





Limpeza del agua miel proveniente del beneficiado húmedo del café mediante polímeros naturales orgánicos

Cleaning of the honey water from the wet processing of coffee using natural organic polymers

Limpeza da água do mel do processamento úmido do café usando polímeros orgânicos naturais

-  **Juan C.M. JAULIS CANCHO**
Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú
jjaulis@lamolina.edu.pe
-  **Juan G. JUSCAMAITA MORALES**
Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú
jjm@lamolina.edu.pe
-  **Edith VILLANUEVA SANTOS**
Cooperativa Agraria Valles del Café. Chirinos, San Ignacio, Cajamarca, Perú
edvisan19@gmail.com
-  **Jairo E. GUTIÉRREZ COLLAO**
Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú
jairo040592@gmail.com
-  **Josué O. DILAS-JIMÉNEZ**
Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú
jdilas@unat.edu.pe

RESUMEN

El procesamiento húmedo del café genera un residuo líquido llamado agua miel, el cual se ha convertido en un problema latente a ser resuelto para las organizaciones cafetaleras en el Perú con miras a una caficultura sostenible y para una producción que apunta a mercados especiales. El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar un protocolo para el tratamiento de aguas mieles del beneficio húmedo del café mediante el uso de polímeros naturales orgánicos, preparándose caldos de polímero los cuales fueron aplicados a las aguas mieles. Se seleccionó dos polímeros más efectivos en la limpieza del agua miel, uno de carga aniónica y otro de carga catiónica. Se trabajó con tres pequeñas plantas de beneficiado húmedo de productores cafetaleros de la Cooperativa Agraria Valles del Café donde se obtuvieron importantes resultados en cuanto a la reducción de al menos 8 a 10 indicadores, de 15 indicadores fisicoquímicos y microbiológicos analizados, lográndose así superar los Límites Máximos Permisibles de varios indicadores de la norma peruana en cuanto a agua para riego nivel tres.

ABSTRACT

The wet processing of coffee generates a liquid residue called honey water, which has become a latent problem to be solved for coffee organizations in Peru with a view to sustainable coffee growing and for a production that targets special markets. The objective of this work was to develop a protocol for the treatment of honey water from the wet processing of coffee through the use of organic natural polymers, preparing polymer broths which were applied to the honey water. Two more effective polymers were selected in cleaning honey water, one with an anionic charge and the other with a cationic charge. We worked with three small wet-processing plants of coffee producers of the Valles del Café Agrarian Cooperative where important results were obtained in terms of the reduction of at least 8 to 10 indicators, of 15 physicochemical and microbiological indicators analyzed, thus exceeding the Limits Maximum Permissible of several indicators of the Peruvian norm in terms of water for irrigation level three.

RESUMO

O processamento úmido do café gera um resíduo líquido chamado água de mel, que se tornou um problema latente a ser resolvido para as organizações cafeeiras no Peru com vistas à cafeicultura sustentável e à produção voltada para mercados especiais. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um protocolo para o tratamento de águas melíferas do benefício úmido do café através do uso de polímeros orgânicos naturais, preparando caldos poliméricos que foram aplicados nas águas melíferas. Dois polímeros mais eficazes foram selecionados para a limpeza da água do mel, um com carga aniônica e outro com carga catiônica. Trabalhamos com três pequenas plantas de beneficiamento úmido de produtores de café da Cooperativa Agrária Valles del Café, onde foram obtidos resultados importantes em termos de redução de pelo menos 8 a 10 indicadores, de 15 indicadores físico-químicos e microbiológicos analisados, ultrapassando assim os Límites Máximos Permissível de vários indicadores do padrão peruano em relação à água para irrigação nível três.

Publicado: 22/07/2022

Aceptado: 18/07/2022

Recibido: 04/05/2022

Open Access
Review article

Palabras clave: Turbidez, agua, residuos, contaminación, café.

Keywords: Turbidity, water, waste, contamination, coffee.

Palavras-chave: Turbidez, água, resíduos, contaminação, café.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, los productores cafetaleros utilizan principalmente el sistema de beneficio húmedo para el procesamiento del café cerezo, que involucra subprocesos de despulpado, fermentado, lavado y secado (Díaz & Carmen, 2017). La cereza del café, contiene un mucílago (miel) que representa entre el 5 % al 14 % del peso del cerezo (Arteaga-Cuba et al., 2021), este mucílago durante el subproceso de lavado, origina un residuo líquido conocido como “agua miel” que se caracterizan por su alta acidez y materia orgánica (Gallego Ocampo & Mejía Francia, 2016).

El proceso de beneficio húmedo del café es una actividad de alto consumo de agua, donde se utiliza agua limpia y salen aguas mieles (aguas residuales) (Zambrano-Franco & Izaza-Hinestroza, 1998), el consumo de agua, dependiendo de la tecnología usada, puede llegar hasta los 40 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco (c.p.s), la cual tiene una carga en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de alrededor de 33,000 ppm, que podría llegar hasta los 110,000 ppm y sólidos totales alrededor de 28,000 ppm (Gallego Ocampo & Mejía Francia, 2016; Zambrano-Franco & Izaza-Hinestroza, 1998), además, estas aguas junto con los residuos de la pulpa contaminan el suelo, agua y aire (Arteaga-Cuba et al., 2021), así como suelen convertirse en focos infecciosos para la salud de las personas.

