el tratamiento del agua destinada al consumo humano utilizando semillas MO se ha estudiado ampliamente. Además, la no producción de lodos tóxicos junto con la facilidad de suministro del material en áreas rurales hace que su uso sea atractivo para proporcionar agua limpia a pequeñas comunidades, especialmente en países en desarrollo (Moulin *et al.*, 2019).

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:

2.1 Evaluación turbidez

En un vaso de precipitado de 500 mL se colocó 300 mL de agua turbia de río, se añadió 1,02 g de Moringa *oleífera* molida después se

agregó 1 g de sulfato de aluminio a diferentes concentraciones como 1 %, 2,5 %, 10 % y 12 % (p/v). Se procedió al mezclado usando la prueba de jarras, Floculador de JARRAS VELP SCIENTIFICA, a 200 rpm durante 2 minutos, luego a 70 rpm durante 15 minutos y se dejó sedimentar durante 12 horas, como se muestra en la Figura 1. Al agua sobrenadante se le midió su parámetro final de turbidez, Figura 2.



Figura 1: Muestras harina de moringa en floculador jarras con sulfato de aluminio al 1%, 2 %, 5 %, 10% y 12%.

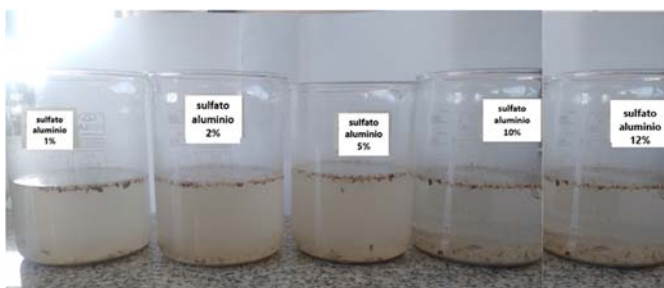


Figura 2: Muestras con harina de moringa en floculador jarras con sulfato de aluminio al 1%, 2 %, 5 %, 10% y 12% después de 12 horas de reposo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

3.1. Resultados

Tabla 1. Análisis bromatológico de las semillas de *Moringa Oleifera*.

Parámetro	Unidad de medida	Resultado
Humedad	g/100 g de muestra original	8.6
Grasa	g/100 g de muestra original	24.8
Proteína Total (Factor: 6.25)	g/100 g de muestra original	29.7

Cenizas)	g/100 g de muestra original	3.0
Fibra cruda	g/100 g de muestra original	18.9
Carbohidratos	% Kcal	28.4
Grasa	% Kcal	46.7
Proteínas	% Kcal	24.9
Energía Total	Kcal/100 g de muestra original	477.6
Carbohidratos	g/100 g de muestra seca	33.9
Índice de Peróxido	Miliequivalentes/kg. de grasa extraída	1.0
Cadmio	ppm	No Detectable

Fuente: realizados por La Molina Calidad Total Laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Caracterización de muestras

TURBIDEZ. En base a resultados de la Tabla 2, antes y después de agregar la moringa, evidencia que algunos iones presentes en el agua, coagulación y flocularon, los resultados mostraron una eficiencia de reducción de la turbidez del 90,78%. Los resultados obtenidos antes y después de las pruebas experimentales demuestran la sedimentación de los sólidos suspendidos, mientras que los sólidos disueltos no se lograron sedimentar y flocular. Los sólidos suspendidos totales; comprenden los sedimentables estos sedimentan pronto, los no sedimentables comprenden los coloidales y los disueltos a los que debemos anular sus cargas para permitir que se aglomeren y formen flóculos. Monitoreo químico –microbiológico del agua de la cuenca alta del río Huaura. Características fisicoquímicas e inorgánicas de las aguas del río Checras por operaciones mineras, 2002 – 2018., los sólidos disueltos no se pueden anular, por eso se debe hacer una etapa previa, para lograr la coagulación.

