

ARTÍCULO ORIGINAL

Sistema de nanoburbujas catalítica para tratamiento de efluentes en curtiembres

Catalytic nanobubble system for treatment of effluents in tanneries

Francisco Aguirre Guzman^{ID 1a}, Amilcar Santos Diego Perez^{ID 2b}, Pierre Poldark Rodriguez Garate^{ID 2c}, Juan Carlos Mariños Legendre^{ID 2d*}, Bertha Beatriz Anhuaman Namoc^{ID 2e}, Maricielo Campos Gutiérrez^{ID 2f}, Miguel Elías Pinglo Bazán^{ID 2g}

¹ Nor Piel S.R.L., Trujillo, Perú

² Instituto Tecnológico de la Producción, Trujillo, Perú

^a norpielsrl@hotmail.com, ^badiego@itp.gob.pe, ^cprodiguez@itp.gob.pe, ^djmarinos@itp.gob.pe,

^ebanhuaman@itp.gob.pe, ^fmcamplos@itp.gob.pe, ^gmpinglo@itp.gob.pe

* Autor de correspondencia

| Recibido: 17/12/21 |

| Arbitrado por pares |

| Aceptado: 29/04/22 |

Resumen

El principal problema que inquieta a las empresas dedicadas al curtido y adobo de cueros, es la adecuación ambiental de las aguas residuales del proceso de pelambre. En línea con esta realidad, el presente sistema desarrollado oxidó con una eficiencia por encima de 95% de iones sulfuros a sulfatos, así mismo, redujo en más de un 85% la demanda química de oxígeno (DQO) reflejada en la carga orgánica, a través del uso de un sistema de tratamiento con nanoburbujas catalíticas permitió cumplir con el DS-003-2002-PRODUCE y el DS-010-2019-VIVIENDA regulados por OEFA y SEDALIB, respectivamente. La metodología empleada constó de un equipo de filtración para remover sólidos suspendidos y sedimentables, luego pasó por un pozo de homogenización para adecuar el valor de pH, sistema de coagulación y floculación para

finalmente llegar al reactor de nanoburbujas con sistema de arrastre. Con una muestra de 1.5 m³/h, se logró reducir los parámetros de evaluación de las normativas, obteniendo una concentración de Sulfuro, DQO, DBO₅, Sólidos Suspensos Totales y aceites y grasas en torno a los 0.6 mg/L, 1491 mg/L, 1086 O₂ mg/L, 58.50 mg/L y 7.62 respectivamente; todo ello bajo el sistema de tratamiento con nanoburbujas catalíticas validado.

Palabras claves: nanoburbujas; oxidación; sulfuro; demanda química de oxígeno; pelambre; curtiduría

Abstract

The main problem that concerns companies dedicated to leather tanning and dressing is the environmental suitability of wastewater from the unhairing process. In line with this reality, the present developed system oxidized with an efficiency above 95% of sulfide ions to sulfates, likewise, it reduced by more than 85% the Chemical Oxygen Demand (COD) reflected in the organic load, to Through the use of a treatment system with catalytic nanobubbles, it allowed to comply with DS-003-2002-PRODUCE and DS-010-2019-VIVIENDA regulated by OEFA and SEDALIB, respectively. The methodology used consisted of a filtration equipment to remove suspended and sedimentable solids, then passed through a homogenization well to adjust the pH value, coagulation and flocculation system to finally reach the nanobubble reactor with drag system. With a sample of 1.5 m³/h, it was possible to reduce the evaluation parameters of the regulations, obtaining a concentration of Sulfur, COD, BOD5, Total Suspended Solids and oils and fats around 0.6 mg/L, 1491 mg/L, 1086 O₂ mg/L, 58.50 mg/L and 7.62 respectively; all this under the validated catalytic nanobubble treatment system.

