

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE FLOTACIÓN POR AIRE
DISPERSO CON BURBUJA VARIABLE PARA LA REMOCIÓN DE ACEITES Y
GRASAS EN AGUAS RESIDUALES LÁCTEAS DE LA EMPRESA KLAREN'S**



AUTOR:

KELLER DAVID DIAZ ALMANZA

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR

2025

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE FLOTACIÓN POR AIRE
DISPERSO CON BURBUJA VARIABLE PARA LA REMOCIÓN DE ACEITES Y
GRASAS EN AGUAS RESIDUALES LÁCTEAS DE LA EMPRESA KLAREN'S**

AUTOR:

KELLER DAVID DIAZ ALMANZA

DIRECTOR

HERNANDO CARLOS OÑATE BARRAZA
MAGISTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR

2025

RESUMEN

Las aguas residuales producidas en el efluente de procesos de la industria láctea de Klaren's al contar con una elevada carga contaminante de diferentes tipos de parámetros que causan efectos adversos e irreversibles a los ecosistemas. En este mismo orden de ideas se buscó evaluar un método que permite la reducción de dichos parámetros por medio de un proceso de flotación por aire disperso (DAF) mediante la implementación de un prototipo a escala a laboratorio que permitiese realizar el tratamiento de un volumen de estas aguas contaminantes.

El parámetro de aceites y grasas se presenta como un contaminante a diferentes concentraciones e interactúa con las burbujas de aire produciendo una nata, la cual permite recuperar el agua contaminada. Por lo cual se realizó pruebas por separado de diferentes tamaños de burbujas, grandes, medianas y pequeñas con intervalos de tiempo de 5 minutos hasta llegar un tiempo final de 20 minutos. La comparación partió al tener las condiciones iniciales de diseño y operación, con lo cual fue posible el dimensionamiento y modelado del prototipo; permitiendo obtener los 3 tamaños de burbujas con 2 tipos de Venturi de ½" y ¼", encargados de la inyección del aire para la creación de las burbujas para el arrastre de los parámetros presentes en el agua residual láctea. La medición de las burbujas se logró gracias al software de medición de BubbleAnalyzer.

El proceso de flotación por aire disperso se logró llevar a cabo dentro de las instalaciones con condiciones controladas donde se lograron resultados óptimos al usar un intervalo de tiempo de 15 y 20 minutos, junto a un tamaño de burbuja $>1000 \mu\text{metros}$ donde se logran alcanzar remociones de 93% y 91% de una concentración inicial de 24170 mg/L de aceites y grasas. Con lo que se demuestra el funcionamiento adecuado para la remoción del sistema DAF y como este está influenciado por los parámetros de diseño y operación.

ABSTRACT

The wastewater produced in the effluent of the Klaren's dairy industry processes has a high contaminant load of different types of parameters that cause adverse and irreversible effects on ecosystems. In this same order of ideas, an attempt was made to evaluate a method that allows the reduction of these parameters by means of a dispersed air flotation (DAF) process through the implementation of a laboratory-scale prototype that would allow the treatment of a volume of these contaminated waters.

The parameter of oils and fats is presented as a contaminant at different concentrations and interacts with the air bubbles producing a cream, which allows the recovery of the contaminated water. Therefore, separate tests were carried out with different sizes of bubbles, large, medium and small, with time intervals of 5 minutes until reaching a final time of 20 minutes. The comparison started with the initial design and operation conditions, with which the sizing and modeling of the prototype was possible; This allowed obtaining the 3 bubble sizes with 2 types of ½” and ¼” Venturis, responsible for injecting air to create bubbles to drag the parameters present in the dairy wastewater. Bubble measurement was achieved thanks to the BubbleAnalyzer measurement software.

