



Eficiencia de la linaza como coagulante en la clarificación del agua

Efficiency of flax as a coagulant in water clarification

Iván Mendoza

ivnmendoza@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2239-121X>

Universidad del Zulia, Maracaibo - Venezuela

Marehilen Lugo

lugomareh@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2683-5869>

Universidad del Zulia, Maracaibo - Venezuela

Paola López

lopezmorles@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0573-0331>

Universidad del Zulia, Maracaibo - Venezuela

Artículo recibido en febrero 2021 / Arbitrado en marzo 2021 / Aceptado en mayo 2021 / Publicado en julio 2021

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal comprobar la efectividad de las semillas de linaza como coagulante natural en la clarificación de aguas con alta turbidez. Se utilizaron muestras de aguas provenientes de la red de distribución local, las cuales se ajustaron a valores de pH entre 3-4 unidades y turbiedades iguales a 180, 200, 220, 240 y 260 UNT. Estas fueron tratadas con el coagulante en dosis de 30 mg/L-150 mg/L y se realizaron las pruebas de jarras. Se determinaron los parámetros fisicoquímicos antes y después de filtrar. Los resultados después del tratamiento con el extracto acuoso linaza a dosis óptimas de 30 mg/L y 60 mg/L reflejan valores de turbidez (1,19 UNT-2,99 UNT), color (7 UC Pt-Co-12,50 UC Pt-Co) y alcalinidad (23,00 mg CaCO₃/L-42,67 mg CaCO₃/L) que se ubican en rangos permisibles y evidencian el cumplimiento de las normativas de calidad del agua potable. Se concluye que la linaza es un coagulante eficiente en la clarificación del agua.

Palabras clave: Agua potable; Turbidez; Coagulante natural; Parámetros fisicoquímicos; Linaza

ABSTRACT

The main objective of this research was to verify the effectiveness of flax seeds as a natural coagulant in clarifying waters with high turbidity. Water samples from the local distribution network were used, which were adjusted to pH values between 3-4 units and turbidity equal to 180, 200, 220, 240 and 260 UNT. These were treated with the coagulant in doses of 30 mg / L-150 mg / L and jar tests were performed. Physicochemical parameters were determined before and after filtering. The results after treatment with the aqueous extract of *L. usitatissimum* at optimal doses of 30 mg / L and 60 mg / flax values (1.19 UNT-2.99 UNT), color (7 UC Pt-Co- 12.50 UC Pt-Co) and alkalinity (23.00 mg CaCO₃ / L-42.67 mg CaCO₃ / L) that are in the permissible ranges and demonstrate compliance with drinking water quality regulations.

Keywords: Drinking water; Turbidity; Natural Coagulant; Physicochemical parameters; Flax

INTRODUCCIÓN

La linaza (*Linum usitatissimum* L.) es una oleaginosa de origen mediterráneo, considerada hasta hace poco como una “oleaginosa industrial” por sus múltiples usos (Ostojich et al., 2012). Es una especie vegetal que proporciona materias primas para alimentos, medicinas y textiles y, por lo tanto, ha sido de gran importancia para la cultura y el desarrollo humanos; además, sus semillas son una importante fuente de ácido α -linolénico o lignano, que tiene propiedades anticancerígenas (Nag et al., 2015).

En cuanto a su composición química, la linaza contiene proteínas, grasa cruda, mucílago, y también minerales como sodio, potasio, magnesio, calcio, hierro, fósforo, zinc, cromo, cobre, magnesio y selenio (Ostojich et al., 2012); pero sus principales constituyentes son la grasa y la fibra, aun cuando también presenta un considerable contenido de proteínas (Angarita et al., 2015).

La linaza contiene fibra sustancial soluble e insoluble. La fibra soluble es también conocida como mucílago, se encuentra en la cubierta de la semilla. Los materiales de la capa de linaza son una rica fuente de lignanos y de mucílago de polisacáridos (Young et al., 2014). La fracción neutra soluble en agua purificada procedente del extracto de mucílago de la linaza amarilla está compuesta de monosacáridos neutros con una mezcla de tres familias principales de polímeros. Todos identificados como arabinosilanos, pero variando en sus residuos de galactosa y fucosa (Warrand et al., 2005).

Específicamente, el mucílago de *L. usitatissimum* se ha utilizado como vehículo de fármaco oftálmico (Noreen et al., 2018) y otros productos para la salud (Ojeda et al., 2017), en la preparación de néctares o bebidas (Baldarrago et al., 2015; Silva, 2019) y harinas (Córdova et al., 2017; Alvarado y Cerna, 2017). Contiene principalmente carbohidratos, proteína y grasa; presentando niveles altos de carbohidratos, ligeramente

inferiores de proteínas y muy bajos en grasa al compararlo con la semilla triturada, así como niveles inferiores de lignanos (Mamani, 2019).

La asociación de las proteínas de linaza con el mucílago es una ventaja en su aplicación para las formulaciones de alimentos. Sin embargo, el mucílago aumenta la viscosidad de las soluciones acuosas, lo que dificulta la separación de proteínas (Young et al., 2014). La presencia de este mucílago pudiera estar asociada al poder coagulante para lograr la clarificación del agua, de manera similar a como actúan los mucílagos de las cactáceas *Hylocereus lemairei* (Mendoza et al., 2008), *Opuntia wentiana* (Parra et al., 2011), *Stenocereus griseus* (González et al., 2012; González et al., 2016; Fuentes et al., 2011) y *Opuntia ficus indica* (Lameda et al., 2014); para las cuales se sugiere un mecanismo de coagulación denominado formación de puente-partícula en el cual las moléculas de polímeros son largas y flexibles y se absorben sobre las partículas formando puentes entre éstas que luego dan origen a los flóculos (Fuentes et al., 2011).

Entre los productos naturales, diversas semillas han demostrado su eficiencia como coagulante, tales como *Moringa oleifera* (Mendoza et al., 2000; Caldera et al., 2007; Fera et al., 2014; Pereira et al., 2017), *Tamarindus indica* (Hernández et al., 2013), *Citrullus lanatus* (Muhammad et al., 2015) y *Dolichos lablab* (Daverey et al., 2019).

El mucílago de *L. usitatissimum* también ha sido usado como agente para la actividad coagulante-floculante en aguas residuales, reflejando porcentajes de remoción de turbidez bajos, cuyos valores máximos alcanzan el 25,01 % a una dosis de 3,0 mg/L y con un valor de pH igual a 6,69 unidades (Torres et al., 2014).

Por otra parte, es importante considerar el riesgo de toxicidad que pueden tener los coagulantes de origen natural, pero en el caso de la linaza, su toxicidad pudiera asociarse a la presencia de linatina, los glucósidos cianogénicos

y el cadmio; no obstante, el riesgo parece ser insignificante para la mayoría de las personas cuando los productos de linaza se consumen con moderación. El consumo regular de linaza o productos de harina de linaza podría colocar una parte significativa de la "carga de cadmio" en las personas. Sin embargo, las recomendaciones actuales para el consumo máximo semanal de cadmio probablemente no se excedan con niveles razonables de consumo de productos de linaza (Young et al., 2014).