Los altos niveles de contaminación de las aguas mieles se convierten a la actualidad en un desafío para la producción ambientalmente responsable, requiriendo de tecnologías eficientes para reducir su carga residual antes de ser depositadas en el suelo o agua (Sengupta et al., 2020), esto vinculado a la certificación orgánica con las que cuentan muchas organizaciones cafetaleras en el Perú y el mundo. En el Perú para el cumplimiento de las normas ambientales vigentes, la Autoridad Nacional del Agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017) ha establecido los Límites Máximos Permisibles de DQO en el agua de 1500 mg/L y pH entre 5 a 6, para que esta pueda ser utilizada al menos para el riego.

Estas aguas mieles, en su mayoría no son adecuadamente manejadas, ya que se vierten directamente en el suelo o vertientes de aguas afectando directamente los nichos ecológicos existentes en estos. Ante ello, se ha venido investigando diversas tecnologías que podrían ayudar a la limpieza de estas aguas e incluso volverlas reaprovechables (Alemayehu et al., 2021), estas aguas residuales tratadas con tecnologías eficientes pueden tener características interesantes para el uso agrícola

(Reyes-Prado et al., 2022). Entre estas tecnologías que buscan contribuir a la limpieza de las aguas mieles se pueden citar: el sistema UASB con recirculación de efluentes en un reactor de manto de lodos anaerobio de flujo ascendente (Botello Suárez et al., 2018; Villa-Montoya et al., 2016), la oxidación de compuestos fenólicos mediante la inmovilización de la peroxidasa en la cáscara de soya (Chagas et al., 2015), sistemas de aireación de efluentes (Rossmann et al., 2013), sistema de recirculación (Gardiman Junior et al., 2021), biosistema con Jacinto acuático (Garay Román & Rivero Méndez, 2014), sistemas de sedimentación y remoción (Gutiérrez Guzmán et al., 2014), uso de microorganismos como *Pseudomonas sp.* (Shanmugam & Gummadi, 2020), membrana vibratoria de nanofiltración y ósmosis inversa (Wisniewski et al., 2018), técnica de intercambio iónico (Ijanu et al., 2019), sistema de digestión anaerobia (Beyene et al., 2014), proceso electroquímico de oxidación (Villanueva-Rodríguez et al., 2014), entre otros.

Estos últimos años, se ha venido trabajando con mucho interés en investigaciones sobre el efecto de polímeros orgánicos (de origen natural) y su actividad floculante que ayuda a efectivizar el tratamiento de aguas residuales contaminadas en la separación sólido-líquido aumentando la velocidad de sedimentación (Dao et al., 2015), dada la potencialidad de floculación de los polímeros estudiada hace décadas atrás (L. K. Wang et al., 1977), entre las materias primas fuente de estos polímeros naturales orgánicos se puede citar el uso del quitosano, quitosano-policramida (Chen et al., 2003; Lichtfouse et al., 2019; Rodríguez Jimenez & Gallego Suárez, 2019; B. Wang et al., 2011; Yang et al., 2008), así como de plantas medicinales como la *Moringa oleífera* (Bancesi et al., 2020; Gautam et al., 2020; Madrona et al., 2010; Mateus et al., 2017; Sharma, 2008; Zaid et al., 2019), también la *Caesalpinia spinosa* (Revelo et al., 2015; Valeriano-Mamani & Matos-Chamorro, 2019), entre otras como *Prosopis juliflora*, la cáscara de maní (Gautam et al., 2020). Sin embargo, aun viene siendo poco estudiado el uso de polímeros y otras técnicas de floculación en el tratamiento de aguas mieles de café, por tanto, merece una especial atención desde el punto de vista académico y tecnológico, principalmente para las organizaciones cafetaleras que vienen teniendo una importante participación en el mercado de exportaciones (JNC, 2022).

El presente estudio buscó desarrollar un protocolo para el tratamiento de aguas mieles del beneficio húmedo del café mediante el uso de polímeros naturales orgánicos. Para ello se trabajó con

