

Obtención de un coagulante natural a partir de la cáscara de café (*Coffea arabica*) proveniente de la finca Arrayanes municipio de Nariño

Paola Andrea Ortega Guerrero

Docente del Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana

Karen Valeria Guillen Vasco

Adriana Marcela Martínez Pérez

Estudiantes del Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana

Introducción

El cultivo de café (*Coffea arabica*) en Colombia está ampliamente distribuido, ya que es una actividad muy rentable. El café se cultiva en todos los departamentos de la región, con alrededor de 11 % del total de la Producto Interno Bruto (PBI), lo cual indica que el café es un aporte muy importante a la economía en Colombia (Campos, Quintero y Ramírez, 2014).

En el proceso de transformación del café por vía húmeda, se utiliza aproximadamente 40 litros de agua por cada kilogramo de café en las diferentes etapas (despulpado, lavado y transporte) de procesamiento. En todas las actividades en general, se genera residuos líquidos altamente contaminantes por sus valores de acidez, contenido de sólidos y demanda química de oxígeno (DQO), lo cual genera graves desequilibrios en el ecosistema receptor y en sus componentes ((Matuk-Velasco, Puerta-Quintero y Rodríguez-Valencia, 1997).

En la primera etapa de esta investigación se evaluó los efluentes del lavado del café (*Coffea arabica*), determinando los siguientes parámetros: pH, conductividad, turbiedad, oxígeno disuelto (OD), color real, color aparente, demanda química de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, nitrógeno total y fósforo total.

Metodología

Para el análisis de la muestra de los afluentes del proceso del lavado de café proveniente de la finca Arrayanes

municipio de Nariño, fueron recolectados 2 litros de los residuos líquidos, las muestras se transportaron al laboratorio de química de la Universidad Mariana sede Alvernia. Una vez recolectada la muestra se analizó inmediatamente, el tiempo máximo transcurrido entre la recolección y la llegada al laboratorio fue de 20 minutos. Los procedimientos analíticos fueron realizados por las estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental, las autoras de este informe.

Las determinaciones analíticas realizadas en el estudio, se realizaron en 3 jornadas de trabajo:

1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, conductividad, turbiedad, color real, color aparente, oxígeno disuelto, DBO5 y DQO).
2. Determinación de sólidos (sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos sedimentables).
3. Determinación de nitrógeno total y fósforo.

En la Tabla 1, se registra los 13 parámetros fisicoquímicos medidos a una muestra de agua proveniente de los lavados del café. Los métodos utilizados en las determinaciones analíticas fueron llevados a cabo de acuerdo al Manual de prácticas de diagnóstico de la calidad del agua (Espinosa, 2019). Estas técnicas analíticas se encuentran validadas en el laboratorio de química y están respaldadas bajo la norma internacional del *Standard Methods* (American Public Health Association (APHA), American Water Works

Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), 1999).

Tabla 1. *Parámetros fisicoquímicos determinados a la muestra de los afluentes del proceso del lavado de café*

Parámetro	Método
pH	4500 H – B
Temperatura (°C)	2550 B
Conductividad (μS/cm)	2510 B
Turbiedad (NTU)	2130 B
Color aparente (Pt/Co)	2120 D
Color real (Pt/Co)	2120 D
Oxígeno disuelto (mg/L)	4500 O – G
DBO5 (mg/L)	5210 B
DQO (mg/L)	5220 C
Sólidos totales (mg/L)	2540 B
Sólidos suspendidos (mg/L)	2540 D
Sólidos sedimentables (mL/L/h)	2540 E
Nitrógeno total (mg/L)	4500 N – C
Fósforo total (mg/L)	4500 P – C

Fuente: Creación propia con base en APHA, AWWA, WEF (1999).

Resultados

En la Tabla 2 se registra los resultados de la caracterización de la muestra de agua de las aguas mieles del proceso del lavado de café proveniente de la finca Arrayanes municipio de Nariño, teniendo en cuenta la normatividad vigente Resolución 631 de 2015, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Republica de Colombia.