El interés por el uso de productos naturales en el proceso de potabilización del agua radica en las ventajas que poseen, como son: baja o nula toxicidad, efectividad en la remoción de turbidez y color, bajo costo y minimización del volumen de lodos que se generan (Fuentes et al., 2016; Stauber et al., 1999). Además, pueden sustituir productos coagulantes de origen químico que contienen aluminio, los cuales se han relacionado con enfermedades neurodegenerativas como el mal de Alzheimer (Rondeau et al., 2000), pues algunos pacientes con este trastorno han presentado cifras superiores de este metal con respecto al grupo testigo, aun cuando no se ubican por encima de niveles permisibles (Gutiérrez et al., 2014). Con base a lo expuesto anteriormente, se consideró interesante comprobar la efectividad de las semillas de Linaza como coagulante natural para el tratamiento de aguas con alta turbidez destinadas al consumo humano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedimiento para la obtención del extracto acuoso del coagulante *Linum usitatissimum*

1. La mezcla coagulante se preparó al 3 % m/v. Inicialmente se midió la masa de 5,0 g de *L. usitatissimum* y se le adicionaron 50 mL de agua destilada.
2. Posteriormente, se agitó y se calentó durante media hora a una temperatura inferior a 40 ° C.

3. Finalizada esta etapa, se obtuvo una mezcla viscosa a la cual se le agregó agua hasta completar 100 mL de mezcla (3 % m/v) y se refrigeró durante 24 horas para la hidratación de las semillas.
4. Finalmente, se midieron dosis de 30, 60, 90, 120 y 150 mg/L para su aplicación en las muestras de agua.

Determinación del pH óptimo para la coagulación

Debido a que el coagulante *L. usitatissimum* en ensayos preliminares y dentro de un rango de pH (6,5-8,5) que cumplía con los niveles permisibles establecidos en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998), no mostró remoción alguna de turbidez ni se observó la formación de flóculos, se consideró necesario determinar su efectividad para el menor y el mayor valor de turbidez inicial (180 UNT y 260 UNT) a diferentes valores de pH (3, 5, 7 y 9) que se ubicaron en niveles de acidez, neutralidad y basicidad. Para ello se prepararon muestras de agua a los valores de turbidez inicial mínimo y máximos establecidos para el estudio, se realizaron las pruebas de jarras correspondientes y se registraron los valores de turbidez a los diferentes valores de pH.

Preparación del agua sintética

El agua sintética se preparó agregando una mezcla arcillosa al 1 % m/v en el agua proveniente del grifo. Esto con la finalidad de adecuarla a los valores de turbidez inicial requeridos para este estudio (180 UNT, 200 UNT, 220 UNT, 240 UNT y 260 UNT). La mezcla de arcilla fue preparada con 10 gramos de la misma, adicionando agua del grifo hasta completar 1000 mL, la cual se agitó durante cinco minutos para obtener una mezcla lo más uniforme posible y se sedimentó durante 24 horas para garantizar la hidratación de las partículas antes de su utilización. Además, se agregó HCl 0,1

Mal agua sintética para ajustar el pH a los valores deseados (3,00-4,00 unidades) con el propósito de lograr la mayor eficiencia del coagulante.

Prueba de jarras

Para realizar las pruebas de jarras, se utilizó un equipo JLTG Leaching Test digital, el cual permitió simular en el laboratorio las fases del proceso de clarificación (coagulación, floculación y sedimentación). Para ello, se adicionó 1 L de agua sintética a los valores de turbidez requeridos en seis vasos de precipitado, se agregaron las distintas dosis del coagulante *L. usitatissimum* y simultáneamente se dio inicio a la mezcla rápida (100 rpm) durante 1 minuto de agitación. Transcurrido el minuto de agitación rápida se procedió a la agitación lenta, la cual se hizo a 30 rpm con una duración de 20 minutos, y finalmente se suprimió la agitación para simular la fase de sedimentación durante 30 minutos.

Medición de parámetros fisicoquímicos

Se siguieron los procedimientos estandarizados por APHA-AWWA-WEF (1998). Para la determinación de la turbidez se utilizó el equipo HF scientific, Inc. Micro 100 Turbidimeter. Su calibración se realizó utilizando soluciones estandarizadas de formazina. La medición del potencial de hidrógeno (pH) se realizó con la ayuda de un potenciómetro Orion 3 Star Benchtop y se calibró con soluciones amortiguadoras a diferentes valores de pH (4, 7 y 10 unidades). El color se determinó en un equipo Orbeco – Hellige con discos comparadores de Pt-Co. La alcalinidad se efectuó mediante un proceso de titulación con ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,02 N en presencia del indicador anaranjado de metilo y luego se calculó mediante la siguiente ecuación, expresándose en mg CaCO₃/L.

Filtración

$$\frac{\text{mg CaCO}_3 / \text{L} = \text{Volumen gastado de H}_2\text{SO}_4 (\text{mL}) \times \text{N H}_2\text{SO}_4 \times \text{Peso equivalente CaCO}_3 \times 1000}{\text{Volumen de la muestra (mL)}}$$

Esta fase se realizó luego de la etapa de sedimentación en la prueba de jarras. Para ello se utilizaron embudos de vidrio, soportes para filtración, vasos de precipitado y papel de filtro marca Double Rings N° 202, diámetro 11 cm. Los parámetros fisicoquímicos se midieron antes (AF) y después de la etapa de filtración (DF).

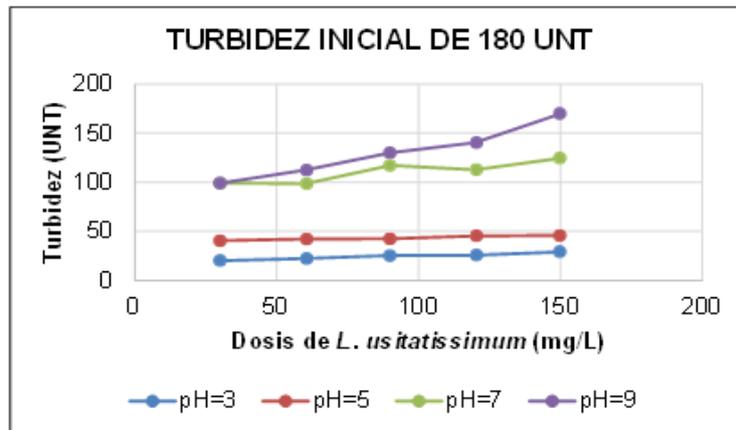
UNT y un valor máximo de 29,13 UNT, registrándose remociones de turbidez correspondientes a 83,82% y 88,82%, respectivamente. Para un pH igual a 5, la turbidez estuvo comprendida entre 40,50 UNT y 45,80 UNT, equivalentes a 74,56% y 77,50% de remoción. Adicionalmente, se detectó una abundante formación de flóculos para estos niveles de pH, lo cual permite inferir que la fase de coagulación-floculación se favorece a niveles de pH ácidos para este valor de turbidez inicial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del pH óptimo de coagulación

En la figura 1, los resultados muestran que para una turbidez inicial de 180 UNT y con un nivel de pH 3, la turbidez presentó un valor mínimo de 20,13

Figura 1. Valores de turbidez después del tratamiento con *L. usitatissimum* a diferentes niveles de pH con una turbidez inicial de 180 UNT.



