



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD
DE RESIDUOS DE AVIVAJES EMPLEADOS EN
EL PROCESO DE HILATURA EN LA EMPRESA
ENKA DE COLOMBIA S.A.**

Autor

Leady Marian Martínez Mesa

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

Medellín, Colombia

2019



EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD DE RESIDUOS DE AVIVAJES
EMPLEADOS EN EL PROCESO DE HILATURA EN LA EMPRESA ENKA DE
COLOMBIA S.A.

Leady Marian Martínez Mesa

Informe de práctica como requisito para optar al título de Ingeniera Química

Asesores

Diego Alejandro Trujillo Vera, Ing. Químico

Henry Nelson Zúñiga, Ing. Químico

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química
Medellín, Colombia

2019

**EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD DE RESIDUOS DE
AVIVAJES EMPLEADOS EN EL PROCESO DE HILATURA EN LA
EMPRESA ENKA DE COLOMBIA S.A.**

LEADY MARIAN MARTÍNEZ MESA

EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD DE RESIDUOS DE AVIVAJES EMPLEADOS EN EL PROCESO DE HILATURA EN LA EMPRESA ENKA DE COLOMBIA S.A.

RESUMEN

Los aceites de hilatura (avivajes) se encargan de modificar el comportamiento superficial del filamento usando lubricantes, emulsificantes, agentes limpiadores, agentes humectantes, antioxidantes y aditivos para disminuir la abrasión. Después de la aplicación al filamento hay una parte de éstos que no logra adherirse completamente al material y quedan como residuo del proceso. Para su disposición es necesario contratar una empresa externa generando un costo adicional. Ante esta problemática se hizo necesario evaluar la alternativa de disponer los residuos en una planta de tratamiento de aguas residuales que opera mediante digestión anaerobia, para esto inicialmente fue necesario determinar la biodegradabilidad de los aceites de hilatura a escala de laboratorio mediante la norma establecida por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) donde se presentan las condiciones normalizadas para las pruebas, dependiendo del tipo de inóculo (lodos) y de las propiedades fisicoquímicas de la muestra (aceite) a degradar, además para el cumplimiento de la prueba se establece un nivel de remoción mínimo de DQO (Demanda química de oxígeno) del 60% en 28 días, tiempo de duración de la misma. Los ensayos experimentales se realizaron a través de seis montajes a diferentes condiciones iniciales utilizando micronutrientes, macronutrientes y diferentes concentraciones de aceite; y las mismas condiciones de operación. Durante las pruebas se hizo seguimiento de la conductividad, la alcalinidad, el potencial óxido-reducción, el pH, el volumen de gases generados, los sólidos suspendidos totales y la DQO total con el objetivo de determinar la eficiencia y estabilidad del proceso.

Los resultados obtenidos indican que la adición de nutrientes no afecta significativamente la disminución de la DQO lo que si genera la concentración de avivaje utilizada. Además, se evidencia que los avivajes no son biodegradables inmediatamente y pueden llegar a disminuir la eficiencia de los procesos biológicos efectuados.

1. INTRODUCCIÓN

Enka de Colombia S.A. fue establecida el 08 de septiembre de 1964 por el grupo AKZO NOBEL de Holanda y otros socios de la región como Hilanderías de Medellín, Fabricato, Tejicondor, y Pantex. La empresa fue proyectada para producir y comercializar polímeros y fibras químicas de poliéster y Nylon, materias primas para la industria en forma de gránulos, fibras, filamentos textiles e industriales, y lona para llantas (Enka S.A., 2018). Dentro de las actividades que se llevan a cabo dentro de la planta se encuentran los procesos de polimerización, despolimerización y el reciclaje de PET para producción de fibras, en los que se obtienen gránulos de nylon y de poliéster que posteriormente son sometidos a un proceso de hilatura que consiste en la fundición y extrusión del gránulo para la formación de filamentos o fibras. Durante el proceso de hilatura se debe aplicar al filamento una mezcla de aceites y aditivos llamada avivaje, la cual es desechada después de la operación por una entidad externa generando un costo adicional al proceso.

Ante esta situación surge la necesidad de buscar alternativas, dentro de la misma empresa, para la disposición de este tipo de residuos. En este sentido, una de las posibilidades a evaluar es el tratamiento de desechos de avivajes en una de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) localizadas dentro de la

compañía. Así, para verificar la viabilidad de esta propuesta se caracterizaron los residuos de avivajes y se estudió su potencial biodegradabilidad a escala de laboratorio, en aras de proponer un procedimiento para su eventual remoción a escala real en PTAR considerando los aspectos normativos asociados a los parámetros de calidad de agua y vertimientos.

Los principales aceites utilizados en el proceso de hilatura son: Fasavin PA-1105, Fasavin TC-72, Fasavin KB-141, Delion-2583, entre otros. Sustancias de las cuales se realizó una caracterización con base a su composición, pH, densidad, solubilidad e información de degradabilidad suministrada en la literatura.

Basado en las propiedades fisicoquímicas de la muestra se decidió emplear la norma OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) para evaluación de biodegradabilidad. La OCDE establece tres niveles sucesivos de los ensayos: pruebas de biodegradabilidad inmediata, biodegradabilidad intrínseca y de simulación (Vásquez & Beltrán, 2004). En este sentido, se estableció que el alcance del proyecto sería evaluar la biodegradabilidad inmediata (OCDE 301 y 310). De manera particular el tipo de inóculo (población microbiana) a utilizar fueron los lodos de la planta de tratamiento anaerobia, asimismo, las condiciones de agitación, duración de la prueba; pH, y temperatura fueron establecidas considerando las condiciones de operación de la planta. La prueba de biodegradabilidad seleccionada tiene una duración de 28 días en los cuales se debe alcanzar un nivel mínimo del 60.0% de remoción de DQO para clasificar una muestra como biodegradable. Como complemento al análisis de biodegradabilidad, según la norma OCDE 301A. El seguimiento de la conductividad, la alcalinidad, el potencial óxido reducción, el pH, el volumen de gases generados, y los sólidos suspendidos, permite determinar la eficiencia y estabilidad del proceso tanto a escala de laboratorio como a escala de planta de tratamiento (Torres & Pérez, 2010).

2. OBJETIVOS

Objetivo General: Evaluar la potencial biodegradabilidad de residuos de avivajes empleados en el proceso de hilatura en la empresa ENKA de Colombia S.A.