Tabla 2. *Resultados de los parámetros medidos a la muestra de agua*

Parámetro	Valor
pH	4 ± 0,00
Temperatura (°C)	19 ± 0,53
Conductividad (mS/cm)	3 ± 0,02
Turbiedad (NTU)	106 ± 0,33
Color aparente (Pt/Co)	79 ± 0,10

Color real (Pt/Co)	74 ± 0,30
Oxígeno disuelto (mg/L)	1 ± 0,66
DBO5 (mg/L)	29 ± 0,60
DQO (mg/L)	68 ± 0,80
Sólidos totales (mg/L)	2225 ± 0,00
Sólidos suspendidos (mg/L)	229 ± 0,00
Sólidos sedimentables (mL/L/h)	3 ± 0,50
Nitrógeno total (mg/L)	25 ± 0,50
Fósforo total (mg/L)	5 ± 0,63

Fuente: la presente investigación (2019).

Los métodos utilizados en las determinaciones analíticas fueron realizados de acuerdo al manual de prácticas de diagnóstico de la calidad del agua (Espinosa, 2019). Estas técnicas analíticas se encuentran validadas en el laboratorio de química y se encuentran respaldadas bajo la norma internacional del Standard Methods (American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), 1999).

Según la Tabla 2, los parámetros evaluados en la muestra de agua de las aguas mieles del proceso del lavado de café proveniente de la finca Arrayanes municipio de Nariño, indican que se tiene una alta carga orgánica, lo cual genera contaminación.

Teniendo en cuenta el pH (4,0) del afluente es considerado ácido, lo cual genera la muerte de animales acuáticos y peces, y, además, se encuentra por debajo de los valores permisibles por la normatividad vigente para vertimientos (Resolución 631 de 2015).

La DBO y DQO en este afluente es demasiado baja (29,6 mg/L y 68,8 mg/L) con respecto a la normatividad vigente (Resolución 631 de 2015), por lo cual, se podría afirmar que la materia orgánica presente en estos residuos se descompone fácilmente por acción de bacterias aerobias.

La cantidad de sólidos suspendidos (229 mg/L) y sedimentables (3,50 mg/L), al compararlo con la normatividad vigente (Resolución 631 de 2015), es baja (400 mg/L y 10 mg/L). Estas aguas presentan malos olores, sabores y colores, debido a que hay presencia de sólidos orgánicos (residuos del fruto de café).

A causa de esta problemática, una de las posibles soluciones para mitigar el impacto ambiental es

el tratamiento de las aguas mieles que resultan del procesamiento de la semilla del café, la implementación de un filtro y el tratamiento de las aguas residuales, utilizando la cáscara del mismo café para obtener un coagulante natural.

Los coagulantes naturales, en el caso de la cáscara del café, permiten remover impurezas de origen orgánico, inorgánico y microbiológicos presentes en las aguas mieles provenientes del lavado del café. Además, se aprovecha el residuo (cáscara de café) para minimizar el impacto ambiental que genera las aguas mieles.

En la Tabla 3 se registra los resultados de la caracterización bromatológica de la pulpa de café proveniente de la finca los Arrayanes municipio de Nariño.

Tabla 3. Resultados de los parámetros bromatológicos medidos a la pulpa de café

Parámetro (%)	Valor
Cenizas	6,31
Humedad	70,13
Proteínas	10,17
Carbohidratos	43,25
Extracto etéreo	32,15

Fuente: la presente investigación (2019).

Los métodos utilizados en las determinaciones analíticas se realizaron de acuerdo al manual de prácticas de bromatología (Espinosa, 2019). Estas técnicas analíticas se encuentran validadas en el laboratorio de química y respaldas bajo la norma internacional del *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 2012.

Los resultados de la Tabla 3 evidencian que los carbohidratos (43,25 %) se encuentran en mayor concentración con respecto a los demás nutrientes, es decir que, la pulpa de café es una fuente rica de azúcares, por lo tanto, estos residuos tienden a fermentarse rápidamente, generando pH ácidos y gran cantidad de sólidos.

El contenido de grasa (32,15 %) de la pulpa de café es alto, debido a que la mayoría de lípidos se encuentran en la piel del fruto (Parra, Salazar, Aguirre, Saca y Rodríguez, 2014). Las grasas y aceites presentes en el café son aprovechadas por los microorganismos del agua o suelo, lo cual genera malos olores.

La cantidad de minerales (6,31 %) y proteínas (10,17 %), presentes en la pulpa de café, indican que este residuo se podría transformar en compostaje, lo cual permitiría aportar una gran cantidad de nutrientes al suelo y volverlo apto para el cultivo de otras plantas de consumo animal y humano.

En la Tabla 4 se registran los resultados de la caracterización organoléptica de la pulpa de café seca y molida proveniente de la finca Arrayanes vereda Arboleda municipio de Nariño.