The dispersed air flotation process was carried out within the facilities under controlled conditions where optimal results were achieved by using a time interval of 15 and 20 minutes, together with a bubble size $>1000 \mu\text{m}$ where removals of 93% and 91% of an initial concentration of 24170 mg/L of oils and fats were achieved. This demonstrates the proper operation for the removal of the DAF system and how it is influenced by the design and operation parameters.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	14
3. OBJETIVOS	16
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
4. MARCO REFERENCIAL.....	17
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
4.2. MARCO TEÓRICO.....	18
4.2.1 Industria Alimentaria	18
4.2.2 Aguas Residuales	18
4.2.3 Flotación Por Aire Disperso	20
4.2.3.1 Flotación Por Aire Disperso Y Flotación Por Aire Disuelto	20
4.2.4 Dispositivos para la generación de Burbujas tipo Flotación por aire Disperso.	21
4.2.5 Tamaño de burbuja y su distribución.....	22
4.3. MARCO CONCEPTUAL	24
4.3.1 Aceites y Grasas.....	24
4.3.2 Sólidos Disueltos Totales.....	24

4.3.3 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	24
4.3.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	25
4.4. MARCO CONCEPTUAL	25
4.3.1 Aceites y Grasas.....	25
4.3.2 Sólidos Disueltos Totales.....	25
4.3.3 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).....	26
4.3.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	26
4.5. MARCO CONTEXTUAL	26
4.6. MARCO LEGAL.....	28
4.7. MARCO INSTITUCIONAL	29
5. MARCO METODOLÓGICO.....	31
5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN.....	31
5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	31
5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	31
5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO	32
5.5. MUESTRA POBLACIONAL	32
5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	32
5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO	32
ETAPA 1. CARACTERIZAR LAS AGUAS RESIDUALES LÁCTEAS DE LA EMPRESA KLAREN´S MEDIANTE LOS INDICADORES DE ACEITES Y GRASAS (A Y G), SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST), TEMPERATURA (T), DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO), TURBIDEZ, PH.....	32
ETAPA 2 ESTABLECER UNA UNIDAD PILOTO A ESCALA LABORATORIO QUE PERMITA SIMULAR LA OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE FLOTACIÓN POR AIRE DISPERSO.	34

ETAPA 3 DETERMINAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA PILOTO POR AIRE DISPERSO MEDIANTE LA VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE BURBUJA PARA LA REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS.....	35
6. ANALISIS Y RESULTADOS	37
6.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES LÁCTEAS DE LA EMPRESA KLAREN’S (GRASAS Y ACEITES, DQO, SST, TEMPERATURA, PH, TURBIDEZ).	37
ETAPA 2 ESTABLECER UNA UNIDAD PILOTO A ESCALA LABORATORIO QUE PERMITA SIMULAR LA OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE FLOTACIÓN POR AIRE DISPERSO.	39
DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA PILOTO POR AIRE DISPERSO MEDIANTE LA VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE BURBUJA PARA LA REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS.....	44
7. CONCLUSIONES	57
8. RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
ANEXOS	66



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Esquema típico de inyector Venturi	22
Figura 2 Diferentes Rangos de Tamaño de Burbuja.....	23
Figura 3 Ubicación del municipio del Cesar en Colombia.....	27
Figura 4 Red Estructural de la empresa Klaren's	29
Figura 5 Logo Empresa Láctea Klaren's.....	30
Figura 6 Efluente de la Empresa Klarens	37
Figura 7 Dibujo por AutoCAD 2025 del Plano Piloto de Sistema DAF, con boquilla intercambiable.....	40
Figura 8 Cabezal con Venturi de ½”.....	42
Figura 9 Puesta en marcha del Piloto.....	42
Figura 10 Cabezal con Venturi de 1/4".....	42
Figura 11 Software GUI Bubble Analyser Windows, Tamaño de Burbuja Grande.....	43
Figura 12 Sistema Piloto De Flotación por Aire Dispero.....	44
Figura 13 Interacción de Tamaño de burbuja respecto al tiempo para los Grasas y aceites. .54	
Figura 14 Valores de pH con respecto al tiempo de los diferentes tamaños de burbuja.	56