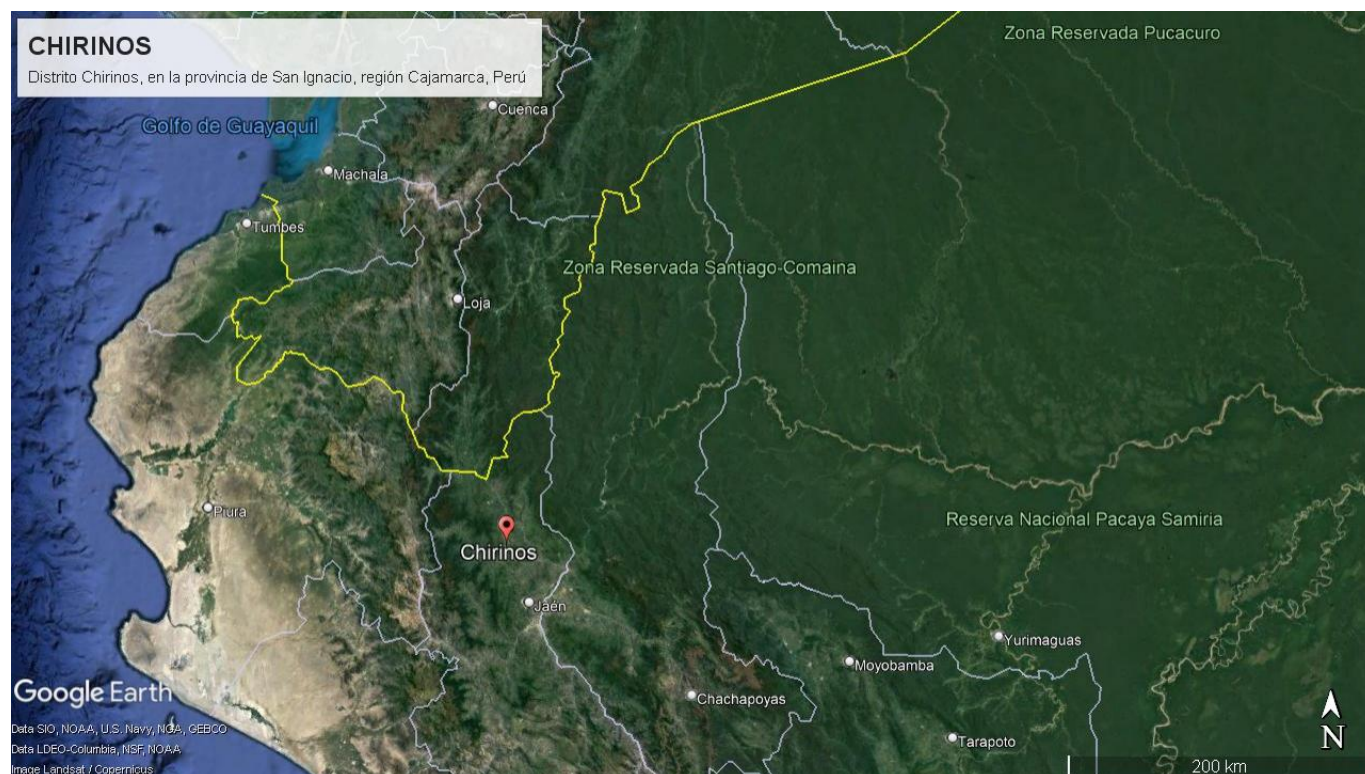
productores cafetaleros de la Cooperativa Agraria Valles del Café, quienes tienen el desafío de desarrollar mejoras tecnológicas para una producción responsable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de la zona donde se desarrolló la investigación

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Chirinos, provincia de San Ignacio, región Cajamarca en Perú (ver figura 1), en fincas de productores cafetaleros de la Cooperativa Agraria Valles del Café. La investigación en lo que corresponde a este trabajo se desarrolló entre octubre del 2020 a mayo del 2022.

Figura 1. Localización de la zona de estudio.



Toma de muestras y muestreo

Como una primera fase del estudio, se realizó un muestreo de las aguas mieles de 3 miniplantas de beneficio húmedo de café de 3 productores cafetaleros de la Cooperativa Agraria Valles del Café, esto durante el periodo de cosechas, estas fueron (1) miniplanta La Laguna, (2) miniplanta La Unión, y (3) miniplanta Shimanilla. En estas muestras se analizó las propiedades fisicoquímicas básicas para determinar si hay homogeneidad de las aguas mieles producidas por los productores.

En una segunda fase se realizó un análisis del agua miel, post tratamiento con polímeros naturales orgánicos, en cuanto a variables fisicoquímicas en variables de comparación utilizados (Torres-Valenzuela et al., 2019; Zambrano-Franco & Izaza-Hinestroza, 1998): pH, temperatura, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), contenido de aceites y grasas, sólidos totales en suspensión TSS,

oxígeno disuelto, contenido de nitratos y fósforo total. Asimismo, se realizó un análisis microbiológico relacionado a la determinación de la calidad del agua a nivel microbiológico (Ramírez et al., 2021; Rodríguez et al., 2018): Recuento de aerobios mesófilos, recuento de levaduras, recuento de bacterias ácido lácticas, enumeración de coliformes totales y enumeración de *Escherichia coli*. Esto a fin de conocer la carga contaminante que tenían las aguas mieles en estudio tanto a nivel físicoquímico como microbiológico.

Las muestras tanto en la primera como en la segunda fase fueron analizadas en dos laboratorios. Los indicadores fisicoquímicos en el Laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. que es un laboratorio acreditado por el IAS (International, Accreditación Service) y el INACAL (Instituto Nacional de la Calidad). Los indicadores microbiológicos en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Microbiología Marino Tabusso de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Determinación y preparación de polímeros orgánicos para el tratamiento de las aguas mieles

Se realizó un acondicionamiento de tanques en los tres (3) centros de beneficio húmedo del estudio, para la recepción de aguas mieles y su tratamiento. Estos tanques fueron ubicados como una excavación en suelo y recubiertos con geomembrana.

En las aguas mieles almacenadas en los tanques, se realizó los ensayos de pre-tratamiento con tres (3) tipos de polímeros orgánicos, para de ellos seleccionar los dos (2) más eficientes, para ello se tuvo en cuenta el carácter de carga aniónica o catiónica de estos polímeros. Con los dos tipos de polímeros seleccionados, se aplicaron dosis de concentrado al 0.5% de cada polímero, además de un tratamiento físico previo a la aplicación del polímero, consistente en la remoción del agua miel de la fermentación.