Objetivos Específicos:

- Caracterizar los residuos de avivajes generados en el proceso de hilatura de la planta Enka de Colombia S.A.
- Establecer las condiciones de operación requeridas para la remoción vía biológica de residuos de avivajes.
- Proponer un procedimiento para llevar a cabo la biodegradación de residuos de avivajes a escala real empleando una planta de tratamiento de aguas residuales de naturaleza anaerobia.

3. MARCO TEÓRICO

El proceso de hilatura inicia con la extrusión del polímero (poliéster o Nylon) fundido a través de una hilera, de la cual sale el filamento y pasa a ser enfriado a condiciones estrictas de temperatura para poder realizar el estirado y lograr la reducción del área transversal y la orientación molecular del polímero deseadas. Después de la formación del filamento se aplican los avivajes y se realiza el embobinado (Trujillo, 2011).

Los avivajes son mezclas de aceites y aditivos empleadas con el fin de disminuir la estática, la fricción, la abrasión e incrementar la cohesión de los filamentos de Nylon y de poliéster (Postman, 1980).

La composición de los avivajes depende de las propiedades específicas con las que el que cliente requiera el filamento. Dentro de los avivajes más comunes comercialmente se encuentran el Fasavin PA 1105 y el Delion F5018 los cuales están compuestos por lubricantes emulsificantes, agentes antiestáticos, agentes limpiadores, agentes humectantes, antioxidantes, aditivos especiales y agua (Trujillo, 2011). No obstante, estos residuos no pueden ser vertidos directamente a una fuente de agua debido a su alta carga orgánica contaminante, por lo que se requiere una correcta disposición y/o tratamiento en el sitio de su generación.

La disposición final de los efluentes de aguas residuales industriales se hace a través del sistema de alcantarillado o vía vertimiento directo sobre aguas superficiales (quebradas, ríos, etc.). No obstante, en ambos casos se debe cumplir con la normatividad asociada, incluyendo la valoración de algunos parámetros de calidad del agua como son la demanda química de oxígeno (DQO < 800 mg/L), el pH (5 a 9), las grasas y aceites (< 37.5 mg/L), sulfuros, metales pesados, entre otros (Red Jurista, 2017). De esta manera, las aguas residuales son sometidas a una serie de tratamientos clasificados como primarios, secundarios y terciarios.

Los tratamientos primarios buscan principalmente la eliminación de sólidos en suspensión empleando filtros y pantallas para retención, sedimentadores, desarenadores, trampas de grasa, etc. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2017). En el tratamiento secundario se realizan procesos biológicos que se encargan de degradar activamente la materia orgánica o el contenido biológico que esté presente en el agua residual y convertirlos en sólidos suspendidos. En esta categoría se incluyen procesos aerobios, anaerobios o de lodos activados. Los tratamientos terciarios por su parte tienen como finalidad mejorar la calidad del líquido y promover su reutilización en actividades como la agroindustria. La desinfección y esterilización empleando radiación ultravioleta, la ionización y la cloración son algunos de los tratamientos terciarios más empleados (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2017)

En los procesos aerobios se efectúa la degradación de la materia orgánica bajo la presencia de oxígeno, generando CO₂ y H₂O; contrario a los sistemas anaerobios donde en ausencia de O₂ la remoción de la materia orgánica conduce a la formación de metano y dióxido de carbono (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2017).

La digestión anaerobia consta de cuatro etapas (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis) en las cuales los microorganismos realizan la descomposición de las moléculas orgánicas. La figura 1 indica la secuencia de etapas que se presentan en un proceso de digestión anaerobia.

Durante el arranque y operación del reactor anaerobio se debe realizar un monitoreo de la eficiencia, la estabilidad y la cantidad y calidad del lodo, lo que permite evaluar el desempeño del sistema (Torres & Pérez, 2010). En el monitoreo de la eficiencia se realiza la medición de parámetros como los sólidos suspendidos totales (SST) y la demanda química de oxígeno. El monitoreo de la estabilidad evalúa la prevalencia de la fermentación acidogénica sobre la metanogénica, lo que puede ocasionar acidificación del sistema, para ello se mide pH y la alcalinidad (total y bicarbonática) (Torres & Pérez, 2010). El pH (concentración de H⁺) influye sobre las diferentes reacciones químicas y bioquímicas que ocurren en el sistema. El pH óptimo de operación depende de las propiedades fisicoquímicas del medio y de la población microbiana (Acosta & Abreu, 2005). La alcalinidad es la encargada de regular el pH en la fase de hidrólisis, evitando la acumulación de los ácidos grasos

volátiles. Si la alcalinidad es baja y se da la acumulación de ácidos grasos, se puede llegar a generar un medio tóxico para los microorganismos (Parra et al., 2014).

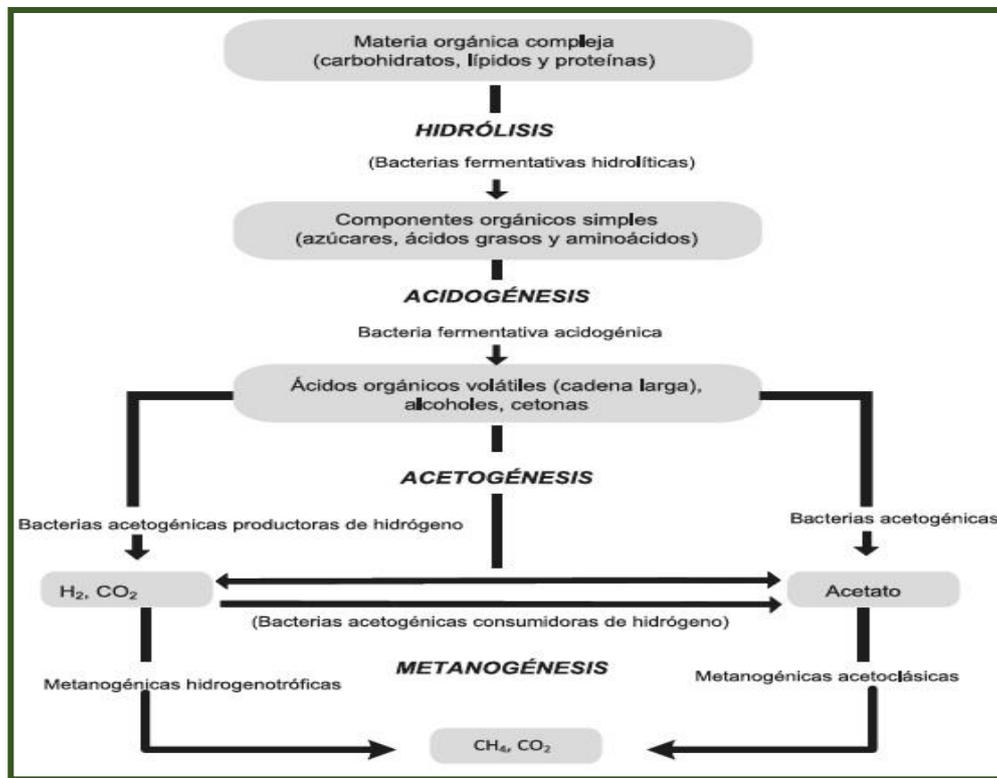


Figura 1. Esquema general etapas involucradas en la digestión anaerobia (Huertas, 2015).