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Normativa Legal aplicada al proyecto	28
Tabla 2 Procedimientos fisicoquímicos para la determinación de parámetros.....	33
Tabla 3 Pruebas experimentales con cambios de boquillas Venturi.....	36
Tabla 4 Parámetros medidos In Situ	38
Tabla 5 Valores iniciales de parámetros medidos en laboratorio	38
Tabla 6 Dimensiones del Tanque de flotación.....	41
Tabla 7 Sistema Estabilizado, Parámetro DQO (mg O ₂ /L).....	46
Tabla 8 Análisis de Varianza (ANOVA) para la DQO, tamaños de burbuja respecto al tiempo.	47
Tabla 9 Sistema Estabilizado, Parámetro SST (mg/L).	49
Tabla 10 Análisis de Varianza (ANOVA) para los SST, tamaños de burbuja respecto al tiempo.	50
Tabla 11 Sistema Estabilizado, Parámetro Aceites y Grasas (mg/L).	52
Tabla 12 Análisis de Varianza (ANOVA) para los Aceites y Grasas, tamaños de burbuja respecto al tiempo.	53
Tabla 13 Sistema Estabilizado, Parámetro turbidez (NTU).....	55
Tabla 14 Sistema Estabilizado, Parámetro pH (Unidades de pH).	56



7. CONCLUSIONES

En resumen, los puntos analizados a lo largo de este Proyecto nos llevan a desglosar los distintos resultados encontrados en los diferentes tipos de objetivos que se dieron a desarrollar, por un lado encontramos el resultados de múltiples muestras que fueron objeto de inspección dentro de los laboratorios; arrojando resultados sobre como el agua residual láctea vertida por parte de la empresa Klaren's a los alcantarillados de la municipalidad de Valledupar, Cesar está siendo un gran aportante de carga contaminante encontrando que en caudales promedios 3,4 l/s, se tiene un aporte de un DQO promedio 6150 $mg\ O_2/L$, SST promedio 1100 mg/l, Aceites y grasas promedios 18600 mg/l, turbidez promedio 1300 NTU, donde se puede apreciar que el cumplimiento de la norma de vertidos a los alcantarillados municipales está siendo gravemente violada ya que no cuenta con los tratamientos necesarios. Para ello la tabulación de los múltiples parámetros fue de importancia para entender el comportamiento fluctuante presente en los vertidos, dado los múltiples procesos presentes dentro de la industria láctea estudiada.

La construcción de la unidad piloto a escala laboratorio para permitir simular las condiciones de operación de un sistema de tratamiento de flotación por aire disperso fue la parte más crucial de la investigación ya que con determinadas dimensiones se entendió la cantidad de volumen a tratar dentro de las instalaciones del laboratorio, siendo de importancia la obtención de planos de diseño donde se describiese las medidas a utilizar con precisión y lógica; y entendiendo como la inyección de aire puede variar el diámetro de la burbuja y el alcance del chorro que presenta la boquilla final del proceso de recirculación.

Comprendiendo armónicamente como interactúa la inyección del aire al agua residual láctea dentro del tubo de flotación; como consecuencia el arrastre y creación de nata resultante de los diferentes rangos de diámetros de burbujas expuestas dentro de la experimentación nos arrojaron resultados donde con evidencias gráficas y numéricas se muestra el comportamiento en la remoción de los diferentes parámetros dependiendo el tamaño de la cantidad de burbujas, donde la representación del tiempo hizo parte del proceso de tratamiento evaluado observando como la retención hidráulica de las burbujas es ligeramente afectada con el transcurso de los diferentes intervalos estipulados y dando objeto entender como los diferentes parámetros son especialmente afectados por las condiciones sometidas dentro del sistema piloto.

Por ende, el análisis físico químico de muchas muestras tomadas en intervalos de 5 minutos con sus respectivos triplicados, nos da un conocimiento adecuado de la fluctuación de las aguas residuales las cuales fueron sometidas dentro de este mismo sistema de flotación; por ello mismo la tabulación de los diferentes parámetros para llevar el tratamiento de un sistema dinámico a un sistema estabilizado, el cual la principal prioridad es eliminar esos picos que pudiesen no representar en control de lo que sucede dentro del prototipo.