Tabla 4. Pulpa de café seca y molida

Propiedades organolépticas	Descripción
Color	Marrón
Olor	Ácido – picante
Estado físico	Sólido
Solubilidad en agua	Moderada (8,7 g/100 g de agua a 25 °C)

Fuente: la presente investigación (2019).

Para lograr la clarificación de las aguas mieles proveniente de los procesos de lavado de la semilla del café, se realizó la prueba de jarras, con el fin de realizar la remoción de sólidos y, por ende, mejorar el aspecto físico (disminuir la turbidez) de las aguas mieles.

En la Tabla 5 se registra los valores de los parámetros fisicoquímicos determinados de las condiciones iniciales de las aguas mieles provenientes del lavado de la semilla de café.

Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos iniciales de las aguas mieles provenientes del lavado de la semilla de café

Parámetro	Valor
Turbiedad (NTU)	106 ± 0,33
Color (unidades Pt/Co)	79 ± 0,10
pH	4 ± 0,00
Temperatura (°C)	19 ± 0,53
Alcalinidad (mg/L)	16 ± 0,56

Fuente: la presente investigación (2019).

Debido a que no se halló en la literatura de referencia el uso de la pulpa de café como coagulante natural, se realizó el ensayo de prueba y error, para hallar la dosis óptima del coagulante natural de pulpa de café seca y molida. Para ello, se inició con una primera prueba de 4 g (2.000 mg/L) a 1,5 g (750 mg/L) de coagulante natural, luego se realizó una segunda prueba de 1,2 g (600 mg/L) a 0,2 g (100 mg/L) de coagulante natural, y finalmente una tercera prueba 0,18 g (90 mg/L) a 0,03 g (15 mg/L) de coagulante natural.

En las pruebas número 1 y 2 fue posible observar que la adición del coagulante natural genera mayor turbiedad y

Tabla 6. Dosis óptima del coagulante natural de la pulpa de café (prueba 3)

Parámetro	Número de jarra					
	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	15	30	45	60	75	90
Turbiedad (NTU)	48	45	58	60	68	72
Color (unidades Pt/Co)	20,7	18,4	22,1	29,4	33,3	35,1
pH	4,10	4,26	4,28	4,86	4,88	4,97
Temperatura (°C)	18,7	18,1	18,0	18,6	18,5	18,1
Alcalinidad (mg/L)	17,5	19,3	19,8	20,4	22,1	22,7
Porcentaje de remoción de turbiedad (%)	54,8	57,6	45,4	43,5	36,0	32,2
Porcentaje de remoción de color (%)	73,8	76,7	72,0	62,8	57,9	55,6

En la prueba número 3 (ver Tabla 6), se puede observar que la dosis óptima del coagulante natural es 30 mg/L, es decir, 60 mg de pulpa de café seca y molida por cada 2 litros de aguas mieles. En esta prueba se observa que hay la mayor remoción de turbiedad y color con respecto a las demás concentraciones de coagulante natural.

Tabla 7. Datos promedios de la dosis óptima del coagulante natural de la pulpa de café

Parámetro	Número de jarra					
	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	15	30	45	60	75	90
Turbiedad (NTU)	48,3	42,6	56,3	64,3	66,3	77
Color (unidades Pt/Co)	21,4	18,9	23,5	31,3	34,0	37,8
pH	4,15	4,57	4,67	4,55	4,27	4,75
Temperatura (°C)	18,5	18,5	18,4	18,5	18,6	18,3
Alcalinidad (mg/L)	17,6	18,7	19,5	20,8	22,2	22,9
Porcentaje de remoción de turbiedad (%)	54,5	59,8	47,0	39,4	37,6	27,5
Porcentaje de remoción de color (%)	72,8	76,1	70,2	60,3	56,9	52,2

En la Tabla 7 se puede observar que la dosis óptima de coagulante natural de pulpa de café es 30 mg/L, confirmando la prueba realizada (ver Tabla 11). Con los resultados obtenidos de la dosis óptima (30 mg/L), se efectuó un análisis estadístico para las tres replicas realizadas (ver Tabla 8).

Parámetro	Repeticiones			X	σ	Var
Dosis (mg/L)	30	30	30	30,00	0,00	0,00
Turbiedad (NTU)	44	42	42	42,67	1,15	0,89
Color (unidades Pt/Co)	19,5	17,4	19,8	18,90	1,31	1,14

En la Tabla 8 se observa que, los valores de la desviación estándar y la varianza de turbiedad y color son menores a 1,40, es decir, los valores de turbiedad y color no varían el uno del otro, por lo tanto, el método es reproducible y repetible.