Keywords: nanobubbles; oxidation; sulfide; chemical oxygen demand; fur; tannery

Introducción

Al cierre del año 2020 la industria de cuero a nivel regional congregó a un promedio de 118 empresas activas según el reporte de la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria, obteniendo un total de 550 empresas a nivel nacional. Empresas que poseen como principal problema común, la calidad del efluente que liberan a la red de alcantarillado, debido a las altas concentraciones de contaminantes que posee, los cuales sobrepasan los valores Máximo Admisibles (VMA) establecidos en

el DS 010-2019-VIVIENDA y los límites máximos permisibles (LMP) del DS 003-2002-PRODUCE, con respecto a la DQO y Sulfuros, propiciando así el inicio de procesos sancionadores y multas con las autoridades fiscalizadoras de OEFA y SEDALIB, poniendo en riesgo la continuidad de sus actividades diarias.

En la actualidad la técnica habitual se basa en realizar tratamientos convencionales con trampa de grasa, sistema de aireación, tratamiento físico-químico (coagulación y floculación) y pozas de homogenización.

Sahid, M. et al. (2017) utiliza la coagulación y la floculación seguidas de un tratamiento biológico para tratar las aguas residuales de la curtiembre. El potasio de alumbré se usó para la coagulación y el Drewfloc 270 se usó para la floculación. Se concluyó que este método de tratamiento fue exitoso en la reducción de la concentración de contaminantes de efluente de curtidores para alcanzar los estándares nacionales de calidad ambiental (NEQS).

Cegarra, D. (2011) aplicó un tratamiento físico-químico a efluentes provenientes de un tratamiento biológico con el fin de remover las fracciones recalcitrantes remanentes del proceso biológico. Trabajó con un proceso de coagulación-floculación, usando 3 coagulantes: amargo de salmuera, cloruro férrico y agua de mar.

Sin embargo, el estado del arte a nivel nacional e internacional ha mostrado interés en el estudio de la influencia de $MnSO_4$ (% de solución de Sulfato de Manganeso), TRH (Tiempo de residencia hidráulica), sobre las variables respuestas: S^{2-} (Sulfuro) y DQO (Demanda Química de oxígeno).

Tatek, T. et al. (2017) estudiaron la importancia de la aplicación de la tecnología con micro y nano burbujas en el tratamiento de las aguas residuales; como conclusiones encontraron que la variable principal de estudio en la remoción de los contaminantes es la presión y el oxígeno disuelto, dando énfasis a la transferencia de masa de oxígeno (gas-liquido) con una agitación producida por el burbujeo en un determinado tiempo. Asimismo, realizaron una comparación de la oxidación con nano burbujas y el burbujeo convencional, con lo que encontraron que con la concentración de oxígeno disuelto aumentó de 100 a 180 mg/L más que lo convencional.

Ulatowski, K. et al. (2019) realizaron un trabajo de investigación donde midieron la concentración de oxígeno disuelto en el agua con la generación de nano burbujas utilizando membranas porosas, realizaron dos experimentos: primero con la muestra cerrada herméticamente y segundo, con la muestra a la intemperie, a lo que se concluyó que el resultado muestra que la estabilidad y el tamaño de las nanoburbujas no dependen si las muestras se dejaron abiertas o cerradas, por lo que se obtuvo que las nanoburbujas tuvieron un diámetro de 250 a 350 nm, lo que ayuda al aumento de la concentración de

oxígeno disuelto en el agua, a menor tamaño de burbuja mayor será la concentración de Oxígeno disuelto.

Khaled A., et al. (2018) determinaron que los métodos convencionales de oxidación con el burbujeo de aire son menos eficientes debido a que causan problemas en el alto consumo de energía, falta de versatilidad y la complejidad del sistema. Realizaron una investigación donde inyectaron aire presurizado mediante el uso de una cerámica tubular con nanoporos las cuales generan nanoburbujas, concluyendo que al aumentar la presión de inyección de aire de 69KPa a 414 KPa se reduce el tamaño de la burbuja de 600nm a 340nm, por consiguiente, aumenta la concentración de oxígeno disuelto en el agua.

Ventura, S. (2017) realizó una investigación para reducir la carga contaminante de parámetros físicos y químicos de las aguas de Sanguaza provenientes de un puesto de mercado en el distrito de Ancón, se utilizaron micro y nano burbujas con una presión de aire de 90 psi y un caudal de aire de 6.60 L/min, lográndose reducir hasta la mitad la carga orgánica.

