Universidad Iberoamericana Puebla

Repositorio Institucional **http://repositorio.iberopuebla.mx**

ExpoIbero Otoño 2022

Floculante natural a partir de pectina de cáscara de plátano para la extracción de metales pesados de aguas contaminadas

Rojas Fernández, Marian

2022-12-02

https://hdl.handle.net/20.500.11777/5579

http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf

Floculante natural a partir de pectina de cáscara de plátano para la extracción de metales pesados de aguas contaminadas

Gopar Amador Ángel de Jesús (séptimo semestre en Ingeniería Química)[1], Herrera Muñoz María Julieta (séptimo semestre en Ingeniería Química)[1], Rojas Fernández Marian (séptimo semestre en Ingeniería Química)[1,*], Salazar Tamay María Fernanda (séptimo semestre en Ingeniería Química)[1], Urbina Cozar Juana María del Socorro (séptimo semestre en Ingeniería Química)[1]
Colín Ortega Juan Carlos (profesor responsable) [1]
[1]*Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México*

Resumen

La contaminación generada por las grandes industrias afectan los cuerpos de agua, debido a los metales pesados. Las pectinas son polisacáridos, que se encuentran en los frutos de las plantas como en las cáscaras de plátano, que debido a su composición de hidroxila y carboxila ahora son utilizadas para descontaminar el agua. Los floculantes naturales son una alternativa más económica y menos dañina al ambiente que los floculantes sintéticos utilizados en el tratamiento de agua contaminada, por lo que el objetivo del siguiente trabajo es desarrollar un floculante natural a partir de cáscara de plátano (banana musa cavendishii) y comprobar su efectividad como adsorbente de metales pesados. Las cáscaras de plátano fueron lavadas, cortadas y calentadas a 95°C por 15 minutos. Se filtraron, lavaron y secaron a peso constante a 60°C. Se adicionó HCl hasta obtener un pH de 2, y se sometió a calentamiento a 90°C. La mezcla se dejó enfriar, se filtró y centrifugó por 15 minutos a 4500 r.p.m. Al sobrenadante se le adicionó etanol y se dejó reposar, este se filtró al vacío y fue secado por 24 horas. Las muestras patrón se prepararon mediante las normas establecidas y se analizaron en el espectrofotómetro, así como las muestras con la pectina añadida, se obtuvieron las curvas de calibración y ecuaciones para calcular la concentración final. Para la extracción de pectina se obtuvo un rendimiento del 2.7%, mientras que para la adsorción de Cu fue de 96.06%, de Cr 81.58% y de Pb de 92.85%.

Palabras clave: pectina, plátano, floculante, contaminación, metales pesados
***Autor Corresponsal:** marian.rojas.fernandez@iberopuebla.mx

Introducción

La contaminación hídrica se debe a la contención de microbios, metales pesados o sedimentos haciendo que la calidad de agua disminuya a tal grado que el agua se vuelva tóxica al ingerirla o usarla [1]. Unos de los contaminantes más agresivos encontrados en ríos y lagos son los metales pesados, ya que el consumo de éstos es acumulativo y pueden ser tóxicos [2]; los más susceptibles de estar presentes en el agua son el plomo, cadmio, zinc, arsénico, cobre, etcétera [3].

Tabasco es el segundo estado productor de plátano, con un 22% de la producción nacional. El municipio de Teapa, Tabasco, es el principal productor de plátano con casi 76% de la producción estatal, y en la productora de plátano más grande de la comunidad, se producen 1542 toneladas de residuos, de los cuales aproximadamente un 35% son cáscaras de plátano en los suelos de los espacios de trabajo [4].

Las pectinas son polisacáridos que se encuentran presentes en los frutos de las plantas. Su estructura contiene ácido galacturónico, el cual forma parte de la pared celular de los tejidos vegetales, que asociada con otros componentes es lo que les da firmeza y textura a las cáscaras [5], esta se presenta en la Figura 1.

Fig. 1. Pectina. Fuente: [5]

Los floculantes son compuestos químicos que inducen la aglutinación de las partículas sólidas suspendidas en el agua, normalmente cuentan con cargas superficiales negativas, al agregar el floculante este neutraliza las cargas electrostáticas de los compuestos de la disolución, de tal modo que se reducen las fuerzas de repulsión entre ellos y se crea una unión [6]. Su principal aplicación es en el tratamiento de aguas crudas y residuales, este proceso consiste en la adición de floculantes para la aglutinación de los sólidos suspendidos en el agua, con el fin de reducir la turbidez y el color. Con ayuda de este proceso logran eliminarse: sólidos suspendidos, partículas coloidales y sustancias disueltas [7].