Con los resultados evidenciados en la Tabla 8, se realizaron las Tablas 9 y 10, en las cuales se registraron los datos del análisis de varianza de un factor para la dosis óptima y turbiedad (ver Tabla 9), y/o dosis óptima y color (ver Tabla 10).

Tabla 9. *Análisis de varianza de un factor para la dosis óptima y turbiedad*

Origen de las variaciones	Entre grupos	Dentro de los grupos	Total
Suma de cuadrados	4033,11	831,44	4864,56
Grados de libertad	5	6	7
Promedio de los cuadrados	806,62	138,57	
F	3,82		
Probabilidad	0,03		
Valor crítico para F	4,39		
P	0,0013		

Fuente: la presente investigación (2019).

Tabla 10. *Análisis de varianza de un factor para la dosis óptima y color*

Origen de las variaciones	Entre grupos	Dentro de los grupos	Total
Suma de cuadrados	3125,24	2923,29	6048,53
Grados de libertad	5	6	11
Promedio de los cuadrados	625,05	487,21	
F	1,28		
Probabilidad	0,38		
Valor crítico para F	4,39		
P	0,0028		

Fuente: la presente investigación (2019).

Con los valores plasmados en las Tablas 9 y 10, el valor de P en las tablas ANOVA es menor a 0,05 con un nivel de confianza del 95 %, por lo cual se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables de la dosis óptima y turbiedad, y/o dosis óptima y color, es decir, la ANOVA confirma que los valores son confiables.

Con los resultados plasmados en la Tabla 7, se realizaron las Figuras 1 y 2.

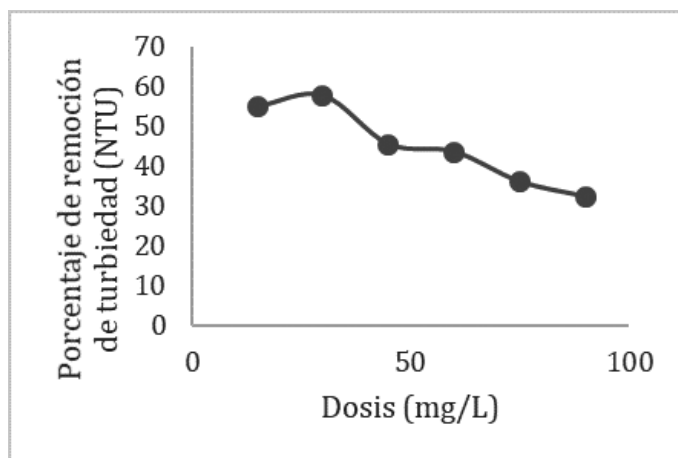


Figura 1. Dosis óptima del coagulante natural de la pulpa de café versus el porcentaje de remoción de turbiedad.

Fuente: la presente investigación (2019).

La Figura 1 indica que los ensayos realizados de todas las variaciones de dosis de coagulante natural de pulpa de café fueron las que más se acercaron al resultado esperado, ya que el porcentaje más alto de remoción de turbiedad está alrededor del 58 %, minimizando la turbiedad a 45 NTU, es decir, para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con la cual se obtiene una remoción de turbiedad más alta, la cual corresponde a la dosis óptima del coagulante, que para este caso fue de 30 mg/L.

La remoción de turbiedad es bastante eficiente (58 %), ya que se está utilizando un coagulante natural de pulpa de café que permite tratar las aguas mieles provenientes de los procesos del lavado del café y así evitar contaminación al medio ambiente.

Este resultado de remoción de turbiedad indica que la misma pulpa de café, que se está desaprovechando, puede minimizar el impacto ambiental que generan las aguas mieles, al ser vertidas en suelos, aguas superficiales y subterráneas.