El monitoreo de la cantidad y la calidad del lodo se puede evaluar mediante características como la actividad metanogénica específica (AME), perfil de lodos, entre otros. Para garantizar una alta actividad del lodo se recomienda que la AME sea mayor a 0.1 gDQO/gSSV-d, en caso de que este valor este por debajo de la unidad, se deben adicionar macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo(P), azufre (S) y micronutrientes como sodio, magnesio y hierro. Las concentraciones utilizadas de los macronutrientes se calculan en base a la DQO (relación 300:10:1 para DQO:N:P) (Torres, Cardoso, & Rojas, 2004).

Además de la evaluación de los parámetros anteriores se debe evaluar la presencia de sustancias tóxicas e inhibitorias para los microorganismos tales como metales pesados, tiocianato, cianuro, agentes oxidantes, tensoactivos aniónicos, sales, entre otros. El nivel de toxicidad dependerá fundamentalmente de la concentración de estos en las muestras (Acosta & Abreu, 2005). Para determinar la cantidad de sales es necesario hacer seguimiento a la conductividad ya que el aumento de las sales en el medio puede ocasionar muerte de las bacterias debido a que las concentraciones en el interior celular tienden a igual la concentración del medio, lo que provoca la expulsión de agua, conllevando a la deshidratación del microorganismo (Ortiz, 2011), el valor de conductividad debe estar entre 3.99 mS/cm y 7.32 mS/cm y así garantizar altos niveles de actividad metanogénica. Finalmente, el potencial de óxido-reducción debe estar entre -250 mV y -300mV para garantizar

que no haya presencia de oxígeno disuelto en la solución, y evidenciar la presencia de CO₂ y CH₄ (Atlas & Bartha, 1993).

4. METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto, la ejecución de este se llevó a cabo en cinco etapas:

I. Búsqueda bibliográfica: Durante el desarrollo del proyecto se realizó búsqueda de información concerniente a la naturaleza de los residuos a eliminar, potenciales vías de tratamiento, operación de sistemas biológicos y análisis de biodegradabilidad, para ello se consultó en bases de datos bibliográficas, sitios especializados y publicaciones relacionadas con el área.

II. Caracterización de residuos de avivajes: La caracterización de los residuos se llevó a cabo tomando como base la revisión de las hojas de especificación de los compuestos que conforman la muestra a tratar. Información con la cual se analizaron las propiedades fisicoquímicas de cada compuesto. Las variables medidas a la muestra inicial de avivaje fueron DQO_{Total}, DQO_{Soluble} pH, grasas y aceites, y alcalinidad.

III. Evaluación de la potencial biodegradabilidad de residuos de avivajes a escala de laboratorio: Para efectuar los experimentos a escala de laboratorio, se tomaron 6 sistemas en balones de vidrio de 500 mL, a temperatura, presión y agitación constante. El inóculo y el medio empleados correspondió a lodos de la PTAR y agua de efluentes de la empresa respectivamente. La concentración de avivaje fue distinta en cada unidad evaluada, y se estableció considerando las cantidades dispuestas por el proceso y el efluente de la PTAR y en la adición de macronutrientes (urea y ácido fosfórico) y micronutrientes (suero). El volumen de cada muestra es un 90% del volumen total del recipiente. Además, se realizó seguimiento del pH, la conductividad, el potencial óxido-reducción y la generación de gases diariamente. La DQO_{Total} y alcalinidad se evaluaron a los 10, 14, 21 y 28 días de prueba.

La metodología seguida para la medición de las variables de interés incluyó la espectrofotometría UV para determinación de DQO, y el método volumétrico para la alcalinidad.

IV. Desarrollo de una propuesta para ejecutar experimentos empleando PTAR: Una vez llevadas a cabo las pruebas a escala de laboratorio, se diseñó un procedimiento que permitiese efectuar la remoción de los residuos de interés a escala real en la PTAR. En este sentido, fue necesario evaluar la variación de parámetros como el pH, la alcalinidad, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales y la DQO a escala de laboratorio; y realizar un escalado del funcionamiento en la PTAR bajo los parámetros de operación de ésta, considerado el tiempo de retención hidráulico, la DQO de entrada, el caudal de entrada y la legislación asociada a la disposición de desechos líquidos.

V. Preparación de informes y socialización de los resultados: Durante el desarrollo de esta propuesta se realizaron informes de avance y resultados parciales y finales, así como la respectiva socialización durante la jornada académica programada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS



Figura 2. Apariencia inicial, en forma individual y en mezcla, de los avivajes evaluados.

▪ Caracterización de los avivajes:

En la figura 2 se presenta el aspecto visual de los residuos de avivajes empleados en el proceso.

Por otro lado, la revisión bibliográfica permitió obtener información referente a la composición y propiedades físico-químicas asociadas con los aceites de hilatura empleados en la planta. La Tabla 1 presenta los hallazgos más relevantes.

Tabla 1. Caracterización físico-química de avivajes

Sustancia	Composición	pH	Densidad (g/mL) a 15°C	Solubilidad en agua a 25°C	Biodegradabilidad
Delion F-5018	Lubricante sintético, surfactante aniónico y catiónico.	7.0	1.0	Soluble	No son degradados por digestión anaerobia. A concentraciones altas puede ser tóxico para diferentes microorganismos.
Fasavin PA-1105	Ésteres, antiestáticos, emulsificantes.		0.93 - 0.96	Dispersables	60.0% remoción de DQO en 28 días.
Fasavin TC-72	Ésteres grasos y poli glicoles	6.5 – 7.5	1.03	Soluble	42.0% de remoción después de 28 días.
Etulr-150 S	Lubricantes, emulsificantes, antiestáticos.	6.5 - 9.0	1.0	Insoluble	20.0% - 60.0% de remoción después de 28 días.
	Aceite de ricino.		1.03	Dispersables	
	Ésteres.		1.0	Soluble	
	Agente surfactante.		1.09	Soluble	
Shell tellus S2M46	Aceite hidráulico.	7.0 - 9.5	0.87	Insoluble	No biodegradable (componentes bioacumulables).