Se evaluaron la turbidez y la eliminación del color aparente. La remoción de turbiedad y color aparente tuvo una tendencia similar a la variación de la dosis, aumentando a medida que aumenta la dosis de MO. Simultáneamente, el aumento de la dosis de MO es debido a las proteínas catiónicas de la solución de MO.

Por lo tanto, el mecanismo de coagulación por adsorción y neutralización de carga son responsables de la desestabilización de los coloides negativos de las aguas turbias, lo que permite la eliminación por sedimentación y

filtración granular rápida.

Los coagulantes son las sales de hierro y aluminio, estos permiten anular las cargas y así se forman los flocúlos.

Efectos del pH en la coagulación

A pesar de la influencia del valor del pH en el mecanismo de coagulación indicado por los resultados, el extracto de MO fue altamente eficiente en un amplio rango de pH (4-9). Ribeiro *et al.*, obtuvieron resultados similares en el tratamiento de la suspensión de caolín con MO, identificando menor eficiencia en la eliminación de turbidez y color aparente para $\text{pH} > 8$, mientras que se logró una mayor eficiencia de remoción con menores valores de pH y una dosis de MO más baja.

3.2. Discusión

3.2.1. Turbiedad

Los resultados obtenidos de turbiedad residual en los tratamientos a base de semillas de *Moringa Oleífera*, indican que el coagulante extraído, usando como solución cloruro de sodio 1N, presentan una capacidad de remoción similar a la del sulfato de aluminio grado comercial por lo que resulta una excelente alternativa en la remoción de turbiedad en aguas superficiales. Estos resultados coinciden con Schwarz (2000), quien encontró que para aguas de turbiedad, evaluación de la calidad del agua después de 1,5 h y 12 h de sedimentación; determinándose que el mejor rendimiento es a las siguientes condiciones: 1,02 g de harina de semillas de moringa con 0,1 mL de sulfato de aluminio, 200 rpm durante 2 minutos y luego a 70 rpm durante 15 minutos durante 12 h de sedimentación.

Los sólidos disueltos totales (TDS) analizados incluyeron sales minerales, metales, cationes y aniones disueltos en agua. La *Moringa oleífera* se ha citado que contiene sales inorgánicas como magnesio, sodio, bicarbonato, calcio y potasio. En consecuencia, el tratamiento del agua con mayores concentraciones de *Moringa oleífera* probablemente aumenta la concentración de aniones y cationes en el agua.

4. CONCLUSIONES:

Se evaluó la calidad del agua después de 1,5 h y 12 h de sedimentación; determinándose que el mejor rendimiento es a las siguientes

condiciones: 1,02 g de harina de semillas de moringa.

Se utilizó 0,1 mL de sulfato de aluminio, 200 rpm durante 2 minutos y luego a 70 rpm durante 15 minutos durante 12 h de sedimentación, concluyendo la reducción de los niveles de turbidez del agua de río Churín en Perú. Los resultados mostraron una eficiencia de reducción de la turbidez del 90,78%, lo cual muestra una buena reducción de la turbidez del agua de río.

5. DECLARACIONES

5.1. Limitaciones del Estudio

Ninguna limitación se encontraron en el momento del estudio.

5.2. Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Privada del Norte-Lima-Perú por permitir realizar la presente investigación.

5.3. Fuente de financiamiento

Esta investigación fue financiada por los autores. (*This research was funded by the authors.*)

5.4. Conflictos de Interese

Los autores declaran que no hay conflictos de interés.