Los 3 tipos de polímeros utilizados provinieron de: polímero A de “semilla de *Moringa oleífera*”, polímero C derivado de la celulosa “carboximetil celulosa” y biopolímero B “Qitosano”.

Se seleccionó un polímero con carga aniónica (polímero C) y otro con carga catiónica (polímero B), cuya preparación del caldo para el tratamiento fue la siguiente:

Para la preparación caldo de polímero aniónico se tuvo como ingredientes 100 gr de polímero y 20 litros de agua, procediendo a diluir 100 de polímero en 8 litros de agua tibia mezclando con batidora, luego adicionar 12 litros de agua fría y mezclar.

Para la preparación caldo de polímero catiónico se tuvo como ingredientes 100 gr de polímero, 12 litros de vinagre al 5% de acidez y 8 litros de agua, procediendo a verter el polímero de forma lenta con los 8 litros de agua y realizando mezcla con movimientos suaves de la batidora, finalmente agregar los 12 litros de vinagre y mezclar hasta homogenizar.

Los caldos de los polímeros seleccionados, se aplicaron dosis de concentrado de polímero al agua miel, además de un tratamiento físico previo a la aplicación del polímero, consistente en la remoción del agua miel.

Para la realización de los ensayos fue necesario el uso de algunos equipos como potenciómetro, balanza de precisión, centrífuga, batidora; y materiales como jarras de plástico graduadas y baldes.

El procedimiento básico para el tratamiento de las aguas mieles con los polímeros orgánicos fue el siguiente: a) medir 10 litros de agua miel en un balde, b) medir la dosis correspondiente del concentrado de polímero orgánico en la jarra medidora, c) mezclar y homogenizar el concentrado de polímero orgánico aplicado al agua miel, por un minuto a 200

revoluciones/minuto, d) filtrar la solución con un filtro de organza, para separar los sólidos del líquido. Este líquido obtenido al final es el que se analiza para comparar con los Límites Máximos Permisibles establecidos por la norma ambiental.

Análisis de las aguas mieles tratadas y análisis de resultados

Posterior a los tratamientos empleados, el líquido saliente a partir de las aguas mieles tratadas, en cada una de las tres miniplantas, fueron enviadas para su análisis respectivo los laboratorios antes indicados.

Los resultados obtenidos de la evaluación fisicoquímica, se compararon con los Límites Máximos Permisibles (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017) precisados por la legislación ambiental peruana para agua de riego nivel tres a partir de un agua residual tratada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de polímeros orgánicos para el tratamiento de las aguas mieles

Producto de la realización de las pruebas en laboratorio se seleccionó dos tipos de polímeros orgánicos. Uno de estos polímeros es el quitosano “polímero orgánico B” que tiene carácter catiónico (+) el cual permite un arrastre por adsorción a los microorganismos y los coloides del agua miel que tienen carga negativa. El otro polímero carmelosa o CMC “polímero orgánico C” que tiene carácter aniónico (-) que por el contrario arrastra a los microorganismos y coloides del agua miel que tienen carga positiva. Ambos polímeros fueron aplicados en secuencia, primero el polímero C realizando una agitación vigorosa por espacio de un minuto y luego el polímero B generando agitación suave por un minuto, inmediatamente se forma un flóculo consistente y fácil de separar, como parte del tratamiento.

Este principio ha sido estudiado décadas atrás, encontrándose que los polímeros aniónicos son los más utilizados, sin embargo, se tienen mejores beneficios si se utilizan ambos polímeros juntos, aniónico y catiónico previos a una operación de filtración (Wang et al., 1977).

Resultados del tratamiento de las aguas mieles con los polímeros orgánicos

Se tuvo como expectativa obtener agua residual tratada, que cumpla con los Límites Máximos Permisibles (LMP) precisados por la normativa ambiental peruana (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017) en cuanto a agua para riego nivel tres, según los siguientes límites de indicadores fisicoquímicos y microbiológicos: Conductividad

2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH de 6.5 a 8.5, Temperatura $^{\circ}\text{C} \Delta 3$, Aceites y grasas 5 mg/l, Oxígeno disuelto ≥ 4 , Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO₅ de 15 mg/l, Demanda Química de Oxígeno-DQO de 40 mg/l, nitratos 100 mg/l, *Escherichia coli* 10 NMP/ml.

En la tabla 1, se presenta los resultados de medición de los indicadores a nivel fisicoquímico y microbiológico de las aguas mieles antes y después del tratamiento con polímeros orgánicos (corresponde al mejor tratamiento). Se analizó cumplimiento de indicadores en atención a la norma.

Tabla 1. Resultados de laboratorio a los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas mieles antes y después del tratamiento con polímeros naturales orgánicos, miniplanta La Laguna.