Aguilar, G. (2016) realizó una investigación sobre la remoción de materia orgánica proveniente del proceso de pelambre utilizando micro - nano burbujas obteniendo como resultados mejora: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) se obtuvo una concentración de 87 mg/L que representa el 78.8% de reducción y Demanda Química de Oxígeno (DQO) tuvo una concentración de 114 mg/L que representa el 76.4 % de reducción. Concluyéndose que la aplicación de esta técnica fue eficiente, de manera que permitió la mejora de las características físicas y la reducción de carga orgánica y biológica de las aguas residuales.

Ayala, R. y Ponte, P. (2019) realizaron un estudio utilizando las micronanoburbujas de aire y el grafeno, para la reducción de la carga orgánica y biológica de afluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ancón. Los resultados de las muestras tratadas del afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Ancón fueron los siguientes: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) se obtuvo una concentración de 87 mg/L que representa el 78.8% de reducción, Demanda Química de Oxígeno (DQO) tuvo una concentración de 114 mg/L que representa el 76.4 % de reducción, Coliformes Termotolerantes tuvo una concentración de 2,900 NMP/100mL que representa el 93.41% de reducción y turbidez tuvo una concentración de 12.4 NTU que representa el 80.11% de reducción. Concluyéndose que la aplicación de esta técnica fue eficiente, de manera que permitió la mejora de las características físicas y la reducción de carga orgánica y biológica de las aguas residuales. No obstante, estas soluciones presentan inconvenientes en su aplicación a nivel piloto e industrial, puesto que suponen una solución de tratamiento de efluentes a nivel laboratorio y de carácter investigativo, sin evidenciar su potencial de escalamiento.

En referencia a lo anteriormente mencionado se ha planteado el siguiente sistema de tratamiento que tiene como objetivo reducir concentración de sulfuro, DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales y aceites y grasas, que permita cumplir con lo establecido en el DS-003-2002-PRODUCE y el DS-010-2019-VIVIENDA.

Material y métodos

La metodología aplicada está dividida en 2 tiempos, el primero la recirculación de sulfuro como buena práctica ambiental, el segundo, consiste en tratar el licor de sulfuro acumulado en el tanque y el agua residual con baja concentración sulfuro, esto permite lograr altas eficiencias de remoción DQO y Sulfuro según lo validado con los resultados de laboratorio obtenidos en el laboratorio de Nor Piel S.R.L. y CITEccal Trujillo. Para ello se realizó un pretratamiento de las aguas residuales, contemplando las siguientes actividades secuenciales (Apéndice 1).

Recirculación de sulfuros

La primera etapa del proceso consiste en la recirculación de sulfuros, en donde en el proceso de pelambre se deja descargar el agua residual en los bananos que recolectan y canalizan el efluente de acuerdo a la figura 1, para transportar el agua al filtro compactador. En el filtro se remueve el pelo del licor de Sulfuro generando una reducción de carga contaminante de 30% de DBO, 20% de DQO y 90% de Sulfuro, luego de ello se retoma las operaciones de encalado.

Figura 1

Sistema de recirculación de sulfuros



Nota. Imagen muestra los bananos situados en cada lado del botal para transportar el agua residual al filtro compactador

Producto de este proceso se muestra en la Tabla 1 la acumulación de sulfuro de acuerdo a cada recirculación realizada.

Tabla 1

Concentración de sulfuro acumulado a través del tiempo

Nº recirculación	Concentración ¹
1 - Proceso 1	684.1 mg/L
2 - Proceso 2	1030.6 mg/L
3 - Proceso 3	1205.9 mg/L

Nota. ¹Parámetro evaluado por el laboratorio de Nor Piel S.R.L.

Filtración

Una vez culminado el proceso de encalado se utiliza el filtro compactador de pelos nuevamente para remover el pelo sobrenadante y se almacena el licor de sulfuro en el tanque elevado para un próximo proceso de pelambre, reduciendo la oferta de sulfuro de sodio en un 0.25%.