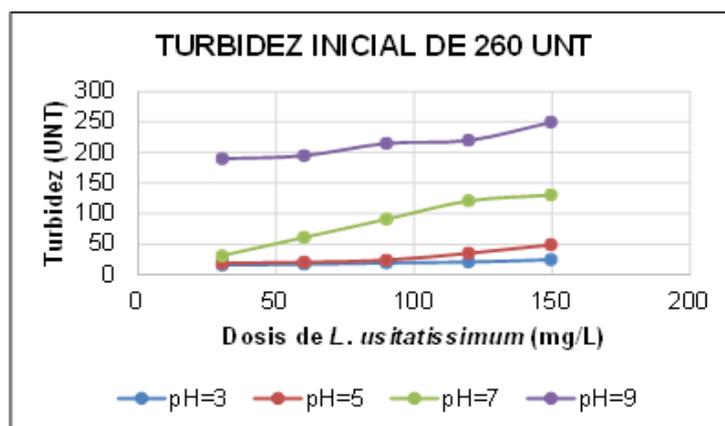
Por otra parte, con un pH neutro (7 unidades) se obtuvieron turbiedades que fluctuaron entre 91,00 UNT y 127,00 UNT, con remociones que se ubicaron entre 29,44% y 49,44% y escasa formación de flóculos. Finalmente, para un pH básico de 9 unidades, la turbidez se ubicó entre 99,10 UNT y 170 UNT, y sus correspondientes porcentajes de remoción fluctuaron entre 5,56% y 49,39%. Los resultados demuestran la ineffectividad de estos niveles de pH para el proceso de coagulación-floculación a una turbidez inicial de 180 UNT.

En la figura 2 se aprecia que para una turbidez inicial de 260 UNT y pH igual a 3 unidades, las turbiedades se ubicaron entre 15,83 UNT y 24,80 UNT, obteniéndose remociones de 90,46% y

93,91%, respectivamente. Para un pH igual a 5,00 unidades se registraron turbiedades de 18,80 UNT y 49,00 UNT con remociones de 81,15% y 92,77%, respectivamente. Estos resultados revelan una alta eficiencia del coagulante *L. usitatissimum* en la remoción de turbidez a niveles de pH ácidos y con esta turbidez inicial.

Al acondicionar el agua a un pH neutro (7 unidades), las turbiedades variaron en un intervalo de 30,91 UNT a 130,50 UNT y se registraron remociones de 49,81% y 88,11%, respectivamente. Para un pH básico o alcalino (9 unidades), los valores de turbidez fluctuaron entre 190,00 UNT y 250,00 UNT, y sus correspondientes porcentajes de remoción fueron 3,85% y 29,92%.

Figura 2. Valores de turbidez después del tratamiento con *L. usitatissimum* a diferentes niveles de pH con una turbidez inicial de 260 UNT.



Los ensayos realizados para la selección de un pH óptimo de coagulación al emplear el extracto de semillas de *L. usitatissimum*, evidencian que a valores de pH iguales y mayores de 7 unidades se forman flóculos, pero no son lo suficientemente densos como para que sedimenten rápidamente y así poder lograr la remoción de la turbidez presente en el agua. Los porcentajes de remoción en su mayoría se ubicaron por debajo del 70 %, que es el valor mínimo aceptable para catalogar la efectividad de un coagulante y considerarlo primario. No obstante, al determinar la eficiencia de este coagulante natural a valores ácidos de pH (3 y 5) se observa una mayor remoción de turbidez (74,56 % - 93,91 %).

Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Hernández et al. (2013) al estudiar el potencial coagulante de semillas de *Tamarindus indica*, el cual resultó más eficiente en un nivel de 4 unidades de pH. Pero, difieren de lo publicado por Vásquez (2013), quien evaluó la remoción de turbidez del agua con coagulantes naturales obtenidos de las semillas de *Erythrina americana*, *Quercus ilex*, *Acacia farnesiana*, *Viscum album*, *Senna cabdollar* y *Senna candolleana*, reportando un pH óptimo de 8 unidades, pero

solamente para *A. farnesiana* se incrementa la actividad de coagulación. También contrastan con lo señalado por Muhammad et al. (2015) al evaluar un coagulante obtenido de semillas de sandía (*Citrullus lanatus*) y determinar que la turbidez disminuye al aumentar el pH, observándose mayor eficiencia a $\text{pH} \geq 7,00$ unidades.

En concordancia con los resultados obtenidos, se seleccionó un intervalo de pH óptimo entre 3 y 4 unidades, debido a que el coagulante obtenido a partir de semillas de *L. usitatissimum* resultó más eficiente en la remoción de turbidez a valores de $\text{pH} \geq 3$ y ≤ 5 unidades, y el intervalo seleccionado se encuentra dentro del rango de eficiencia de este.

Caracterización del agua sintética

Las muestras de agua sintética preparadas con agua del grifo y arcilla comercial, y ajustadas a valores de pH desde 3 hasta 4 unidades con ácido clorhídrico (HCl) 0,10 mol/L, se describen en cuanto a sus características fisicoquímicas en la Tabla 1. En ésta se observan los valores de turbidez en estudio (180, 200, 220, 240 y 260 UNT) y sus correspondientes valores de alcalinidad, pH y color.

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos del agua sintética.

Turbidez (UNT)	Color (UC Pt-Co)	pH	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)
180	160	3,79	72
200	240	4,00	38
220	380	4,01	56
240	400	4,00	38
260	480	4,00	60

Específicamente, la alcalinidad del agua sintética osciló en un rango entre 38 mg CaCO₃/L y 72 mg CaCO₃/L, los niveles de color se ubicaron entre 160 UC Pt-Co y 480 UC Pt-Co y el pH varió

entre 3,79 y 4,01 unidades. Cabe destacar que estos valores de color y de pH están fuera de los límites permisibles establecidos en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1998).