Destilados de petróleo naftenos, livianos, pesados.	0.92	No se degrada rápidamente. No degradable. Biodegradable.
Solvente para parafinas.		
Grasas.	0.88	
Hidrocarburos sintéticos.	0.83	
Hidrocarburos.	0.82 - 0.84	
Aceite mineral blanco.	0.85	
Agentes antiespumantes.	0.93	

Adicionalmente, la revisión bibliográfica permitió establecer que las sustancias a tratar son de naturaleza tensoactiva, que a determinadas concentraciones son tóxicos, y de difícil remoción empleando tratamientos biológicos.

La Tabla 2 presenta la caracterización realizada a una mezcla conteniendo cantidades iguales de los avivajes.

Tabla 2. Caracterización físico-química mezcla de avivajes.

Parámetro evaluado	Valor
DQO total (mg/L O ₂)	1940385
DQO filtrada (0.45 µm) (mg/L O ₂)	1165385
Grasas y aceites (g/L)	544

▪ **Caracterización de los lodos de la PTAR utilizados como inóculos:**

La Tabla 3 presenta los resultados de caracterización de los lodos anaerobios de PTAR empelados como inóculos.

Tabla 3. Caracterización del inóculo.

Parámetro	Valor
AME (actividad metanogénica específica, gDQO/gSSV-d)	0.163
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	39947
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	32343
Sólidos sedimentables (mg/L)	960
Alcalinidad reactor metanogénica (mg CaCO ₃ /L)	3642.17
Temperatura del reactor (°C)	31
Ácidos grasos volátiles (mg/L)	121.8
Apariencia	Granular negra
pH en solución 0.11% en agua desmineralizada	8.6
pH del agua desmineralizada	8.4
Alcalinidad solución 0.11% en agua desmineralizada (mg CaCO ₃ /L)	11.8
Alcalinidad del agua desmineralizada (mg CaCO ₃ /L)	5.5

En general, el lodo utilizado como inóculo cuenta con un valor de actividad metanogénica apropiado para garantizar la fase de hidrólisis. Además, los valores determinados para los demás parámetros reflejan el buen funcionamiento del reactor de procedencia.

▪ **Montaje experimental:**

El montaje de los 6 sistemas de reacción se realizó tal como lo indica la figura 3.



Figura 3. Montaje experimental.

La Tabla 4 presenta la composición de las muestras evaluadas.

Tabla 4. Composición muestras evaluadas.

Muestra	Composición					
	Cantidad de inóculo (g)	Cantidad de agua de efluente PTAR (g)	Cantidad mezcla de avivajes (g)	Macronutrientes		Micronutrientes (g)
				Ácido fosfórico (g)	Urea (g)	
1	0.5	459.0	0.00	0.00	0.000	0.0
2	0.5	459.0	0.24	0.00	0.000	0.0
3	0.5	459.0	0.24	0.01	0.088	0.0
4	0.5	459.0	0.24	0.01	0.088	0.2
5	0.5	459.0	0.12	0.00	0.000	0.0
6	0.5	459.0	0.48	0.00	0.000	0.0

▪ **Seguimiento parámetros físico-químicos:**

○ **Evaluación de la variación del pH del sistema:**

La figura 4 presenta la variación del pH en cada sistema evaluado. A partir de la información obtenida, se puede apreciar una disminución del pH del sistema, lo cual estaría asociado con la descomposición de la materia orgánica, presente en la muestra, en ácidos grasos volátiles. El hecho de que la reducción en la variable analizada se dé desde el inicio del proceso implicaría que los microorganismos presentes no requieren de una fase de adaptación y que el avivaje empleado no causa ni inhibición, ni muerte de las bacterias anaerobias bajo las concentraciones empleadas.

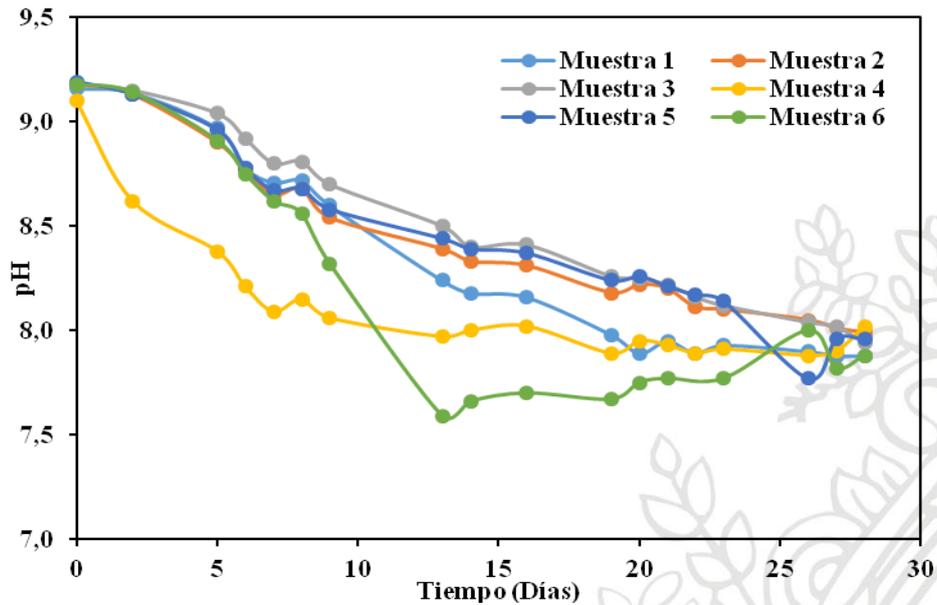


Figura 4. Variación del pH durante el tratamiento biológico de muestras de avivaje a escala de laboratorio.

○ Evaluación de la variación del potencial de óxido-reducción (ORP) del sistema:

Los valores de ORP obtenidos durante el desarrollo de las pruebas experimentales (Figura 5), se ubican en el rango esperado de -250mV a -300mV indicando que no hay oxígeno disuelto en las soluciones tratadas y además, que las especies en mayor concentración serían CO_2 y CH_4 .