Indicador	Unidad medida	Resultado agua miel sin tratamiento	Resultado agua miel tratada-laboratorio	Resultado de agua miel tratada-Piloto	% Reducción logrado-laboratorio	% Reducción logrado-piloto
Conductividad (*)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	5980	2160	2580	63,88	56,86
pH (**)	(valor)	3,63	3,32	3,47	8,54	4,41
Temperatura (**)	$^{\circ}\text{C}$	20,1	21,1	19,9	-	1,00
Aceites y grasas (*)	mg/l	3954	7	<0,48	99,82	-
Sólidos suspendidos totales (*)	mg total sólidos suspendidos /l	38833	753	487	98,06	98,75
Oxígeno disuelto (**)	mgDO/l	1,3	0,2	0,3	84,62	76,92
Demanda bioquímica de oxígeno-DBO ₅ (*)	mg/l	83350	21750	24300	73,91	70,85
Demanda química de oxígeno-DQO (*)	mg O ₂ /l	174791	68693	45950,8	60,70	73,71
Fosforo total (*)	mg P/l	178,075	34,228	6,739	80,78	96,22
Nitrato (*)	mg NO ₃ -/l	62,111	0,922	6,533	99,99	89,48
Recuento de aerobios mesófilos (**)	UFC/ml	15 x 10 ⁷	34 x 10 ⁴	-	99,77	-
Recuento de levaduras (**)	UFC/ml	35 x 10 ⁵	11 x 10 ⁴	-	96,86	-
Recuento de bacterias ácido lácticas (**)	UFC/ml	50 x 10 ⁶	33 x 10 ⁴	-	99,34	-
Enumeración de coliformes totales (**)	NMP/ml	< 3	< 1,8	-	-	-
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (**)	NMP/ml	< 3	< 1,8	-	-	-

Tabla 2. Resultados de laboratorio a los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas mieles antes y después del tratamiento con polímeros naturales orgánicos, miniplanta La Unión.

Indicador	Unidad medida	Resultado agua miel sin tratamiento	Resultado agua miel tratada-laboratorio	Resultado de agua miel tratada-Piloto	% Reducción logrado-laboratorio	% Reducción logrado-piloto
Conductividad (*)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1678	2230	2840	-	-
pH (**)	(valor)	3,28	3,47	3,70	-	-
Temperatura (**)	$^{\circ}\text{C}$	19,5	20,9	19,9	-	-
Aceites y grasas (*)	mg/l	725,60	22,90	20,40	96,84	97,19
Sólidos suspendidos totales (*)	mg total sólidos suspendidos /l	10067	1285	700	87,24	93,05
Oxígeno disuelto (**)	mgDO/l	2,8	0,4	0,2	85,71	92,86
Demanda bioquímica de oxígeno-DBO (*)	mg/l	22320	17685	27525	20,77	-
Demanda química de oxígeno-DQO (*)	mg O ₂ /l	44657	37691	51970,9	15,60	-
Fosforo total (*)	mg P/l	121,137	26,300	7,974	78,29	93,42
Nitrato (*)	mg NO ₃ -/L	2,125	2,358	9,179	-	-
Recuento de aerobios mesófilos (**)	UFC/ml	18 x 10 ⁷	16 x 10 ⁶	-	91,11	-
Recuento de levaduras (**)	UFC/ml	35 x 10 ⁵	35 x 10 ⁵	-	-	-
Recuento de bacterias ácido lácticas (**)	UFC/ml	51 x 10 ⁶	15 x 10 ⁵	-	97,06	-
Enumeración de coliformes totales (**)	NMP/ml	4	< 1,8	-	-	-
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (**)	NMP/ml	< 3	< 1,8	-	-	-

Tabla 3. Resultados de laboratorio a los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas mieles antes y después del tratamiento con polímeros naturales orgánicos, miniplanta Shimanilla

Indicador	Unidad medida	Resultado agua miel sin tratamiento	Resultado agua miel tratada-laboratorio	Resultado de agua miel tratada-Piloto	% Reducción logrado-laboratorio	% Reducción logrado-piloto
Conductividad (*)	µS/cm	3180	3180	2830	-	11,01
pH (**)	(valor)	3,41	3,49	3,60	-	-
Temperatura (**)	°C	20	21	19,8	-	1,00
Aceites y grasas (*)	mg/l	1991	11,90	14,30	99,40	99,28
Sólidos suspendidos totales (*)	mg total sólidos suspendidos/l	11750	862	710	92,66	93,96
Oxígeno disuelto (**)	mgDO/l	2	0,2	0,1	90,00	95,00
Demanda bioquímica de oxígeno-DBO (*)	mg/l	45166	20610	21330	54,37	52,77
Demanda química de oxígeno-DQO (*)	mg O ₂ /l	90334	43878	40265,2	51,43	55,43
Fosforo total (*)	mg P/l	189,898	14,636	6,617	92,29	96,52
Nitrato (*)	mg NO ₃ -L	4,648	0,603	1,014	99,99	78,18
Recuento de aerobios mesófilos (**)	UFC/ml	16 x 10 ⁷	16 x 10 ⁶	-	90,00	-
Recuento de levaduras (**)	UFC/ml	77 x 10 ⁴	77 x 10 ⁴	-	-	-
Recuento de bacterias ácido lácticas (**)	UFC/ml	43 x 10 ⁶	15 x 10 ⁵	-	96,51	-
Enumeración de coliformes totales (**)	NMP/ml	< 3	< 1,8	-	-	-
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (**)	NMP/ml	< 3	< 1,8	-	-	-

Para las tablas 1, 2 y 3:

(*) Resultado obtenido corresponde a un método de ensayo acreditado. (**) Resultado obtenido no corresponde a un método de ensayo acreditado. En cuanto a enumeración de coliformes totales y *Escherichia coli* valores de <3 y <10 indican ausencia de microorganismos.