Los metales pesados pueden incorporarse a un sistema de abastecimiento de agua por medio de residuos industriales que son vertidos sin previos tratamientos, los que posteriormente se depositan en lagos, ríos y distintos sistemas acuíferos [8].

La contaminación del agua tiene variedades de consecuencias negativas tanto para el ambiente como para la salud y la economía global. “El agua limpia es un factor clave para el crecimiento económico. El deterioro de la calidad del agua frena ese crecimiento, empeora las condiciones de salud, reduce la producción de alimentos y exacerba la pobreza en muchos” [9]. Algunas de las consecuencias más importantes son: La destrucción de la biodiversidad, la escasez del agua potable que bebemos todos los días y también la contaminación de la cadena alimentaria que es la encargada de transmitir las toxinas a nuestro organismo [9].

Como presenta Ramos [10], la cáscara del plátano contiene la enzima tirosinasa, la cual después de ser procesada tiene un amplio potencial para coagular una gran gama de contaminantes de aguas de ríos, en específico algunos metales pesados como lo son: cobre, cromo, plomo, sulfatos y nitratos.

Se reportan [11] que las diferentes fuentes naturales utilizadas como coagulantes para remediación de aguas residuales tiene un gran potencial como alternativa de los coagulantes inorgánicos, debido a su toxicidad con el medio ambiente. Para llevar a cabo la eficacia en la actividad coagulante es necesario tener en cuenta algunos parámetros fisicoquímicos como son principalmente dosis del agente coagulante, concentración de contaminantes y pH.

La reducción de la concentración de metales pesados por absorción mediante la cáscara de naranja en efluentes naturales ha sido comprobada [12], esto dio como resultado un alto rendimiento, así como una alta eficacia en el tratado de aguas contaminadas.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un floculante natural a partir de cáscara de plátano (*banana musa cavendishii*) y comprobar su efectividad como adsorbente de metales pesados en aguas contaminadas.

Experimentación

Extracción de pectina

La materia prima utilizada para la obtención del floculante fue la cáscara de plátano fresco *musa cavendishii*, las cuales se lavaron con agua destilada, con el fin de eliminar impurezas sobre la superficie. Tras el lavado, se retiró la pulpa sobrante en las cáscaras, y se cortaron en cuadrados de 1cm^2, para aumentar el área superficial de contacto esta se muestra en la Figura 2.

Fig. 2. Cáscara cortada. Fuente: Elaboración propia.

Se inactivaron las enzimas pectinesterasas y las poligalacturonasas, usando la relación de un litro de agua destilada por cada 300 g de la cáscara de plátano, esta se calentó a 95°C por 15 minutos. Transcurrido el tiempo, la mezcla se filtró y lavó con agua destilada, el exceso de agua se extrajo con una tela de liencillo y se secó a peso constante a 60°C.

Usando la misma relación de un litro de agua destilada por cada 300 g de cáscara tratada, se le agregó ácido clorhídrico concentrado, hasta obtener un pH de 2. Posteriormente se sometió a calentamiento de 90°C por 60 minutos con agitación manual constante, esta se muestra en la Figura 3.

Fig. 3. Hidrólisis de las cáscaras. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, la mezcla se dejó enfriar por 30 minutos y seguidamente, se filtró usando tela de liencillo para separar el bagazo del líquido con pectina. La mezcla se centrifugó durante 15 minutos a 4500 r.p.m. como se muestra en la Figura 4 y 5.

Fig. 4. Centrifugación. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 5. Producto centrifugado. Fuente: Elaboración propia.

Al precipitado se le adicionó etanol al 95%, con un volumen equivalente al 80% de la solución a precipitar, este se dejó reposar por 1 hora, como se muestra en la Figura 6.

Fig. 6. Decantación de la pectina. Fuente: Elaboración propia.

Se prosiguió a la etapa de filtración al vacío del material péctico en papel filtro.

El material péctico obtenido se extendió sobre cápsulas de vidrio para secarlo en la mufla por 24 horas a una temperatura de 45°C. Pasado este tiempo, la pectina se pulverizó en un mortero y se tamizó para obtener un polvo más homogéneo, el cual se muestra en la Figura 7.