Remoción de turbidez

En la Tabla 2 se observa que al aplicar las diferentes dosis del coagulante *L. usitatissimum* a una turbidez inicial de 180 UNT, las turbiedades antes de filtrar se ubican entre $20,13 \pm 3,28$ UNT y $29,13 \pm 4,58$ UNT, los porcentajes de remoción variaron desde 83,82 % hasta 88,81 % y la dosis óptima del coagulante fue de 30 mg/L

Después de la filtración se obtuvieron valores de turbidez entre $1,92 \pm 0,37$ UNT y $3,34 \pm 0,50$ UNT, los porcentajes de remoción se ubicaron entre 98,15 % y 98,93 %. Se observa que la turbidez disminuyó considerablemente a valores por debajo de 5,00 UNT, cumpliendo así con lo establecido en las Normas de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998).

El comportamiento del coagulante permite establecer que al aumentar la dosis aumenta

la turbidez y por tanto disminuye la remoción, a diferencia de lo reportado por Parra et al. (2011), quienes al emplear la cactácea *O. wentiana* para el tratamiento de aguas con turbiedades iniciales entre 100 UNT y 200 UNT, observaron que al aumentar la dosis de coagulante disminuía considerablemente la turbidez y por tanto aumentaba la remoción.

El extracto de *L. usitatissimum* resultó más eficiente en la remoción de turbidez a 180 UNT que el coagulante obtenido de las semillas de *M. oleifera* en aguas con turbidez inicial de 183,7 UNT, para el cual se reportó como valor menor 8,2 UNT después del proceso de filtración al aplicar una dosis óptima de 70 mg/L, tal y como lo refieren Adejumo et al. (2013).

Tabla 2. Comportamiento del parámetro turbidez en aguas con turbiedad inicial de 180 UNT tratadas con *L. usitatissimum*.

Dosis (mg/L)	Turbidez AF (UNT)	Remoción de turbidez AF (%)	Turbidez DF (UNT)	Remoción de turbidez DF (%)
30	22,30	87,61	2,16	98,80
	22,60	87,44	2,21	98,77
	15,50	91,39	1,38	99,23
Promedio	$20,13 \pm 3,28$	88,81	$1,92 \pm 0,37$	98,93
60	25,20	86,00	1,79	99,01
	20,30	88,72	2,52	98,60
	21,17	88,24	1,66	99,08
Promedio	$22,22 \pm 2,13$	87,65	$1,99 \pm 0,35$	98,90
90	27,50	84,72	1,64	99,01
	25,40	85,89	2,29	98,73
	23,00	87,22	4,98	97,23
Promedio	$25,30 \pm 1,84$	85,94	$2,97 \pm 1,45$	98,35

Dosis (mg/L)	Turbidez AF (UNT)	Remoción de turbidez AF (%)	Turbidez DF (UNT)	Remoción de turbidez DF (%)
120	30,70	82,94	2,14	98,81
	25,30	85,94	1,65	99,08
	21,10	88,28	4,16	97,69
Promedio	25,70 ± 3,93	85,72	2,65 ± 1,09	98,53
150	34,50	80,83	2,63	98,54
	29,60	83,56	3,74	97,92
	23,30	87,06	3,64	97,98
Promedio	29,13 ± 4,58	83,82	3,34 ± 0,50	98,15

*Se reportan media y desviación estándar para n=3. AF: antes de filtrar. DF: después de filtrar.

Al comparar la eficiencia de los coagulantes *L. usitatissimum* y *O. wentiana* para el mismo valor de turbidez inicial (180 UNT), se observa que son similares porque al aplicar las dosis óptimas, los valores de turbidez antes de filtrar fueron 20,13 UNT y 20,43 UNT, respectivamente. También presenta un comportamiento análogo al coagulante *S. griseus* (González et al., 2012) con el cual se obtuvo una turbidez decantada de 19,67 UNT.

Para una turbidez inicial de 200 UNT, la efectividad del coagulante *L. usitatissimum* se presenta en la tabla 3 y al aplicar dosis de 30, 60,

90, 120 y 150 mg/L se observa que la turbidez antes de filtrar fluctúa entre $9,49 \pm 0,43$ UNT y $19,53 \pm 0,39$ UNT, con una dosis óptima de 60 mg/L. Los porcentajes de remoción de turbidez variaron entre 90,24% y 95,25% antes de filtrar; y entre 98,34 % y 99,41% después de filtrar, obteniéndose valores de turbidez inferiores a 5 UNT, ajustados a la normativa (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998) y similares a los reportados por González et al. (2012) al aplicar el coagulante *S. griseus* en aguas con la misma turbidez inicial y obtener una turbidez decantada de 16,43 UNT y una turbidez filtrada de 4,11 UNT.

Tabla 3. Comportamiento del parámetro turbidez en aguas con turbiedad inicial de 200 UNT tratadas con *L. usitatissimum*.

Dosis (mg/L)	Turbidez AF (UNT)	Remoción de turbidez AF (%)	Turbidez DF (UNT)	Remoción de turbidez DF (%)
30	9,60	95,20	1,16	99,42
	9,58	95,21	0,97	99,51
	10,34	94,83	1,38	99,31
Promedio	9,84 ± 0,36	95,08	1,17 ± 0,17	99,41

Dosis (mg/L)	Turbidez AF (UNT)	Remoción de turbidez AF (%)	Turbidez DF (UNT)	Remoción de turbidez DF (%)
	9,20	95,40	1,11	99,45
60	9,17	95,41	0,79	99,61
	10,10	94,95	1,66	99,17
Promedio	9,49 ± 0,43	95,25	1,19 ± 0,39	99,41
	14,30	92,85	0,89	99,56
90	14,60	92,70	0,82	99,59
	14,40	92,80	4,98	97,51
Promedio	14,43 ± 0,13	92,78	2,23 ± 1,94	98,89
	19,30	90,35	0,87	99,57
120	20,08	89,96	4,91	97,54
	19,20	90,40	4,16	97,92
Promedio	19,53 ± 0,39	90,24	3,31 ± 1,75	98,34
	14,20	92,90	1,28	99,36
150	14,40	92,80	0,86	99,57
	14,36	92,82	3,64	98,18
Promedio	14,32 ± 0,09	92,84	3,93 ± 2,35	99,04

*Se reportan media y desviación estándar para n=3. AF: antes de filtrar. DF: después de filtrar.

Se observa que la turbidez disminuyó considerablemente a valores por debajo de 5,00 UNT después de esta etapa, cumpliendo así con lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998). Estos resultados presentan mayor eficiencia que los reportados por Matilainen et al. (2010) al emplear semillas de *M. oleifera* ultrafiltrada y microfiltrada, porque la turbidez filtrada fluctuó en un intervalo entre 2 y 10 UNT.