Cómo resultado encontramos los indicadores de como el diámetro de la burbuja afecta directamente la remoción de cada parámetro, donde para la remoción más eficiente de grasas y aceites encontramos que aquellas burbujas que se encuentren por un valor de $>1000\mu$ serán más eficientes llegando a remociones promedios de hasta el 93% de este parámetro a los 10 minutos de ser expuesta dentro del sistema de flotación por aire disperso, para la DQO el mejor tiempo para la remoción será dentro de los 15 minutos a los cual este siendo sometido el sistema donde presentara valores de remoción promedios de hasta 39% siendo superada levemente por el tamaño de burbujas mediana ($121\mu - 1000\mu$), para los SST encontramos que el rango de tamaño de burbujas grandes actúa rápidamente teniendo remociones promedio de 29% a los cinco minutos pero mostrando poca retención de estos mismos materiales al cabo de cada intervalo de 5 minutos como lo muestra el gráfico 3, llegando a reducirse su efectividad de remoción promedio en hasta un 14%; por otro lado la remoción de la turbidez fue leve o nula en casi todos los casos, esto dado que las aguas residuales lácteas cuentan con altos niveles de sólidos suspendidos y disueltos; lo cual afectaría directamente a esta propiedad física del agua residual donde el sistema de flotación por aire disperso aun siendo moderadamente efectivo con la remoción de sólidos suspendidos, se vería superado con el hecho de no poder reducir la cantidad de sólidos disueltos dentro del agua residual láctea. Por lo que se puede entender que tampoco afectará a propiedades químicas como el pH, ya que en ningún momento de la puesta en marcha del piloto mostró una variación en este parámetro para ningún diámetro de burbuja evaluadas.

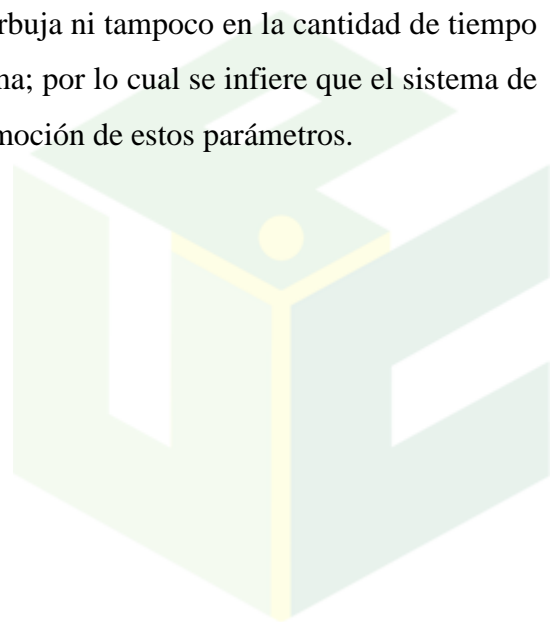
Para mayor seguridad se llevó a bordo todas las pruebas hechas para ser sometidas a un diseño experimental el cual pudiese explicar la significancia que tuviese cada diámetro de burbuja con respecto al tiempo a lo que sucede dentro del sistema de flotación por aire disperso en el cual se dio a conocer los siguientes resultados.

Para la DQO el tamaño de burbuja tiene un impacto enorme respecto a la remoción que dentro del sistema ocurra; donde se puede apreciar que los tamaños de burbujas medianas son las que más remoción hacen a comparación de los otros dos rangos a evaluar; pero por otra parte se encuentra que el tiempo no presenta un gran impacto dentro del sistema de flotación.

Para los sólidos suspendidos totales, encontramos que no hay significancia en el diámetro de burbuja ni en el tiempo para la remoción de este parámetro; pero al evidenciar las gráficas de efectos para el tamaño de burbuja se puede inferir como la remoción de este mismo parámetro se declina hacia diámetros de burbujas pequeñas las cuales ronda los 20 – 120 μ según (Haarhoff & Edzwald, 2001); y para el efecto del tiempo se encontraría que el mejor momento para la remoción de este mismo serían a los 20 minutos ya que aquí se encontraría la menor cantidad de concentración mg por litro de sólidos suspendidos totales.

Para las aceites y grasas, se evidenciaría que el impacto de los diámetros de la burbuja es significativo, mientras que el tiempo tampoco presentaría significancia, por lo cual como se había entendido el rango de burbujas más efectivo para su remoción sería la burbuja grande, donde lo confirmaría el diseño experimental, y guiándose por medio de los gráficos de efecto de tiempo encontraríamos que el menor nivel de concentración presente de este parámetro se encontraría a los 15 minutos.

