	<p>CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA MOZAMBIQUEÑA: COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS CON EFLUENTES DE CERVECERÍAS DE OTROS PAÍSES</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO DE INVESTIGACIÓN</p>	<p>Nicolau Penicela-Chirinza, Paulino-Vasco Mariano-Muguirrima, Federico León-Zerpa*, Carlos-Alberto Mendieta-Pino</p>	

CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA MOZAMBIQUEÑA: COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS CON EFLUENTES DE CERVECERÍAS DE OTROS PAÍSES

CHARACTERISATION OF WASTEWATER FROM THE MOZAMBIKAN BREWERY: CHARACTERISTIC COMPARISON WITH BREWERY EFFLUENTS FROM OTHER COUNTRIES

Nicolau Penicela-Chirinza¹, Paulino-Vasco Mariano-Muguirrima¹, Federico León-Zerpa^{2*}, Carlos-Alberto Mendieta-Pino²

1 Universidad de Zambeze (UniZambeze), Mozambique.

2 Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (iUNAT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).

* federico.leon@ulpgc.es

Recibido: 12/feb./2024 – Revisando: 12/Mar./2024 - Aceptado: 11/sep./2024 - DOI: <https://doi.org/10.52152/DES11189>

To cite this article: LEON-ZERPA, Federico, CHIRINZA, Nicolau Penicela, MUGUIRRIMA, Paulino Vasco et al. CHARACTERISATION OF WASTEWATER FROM THE MOZAMBIKAN BREWERY: CHARACTERISTIC COMPARISON WITH BREWERY EFFLUENTS FROM OTHER COUNTRIES. DYNA Energía y Sostenibilidad, Jan.-Dec. 2024, vol. 13, n. 1, DOI: <https://doi.org/10.52152/DES11189>

ABSTRACT:

Wastewater from the brewery industry has complex characteristics and is a challenge for environmental engineers in their search for treatment and reuse. The main objective of this study is to compare the physicochemical characteristics of wastewater from the brewery industry in Mozambique and South Africa. The choice is due to the large volumes of water used by the brewery industry in its production processes, as well as the effluent management model that must be adopted. For this study, samples were collected and their physical and chemical parameters analysed. The results were compared with different breweries industries in other countries in the area, the legislation in force in Mozambique and the values estimated in the different articles considered in the literature. With the results obtained, it was possible to characterise the wastewater from the brewery industry in Mozambique in order to find the best method of treating these effluents in a more environmentally friendly way.

Keywords: Environmental management, brewery industries, wastewater, treatment systems.

RESUMEN:


Las aguas residuales de la industria cervecera tienen características complejas y constituyen un reto para los ingenieros medioambientales en su búsqueda de tratamiento y reutilización. El principal objetivo de este estudio es comparar las características fisicoquímicas de las aguas residuales de la industria cervecera de Mozambique y Sudáfrica. La elección se debe a los grandes volúmenes de agua utilizados por la industria cervecera en sus procesos de producción, así como al modelo de gestión de efluentes que debe adoptarse. Para este estudio se recogieron muestras y se analizaron sus parámetros físicos y químicos. Los resultados se compararon con diferentes industrias cerveceras de otros países de la zona, con la legislación vigente en Mozambique y con los valores estimados en los diferentes artículos considerados en la bibliografía. Con los resultados obtenidos, fue posible caracterizar las aguas residuales de la industria cervecera en Mozambique para encontrar el mejor método de tratamiento de estos efluentes de forma más respetuosa con el medio ambiente.

Palabras clave: Gestión medioambiental, industrias cerveceras, aguas residuales, sistemas de tratamiento.

1.- INTRODUCCION

En los últimos años, con el desarrollo de la economía mundial, la escasez de energía y la contaminación ambiental se han convertido en dos de los principales problemas a los que se enfrenta la humanidad. El desarrollo de una combustión eficiente y limpia de la energía fósil, la utilización integral de combustibles renovables y la reducción de la contaminación ambiental se han convertido en requisitos ineludibles para el desarrollo social sostenible [1,2]. La contaminación del agua es uno de los principales problemas a los que se enfrentan las sociedades, que llevan varias décadas degradando el medio ambiente a un ritmo cada vez mayor [3,4]. Las aguas residuales industriales constituyen una presión medioambiental, a pesar de que, en algunos casos, estas aguas son recogidas por una red de alcantarillado local, tratadas en una estación depuradora de aguas residuales urbanas (EDAR) y posteriormente vertidas al medio ambiente [3]. Cabe señalar que la degradación ambiental causada por el vertido de efluentes industriales ha aumentado considerablemente en África y en todo el mundo [4].