Al evaluar la efectividad de *L. usitatissimum* para una turbidez inicial de 220 UNT, se puede

observar en la tabla 4 que la aplicación de las diferentes dosis permitió obtener turbiedades antes de filtrar que se ubicaron entre $10,88 \pm 1,35$ UNT y $16,00 \pm 1,58$ UNT con porcentajes de remoción que oscilaron entre 92,73% y 95,05% y una dosis óptima de 60 mg/L. Luego de culminar la fase de filtración, se registró un intervalo de turbidez correspondiente a $1,44 \pm 0,17$ UNT - $1,67 \pm 0,15$ UNT y porcentajes de remoción que variaron entre 99,24 % y 99,35%.

Tabla 4. Comportamiento del parámetro turbidez en aguas con turbiedad inicial de 220 UNT tratadas con *L. usitatissimum*.

Dosis (mg/L)	Turbidez AF (UNT)	Remoción de turbidez AF (%)	Turbidez DF (UNT)	Remoción de turbidez DF (%)
30	13,90	93,68	1,83	99,17
	9,36	95,75	1,47	99,33
	10,30	95,32	1,71	99,22
Promedio	11,19 ± 1,95	94,92	1,67 ± 0,15	99,24
60	10,50	95,23	1,42	99,35
	9,45	95,70	1,66	99,25
	12,70	94,23	1,24	99,44
Promedio	10,88 ± 1,35	95,05	1,44 ± 0,17	99,35
90	14,10	93,59	1,50	99,32
	12,90	94,14	1,47	99,33
	13,40	93,91	1,41	99,36
Promedio	13,47 ± 0,49	93,88	1,46 ± 0,04	99,34
120	16,40	92,55	1,63	99,26
	12,20	94,45	1,66	99,25
	14,40	93,45	1,18	99,46
Promedio	14,33 ± 1,71	93,48	1,49 ± 0,15	99,32
150	17,70	91,95	1,57	99,29
	13,90	93,68	1,64	99,25
	16,40	92,55	1,28	99,42
Promedio	16,00 ± 1,58	92,73	1,50 ± 0,07	99,32

*Se reportan media y desviación estándar para n=3. AF: antes de filtrar. DF: después de filtrar.

De igual manera, *L. usitatissimum* tiene mayor poder coagulante que la cactácea *S. griseus*, con la cual Fuentes et al. (2011) obtuvieron turbiedades filtradas entre 1,77 UNT y 12,15 UNT en aguas con turbiedades iniciales más bajas que las del presente estudio, pues el rango fue de 20 UNT a 100 UNT.

En la Tabla 5 se observan los valores de turbidez antes y después de la fase de filtración, así como también los valores correspondientes a la remoción de turbiedad en muestras de agua

con turbidez inicial de 240 UNT. Las turbiedades antes de filtrar oscilaron entre $19,41 \pm 4,96$ y $29,05 \pm 15,95$ UNT, con porcentajes de remoción que fluctuaron desde 87,89 % hasta 91,91 %. La dosis óptima para este valor de turbiedad inicial fue 30 mg/L. Después de aplicar la filtración, se obtuvieron valores de turbidez entre $1,55 \pm 0,42$ UNT y $2,11 \pm 0,13$ UNT equivalentes a porcentajes de remoción que variaron en un rango de 99,12% a 99,35%.

Tabla 5. Comportamiento del parámetro turbidez en aguas con turbiedad inicial de 240 UNT tratadas con *L. usitatissimum*.

Dosis (mg/L)	Turbidez AF (UNT)	Remoción de turbidez AF (%)	Turbidez DF (UNT)	Remoción de turbidez DF (%)
	7,43	96,90	0,91	99,62
30	23,60	90,17	1,29	99,46
	27,20	88,67	2,45	98,98
Promedio	19,41 ± 4,96	91,91	1,55 ± 0,42	99,35
	8,07	96,64	0,98	99,59
60	20,50	91,46	1,61	99,33
	32,20	86,58	2,78	98,84
Promedio	20,26 ± 5,68	91,56	1,79 ± 0,43	99,25
	7,80	96,75	1,11	99,54
90	25,60	89,33	1,66	99,31
	36,00	85,00	2,30	99,04
Promedio	23,13 ± 6,72	90,36	1,69 ± 0,49	99,30
	9,04	96,33	1,59	99,34
120	37,70	84,29	2,61	98,91
	39,00	83,75	2,12	99,12
Promedio	28,58 ± 6,72	88,09	2,11 ± 0,13	99,12
	10,01	95,83	1,88	99,22
150	28,10	88,29	2,40	99,00
	49,05	79,56	2,02	99,16
Promedio	29,05 ± 15,95	87,89	2,10 ± 0,22	99,13

*Se reportan media y desviación estándar para n=3. AF: antes de filtrar. DF: después de filtrar.

Se muestra que después de simular todas las fases correspondientes a la clarificación, las muestras de agua tratadas con *L. usitatissimum* a una turbidez inicial de 240 UNT se ajustaron a la normativa establecida en cuanto al parámetro turbidez (máximo permisible: 5,00 UNT), según lo indicado en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

De igual modo, en la Tabla 6 se observa que al aplicar las diferentes dosis del coagulante natural para una turbidez inicial de 260 UNT, el parámetro turbidez se ubica entre $15,83 \pm 6,13$ UNT y $24,80 \pm 3,61$ UNT antes de filtrar, con porcentajes de remoción que varían en un intervalo de 93,91% a 90,46%.

Tabla 6. Comportamiento del parámetro turbidez en aguas con turbiedad inicial de 260 UNT tratadas con *L. usitatissimum*.

Dosis (mg/L)	Turbidez AF (UNT)	Remoción de turbidez AF (%)	Turbidez DF (UNT)	Remoción de turbidez DF (%)
30	11,20	95,69	2,76	98,94
	11,80	95,46	4,48	98,28
	24,50	90,58	1,73	99,33
Promedio	15,83 ± 6,13	93,91	2,99 ± 1,13	98,85
60	12,50	95,19	1,80	99,31
	15,50	94,04	1,68	99,35
	23,60	90,92	1,99	99,23
Promedio	17,20 ± 4,69	93,38	1,82 ± 0,13	99,30
90	15,50	94,04	2,06	99,21
	16,70	93,58	1,64	99,37
	25,90	90,04	2,04	99,22
Promedio	19,37 ± 4,92	92,55	1,91 ± 0,20	99,27
120	19,70	92,42	2,30	99,12
	16,50	93,65	2,16	99,17
	26,20	89,92	2,15	99,17
Promedio	20,80 ± 4,04	92,00	2,20 ± 0,07	99,15
150	21,10	91,88	2,68	98,97
	23,60	90,92	2,32	99,11
	29,70	88,58	2,18	99,17
Promedio	24,80 ± 3,61	90,46	2,39 ± 0,21	99,08

*Se reportan media y desviación estándar para n=3. AF: antes de filtrar. DF: después filtrar.