Fig. 7. Pulverización de la pectina. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la pectina obtenida se colocó en cajas Petri, esta se pesó en una balanza analítica para determinar el rendimiento por medio de la ecuación 1.

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{peso\ obtenido}{peso\ materia\ prima} * 100 \quad (1)$$

El diagrama de proceso para la extracción de pectina se muestra a continuación en la Figura 8.

Fig. 8. Diagrama de proceso para la extracción de pectina. Fuente: Elaboración propia.

Muestra patrón

Para comprobar el funcionamiento de la pectina como floculante natural para la absorción de metales pesados en cuerpos de agua contaminados se realizó una muestra patrón de las concentraciones obtenidas de la investigación [13]. De la que se tomaron 4 muestras del parque industrial Puebla 2000, para obtener un promedio de las concentraciones de Cu, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn, estos se registran en la Tabla 1.

Tabla 1: Concentración en mg/L de metales pesados en el parque industrial de Puebla 2000. Fuente: [13].

Concentración en mg*L^{-1}							
E	**PI**	**Cu**	**Cr**	**Fe**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
1	Puebla 2000	3.23	2.88	5.19	2.68	0.26	2.13
2	Puebla 2000	3.97	3.00	6.22	3.30	1.99	0.89
3	Puebla 2000	3945.00	2.14	9.93	1.35	0.02	0.15
4	Puebla 2000	3.98	2.00	7.04	2.89	2.21	1.47
Promedio		**3.73**	**2.50**	**7.10**	**2.55**	**1.12**	**1.16**
NOM-021-SEMARNAT-1996		**0.20**	**1.00**	**NN***	**2.00**	**0.50**	**10.0**

La muestra patrón se realizó con las concentraciones especificadas en la tabla de Cu, Cr y Pb, a un litro de H_2O. Para lograrlo se utilizó CuO, $K_2Cr_2O_7$ y $Pb(C_2H_3O_2)_2$, se hizo la estequiometría correspondiente para calcular el peso necesario de cada compuesto como se muestra en las ecuaciones 2, 3 y 4.

$$Peso\ de\ CuO\ (g)\ \ para\ 1L = \frac{peso\ molecular\ \ CuO}{peso\ molecular\ Cu} \quad (2)$$

$$\text{Peso}\ de\ K_2Cr_2O_7\ (g)\ \ para\ 1L = \frac{peso\ molecular\ K_2Cr_2O_7}{peso\ molecular\ Cr} \quad (3)$$

$$\text{Peso de } Pb(C_2H_3O_2)_2\ (g)\ \ para\ 1L = \frac{peso\ molecularPb(C_2H_3O_2)_2}{peso\ molecular\ Pb} \qquad (4)$$

Posteriormente, se calculó las partes por millón de cada compuesto para saber su concentración como se muestra en la ecuación 5.

$$ppm = \frac{mg\ de\ soluto}{Litro\ de\ solución} \qquad (5)$$

Estas muestras se analizaron en el espectrofotómetro UV-Vis Agilent Technologies Cary 60, que se utilizó para hacer la concentración de los metales pesados. Se hicieron 4 muestras a 1, 5, 10 y 20 ppm para cada compuesto, así como la concentración de la muestra patrón, como se muestran en la Figura 9.

Fig. 9. Celda con agua con metales pesados. Fuente: Elaboración propia.

Una vez prendido el equipo, se tuvo que estabilizar por una hora, se limpió el vaso de cuarzo con acetona para evitar residuos de otras muestras, cuando el equipo estuvo listo se configuró para realizar el barrido con luz de 240 a 340 nm con un intervalo de 10 nm, con lo que se hizo el espectro de absorción para cada compuesto, para obtener la longitud de onda a la que se tenía que trabajar, los parámetros determinados en el programa se muestran en la Figura 10.

Informe Barrido Análisis

Hora Informe:	mié 09 nov 12:41:59 PM 2022
Método	
Lote:	C:\Users\Cary 60\Desktop\ASE 3\Curva de calibración PBS-AM\Escaneo\blanco-aseiii-maf.DSW
Versión Software:	5.0.0.999
Operador:	

Parámetros instrumentales

Instrumento	Cary 60
Versión Instrumento	2,00
Inicio (nm)	340,0
Parar (nm)	240,0
Modo X	Nanómetros
Modo Y	Abs
Vel. Barrido UV-Vis (nm/min)	600,00
Intervalo Datos UV-Vis (nm)	1,00
Tiempo Prom. (seg) UV-Vis	0,1000
Modo de haz	Haz Doble
Corrección Línea Base	Apag.
Modo Ciclo	Apag.
Comentarios	

Fig. 10. Parámetros en el espectrofotómetro. Fuente: Elaboración propia.