El diseño experimental representaría que, para la turbidez y el pH, no habría significancia en remoción ni en los diámetros de burbuja ni tampoco en la cantidad de tiempo que este estuviese siendo sometido dentro del sistema; por lo cual se infiere que el sistema de flotación por aire disperso no es eficiente para la remoción de estos parámetros.



8. RECOMENDACIONES

Dado que las aguas residuales lácteas cuentan con grandes residuos sólidos en su interior se hace necesario un tamizado para remover todos estos, ya que pueden llegar hacer fuente de posibles daños para los equipos de impulsión como electrobombas, también pueden llegar a interferir provocando taponamientos dentro del sistema de conducción de tubos. Por lo mismo se debe tener absoluto cuidado con la presión presente, se recomienda instalar manómetros en distintas zonas del prototipo para tener completo conocimiento del correcto funcionamiento.

Teniendo presente las ocurrencias sucedidas dentro de los promedios de remoción se puede llegar a juzgar el hecho de como afectaría la utilización de floculantes o coagulantes a la remoción de las unidades nefelométricas presentes en el agua; donde el principal causante de esta turbidez estaría relacionado directamente con los sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales, los cuales una parte de estos presentaría una dificultad para ser removidos al ser sometidos por sistemas de flotación.

La temperatura juega un papel muy importante dentro de la remoción de diferentes parámetros a evaluar por ello mismo el tener presente el comportamiento con el que salen las muestras de la planta y su manipulación dentro de ambientes controlados como laboratorios será crucial si se espera someter a pruebas donde se incremente la remoción; por lo que la capacidad de arrastre de las burbujas se verá fuertemente afectada por parte de la temperatura presente en el agua evaluada.

El pH es un parámetro químico que no fluctuó al momento de ser sometido al proceso de flotación por aire disperso, dando evidencia que se debe evaluar a mayor detalle una manera en al cual se pueda contrarrestar sus niveles de acidez o alcalinidad, agregando procesos adicionales donde se haga control y análisis de reducción de este.

Al momento de diseñar el tanque de flotación se debe tener muy en cuenta la representación de un borde libre el cual permita retener la creación de nata que se va creando mediante el proceso de flotación generado por la inyección y recirculación del aire disperso a las aguas residuales lácteas, como se sabe estas misma nata es el aglomerado de contaminantes que por el arrastre de las burbujas queda concentrado en la parte superficial de la misma agua; por ello disponer de un espacio a la posible crecida de esta nata es vital para evitar derrames y pérdida de información resultante sobre lo que se pueda presentar.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bermejo Bermejo, H. (2021). *Evaluación del sistema DAF (Flotación por aire disuelto) para eliminación de material suspendido en aguas de industrias lácteas*. Cuenca, Ecuador: Universidad Católica de Cuenca.
- Calderón, J., & Tarazona, M. (2020). *Análisis y evaluación de la incidencia de las microburbujas en el tratamiento de agua, a través del desarrollo y estudio de un sistema de operación continua para tratamiento primario de aguas residuales*. Bogotá: Universidad Antonio Nariño.
- Castanares, L. (30 de 05 de 2023). *Sigma DAF*. Obtenido de <https://sigmadafclarifiers.com/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>
- Chávez, I. (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales. *Dialnet*.
- CORPOCESAR. (2015). *PROCEDIMIENTO ADMINISTRATIVO SANSIONATORO AMBIENTAL CONTRA LA EMPRESA LÁCTEOS DEL CESAR S.A.*
- Edzwald, J. (2010). *Dissolved air flotation and me*. Water Research.
- envitech, C. (2018). *Condorchem envitech*. Obtenido de <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>
- España, V. (04 de 2008). Obtenido de Tomado de: <https://www.scielo.br/j/rca/a/QBYRT6ZJ3vf9fTncQZpcPgm/?format=html&lang=es#>
- García, R., Del Yorena, C., Isabel, M., & Perales, G. (2022). Artículo de aguas residuales de la empresa lácteos del Cesar S.A (KLARENS) en la ciudad de Valledupar. Valledupar. Cesar.
- Genova. (2002). INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.