La dosis óptima fue de 30 mg/L. Posterior a la fase de filtración, se observan valores de turbidez en un rango de 1,82 ± 0,13 UNT a 2,99 ± 1,13 UNT y porcentajes de remoción que oscilan desde 99,30% hasta 98,85%. Todas las muestras reflejan turbiedades inferiores a 5 UNT, por lo tanto, cumplen con lo establecido en las Normas de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998). El comportamiento del coagulante *L. usitatissimum* presenta una ligera disminución de la remoción de

la turbidez presente en el agua al incrementar la dosis.

Resultados similares se observaron para *Tamarindus indica* (Hernández et al., 2013), quienes para turbiedades iniciales en un rango de 100 UNT-350 UNT reportaron valores de turbidez decantada de 20,33 UNT a 26,66 UNT; y después de filtrar variaron de 0,61 UNT hasta 1,20 UNT, ajustándose también a la normativa citada anteriormente.

Por otra parte, en la Tabla 7 se muestran las turbiedades iniciales, sus correspondientes dosis óptimas, los valores de remoción y el comportamiento del patrón. Después del tratamiento de muestras de agua con las semillas de *L. usitatissimum*, se observa que todas las

turbiedades se ubican en valores inferiores al máximo nivel permisible (≤ 5 UNT) establecido en las Normas de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998).

Tabla 7. Resumen del comportamiento del parámetro turbidez en aguas tratadas con *L. usitatissimum*.

Turbidez Inicial (UNT)	Control AF(UNT)	Dosis óptima (mg/L)	Turbidez AF (UNT)	Remoción AF (%)	Control DF (UNT)	Turbidez DF (UNT)	Remoción DF (%)
180	174	30	20,13	88,82	6,88	1,92	98,93
200	200	60	9,49	95,25	13,20	1,19	99,41
220	212	60	10,88	95,05	2,40	1,44	99,35
240	240	30	19,41	91,91	2,96	1,55	99,35
260	251,33	30	15,83	93,91	12,30	2,99	98,85

* AF: antes de filtrar. DF: después de filtrar.

Además, se puede afirmar que este coagulante natural se puede clasificar como primario, porque sus porcentajes de remoción antes de la etapa de filtración superan el 70 %. Las dosis óptimas son 30 mg/L y 60 mg/L y el comportamiento que refleja el coagulante no se corresponde con una tendencia en particular, aumenta y disminuye la turbidez de manera alterna, lo cual coincide con lo indicado por Hernández et al. (2013) al emplear semillas de *T. indica* como coagulante. No obstante, difiere de lo publicado en un estudio con semillas de sandía (*Citrullus lanatus*), para las cuales se reporta un comportamiento que demuestra el aumento de la turbidez desde 7,59 UNT a 14,98 UNT al aplicar dosis que se fueron incrementando desde 100 mg/L-600 mg/L; a pesar de que este valor supera el nivel máximo recomendado por la Organización

Mundial de la Salud (Muhammad et al., 2015).

Al comparar los porcentajes de remoción obtenidos en el presente estudio, se encuentra que estos son ligeramente superiores a los referidos por Hernández et al. (2013) al emplear el coagulante natural *T. indica*, pues obtuvieron valores que oscilaron en un intervalo de 73,45% - 89,09% antes de filtrar y de 99,05% - 99,71% después de filtrar, mientras que para *L. usitatissimum* los rangos de remoción antes y después de la etapa de filtración fueron 88,82% - 95,25% y 98,85% - 99,41%, respectivamente.

Evaluación del parámetro pH

El parámetro pH presentó poca variación después del tratamiento con el coagulante *L. usitatissimum* y los resultados se muestran en la

tabla 8. Éste se mantuvo entre 3,03 y 3,39 unidades antes de filtrar, y entre 2,96 y 3,14 unidades después de la filtración (Tabla 8), resultando muy ácido y quedando fuera del rango establecido (6,5 - 8,5) en las Normas de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998).

Cabe destacar que luego de la adecuación de las aguas sintéticas a valores de pH óptimos (3 - 4 unidades) para lograr una mayor eficiencia del coagulante, deben ser acondicionadas nuevamente a los rangos establecidos en las normas. En el caso de valores de pH por debajo

del rango de pH óptimo, se puede utilizar cal o hidróxido de sodio para aumentarlo. Si la coagulación se lleva a cabo fuera del rango de pH óptimo, es necesario aumentar la cantidad de coagulante. Se debe tener en cuenta que el pH de la muestra a tratar se afecta de acuerdo al tipo y cantidad de los coagulantes y ayudantes de coagulación utilizados (Trujillo et al., 2014).

Los datos reportados en este estudio son similares a los obtenidos por Hernández et al. (2013) con *Tamarindus indica*, pues en este caso también se ajustó el pH para mejorar la eficiencia del coagulante.

Tabla 8. Valores de pH antes y después de la fase de filtración para las dosis óptimas.

Turbidez Inicial (UNT)	Dosis óptima (mg/L)	pH control AF	pH control DF	pH AF	pH DF
180	30	2,97	2,99	3,03	3,03
200	60	3,12	3,16	3,11	3,14
220	60	3,44	3,31	3,11	3,12
240	30	3,45	3,53	3,39	2,96
260	30	3,26	3,24	3,54	3,55

Para las semillas de *L. usitatissimum* resultó indispensable ajustar el pH a niveles de acidez entre 3-4 unidades de pH, lo cual se contrapone con lo referido para otras semillas que se han usado como coagulante, tal es el caso de *M. oleifera* (Feria et al., 2014; Caldera et al., 2007) que actúa con alta eficiencia en un rango de pH que se ajusta a las normas de calidad vigentes; y también contrasta con respecto a los frijoles indios (*Dolichos lablab*) con los cuales se observa baja remoción de turbidez (71%-74%) a pH entre 5,0 y 9,0 unidades, pero tiene la máxima remoción de turbidez (98,84%) a pH 11 (Daverey et al., 2019).

Evaluación del parámetro color

La Tabla 9 muestra los datos de color inicial presentes en el agua cruda sintética (180 UC Pt-Co a 260 UC Pt-Co) y en el patrón, así como la disminución de los valores de color en las muestras después del tratamiento con *L. usitatissimum* (antes y después de la etapa de filtración).

Antes de filtrar, con las dosis óptimas se observan valores de color que fluctuaron entre 20 UC Pt-Co y 30,35 UC Pt-Co, los cuales corresponden a 87,50% y 93,68% de remoción, respectivamente. Después de filtrar, este parámetro varía entre 7,00 UC Pt-Co y 12,50 UC Pt-Co y presenta remociones

entre 94,79% y 98,44%, lo cual demuestra que las aguas tratadas con el extracto acuoso de *L. usitatissimum* presentan una disminución del color que se ubica dentro del rango máximo permisible (≤ 15 UC Pt-Co) establecido por las Normas de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta

Oficial de la República de Venezuela, 1998). Estos valores de remoción son ligeramente superiores al promedio reportado (94 %) por Behloul y Zertal (2020) al aplicar el mucílago de canela como floculante natural para la eliminación del color.