Trampa de grasa

El agua residual del eyector de salida del filtro alimenta a la trampa de grasa, la cual cuenta con dos placas de acero inoxidable suspendidas para retener los aceites y grasas y dos placas inferiores para retener sólidos suspendidos y sedimentables. El fluido del agua residual proveniente de la etapa de pelambre pasa por diferentes áreas creando una separación por densidades en cada área.

La Figura 2 muestra la retención de grasas. Se puede verificar el ingreso del agua residual de derecha a izquierda, comprobando la remoción de grasas desde el primer compartimiento.

Figura 2

Trampa de grasa con placas suspendidas para retención de aceites y grasas.



Poza de homogenización

El agua procedente de la trampa de grasa llega a la poza de homogenización donde la finalidad es remover iones sulfuro, y nitrógeno amoniacial que están relacionados directamente con la DBO₅ y DQO, teniendo en cuenta que el sulfuro con valencia -2 es un compuesto reductor, y que además la reacción es reversible pudiendo oxidar a sulfatos y volver a aumentar la concentración sulfuro. Por otra parte, la alta carga de carbono orgánico e inorgánico es necesario ir alimentando con caudal de aire para oxidar a nitrito y nitratos con tiempos altos de retención hidráulica con una concentración de 2 mg oxígeno/L.

Para realizar este proceso se preparó sulfato de manganeso a un porcentaje de dilución del 2.5% en una solución %P/%V, inmediatamente se dosificó 50 ppm, se llenó el pozo de homogenización y oxidación a la capacidad de 20 m³, inmediatamente se encendió el soplador y calibró la presión a 1.5 PSI como condición de operación para la transferencia de oxígeno, así mismo, se verificó que la concentración de oxígeno disuelto se encuentre en un rango de 9 a 11 mg/L.

Figura 3

Poza de homogenización



Nota. La imagen muestra el pozo de homogenización y oxidación en funcionamiento

Coagulación y/o sedimentación de sólidos sedimentables y coloides

Una vez que se ha terminado el proceso de oxidación y llevado a un pH de trabajo de 7.5 se dosifica coagulante (Sulfato férrico al 25%) y floculante (poliacrilamida al 0.1%) en el agua residual previa validación por test de jarras para determinar la dosis exacta, para después ser enviada directamente al tanque de innovación.

Figura 4

Sistema de coagulación en línea



Nota. La imagen muestra el sistema de coagulación en línea

Nanoburbujas catalíticas

Finalizada la coagulación, el agua residual pasa a el reactor de nanoburbujas catalíticas con caudal de tratamiento de 1.5 m³/h, donde se regula la válvula de presión a 15 PSI para llevar a cabo la alimentación al tanque pulmón de presurización y se mezcla con el agua residual que recirculará del reactor nanoburbuja, luego se regula la válvula de salida de presión a 4 PSI del tanque de contacto de presurización. Después de que se genera la retención de flocs en la parte superior del reactor, se activa el barredor para separar la nata sobrenadante que se arrastra al compartimiento trasero. El agua tratada sale de la parte lateral del tanque para descargarse a la caja de registro y almacenada parcialmente para su recuperación.

Tabla 2

Variables de operación para la aplicación de Nanoburbujas

Parámetro	Valor de operación
Presión de salida (Bar)	4
Caudal (m ³ /h)	1.5
Tiempo de contacto de presurizador (segundos)	1.5

Nota. Descripción de las variables de operación para la puesta en funcionamiento del sistema de nanoburbujas catalíticas

Resultados

La remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sulfuro Totales (S⁻²) ha sido excepcional al finalizar el tratamiento, demostrando que logró ser eficaz el tren de tratamiento propuesto al lograr una reducción de 87% para la DQO y 90% sulfuro con un ahorro de 5 m³, cumpliendo así los valores máximos admisibles (VMA) y límites máximo permisibles (LMP) de la normativa ambiental.