Para la primera lectura se llenó el vaso de cuarzo con agua deionizada y se hizo la medición. Posterior a esto, se volvió a limpiar el vaso y se procedió a medir las 5 muestras a la longitud correspondiente, para así obtener la curva de calibración de cada compuesto, de la que se obtuvo la ecuación del ajuste lineal, para después poder calcular la concentración desconocida de cada compuesto.

Comprobación de la efectividad del floculante

A las soluciones se le agregaron 2 g de pectina por cada 70 mL de solución y se colocaron con agitación por una hora hasta que la separación fue visiblemente notoria, esta se muestra en la Figura 11.

Fig. 11. Soluciones con pectina. a) Cu, b) Cr, c) Pb. Fuente: Elaboración propia.

Las muestras se volvieron a llevar al espectrofotómetro siguiendo la misma metodología para medir la absorción que esta generaba, y con este valor al sustituirlo en la ecuación de cada compuesto se obtuvo la concentración de metales pesados en cada una de las muestras tras la adición del floculante.

El diagrama de proceso para la muestra patrón se muestra a continuación en la Figura 12.

Fig. 12. Diagrama de proceso para la muestra patrón. Fuente: Elaboración propia.

Resultados y Discusión

Se obtuvieron 67.4577 g de pectina de 2.5 Kg de cáscara de plátano, por lo que se obtuvo un rendimiento del 2.7%.

La pectina obtenida muestra características físicas, como un color beige oscuro, apariencia grumosa, y un olor a licor dulce, esta se muestra en la Figura 13.

Fig. 13. Pectina hidratada. Fuente: Elaboración propia.

Para hacer las muestras patrón se obtuvieron los siguientes resultados para el peso a tomar de cada compuesto y sus concentraciones en ppm, estas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Peso de compuestos y concentración para muestra patrón. Fuente: Elaboración propia.

Para obtener:	**Peso del compuesto**	**Solvente**	**Concentración (ppm)**
0.0037g Cu	0.004668 g CuO	1 L H_2O	3.73
0.0026g Cr	0.014700 g $K_2Cr_2O_7$	1 L H_2O	2.5
0.0017g Pb	0.011200 g $Pb(C_2H_3O_2)_2$	1 L H_2O	1.12

La longitud de onda mostrada en el espectrofotómetro de nuestra muestra cero de agua pura deionizada se muestra en la Figura 14, en la que se puede observar cómo a mayor longitud de onda hay una menor absorbancia llegando casi a cero debido a que se midió agua.

Fig. 14. Espectro muestra cero. Fuente: Elaboración propia.

Los valores de absorción obtenidos para hacer el espectro de absorción de Cu, Cr y Pb se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Absorción y longitud de onda del Cu, Cr y Pb. Fuente: Elaboración propia.

Longitud de onda (nm)	**Absorbancia**		
	Cu	**Cr**	**Pb**
260	1.000	0.207	0.494
270	1.045	0.244	0.744
280	1.154	0.387	1.154
290	1.397	0.420	1.522
300	1.124	0.366	1.154
310	0.657	0.187	0.677
320	0.207	0.080	0.301

Con estos valores se graficó el espectro de absorción de cada uno de los metales y se muestran en la Figura 15, en esta se puede apreciar que la mayor absorbancia que tienen los compuestos está en los 290nm.

Fig. 15. Espectro de absorción de Cu, Pb y Cr. Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de absorción a 290 nm de las distintas diluciones de metales se obtuvieron los siguientes valores de absorbancia, las del Cu se muestran en la Tabla 4, las de Cr en la Tabla 5 y las de Pb en la Tabla 6.

Tabla 4. Absorción y concentración de Cu. Fuente: Elaboración propia.

Absorción	Concentración (ppm)
0.0014	0
0.0123	1
0.0452	3.73*
0.0721	5
0.1346	10
0.2159	20

*Muestra patrón a tratar

Tabla 5. Absorción y concentración de Cr. Fuente: Elaboración propia.

Absorción	Concentración (ppm)
0.0014	0
0.0198	1
0.0266	2.5*
0.0510	5
0.0897	10
0.1572	20

*Muestra patrón a tratar

Tabla 6. Absorción y concentración de Pb. Fuente: Elaboración propia.