Tabla 9. Valores de remoción de color antes y después de filtrar para las dosis óptimas.

Turbidez Inicial (UNT)	Dosis óptima (mg/L)	Color control AF (UC Pt-Co)	Color control DF (UC Pt-Co)	Color muestras AF (UC Pt-Co)	Remoción AF (%)	Color muestras DF (UC Pt-Co)	Remoción DF (%)
180	30	160,00	25,00	20,00	87,50	7,00	95,63
200	60	240,00	46,67	25,00	89,58	12,50	94,79
220	60	380,00	40,00	25,00	93,42	7,50	98,03
240	30	400,00	26,67	29,30	92,68	7,50	98,13
260	30	480,00	28,33	30,35	93,68	7,50	98,44

* AF: antes de filtrar. DF: después de filtrar.

Estos resultados demuestran mayor eficiencia de las semillas de *L. usitatissimum* que las semillas de *Citrullus lanatus*, pues con estas últimas se alcanzaron valores de 50-120 Unidades de Color Total (UCT) con dosis más altas (100-600 mg/L) y pH entre 6,34-6,52; valores que disminuyeron a un intervalo de 40 UCT-55 UCT al ajustar el pH a un rango de 6-8,5 (Muhammad et al., 2015). No obstante, con el coagulante extraído de las semillas de sandía no se obtuvieron valores de color en rangos permisibles.

Evaluación del parámetro alcalinidad

En la tabla 10 se reflejan los valores de alcalinidad antes y después del tratamiento con *L. usitatissimum*, los cuales se encuentran en un rango de 31,67 mg CaCO₃/L-50,67 mg CaCO₃/L

antes de filtrar y se ubican en un intervalo de 23,00 mg CaCO₃/L-42,67 mg CaCO₃/L después de filtrar, observándose que no hubo variación en este parámetro. Dado que las Normas de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998) no establecen límites para la alcalinidad, se tomó como patrón de comparación el valor máximo permisible fijado por el Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2007), el cual establece como máximo 200 mg CaCO₃/L para la calidad del agua de consumo humano. Con base a ese valor, la alcalinidad se ubica en rangos permisibles al emplear este coagulante en el tratamiento de aguas con alta turbidez.

Tabla 10. Valores de alcalinidad antes y después de filtrar para las dosis óptimas.

Turbidez Inicial (UNT)	Dosis óptima (mg/L)	Alcalinidad control AF (mg CaCO ₃ /L)	Alcalinidad control DF (mg CaCO ₃ /L)	Alcalinidad de las muestras	Alcalinidad de las muestras DF (mg CaCO ₃ /L)
180	30	40,00	42,67	44,00	42,67
200	60	50,67	50,67	50,67	33,33
220	60	29,33	25,33	37,33	24,00
240	30	29,33	28,33	31,67	30,00
260	30	44,33	40,33	34,67	23,00

* AF: antes de filtrar. DF: después de filtrar

Los resultados obtenidos en este estudio son análogos a los reportados en otros estudios con coagulantes como *T. indica* (Hernández et al., 2013), *M. oleifera* (Feria et al., 2014), *O. wentiana* (Parra et al., 2011), *S. griseus* (Fuentes et al., 2011) y *O. ficus indica* (Lameda et al., 2014), para los cuales se determinó una variación mínima sobre este parámetro. Por otra parte, algunos estudios confirman que en *M. oleifera* la variación en la alcalinidad no afecta la eficiencia del coagulante (Golestanbagh et al., 2015).

Se demostró que el coagulante obtenido a partir de *Linum usitatissimum* requiere el ajuste del pH para incrementar su eficiencia y fue más efectivo a pH igual a 3,00 unidades, lográndose remociones de turbidez entre 98,85% y 99,41%, lo cual permite clasificarlo como un coagulante primario.

El coagulante *L. usitatissimum* removió el color en un rango que se ubicó entre 94,79% y 98,44%. Los parámetros pH y alcalinidad presentaron ligeras variaciones al añadir el coagulante.

El tratamiento de aguas con el coagulante *L. usitatissimum* a alta turbidez (180 UNT - 260 UNT) y pH en un rango de 3 - 4 unidades evidenció el cumplimiento de las normativas vigentes en cuanto

a los parámetros turbidez (1,19 UNT - 2,99 UNT), color (7 UC Pt-Co - 12,50 UC Pt-Co) y alcalinidad (23,00 mg CaCO₃/L - 42,67 mg CaCO₃/L).

Después del tratamiento, las aguas requieren un ajuste del pH a un intervalo entre 6,5 - 8,5 unidades para cumplir con las normativas establecidas.

CONCLUSIONES

Se concluye que la linaza es un coagulante eficiente en la clarificación del agua. Se demostró que el coagulante obtenido a partir de *Linum usitatissimum* requiere el ajuste del pH para incrementar su eficiencia y fue más efectivo a pH igual a 3,00 unidades, lográndose remociones de turbidez que permiten clasificarlo como un coagulante primario. Esto permite afirmar que la linaza tiene la capacidad de optimizar recursos económicos en el proceso de purificación del agua.

Considerando que el agua es un recurso vital no renovable, incrementar la eficiencia de los procesos de clarificación representa, a nivel mundial, una importante oportunidad que responde a los objetivos establecidos por la