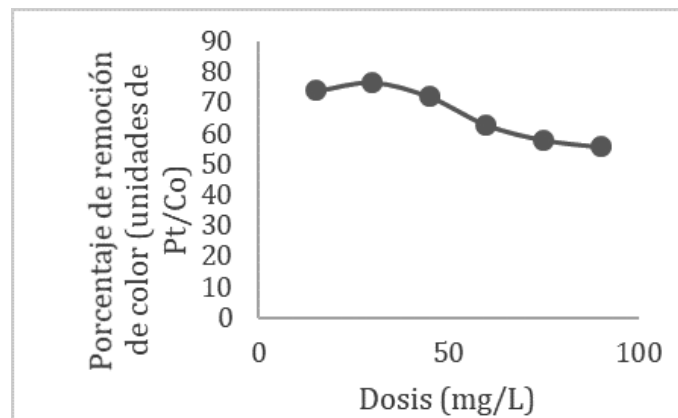


Figura 2. Dosis óptima del coagulante natural de la pulpa de café versus el porcentaje de remoción de color.

Fuente: la presente investigación (2019).

La Figura 2 indica que la remoción del color fue del 77 %, razón por la cual puede calificar a la dosis óptima (30 mg/L) como eficiente, esto se debe a que el coagulante natural de la pulpa de café estabiliza los flocs y, por lo tanto, son fácilmente sedimentables.

La remoción de color es otra variable que está directamente relacionada con el efecto de la formación de flocs a través del proceso de la coagulación, floculación y sedimentación, lo cual es satisfactorio para el uso y aprovechamiento de la pulpa de café como coagulante natural de las aguas mieles.

En la Tabla 11 se indica la comparación de los parámetros fisicoquímicos obtenidos antes y después del proceso de coagulación, floculación y sedimentación, utilizando pulpa de café seca y en polvo como coagulante natural en las aguas mieles, provenientes de los procesos de lavado de la semilla de café.

Tabla 11. Comparación de la caracterización fisicoquímica inicial y final de las aguas mieles

Parámetro	Valor inicial	Valor final	Porcentaje de remoción (%)
Turbiedad (NTU)	106 ± 0,33	42 ± 0,67	57,68
Color (unidades Pt/Co)	79 ± 0,10	18 ± 0,90	76,74
pH	4 ± 0,00	4 ± 0,58	-
Temperatura (°C)	19 ± 0,53	18 ± 0,50	-
Alcalinidad (mg/L)	16 ± 0,56	18 ± 0,77	-

Fuente: la presente investigación (2019).

A partir de la Tabla 11 se puede decir que el resultado obtenido es satisfactorio, ya que el uso de la pulpa de café como coagulante natural es efectivo para el tratamiento de las aguas mieles provenientes del lavado de la semilla de café, dado que presenta porcentajes de remoción de turbiedad y color superiores al 55 % en las muestras de aguas mieles analizadas. Además, se puede observar que hay un aumento en el valor de la alcalinidad, esto se debe a que, al adicionar el coagulante natural de pulpa de café, se aumentó la concentración de los iones hidroxilos (OH⁻), carbonatos (CO₃²⁻) y bicarbonatos (HCO₃⁻). El aumento en el valor de la alcalinidad es bueno, porque facilitó la coagulación de las partículas en suspensión.

Conclusiones

El coagulante natural de pulpa de café en polvo y molido es una alternativa para el tratamiento de aguas residuales del proceso del café por su bajo costo y fácil obtención.

Además, se confirma que el coagulante de las cáscaras de café puede ser utilizado como coagulante primario o secundario para la remoción de turbiedad y color en aguas mieles provenientes del procesamiento de café.

Por otra parte, los análisis de remoción de turbiedad (58 %) y color (77 %) en las tres repeticiones del test de jarras, determinaron que el coagulante extraído de la cáscara de café es eficiente, ya que la remoción de turbiedad y color en aguas mieles provenientes del procesamiento de la semilla de café está por encima del 55 %, por lo cual la hipótesis planteada en esta investigación se cumple.

Referencias

- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Recuperado de <https://www.standardmethods.org/>
- Campos, Á, Quintero, P. y Ramírez, Á. (2014). Composición de la economía de la región Centro de Colombia. *Revista del Banco de la República*, 87(1043), 15-46
- Espinosa, H. (2019). *Manual de prácticas de diagnóstico de la calidad del agua*. Universidad Mariana. Laboratorio de química.
- Matuk-Velasco, V., Puerta-Quintero, G. y Rodríguez-Valencia, N. (1997). Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. *Cenicafé*, 48(4), 234-252.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Recuperado de https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf
- Parra, A., Salazar, R., Aguirre, L., Saca, V. y Rodríguez, Z. (2014). Caracterización química de la pulpa de café y mejoramiento de su valor nutritivo para uso en la alimentación de rumiantes, en la provincia de Loja, Ecuador. *Cascarilla boletín informativo*, 3(2), 11-14.