5.5. Open Access

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution, and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/>

6. REFERENCIAS:

1. Andrews, J.F. (1993). Modeling and simulation of wastewater treatment processes. *Wat. Sci. Tech.* 28 (11/12), 141–150.
2. ATOLANI, O., OLORUNDARE, O. E., BANERJEE, P., ADEYEMI, O. S., & PREISSNER, R. (2021). Isolation, characterizations, anti-cancer, cytotoxicity, in silico toxicity, and antimicrobial evaluations of Moringa Oleifera seed protein. In PERIÓDICO TCHÊ QUÍMICA (Vol. 18, Issue 38, pp. 214–224). Dr. D. Scientific Consulting. https://doi.org/10.52571/ptq.v18.n38.2021.15_atolani_pgs_214_224.pdf
3. Casey, T.G., Ekama, G.A., Wentzel, M.C. and Marais, G.v.R. (1993). An hypothesis for the causes and control of low F/M filamentous organism bulking in nitrogen (N) and nutrient (N& P) removal activated sludge systems. In *Proc. of the IAWQ First Int. Conf. on Microorganisms in Activated Sludge and Biofilm Processes*.
4. Dold, P.L., Ekama, G.A. & Marais, G.v.R. (1980). A general model for the activated sludge process. *Prog. Wat. Tech.* 12, 47–77.
5. Abaliwano, J.K., Ghebremichael, K.a, Amy, G.L., (2008). Application of the purified Moringa oleifera coagulant for surface water treatment. *Water Mill Work. Pap. Ser.* 5, 1–22.
6. Arnett, C., Lange, J., Boyd, A., Page, M., Cropek, D., (2019). Expression and secretion of active Moringa oleifera coagulant protein in *Bacillus subtilis*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 103, 9411–9422, <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-019-10141-5>.
7. Ghasi, S., Nwobodo, E., Ofili, J.O., (2000). Hypocholesterolemic effects of crude extract of leaf of Moringa oleifera Lam in high-fat diet fed wistar rats. *J. Ethnopharmacol.* 69, 21–25, [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-8741\(99\)00106-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-8741(99)00106-3).
8. Kansal, S.K., Kumari, A., (2014). Potential of M. Oleifera for the treatment of water and wastewater. *Chem. Rev.* 114, 4993–5010, <http://dx.doi.org/10.1021/cr400093w>.
9. Madrigal, L. & Avalos, (1998). Moringa oleifera, *Universidad Nacional de Nicaragua*. 24p
10. Moulin, M., Mossou, E., Signor, L., Kieffer-Jaquinod, S., Kwaambwa, H.M., Nermark, F., Gutfreund, P., Mitchell, E.P., Haertlein, M., Forsyth, V.T., Rennie, A.R., (2019). Towards a molecular understanding of the water purification properties of Moringa seed proteins. *J. Colloid Interface Sci.* 554, 296–304, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.071>.
11. Ndabigengesere, A., Narasiah, K.S., Talbot, B.G., (1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera. *Water Res.* 29, 703–710, [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00161-Y](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(94)00161-Y).
- 10 Parrota, J. (1993), Resedá, Árbol del Rábano. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, *Southern Forest Experiment Station*. 366-370p.
12. Pérez, A., Sánchez, T., Armengol, N. & Reyes, F, (2010). Características y potencialidades de Moringa oleifera, Lamark. An alternative for animal feeding. *Pastos y Forrajes v.33 n°4 Matanzas, Cuba*. 9p.
13. Ramavandi, B., (2014). Treatment of water turbidity and bacteria by using a coagulant extracted from *Plantago ovata*. *Water Resour. Ind.* 6, 36–50, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2>
14. Schwarz D. (2000). Water clarification using Moringa oleifera. Gate information service, Eschborn, Germany.

Tabla 2: Análisis fisicoquímico del agua de rio Churin.

<i>Moringa oleifera</i> molida (g)	Agua de rio (mL)	Sulfato de aluminio %	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Eficiencia Turbidez %	pH	olor
1,02	300	1	111	85,9	22,61	6,59	Huevos podridos
1,02	300	10	127	11,7	90,78	6,47	Sin olor

Tabla 3: Dosificaciones óptimas de MO

<i>Moringa oleifera</i> molida (g)	Agua de rio (mL)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Eficiencia Turbidez %	pH
1,02	300	756	20,4	97,30	4,34
5,01	300	731	135	81,53	4,25
10,02	300	745	408	45,23	4,12