- Gomez, C., & Finch, J. (2007). *Gas dispersion measurements in flotation cells*. International Journal of Mineral Processing.
- Gonzales Cama, E. (2018). *Microburbujas de aire para el tratamiento del agua residual industrial de la refinería La Pampilla 2018*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Gorain, B., Saferkordi, J. P., & Babazadeh, F. (2012). *Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in an industrial scale flotation cell*. Minerals Engineering.
- Greenberg, A. E., & Trusell, R. R. (1989). *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potable y residuales*. Madrid: Ediciones Díaz De Santos.
- Guembe, J. (2015). *Control de tamaño de burbujas empleando un dispersor externo tipo ventury en un sistema de flotación aire-agua*. Instituto de investigación y metalurgia y materiales.
- Haarhoff, J., & Edzwald, J. (2001). *Modelling of floc-bubble aggregate rise rates in dissolved air flotation*. Water Science and Technology.
- INDUANALISIS. (2019). *DBO Y DQO*. Obtenido de https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo_y_dqo_31
- Klaren's. (2023). *Misión y visión*. Valledupar.
- Kyzas, G. Z., & Matis, K. A. (2018). Flotation in water and wastewater treatment. *Processes*.
- Lenore S., C., Greenberg, A., & Trussel, R. (1992). *métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. España.
- Malagié, M., Jensen, G., Graham, J., & Smith, D. L. (s.f.). *Industria Alimentaria*.
- Marianne, S., & Norman, B. (s.f.). *Industria Alimentaria*.
- Marquez, J. L. (2023). *Diagnostico de empresas de lácteos en el departamento del cesar - Colombia*. Valledupar: AL-Invest 5.0.
- Moreno, M., Cortes, J., Sandoval, I., Zuñiga, C., & Palacio, J. (2017). *Configurar red para una empresa y describir procesos según Scor Model*. Valledupar: UNAD.

- Muñoz. (2017). *Propuesta de un sistema de separación Crudo-Aua por la técnica de flotación por inyección de gas*. Popayán, Colombia: Universidad del Cauca.
- N.M.Pant. (s.f.). *Industria Alimentaria*.
- Núñez, M., Marsiglia, M., Quiroz, L., García, J., & Vilorio, M. (2021). *Implementación de planes de mejoramiento para el clima organizacional empresa lácteos del Cesar Klarens*.
- Poliopetro, F. M.-A., & Alberto, V.-H. (2016). *Modelo dinámico para la gestión del agua en el medio urbano*. Puebla, Mexico: SciELO.
- Reay, D. (1973). *Removal of fine particles from water by dispersed air flotation*. McGill University.
- Rojas, R. (2002). *Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*. CEPIS.
- Saenz, L. (2013). *Diseño del sistema de tratamiento y reutilización del agua residual en la planta de lácteos OASIS*. Ecuador: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- Tirado, D., Gallo, L., Acevedo, D., & Mouthon, J. (2016). *Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea*. Corporación Universitaria LaSallista.
- VALENTE, J. P., PADILHA, P. M., & SILVA, A. M. (1997). Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu-SP. *Eclética Química*, 22, 49 - 67.
- Valledupar, A. m. (16 de 08 de 2023). *Alcaldía Municipal de Valledupar*. Obtenido de <https://www.valledupar-cesar.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Vargas, L. (s.f.). *Capitulo 8 Flotación*.
- W. Adam, & J. (2017). *Well education. Northern plains & mountains*.

Wang, L. (2006). *Separación por burbujas de adsorción y flotación por aire disperso*. Manual de ingeniería ambiental, vol. 1002.



ANEXOS

ANEXO 2 Efluente Empresa Klaren's



Nota: Tomada por el autor, 2025.

ANEXO 1 Muestras refrigeradas In Situ



Nota: Tomada por el autor, 2025.

ANEXO 3 Tanques de 20 litros



Nota: Utilizados para contener los volúmenes necesarios para operar el sistema DAF, Tomada por el autor, 2025.

ANEXO 4 Refrigerador



Nota: Utilizado para mantener la cadena de frío, Tomada por el autor, 2025.