UNESCO. Se debe considerar que este proceso remueve el color en un rango superior al 94% y que los parámetros pH y alcalinidad presentaron ligeras variaciones al añadir el coagulante. Asimismo, el tratamiento de aguas con el coagulante de linaza a alta en un rango de 3 - 4 unidades evidenció el cumplimiento de las normativas vigentes en cuanto a los parámetros turbidez y alcalinidad. Finalmente, después del tratamiento, las aguas requieren un ajuste del pH para cumplir con las normativas establecidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Adejumo, M., Oloruntoba, E. y Sridhar, M. (2013). Use of *Moringa oleifera* (Lam.) seed powder as a coagulant for purification of water from unprotected sources in Nigeria. *European Scientific Journal*, 9(24), 1857-7881. DOI: 10.19044/esj.2013.v9n24p.p.
- Alvarado, E. y Cerna, E. (2017). Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de haba (*Vicia faba*) y harina de linaza (*Linum usitatissimum*) en la elaboración de pan de molde. Universidad Nacional del Santa. Chimbote-Perú
- Angarita, L., López, J., Parra, K., Aparicio, D., Céspedes, V., Uzcátegui, M., Higuera, A. y Reyna, N. (2015). Evaluación físico-química de la fibra de linaza (*Linum usitatissimum* L.) y su efecto sobre la respuesta glicémica e insulínica de una bebida en adultos sanos. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 32(4), 454-475
- APHA-AWWA-WEF (1998). *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 20th Edition
- Baldarrago, U., Nathaly, K., Delgado, P. y Alonso, J. (2015). Implementación de una planta de elaboración de bebida de papaya (*Carica papaya*) con linaza (*Linum usitatissimum*). *Ingeniería Industrial*, 33(2015), 181-203
- Behloul, S. y Zertal, A. (2020). Cinnamon mucilage as a natural flocculant for dyestuff removal. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. DOI: 10.1080/03067319.2020.1751833
- Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J. y Fuentes, L. (2007). Eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 41(2), 244-254
- Daverey, A., Tiwari, N. y Dutta, K. (2019). Utilización de extractos de cáscaras de *Musa paradisiaca* (plátano) y semillas de *Dolichos lablab* (frijol indio) como coagulantes naturales de bajo costo para la eliminación de turbidez del agua. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(2019), 34177-34183
- Feria, J., Bermúdez, S. y Estrada, A. (2014). Eficiencia de la semilla *Moringa oleifera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, 9(1), 9-22
- Fuentes N., Molina E. y Ariza C. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11(2), 41-54
- Fuentes, L., Mendoza, I., López, A., Castro, M. y Urdaneta, C. (2011). Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. *Revista Técnica Ingeniería Universidad del Zulia*, 34(1), 48-56
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1998). Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. N° 36.395 del 13 de febrero de 1998
- Golestanbagh, M., Parvini, M. y Ahamad, I. (2015). Studying effect of water quality parameters on coagulation efficiency by *Moringa oleifera* seeds. *Advances in Environmental Technology*, 1 (2015), 41-47. DOI: 10.22104/aet.2015.120
- González, A., Rodríguez, Z. y Valera, K. (2012). Clarificación de aguas con alta turbidez empleando el mucílago de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. Trabajo Especial de Grado. Universidad del Zulia. Cabimas-Venezuela
- González, Y., Mendoza, I., Caldera, Y., Osorio, A. y Yoris, L. (2016). Clarificación de aguas altamente turbias empleando *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. como coagulante. *Impacto Científico*, 11(1), 61-75

- Gutiérrez, F., Arcila, V., Quintero, K., Álvarez, R. y Querales, M. (2014). Niveles de aluminio sérico en un grupo de pacientes con enfermedad de Alzheimer. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 48(4), 485-490
- Hernández, B., Mendoza, I., Salamanca, M., Fuentes, L. y Caldera, Y. (2013). Semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en aguas de alta turbiedad. *REDIELUZ*, 3(1-2), 91-96
- Lameda, P., Negrelli, C., Hidalgo, C. y Fuentes, L. (2014). Clarificación de aguas de baja turbidez empleando el coagulante *Opuntia ficus-indica*. *REDIELUZ*, 4(1), 44 – 48
- Mamani, Y. (2019). Consumo habitual y composición de semilla y mucílago de linaza (*Linum usitatissimum*) en la ciudad de Puno. Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ciencias de la Salud. Puno-Perú. p.p. 89. Recuperado el 24 de abril de 2020 de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12690/Mamani_Bautista_Yeni.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Matilainen, A., Vepsalainen, M. y Sillanpaa, M. (2010). Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Adv. Colloid Interface Sci*, 159(2), 189-197. DOI: 10.1016/j.cis.2010.06.007
- Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G. y Díaz, A. (2000). Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas. *Ciencia*, 8(2), 235-242
- Mendoza, I., Fuentes, L., Caldera, Y., Perdomo, F., Suárez, A., Mosquera, N. y Arismendi, H. (2008). Eficiencia de *Hylocereus lemairei* como coagulante-floculante en aguas para consumo humano. *Impacto Científico*, 3(1), 53-69
- Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2007). Resolución Número 2115. Colombia, 23 p.p.
- Muhammad, I., Abdulsalam, S., Abdulkarim, A. y Bello, A. (2015). Water melon seed as a potential coagulant for water treatment. *Global Journal of Researches in Engineering: C Chemical Engineering*, 15(1), 16-23
- Nag, S., Mitra, J. y Karmakar, P. (2015). An overview on Flax (*Linum usitatissimum* L.) and its genetic diversity. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 8(4), 805-817. DOI: 10.5958/2230-732X.2015.00089.3
- Noreen, S., Arshad, M., Akram, S., Noureen, S., Zubair, M. y Abbas, S. (2018). Sistema inteligente de gel de mucílago de *Linum usitatissimum* como vehículo de un fármaco oftálmico. *Bioinspirados, biomiméticos y Nanobiomateriales*, 7(2), 90-99. DOI: 10.1680/jbibn.17.00019
- Ojeda, L., Noguera, N. y Herrera, H. (2017). La linaza (*Linum usitatissimum* L.) y su papel nutraceútico flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) and its nutraceutical role. *Saber*, 29(2017), 712-722
- Ostojich, Z. y Sangronis, E. (2012). Caracterización de semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.) cultivadas en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 62(2), 192-200
- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y. y Fuentes, L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae). *REDIELUZ*, 1(1), 27-33
- Pereira, F., Serrão, V., Bergamasco, R. y Ribau, M. (2017). The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 313, 226-237. DOI: 10.1016/j.cej.2016.12.031
- Rondeau, V., Commenges, D., Jacqmin-Gadda, H. y Dartigues, J. (2000). Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: an 8-year follow-up study. *American Journal of Epidemiology*, 152(1), 59-66
- Silva, J. (2019). Efecto de la concentración del mucílago de Linaza (*Linum usitatissimum*) sobre las características fisicoquímicas y reológicas de un Néctar de Maracuyá (*Passiflora edulis*). Universidad César Vallejo. Trujillo-Perú
- Stauber, J., Florence, T., Davies, C., Adams, S. y Buchanan, S. (1999). Bioavailability of Al in alum treatment drinking water. *Journal of American Water Works Association*, 91(11), 84-93

- Torres, L., Cadena, G., Carpinteyro-Urbán, S. y Corzo, L. (2014). New Galactomannans and Mucilages with Coagulant-Flocculant Activity for an Environment Friendly Treatment of Wastewaters. *Current Advances in Environmental Science*, 2(2), 52-58
- Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J., Rincón, A., Pacheco, S. y Herrera, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Rev.ion.*, 27(1), 17-34
- Vásquez, L. (2013). Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas (Eritrina americana, *Quercus ilex*, *Acacia farnesiana*, *Viscum album* y *Senna candolleana*). *Naturaleza y Desarrollo*, 11(1), 30-41
- Warrand, J., Michaud, P., Picton, L., Muller, G., Courtois, B., Ralainirina, R. y Courtois, J. (2005). Structural investigations of the neutral polysaccharide of *Linum usitatissimum* L. seeds mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 35(3-4), 121-125. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2004.12.006
- Young, Y., Gui, B., Arnison, P., Wang, Y. y Reaney, M. (2014). Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. *Trens in Food Science & Technology* 38(2014), 5-20. DOI: 10.1016/j.tifs.2014.03.011