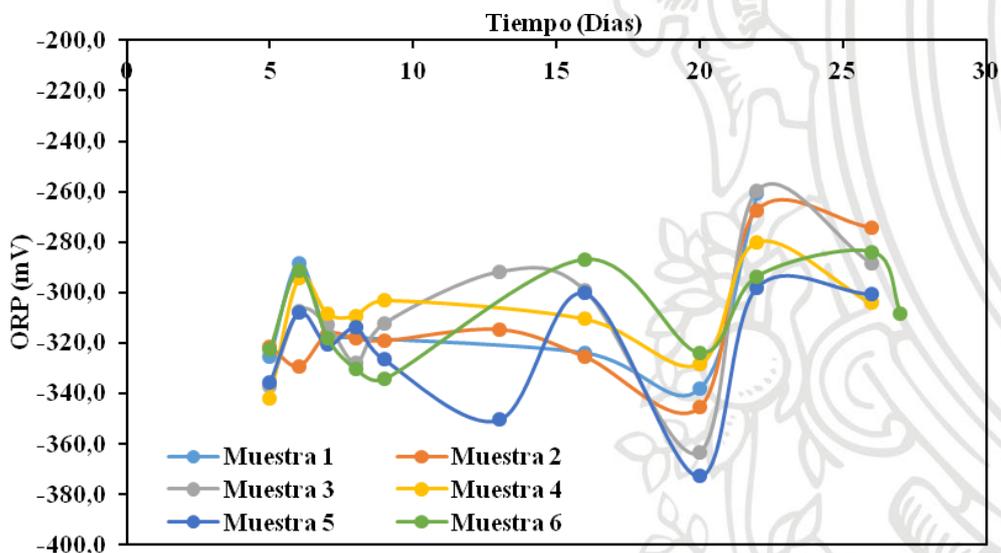


Figura 5. Variación del ORP durante el tratamiento biológico de muestras de avivaje a escala de laboratorio.

○ Evaluación de la variación de la conductividad del sistema:

Los resultados obtenidos respecto a la conductividad de la solución indican que no se presentó un aumento de la salinidad en el medio, por lo tanto, la actividad metanogénica específica de los microorganismos no estaría siendo afectada por el contenido de iones Na^+ en el sistema. La Figura 6 permite observar como la

presencia de micronutrientes en la muestra promueve un aumento en la conductividad, no obstante, no hay afectación sobre la disminución de ácidos grasos volátiles presentes.

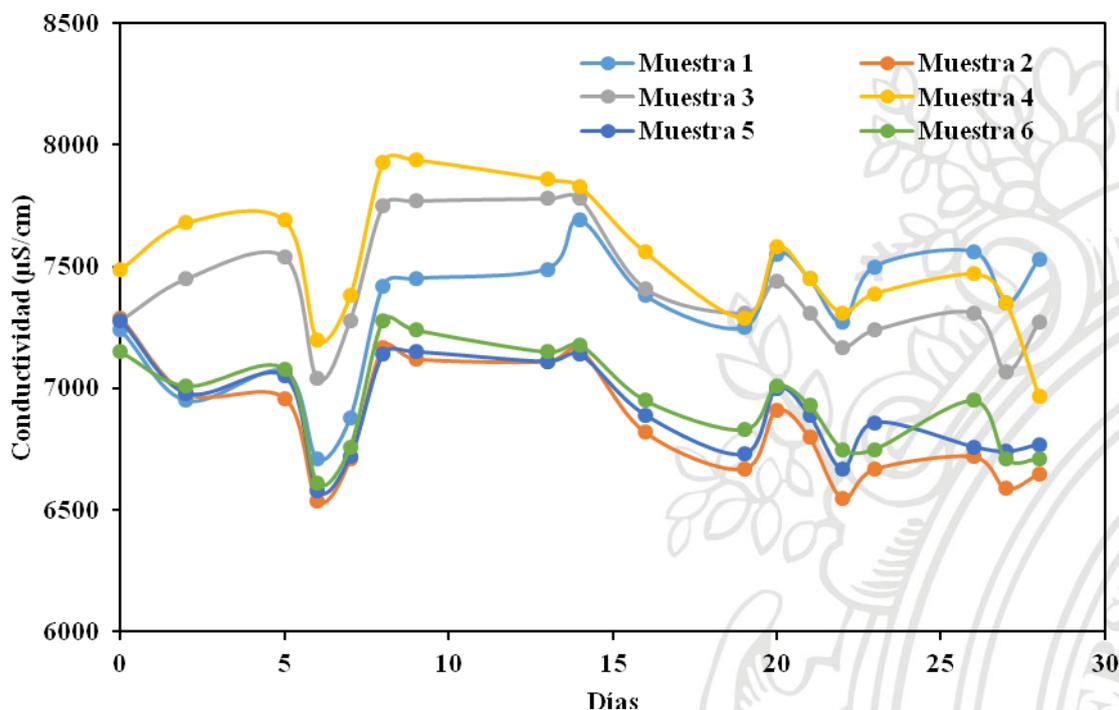


Figura 6. Variación de la conductividad durante el tratamiento biológico de muestras de avivaje a escala de laboratorio.

○ Evaluación de la variación de la alcalinidad del sistema:

La alcalinidad es un parámetro que permite evaluar la estabilidad del proceso. Cuando las condiciones del sistema son favorables las bacterias consumen los ácidos grasos, tan pronto como se producen, evitando su acumulación, garantizando una condición de pH favorable para el crecimiento de microorganismos. En caso contrario, cuando los ácidos grasos volátiles no se consumen a la misma tasa en la que se producen, se presenta una rápida disminución en la alcalinidad y el pH del medio (Pérez & Torres, 2011). Las Figuras 7 y 8 presentan los resultados asociados al seguimiento de la alcalinidad total y la alcalinidad bicarbonática en los sistemas evaluados. En general, ambos gráficos permiten apreciar una leve disminución en el parámetro lo cual estaría asociado a una probable neutralización de ácidos grasos en exceso dentro de cada muestra.