Tabla 3

Resultados obtenidos en la muestra de efluente analizada comparado con los máximo y límites de la normativa

Parámetros	7uy -	Valor inicial	Pretratamiento*	Nanoburbuja	VMA ¹	LMP ²
Sulfuro	S- ₂	1194	41.2	0.6	2	3
DQO	mg/L	8631.50	5431	1491	1000	1500

Nota. * Corresponde al proceso de oxidación, homogenización y coagulación en línea.

¹ DS-010-2019-VIVIENDA

² DS-003-2002-PRODUCE

Para una mayor eficiencia en términos de cumplimiento de DQO (Demanda química de oxígeno), es conveniente realizar mayores tiempos de retención hidráulica de 3 días en los pozos de oxidación, para mejorar el rendimiento de consumo de nutrientes presentes en el agua residual.

Tabla 4

Resultados obtenidos en la muestra de efluente analizada para remoción de concentración de DBO_5 , Sólidos Suspensos Totales (SST) y aceites y grasas al inicio y final del tratamiento

Parámetros	Unidad	Valor inicial	Valor final	VMA	LMP
Aceites y grasas	mg/L	104.7	7.62	100	50
DBO_5	O_2 mg/L	10115	1086	500	500
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	3245	58.50	500	500

Nota. Se logra verificar el cumplimiento después de aplicar el tren de tratamiento a los parámetros SST (Sólidos suspendidos totales) y AyG (Aceites y grasas), y con una remoción mayor al 87% en la DQO y 90% mayor a la DBO_5 .

Discusión

El tratamiento de efluentes de curtiduría con el tren de tratamiento propuesto es un procedimiento completo que, a diferencia de las técnicas convencionales, permite tratar las aguas residuales del proceso de pelambre obteniendo una reducción de 87% para la DQO y 90% sulfuro, cumpliendo así los valores máximos admisibles y límites máximo permisibles de la normativa ambiental. La elección del presente tratamiento toma en consideración factores técnicos, económicos y sobre todo ambientales como: posibilidad de recirculación de sulfuro, reducción de parámetros DQO y sulfuro, entre otros.

La alternativa de reducir los parámetros de carga orgánica y biológica proveniente del proceso de pelambre con el uso de micro-nano burbujas ha sido previamente validada y demostró su eficacia pues permite reducir la DQO en 76.4% tal como indica (Aguilar, 2016). La elección de la investigación de apostar por el uso del tren de tratamiento que incluye el reactor de nanoburbujas con sistema de arrastre radica en la repercusión que tienen estos en cuanto a los parámetros de estudio para el proceso de pelambre y evidencia en la reducción de los parámetros de evaluación según el DS 010-2019-VIVIENDA y DS-003-2002-PRODUCE.

En un estudio realizado por Ventura, S. (2017) se evaluó la eficiencia de las concentraciones de los parámetros físicos y químicos de las aguas de Sanguaza, provenientes de los puestos de pescado que se encontraron en el mercado de Ancón, en función al uso de un generador de micro-nano burbujas de aire; trabajados con una presión de 90 PSI y un caudal de 6.60 L/min, se obtuvo como resultados la disminución de la Turbidez en un 78.7%, la DBO₅ en un 45.12% y DQO en un 44.03%. Nuestro estudio evidencia en torno al uso del reactor de nanoburbujas con barredor desnatador automático con caudal de 1.5 m³/h contra el caudal de 0.396 m³/h (6.6L/min) de la investigación de Ventura, además que presenta una reducción de 90% sulfuro, 87% para DQO y 90% DBO₅ obteniendo una concentración en torno a los 0.6 mg/L, 1491 mg/L, 1086 O₂ mg/L y 58.50 mg/L respectivamente.

La investigación previa y los resultados de nuestra propuesta logran finalmente comprobar la disminución de materia inorgánica conocida como DQO, materia orgánica DBO₅, y a su vez, sulfuro.