Absorción	Concentración (ppm)
0.0014	0
0.0042	1
0.0043	1.12*
0.0163	5
0.0293	10
0.0513	20

*Muestra patrón a tratar

Con los valores de absorción y concentración se construyeron las curvas de calibración que se muestran para el Cu en la Figura 16, para el Cr en la Figura 17 y para el Pb en la Figura 18, en estas se obtiene la ecuación para saber la absorbancia de cada muestra y, se obtuvieron ajustes lineales de entre 0.982-0.9953 lo que demuestra que es muy cercano a ser completamente exacto.

Fig. 16. Curva de calibración del Cu. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 17. Curva de calibración del Cr. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 18. Curva de calibración del Pb. Fuente: Elaboración propia.

El valor de absorbancia de las muestras problema de Cu, Cr y Pb, después de haber sido tratadas con el floculante en 290 nm se registran en la Tabla 7.

Tabla 7. Absorción después de la acción floculante. Fuente: Elaboración propia.

Compuesto	Absorción
CuO	0.0097
$K_2Cr_2O_7$	0.0124
$Pb(C_2H_3O_2)_2$	0.0024

Para saber la concentración a la que llegaron cada uno de los compuestos se hicieron los siguientes cálculos.

Con la curva de calibración construida para el Cu se obtuvo la ecuación 6, con la cual se puede conocer la absorbancia de la muestra desconocida.

$$y = 0.0109x + 0.0081 \quad (6)$$

Al despejar la concentración para ahora tener una ecuación en función de la absorbancia se obtiene la ecuación 7.

$$x = \frac{y - 0.0081}{0.0109} \quad (7)$$

Por lo que la concentración de la muestra problema de Cu se puede calcular con la absorción obtenida anteriormente, esta muestra en la ecuación 8.

$$x = \frac{0.0097 - 0.0081}{0.0109} = \mathbf{0.1467\ ppm} \quad (8)$$

Con la curva de calibración construida para el Cr se obtuvo la ecuación 9, con la cual se puede conocer la absorbancia de la muestra desconocida.

$$y = 0.0076x + 0.0089 \quad (9)$$

Al despejar la concentración para ahora tener una ecuación en función de la absorbancia se obtiene la ecuación 10.

$$x = \frac{y - 0.0089}{0.0076} \quad (10)$$

Por lo que la concentración de la muestra problema de Cr se puede calcular con la absorción obtenida anteriormente, esta muestra en la ecuación 11.

$$x = \frac{0.0124 - 0.0089}{0.0076} = \mathbf{0.4605\ ppm} \quad (11)$$

Con la curva de calibración construida para el Pb se obtuvo la ecuación 12, con la cual se puede conocer la absorbancia de la muestra desconocida.

$$y = 0.0025x + 0.0022 \quad (12)$$

Al despejar la concentración para ahora tener una ecuación en función de la absorbancia se obtiene la ecuación 13.

$$x = \frac{y - 0.0022}{0.0025} \quad (13)$$

Por lo que la concentración de la muestra problema de Pb se puede calcular con la absorción obtenida anteriormente, esta muestra en la ecuación 14.

$$x = \frac{0.0024 - 0.0022}{0.0025} = \mathbf{0.0800\ ppm} \quad (14)$$

Con los resultados obtenidos se pudo calcular la efectividad del adsorbente para cada uno de los metales pesados, este se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Concentraciones y efectividad para cada metal. Fuente: Elaboración propia.

Metal	Concentración inicial (ppm)	Concentración final (ppm)	Efectividad (%)
Cu	3.73	0.1467	96.06
Cr	2.50	0.4605	81.58
Pb	1.12	0.0800	92.85

Asimismo, se pudo calcular la efectividad del adsorbente en relación con la norma NOM-021-SEMARNAT-1996, este se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Concentraciones y efectividad para cada metal en relación a NOM-021-SEMARNAT-1996. Fuente: Elaboración propia.