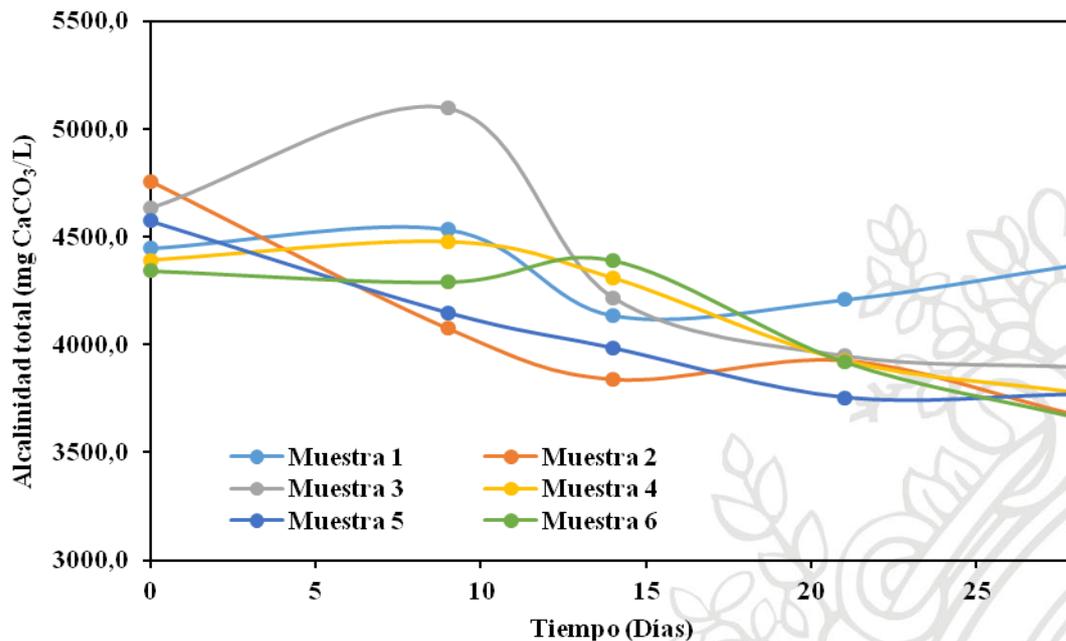


Figura 7. Variación de la alcalinidad total durante el tratamiento biológico de muestras de avivaje a escala de laboratorio.

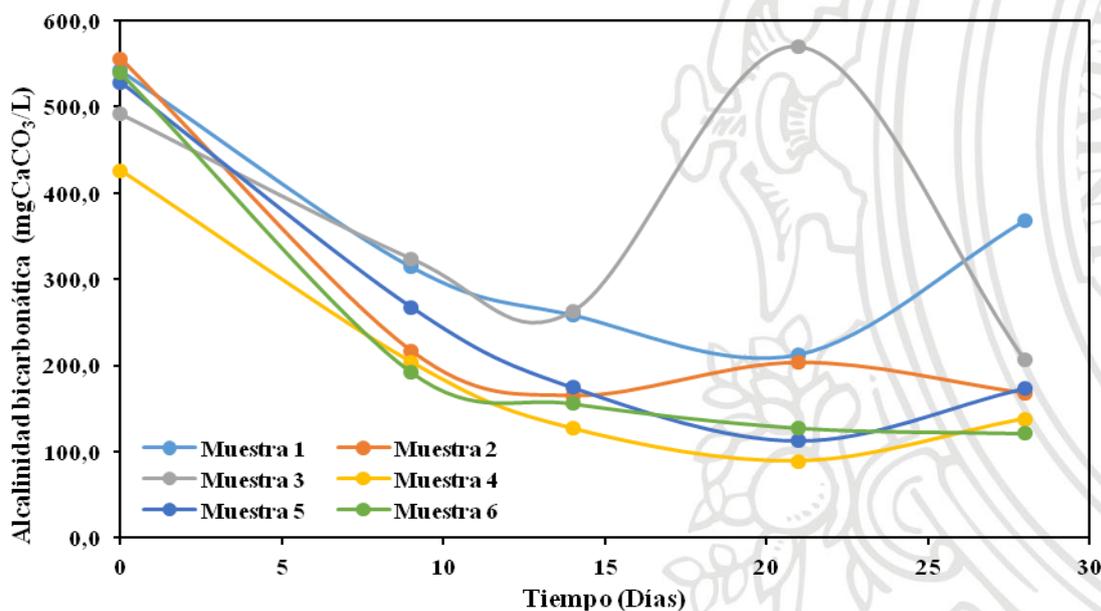


Figura 8. Variación de la alcalinidad bicarbonática durante el tratamiento biológico de muestras de avivaje a escala de laboratorio.

○ Evaluación de la variación de la DQO total del sistema:

Las Figuras 10 y 11 presentan el porcentaje de remoción y tasa de consumo de DQO en los sistemas evaluados, respectivamente.

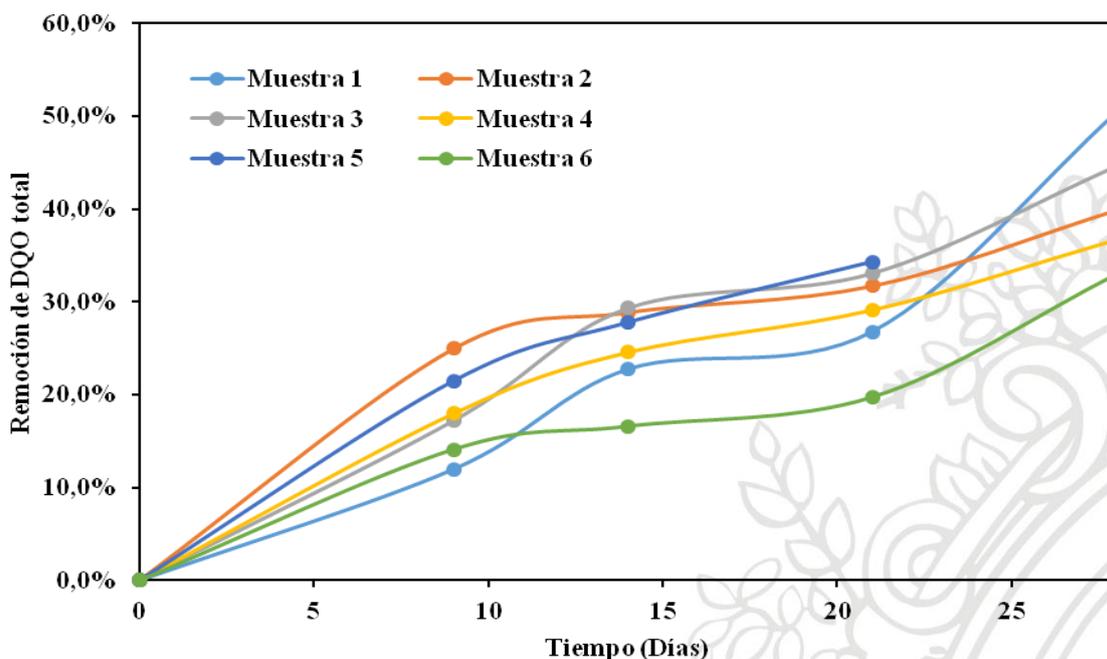


Figura 9. Remoción de DQO total durante el tratamiento biológico de muestras de avivaje a escala de laboratorio.