Por otro lado, Khaled A., et al. (2018) determinaron que los métodos convencionales de oxidación con el burbujeo de aire son menos eficientes debido a que causan problemas en el alto consumo de energía, falta de versatilidad y la

complejidad del sistema. Realizaron una investigación donde inyectaron aire presurizado mediante el uso de una cerámica tubular con nanoporos las cuales generaron nanoburbujas, concluyendo que al aumentar la presión de inyección de aire de 69KPa a 414 KPa se reduce el tamaño de la burbuja de 600nm a 340nm, por consiguiente, aumenta la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Procedimiento que fue replicado en nuestra investigación resultando exitosos los resultados contrastados contra la normativa ambiental vigente.

Conclusiones

Debido al tratamiento del agua residual generada del proceso de pelambre en la curtiembre, se logró reducir los parámetros de Sulfuro, DQO, DBO₅, SST y A&G en torno a los 0.6 mg/L, 1491 mg/L, 1086 O₂ mg/L, 58.50 mg/L y 7.62 respectivamente; todo ello bajo el sistema de tratamiento con nanoburbujas catalíticas validado, permitiendo así el cumplimiento de los valores máximos admisibles del DS 010-2019-VIVIENDA y límites máximo permisibles del DS 003-2002-PRODUCE.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento al Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación - Proinnóvate por el cofinanciamiento para el desarrollo de la presente investigación y por su apoyo en la generación de proyectos innovadores, seleccionando, cofinanciando y acompañando técnicamente a los mismos, para así promover el desarrollo y fortalecer a los distintos actores del ecosistema de innovación, lo cual se reflejará en el incremento de la competitividad y productividad empresarial en el país.

Contribución de autoría

Francisco Aguirre Guzmán, Amilcar Santos Diego Perez, Pierre Poldark Rodriguez Garate, Juan Carlos Mariños Legendre, Bertha Beatriz Anhuaman Namoc y Maricielo Campos Gutiérrez concibieron la idea, diseñaron el estudio, recogieron los de datos y realizaron el análisis e interpretación de datos. Maricielo Campos Gutiérrez realizó la búsqueda bibliográfica, revisó el borrador y elaboró el primer borrador. Juan Carlos Mariños Legendre revisó el primer borrador del manuscrito y elaboró la versión final. Miguel Elías Pinglo Bazán revisión crítica del contenido y aprobación de la última versión.

Conflictos de interés

Ninguno.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, G. (2016). *Remoción de materia orgánica proveniente del proceso de pelambre utilizando micro - nano burbujas en la curtiembre San Pedro, Ate Vitarte, Lima, 2016.* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/71372>.
- Ahmed, K. et al (2018). Generación de nanoburbujas mediante filtros de membrana cerámica: la dependencia del tamaño de la burbuja y el potencial zeta del recubrimiento de la superficie, el tamaño de los poros y la presión del gas inyectado. *Quimiosfera*, Volumen 203, julio de 2018, páginas 327-335. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653518305800>
- Ayala, R. & Ponte, P. (2019). *Reducción de contaminantes orgánicos y biológicos de afluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ancón utilizando micronanoburbujas de aire y grafeno.* Lima, 2019. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46906>.
- Cegarra, D. (2011). *Tratamiento físico-químico en efluentes de una tenería provenientes de un tratamiento biológico.* [Tesis de maestría, Universidad del Zulia]. Academia. https://www.academia.edu/24082865/TRATAMIENTO_FISICO-QU%C3%8DMICO_EN_EFLUENTES_DE_UNA_TENER%C3%8DA_PROVENIENTES_DE_UN_TRATAMIENTO_BIOL%C3%93GICO
- Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. El peruano, de 11 de marzo de 2019, 17-31. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3/>

Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE que aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. El peruano, de 04 de octubre de 2002, 230921-230925. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-valores-referenciales-las>

Shahid, M. et al (2017). Coagulation Flocculation Based Biological Treatment of Tannery Industry Wastewater using Potash Alum and Drewfloc [Tratamiento biológico basado en coagulación y flokulación de aguas residuales de la industria de curtidos utilizando potasio, aluminio y Drewfloc]. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 2017,4 (1):71-75. <http://ejaet.com/coagulation-flocculation-based-biological-treatment-of-tannery-industry-wastewater-using-potash-alum-and-drewfloc/>.