Los resultados mostrados en las tablas 1, 2 y 3 indican que el tratamiento utilizado con dos polímeros orgánicos, uno aniónico y otro catiónico, redujeron los porcentajes de concentración, en al menos 8 a 10 de los 15 indicadores fisicoquímicos y microbiológicos analizados. Asimismo, ayudó a que en los indicadores de temperatura, nitratos y enumeración de *Escherichia coli* ha logrado superar los LMP de la norma peruana. En cuando a grasas y conductividad eléctrica estuvo cerca de superar los LMP.

Los indicadores de DBO, DQO y pH, clásicos y comparables en este tipo de estudios, se abre la

posibilidad de investigaciones complementarias para probar técnicas de oxigenación (Álvarez et al., 2011), así como la aplicación de cal previo a la aplicación de los polímeros orgánicos, además de un tratamiento físico de filtración adicional. Esto considerando que la acción del biopolímero se debilita en su accionar en una fuerte condición ácida o alcalina, caso que fue comprobado en tratamiento de aguas residuales con quitosano (B. Wang et al., 2011), un pH 7.0 es un muy adecuado (Devi, 2010).

En la tabla 4, se presenta un comparativo de resultados de estos indicadores con tratamientos similares en aguas mieles de café, donde puede verse que es posible lograr un mayor porcentaje de reducción en los valores de la DBO y DQO, y mejores niveles de pH con la aplicación de técnicas complementarias.

Tabla 4. Resultados logrados en los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO, Demanda Química de Oxígeno-DQO, pH en aguas residuales con tratamientos similares

Tratamiento aplicado	DBO (mg/l) / % Reducción	DQO (mg O ₂ /l) / % Reducción	pH logrado	Referencia
Polímeros orgánicos en aguas mieles de café	17685 (21%)	37691 (16%)	3,70	(este estudio-valor más óptimo obtenido)
Semillas de moringa y filtración natural en aguas residuales	6,5 (99,6%)	21,47 (99,7%)	7,8	(Suhartini et al., 2013)
Sistema de oxigenación en aguas mieles de café	1245 (80%)	658 (83%)	6,0	(Álvarez et al., 2011)
Carbón de semilla de aguacate en aguas residuales	96 (99,2%)	154 (98,3%)	7,0	(Devi, 2010)
Depuración asistida a partir de inóculo de microbios en aguas residuales	2145 (33%)	3308 (25%)	-	(Pires et al., 2017)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los polímeros naturales orgánicos de carácter catiónico y aniónico son potencialmente ventajosos para ser usados como tratamiento en la limpieza de aguas mieles del café, los cuales producto de la floculación favorecen la reducción sustancial en los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos. Convirtiéndose así, en una tecnología potencial a ser mejorada para su utilización en un procesamiento ecológico y sostenible del café, para los mercados de especialidad a los cuales apuntan las organizaciones cafetaleras.

En el presente estudio se ha encontrado que la aplicación de los polímeros orgánicos, un aniónico y un catiónico, para la limpieza de las aguas mieles del café, muestran una adaptabilidad para investigaciones complementarias, que permitan optimizar la reducción de los indicadores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, la Demanda Química de Oxígeno y el pH en el agua miel de café.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento del Programa PROINNOVATE (antes Innóvate Perú) del Ministerio de la Producción del Perú por el financiamiento al proyecto “Diseño y validación de un sistema de tratamiento de las aguas mieles del beneficio del Café mediante polímeros orgánicos, en el distrito de Chirinos – Cajamarca” con Convenio N° 153-INNOVATE PERU-PIEC1-2020. Se agradece también a la Cooperativa Agraria Valles del Café y a la Universidad Nacional Agraria La Molina por su aporte en el financiamiento del proyecto y su colaboración en el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alemayehu, Y. A., Asfaw, S. L., & Terfie, T. A. (2021). Reusing Coffee Processing Wastewater and Human Urine as a Nutrient Source: Effect on Cabbage Cultivation. *Waste and Biomass Valorization*, 12(11), 6165–6175. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01451-9>
- [2] Álvarez, J., Smeltekop, H., & Loza-murguía, M. (2011). Evaluation of a treatment system wastewater prebeneficiado of coffee (*Coffea arabica*) implemented in the community Carmen Pampa province of Nor Yungas of La Paz Department. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(1), 34–42.
- [3] Arteaga-Cuba, M. N., Dilas-Jiménez, J. O., Díaz, N., Miranda, O. C., García, J. E., & Vassallo, C. (2021). Isolation and identification of a native microbial consortium for the coffee pulp degradation above 2000 masl. *Coffee Science*, 16, e161810. <https://doi.org/10.25186/v16i.1810>
- [4] Bancesi, A., Pinto, M. M. F., Duarte, E., Catarino, L., & Nazareth, T. (2020). The antimicrobial properties of *Moringa oleifera* Lam. for water treatment: a systematic review. *SN Applied Sciences*, 2(3). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2142-4>
- [5] Beyene, A., Yemane, D., Addis, T., Assayie, A. A., & Triest, L. (2014). Experimental evaluation of anaerobic digestion for coffee wastewater treatment and its biomethane recovery potential. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(7), 1881–1886. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0339-4>
- [6] Botello Suárez, W. A., da Silva Vantini, J., Duda, R. M., Giachetto, P. F., Cintra, L. C., Tiraboschi Ferro, M. I., & de Oliveira, R. A. (2018). Predominance of syntrophic bacteria, *Methanosaeta* and *Methanoculleus* in a two-stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor treating coffee processing wastewater at high organic loading rate. *Bioresource Technology*, 268, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.091>
- [7] Chagas, P. M. B., Torres, J. A., Silva, M. C., & Corrêa, A. D. (2015). Immobilized soybean hull peroxidase for the oxidation of phenolic compounds in coffee processing wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*, 81, 568–575. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.061>
- [8] Chen, L., Chen, D., & Wu, C. (2003). A New Approach for the Flocculation Mechanism of Chitosan. *Journal of Polymers and the Environment*, 11(3), 87–92. <https://doi.org/10.1023/A:1024656813244>
- [9] Dao, V. H., Cameron, N. R., & Saito, K. (2015). Synthesis, properties and performance of organic polymers employed in flocculation applications. *Polymer Chemistry*, 7(1), 11–25. <https://doi.org/10.1039/c5py01572c>
- [10] Devi, R. (2010). Innovative technology of COD and BOD reduction from coffee processing wastewater using Avocado Seed Carbon (ASC). *Water, Air, and Soil Pollution*, 207(1–4), 299–306. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0137-2>
- [11] Diaz, C., & Carmen, M. (2017). Línea de base del café en el Perú. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Libro_cafe_PNUD_PE.pdf
- [12] Gallego Ocampo, H. L., & Mejía Francia, M. (2016). La electrocoagulación como alternativa