La Figura 9 indica que la adición de nutrientes y micronutrientes en el sistema no influye en la disminución de la DQO, mientras que, por el contrario, la concentración inicial de avivaje tiene una mayor influencia. Con respecto a la cantidad teórica esperada de remoción de DQO (mayor al 60%), todos los sistemas estudiados se encuentran por debajo de dicho valor.

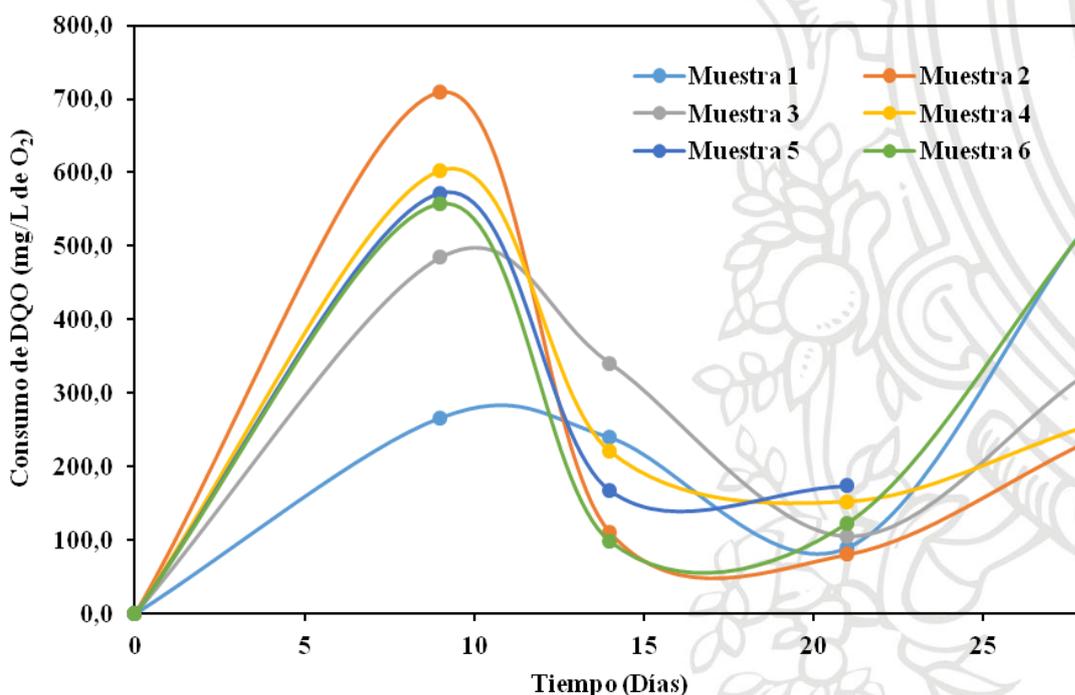


Figura 10. Consumo de DQO durante el tratamiento biológico de muestras de avivaje a escala de laboratorio.

Respecto a la tasa de consumo (Figura 10), se aprecia como al inicio de la prueba hay un mayor consumo de DQO en todas las muestras, luego sigue una fase de consumo lento y finalmente una nueva fase de consumo rápido, en ninguna de las fases se observa que la adición de nutrientes y micronutrientes afecte la velocidad de consumo.

○ Evaluación de la variación del volumen de gas generado por el sistema:

La cantidad de volumen de metano y dióxido de carbono generado se determinó por medio de desplazamiento de columna de agua. Esta medición se realizó como seguimiento a la eficiencia de la degradación anaerobia. En todas las muestras se observa que la cantidad de gases generada es mucho menor a la esperada teóricamente, además se observó que las mediciones son altamente influenciadas por los cambios de temperatura ambiente.

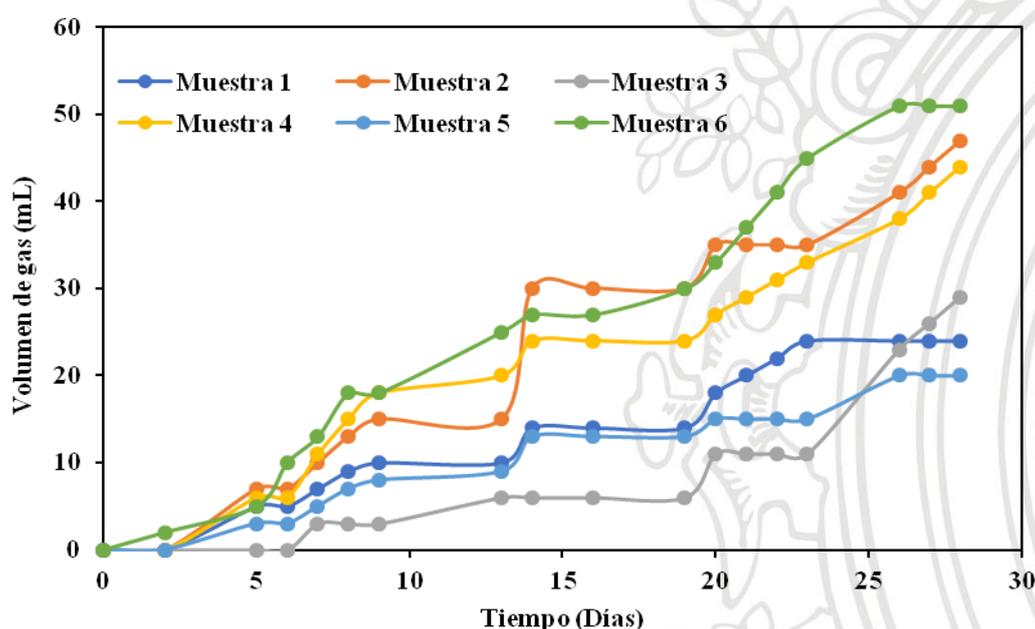


Figura 11. Volumen de gas generado durante el tratamiento biológico de muestras de avivaje a escala de laboratorio

▪ Diseño a escala de PTAR:

La planta de tratamiento actualmente opera a un caudal de 10.0 m³/h, una carga orgánica que ingresa a la planta de 2200 ppm O₂, equivalente a 22 Kg O₂ por hora, con una eficiencia del 80.0% en cuanto a la remoción de DQO bajo un tiempo de retención hidráulica de 24 horas. Así mismo, la planta cumple con todos los parámetros exigidos por la normatividad ambiental, incluyendo DQO, grasas y aceites, pH, sulfuros, metales entre otros.