Tatek, T. et al (2017). Micro and nanobubble technologies as a new horizon for water-treatment techniques: A review [Las tecnologías de micro y nanoburbujas como un nuevo horizonte para las técnicas de tratamiento de agua: una revisión]. *Adv Colloid Interface Sci*, 2017, 246:40-51. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28683861/>

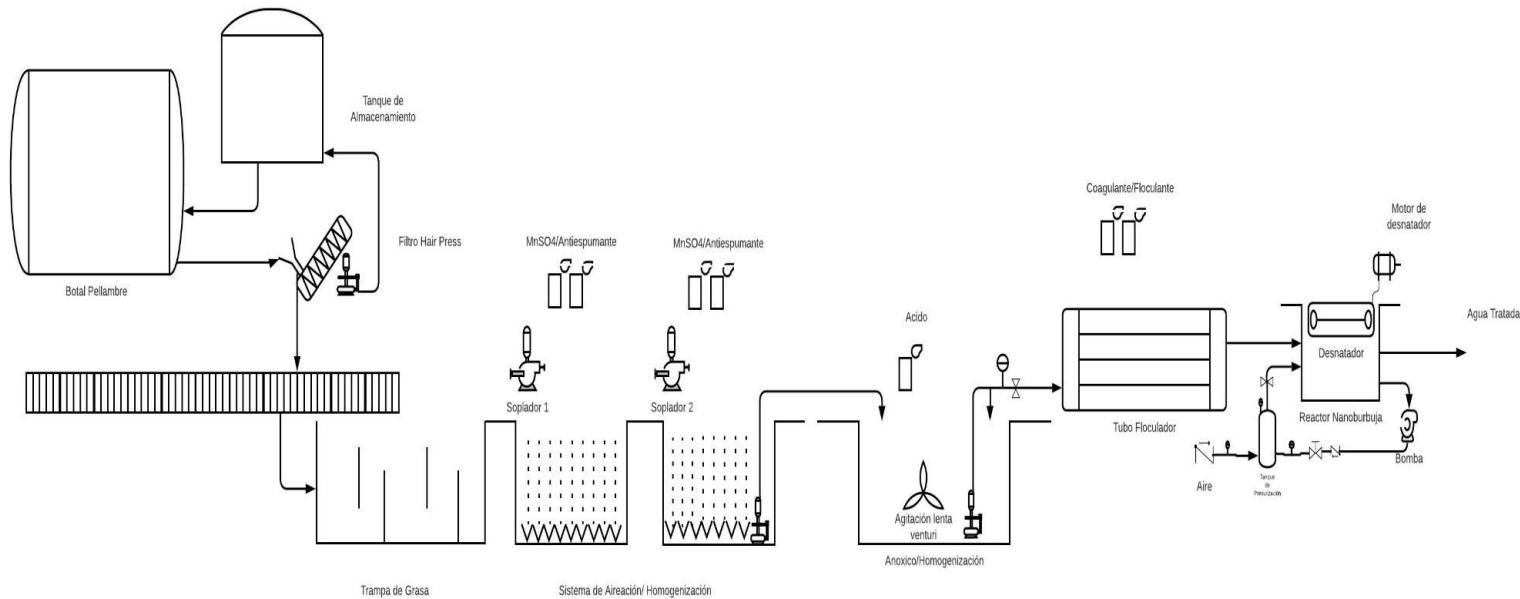
Ulatowski, K. et al. (2019). Stability of nanobubbles generated in water using porous membrane system [Estabilidad de nanoburbujas generadas en agua mediante sistema de membranas porosas]. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 2019, Volume 136, February 2019, Pages 62-71. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0255270118308973>

Ventura, S. (2017). *Tratamiento de sanguaza de pescado del mercado de ancón utilizando micro - nanoburbujas de aire a escala laboratorio*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/14093>.

Apéndice 1. Diagrama de flujo

Figura 5

Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales provenientes de la etapa de pelambre.



Nota. La imagen muestra el proceso gráfico del tratamiento de efluentes indicando las etapas y secuencia.