Metal	Concentración floculante (ppm)	Concentración NOM-021-SEMARNAT-1996 (ppm)	Efectividad (%)
Cu	0.1467	0.20	26.65
Cr	0.4605	1.00	53.95
Pb	0.0800	0.50	84

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos con el espectrofotómetro UV-Vis, se logró comprobar la efectividad de la pectina de la cáscara de plátano (*banana musa cavendishii*) como adsorbente de metales pesados en el agua. Para la extracción de pectina se obtuvo un rendimiento del 2.7%, mientras que para la adsorción de Cu fue de 96.06%, de Cr 81.58% y de Pb de 92.85%. Las concentraciones finales de Cu, Cr y Pb después del tratamiento con el floculante, cumplen con los parámetros establecidos por la NOM-021-SEMARNAT-1996. El metal que tiene mejor adsorción es el Cu con un 96.06%, sin embargo, el Pb es el metal que más aleja su concentración final de la concentración máxima establecida por la norma con un 84%.

Se recomienda, secar las cáscaras lo antes posible antes de comenzar el tratamiento, ya que estas pueden descomponerse, por su contenido en humedad. Así como para trabajos futuros, optimizar el rendimiento de la pectina para obtener mayores cantidades de producto, esto al modificar las variables del tiempo y pH de la hidrólisis ácida.

Bajo una perspectiva económica, no es viable el producir el floculante a escala industrial, debido al bajo rendimiento del mismo, no obstante, bajo una perspectiva ecológica estos resultan menos contaminantes que los sintéticos y con una efectividad igual.

Referencias

1. Echarri, L. **Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente**. *Universidad de Navarra, 2005.* http://fleyccorp.com/wp-content/uploads/2017/12/Cap-XI-contaminaci%C3%B3n-del-agua.pdf (Activo octubre de 2022)
2. García, J. C., Plaza, C., Muñóz, F. and Polo, A. **Evaluation of heavy metals pollution on barley crop by agricultural use of municipal solid waste compost.** *Centro de Ciencias. 2005.* https://doi.org/10.3390/agriculture11050415 (Activo octubre de 2022)
3. Soto C, Gutiérrez S, Rey A, González, E. (2010) **Biotransformación de metales pesados presentes en lodos ribereños de los ríos Bogotá y Tunjuelo**. Universidad Antonio Nariño https://www.researchgate.net/publication/316651022_Biotransformacion_de_metales_pesados_presentes_en_lodos_riberenos_de_los_rios_Bogota_y_Tunjuelo (Activo septiembre 2022)
4. *S/A* **Ayuntamiento de Teapa.** Gobierno de Tabasco https://www.teapa.gob.mx (Activo septiembre 2022)
5. Ferreira Ardila, S. **Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial**. *Universidad Nacional de Colombia, 2007.* http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Archivos_Libros/Libros_Farmacia/Pectinas/pectinas.pdf (Activo septiembre 2022)
6. Bravo, M. **Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales**. *Universidad Distrital Francisco José De Caldas, 2015*. https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf;jsessionid=DD954828C18F32861A4A0D211F873C6D?sequence=1 (Activo octubre 2022)
7. Romero, L. & Vargas, M. **Desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en países en desarrollo**. *Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2019.* https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5784/desarrollo-coagulantes-floculantes-tratamiento-aguas.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Activo octubre de 2022)
8. SENA. **Manual técnico para la elaboración de coagulantes / floculantes a partir de productos naturales**. https://www.researchgate.net/publication/344166357_MANUAL_TECNICO_PARA_LA_ELABORACION_DE_COAGULANTES_FLOCULANTES_A_PARTIR_DE_PRODUCTOS_NATURALES (Activo octubre de 2022)
9. Ramos, V., Aguilera, A. y Ochoa, E. **Residuos de cáscara de plátano (Musa paradisiaca L.) para obtener pectinas útiles en la industria alimentaria**. *Revista de Simulación y Laboratorio, 2016.* http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Simulacion_y_Laboratorio/vol3num9/Revista_de_Simulacion_y_Laboratorio_V3_N9_4.pdf (Activo octubre de 2022)
10. Flores, L. **Pectina de cáscara de cacao y sulfato de aluminio para reducción de la turbidez en aguas contaminadas del río Chillón.** Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo, 2020. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/72664/B_Flores_ZLS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Activo octubre 2022)
11. Carbajal, H. (2021). **Reducción de la concentración de metales pesados por absorción mediante cáscara de naranja en efluentes captados por la PTAP Emapa Cahncay S.A.C**. *Universidad César Vallejo, 2021.* https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/89560 (Activo octubre 2022)
12. Bonilla, M., Toxtle, J., Santamaría, J. **Concentración de metales pesados totales en aguas residuales vertidas a ecosistemas acuáticos por dos parques industriales en Puebla, México**. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa, 2014.* https://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/208/256 (Activo octubre 2022)