- de tratamiento de aguas mieles provenientes del proceso de beneficio húmedo del café. *Vitae*, 23, S684–S688.
<https://www.proquest.com/docview/1783661288?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>
- [13] Garay Román, J., & Rivero Méndez, J. (2014). Biosistema para purificar aguas residuales del beneficio húmedo de café, distrito La Coipa, departamento de Cajamarca, 2014. *Manglar*, 11(1), 43–50.
- [14] Gardiman Junior, B. S., Guimarães, D., Freitas, W. S., Reis, E. F., & O. Garcia, G. (2021). Treatment of Coffee Wastewater with recirculation: optimization and validation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(5), 3963–3974.
<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03340-z>
- [15] Gautam, A. K., Markandeya, Singh, N. B., Shukla, S. P., & Mohan, D. (2020). Lead removal efficiency of various natural adsorbents (*Moringa oleifera*, *Prosopis juliflora*, peanut shell) from textile wastewater. *SN Applied Sciences*, 2(2).
<https://doi.org/10.1007/s42452-020-2065-0>
- [16] Gutiérrez Guzmán, N., Valencia Granada, E., & Aragon Calderon, R. A. (2014). EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO DE CAFÉ (*Coffea arabica*). *Colombia Forestal*, 17(2), 151.
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.f.or.2014.2.a02>
- [17] Ijanu, E. M., Kamaruddin, M. A., & Norashiddin, F. A. (2019). Coffee processing wastewater treatment: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Applied Water Science*, 10(1).
<https://doi.org/10.1007/s13201-019-1091-9>
- [18] JNC. (2022). Café: Exportaciones por empresa-Enero a diciembre 2021.
<https://juntadelcafe.org.pe/wp-content/uploads/2022/03/Exportación-de-Café-Enero-Diciembre-Por-Empresa2021.pdf>
- [19] Lichtfouse, E., Morin-Crini, N., Fourmentin, M., Zemmouri, H., do Carmo Nascimento, I. O., Queiroz, L. M., Tadza, M. Y. M., Picos-Corrales, L. A., Pei, H., Wilson, L. D., & Crini, G. (2019). Chitosan for direct bioflocculation of wastewater. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1603–1621.
<https://doi.org/10.1007/s10311-019-00900-1>
- [20] Madrona, G. S., Serpelloni, G. B., Salcedo Vieira, A. M., Nishi, L., Cardoso, K. C., & Bergamasco, R. (2010). Study of the effect of Saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 211(1–4), 409–415.
<https://doi.org/10.1007/s11270-009-0309-0>
- [21] Mateus, G. A. P., Formentini-Schmitt, D. M., Nishi, L., Fagundes-Klen, M. R., Gomes, R. G., & Bergamasco, R. (2017). Coagulation/Flocculation with *Moringa oleifera* and Membrane Filtration for Dairy Wastewater Treatment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228, 342(9).
<https://doi.org/10.1007/s11270-017-3509-z>
- [22] Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, (2017).
<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- [23] Pires, J. F., Cardoso, L. de S., Schwan, R. F., & Silva, C. F. (2017). Diversity of microbiota found in coffee processing wastewater treatment plant. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(12), 0.
<https://doi.org/10.1007/s11274-017-2372-9>
- [24] Ramírez, L. E. C., Rubiano, C. C. P., Arias, H. P., & Galindo, D. H. (2021). Determination of the microbiological quality of the Toca-Boyacá River, downstream Tuaneca and the center sectors. *Revista Lasallista de Investigación*, 18(1), 192–202.
<https://doi.org/10.22507/rli.v18n1a12>
- [25] Revelo, A., Proaño, D., & Banchón, C. (2015). Textile wastewater biocoagulation by *Caesalpinia spinosa* extracts. *Enfoque UTE*, 6(1), 1–12.
<http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/50%0Ahttp://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/download/50/54>
- [26] Reyes-Prado, M. A., Ramírez-Pereda, B., Ramírez, K., González Huitrón, V., Rodríguez-Mata, A. E., Uriarte Aceves, P. M., & Amabilis-Sosa, L. (2022). Recuperación de nutrientes y degradación de materia orgánica de agua residual agrícola por medio de un sistema uv/h2O2 optimizado. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 235–248.
<https://doi.org/https://doi.org/10.20937/RICA.54236>
- [27] Rodríguez Jimenez, D. M., & Gallego Suárez, D. D. J. (2019). Evaluación del quitosano como coagulante para el tratamiento de efluentes piscícolas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 6–17.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.73340>