Anualmente se están generando 38 toneladas de residuos de avivaje en la planta, por lo cual, a la PTAR se adicionarían aproximadamente 4,5 L/h de avivaje y teniendo en cuenta la DQO del avivaje (tabla 2) es de 1.940.385 ppm O₂ la carga adicional para la PTAR generada por los residuos de avivaje sería de 6,75 Kg O₂/h.

De esta manera estaría entrando un total de 28,75 Kg O₂/h a un caudal de 10,045 m³/h, para una DQO de 2875 ppm O₂, según los experimentos realizados la adición del avivaje disminuye la eficiencia de la planta en un 5%, por lo tanto, si el 75 % de la DQO de entrada es removida por las bacterias, la DQO del efluente sería de 718,7 ppmO₂, valor muy cercano al límite impuesto por la norma. Por lo cual la opción de adicionar los avivajes a la planta de tratamiento es viable, pero se pone en riesgo el cumplimiento de este parámetro de normatividad ambiental.

Según los experimentos a escala de laboratorio la adición de macronutrientes podría aumentar la eficiencia de la digestión anaerobia, si se dosificara a la planta 1,89 kg/h de urea según la cantidad de macronutrientes utilizada en el ensayo, anualmente implicaría un costo de 37 millones de pesos, lo que es superior al costo de incineración de los residuos de avivaje, por lo tanto, económicamente la adición de avivaje en la planta no es viable cuando se utilizan macronutrientes.

6. CONCLUSIONES

La caracterización de los residuos de avivajes indica que los componentes son en su mayoría, aceites etoxilados, surfactantes y lubricantes, es decir, compuestos con poca solubilidad en agua, lo que dificulta la degradación anaerobia. En cuanto al pH todos están dentro del rango óptimo para el funcionamiento del sistema biológico de tratamiento. La degradabilidad de este tipo de compuestos según sus fichas técnicas se evalúa bajo la norma OCDE 301 o OCDE 310, y dependiendo de las propiedades físico-químicas de las muestras pueden obtenerse porcentajes de remoción de DQO del 40.0% al 60.0% luego de 28 días. No obstante, la toxicidad depende en gran medida de la concentración de la materia orgánica a remover.

A escala de laboratorio se llevó a cabo la prueba OCDE 301, para evaluar la biodegradabilidad inmediata de los residuos de avivajes, con los porcentajes de DQO removido en la prueba se determinó que los compuestos no poseen biodegradabilidad inmediata, pero no son tóxicos ni inhiben la actividad bacteriana, ya que en las otras variables analizadas como lo son el pH, la conductividad, ORP y la alcalinidad se observa un comportamiento óptimo para el crecimiento de la población bacteriana. Así mismo, las bacterias anaerobias de los lodos de la PTAR utilizadas como inóculos no requirieron de una fase de adaptación lo que facilita su empleo.

Los resultados obtenidos indican que la presencia de macronutrientes aumenta la tasa de consumo de DQO en el tiempo de la prueba y la concentración inicial de avivaje disminuye aproximadamente en un 5% la eficiencia del proceso, respecto al blanco utilizado. La adición de los macronutrientes evita que la eficiencia de la planta disminuya, pero resulta económicamente inviable la adición de estos a la planta.

Finalmente, se infiere que la dosificación de los residuos de avivaje en la PTAR es viable, pero se encuentra en el límite de la normatividad con DQO 718,75 ppm O₂ de 800ppm O₂ establecido como límite máximo de carga orgánica para los vertimientos, las demás variables de salida del efluente siguen cumpliendo con la normatividad ambiental, un pH de 7,8 frente a 9 que indica la norma como límite máximo, sólidos suspendidos totales no se están adicionando con los residuos de avivajes y no hay variación en la temperatura.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, Y., & Abreu, M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos parte 1. Icidca. Atlas, & Bartha. (1993). Parámetros físico-químicos : potencial oxido-reducción, (Figura 1), 1–8.
- Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (2017). Tipos de tratamiento de aguas residuales. https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/tipos-tratamiento-aguas-residuales/#Tratamiento_primario_de_aguas_residuales
- Ortiz, V. (2011). Puesta a punto de una metodología para la determinación de la actividad metanogénica específica (AME) de un fango anaerobio mediante el sistema OXITOP: Influencia de las principales variables experimentales., 1–9.
- Parra, B., Marmolejo, L., Cárdenas, L., Torres, P., Torres, W., Ordóñez, J., & Vásquez, C. (2014). Influencia del pH sobre la digestión anaerobia de biorresiduos de origen municipal. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(2), 553–562. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a27.pdf>
- Pérez, A., & Torres, P. (2011). Índices de alcalinidad para el control del tratamiento anaerobio de aguas residuales fácilmente acidificables. *Ingeniería Y Competitividad*, 10(2), 41–52. <https://doi.org/10.25100/IYC.V10I2.2473>
- Postman, W. (1980). Spin Finishes Explained. *Textile Research Journal*.
- RedJurista. (2017). Resolución 631 de 2015 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Colombia. Retrieved February 4, 2019. https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_631_de_2015_ministerio_de_ambiente_y_desarrollo_sostenible.aspx#/
- Torres, P., Cardoso, A., & Rojas, O. (2004). Mejoramiento de la Calidad de Lodos Anaerobios . Influencia de la Adición de Cloruro Férrico, 23–31.
- Torres, P., & Pérez, A. (2010). Actividad Metanogénica específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. *Ingeniería de Recursos Naturales y Del Ambiente*, 9(1), 5–14. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434001>
- Trujillo, D. (2011). Plantas de procesos físicos, 806(February), 801–806.
- Vásquez, G., & Beltrán, R. (2004). Pruebas normalizadas para la evaluación de la biodegradabilidad de sustancias químicas. Una revisión. *Interciencia*, 29(10), 568–573. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442004001000005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