- [28] Rodríguez, S. C., Asmundis, C. L., Ayala, M. T., & Arzú, O. R. (2018). Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme (Corrientes, Argentina). *Revista Veterinaria*, 29(1), 9. <https://doi.org/10.30972/vet.2912779>
- [29] Rossmann, M., Matos, A. T., Abreu, E. C., Silva, F. F., & Borges, A. C. (2013). Effect of influent aeration on removal of organic matter from coffee processing wastewater in constructed wetlands. *Journal of Environmental Management*, 128, 912–919. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.06.045>
- [30] Sengupta, B., Priyadarshinee, R., Roy, A., Banerjee, A., Malaviya, A., Singha, S., Mandal, T., & Kumar, A. (2020). Toward sustainable and eco-friendly production of coffee: abatement of wastewater and evaluation of its potential valorization. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(5), 995–1014. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01841-y>
- [31] Shanmugam, M. K., & Gummadi, S. N. (2020). Degradation of synthetic coffee wastewater using induced cells of *Pseudomonas* sp. NCIM 5235. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(10), 3013–3022. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03019-x>
- [32] Sharma, P. (2008). Removal of Cd (II) and Pb (II) from aqueous environment using *Moringa oleifera* seeds as biosorbent: A low cost and ecofriendly technique for water purification. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 61(2–3), 107–110. <https://doi.org/10.1007/s12666-008-0027-0>
- [33] Suhartini, S., Hidayat, N., & Rosaliana, E. (2013). Influence of powdered *Moringa oleifera* seeds and natural filter media on the characteristics of tapioca starch wastewater. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/2251-7715-2-12>
- [34] Torres-Valenzuela, L. S., Sanín-Villarrea, A., Arango-Ramírez, A., & Serna-Jiménez, J. A. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista ION*, 32(2), 59–66. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019006>
- [35] Valeriano-Mamani, J. J., & Matos-Chamorro, R. A. (2019). Influence of Tara (*Caesalpinia spinosa*) Gum as an Aid in the Coagulation-Flocculation Process to Remove the Turbidity of an Artificial Suspension of Bentonite. *Informacion Tecnologica*, 30(5), 299–308. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500299>
- [36] Villa-Montoya, A. C., Ferro, M. I. T., & de Oliveira, R. A. (2016). Removal of phenols and methane production with coffee processing wastewater supplemented with phosphorous. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(1), 61–74. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1124-y>
- [37] Villanueva-Rodríguez, M., Bello-Mendoza, R., Wareham, D. G., Ruiz-Ruiz, E. J., & Maya-Treviño, M. L. (2014). Discoloration and organic matter removal from coffee wastewater by electrochemical advanced oxidation processes. *Water, Air, and Soil Pollution*, 225(12). <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2204-6>
- [38] Wang, B., Zhang, Y., & Miao, C. (2011). Preparation of cationic chitosan-polyacrylamide flocculant and its properties in wastewater treatment. *Journal of Ocean University of China*, 10(1), 42–46. <https://doi.org/10.1007/s11802-011-1741-5>
- [39] Wang, L. K., Wang, M. H., & Kao, J. F. (1977). Application and determination of organic polymers. *Water, Air, and Soil Pollution*, 9(3), 337–348. <https://doi.org/10.1007/BF00280682>
- [40] Wisniewski, C. M., Slater, C. S., & Savelski, M. J. (2018). Dynamic vibratory membrane processing for use in water recovery from soluble coffee product manufacturing wastewater. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(8), 1791–1803. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1569-4>
- [41] Yang, H., Yuan, B., Lu, Y., & Cheng, R. (2008). Preparation of magnetic chitosan microspheres and its applications in wastewater treatment. *Science in China, Series B: Chemistry*, 52(3), 249–256. <https://doi.org/10.1007/s11426-008-0109-1>
- [42] Zaid, A. Q., Ghazali, S. B., Mutamim, N. S. A., & Olalere, O. A. (2019). Experimental optimization of *Moringa oleifera* seed powder as bio-coagulants in water treatment process. *SN Applied Sciences*, 1(5). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0518-0>
- [43] Zambrano-Franco, D. A., & Izaza-Hinestroza, J. D. (1998). Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. *Cenicafé*, 49(4), 279–289. <https://doi.org/10.15332/dt.inv.2020.01508>