La legislación mozambiqueña (Ley nº 18/91) en su Capítulo IV, Sección I, Artículo 51, establece que la contaminación del agua consiste en la acción y el efecto de introducir materiales, formas de energía o la creación de condiciones que, directa o indirectamente,

	<p>CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA MOZAMBIQUEÑA: COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS CON EFLUENTES DE CERVECERÍAS DE OTROS PAÍSES</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO DE INVESTIGACIÓN</p>	<p>Nicolau Penicela-Chirinza, Paulino-Vasco Mariano-Muguirrima, Federico León-Zerpa*, Carlos-Alberto Mendieta-Pino</p>	

impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con usos posteriores o con su función ecológica. El principal objetivo y novedad de este estudio es comparar las características fisicoquímicas de las aguas residuales de la industria cervecera de Mozambique y Sudáfrica. La industria cervecera, a pesar de ser una parte vital de la economía del país productor, consume grandes volúmenes de agua durante los procesos de producción, y posteriormente libera alrededor del 70% de la misma como aguas residuales [1]. La producción de 1 litro de cerveza consume 10 litros de agua y unos 7 litros acaban como aguas residuales. La cantidad de agua utilizada puede ser inferior a las cifras mencionadas en las cervecerías más grandes o si se utiliza tecnología avanzada (2,2-3,3 hL de agua por 1 hL de cerveza), pero la eliminación de las aguas residuales de las fábricas de cerveza sigue siendo un reto importante [5]. Los componentes de las aguas residuales de cervecería, como los granos de levadura sobrantes, producidos en dos etapas principales de la producción de cerveza (elaboración y envasado), son los que más contribuyen a la contaminación ambiental cuando se mezclan con los efluentes [3,4,6]. En términos de composición, las aguas residuales de las fábricas de cerveza tienen una elevada demanda química de oxígeno (DQO), junto con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días, sólidos totales, contaminantes de nitrógeno y fósforo, ácidos grasos volátiles, etc. Sin embargo, las concentraciones de nitrógeno y fósforo dependen del tipo de productos químicos utilizados en la fábrica de cerveza, así como de la cantidad de levadura utilizada en el efluente [7].

Sin embargo, los estudios demuestran que este efluente es peligroso cuando se expone al medio ambiente sin tratamiento previo. Este fenómeno apunta a la necesidad de encontrar mecanismos de tratamiento que conduzcan no sólo a la reducción de estos residuos, sino también a la devolución de agua más pura al medio ambiente, combinada con la reutilización del agua en diversas aplicaciones [8,9]. Los principales problemas medioambientales que plantean las operaciones de las fábricas de cerveza son el consumo de agua, las aguas residuales, la generación de residuos sólidos y subproductos, el uso de energía y las emisiones atmosféricas. Este fenómeno provoca problemas ambientales como la escasez de agua, el crecimiento excesivo de microbios indeseables que causan la pérdida de formas de vida acuática y problemas relacionados con la salud en las comunidades próximas a las zonas de vertido [1,8,9]. Como forma de minimizar la carga contaminante, existen dos tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales, los convencionales y los no convencionales [10]. En el sistema no convencional podemos encontrar la digestión anaerobia [1,10]. La investigación sistemática y un conocimiento más profundo del proceso anaerobio han dado lugar a la digestión anaerobia (DA), un proceso biológico en el que la materia orgánica se convierte en CH_4 y CO_2 se ha convertido en una tecnología más atractiva para el tratamiento de aguas residuales debido a sus bajos costes de capital y de explotación en comparación con otras tecnologías disponibles en las últimas décadas [3,11]. Hoy en día, las técnicas anaerobias se utilizan generalmente en industrias con un alto nivel de materia orgánica soluble y fácilmente biodegradable [3]. Este trabajo pretende aportar nuevos conocimientos sobre las características de las aguas residuales generadas en una fábrica de cerveza de Mozambique. Sin embargo, la caracterización ayudará en el desarrollo y diseño de un sistema óptimo de tratamiento de aguas residuales capaz de reducir significativamente los contaminantes.

El proceso de elaboración de la cerveza emplea una serie de operaciones por lotes para procesar las materias primas hasta el producto final y produce grandes cantidades de aguas residuales [12]. El agua está presente en todas las fases del proceso de producción [5,13]. La producción de 1 litro de cerveza consume 10 litros de agua y unos 7 litros acaban como aguas residuales. La cantidad de agua utilizada puede ser inferior a las cifras mencionadas en las cervecerías más grandes o si se utiliza tecnología avanzada (2,2-3,3 hL de agua por 1 hL de cerveza). La calidad de los efluentes de las fábricas de cerveza depende de varios procesos que tienen lugar en ellas [12]. La mayor cantidad de agua utilizada en las cervecerías se destina a la limpieza y desinfección de la industria cervecera (48%) [5]. Las aguas residuales de las cervecerías tienen un alto contenido de DQO procedente de materia orgánica como azúcares, almidón soluble, etanol, ácidos grasos volátiles, etc. Los estudios realizados sobre las aguas residuales de las cervecerías indican que suelen tener temperaturas que oscilan entre 25 C y 38 C, pero ocasionalmente alcanzan temperaturas mucho más elevadas, los niveles de pH varían entre 2 y 12 y están influidos por la cantidad y el tipo de productos químicos utilizados en la limpieza e higienización, que suelen ser sosa cáustica, ácido fosfórico y ácido nítrico [1,4,5]. Los efluentes de las fábricas de cerveza pueden caracterizarse por las propiedades antes mencionadas, así como por la cantidad de SST, DBO, DQO y la concentración de nitrógeno y fósforo [4].


	<p style="text-align: center;">CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA MOZAMBIQUEÑA: COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS CON EFLUENTES DE CERVECERÍAS DE OTROS PAÍSES</p>	<p style="text-align: right;">Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO DE INVESTIGACIÓN</p>	<p style="text-align: center;">Nicolau Penicela-Chirinza, Paulino-Vasco Mariano-Muguirrima, Federico León-Zerpa*, Carlos-Alberto Mendieta-Pino</p>	

Tabla 1: Representación característica de las aguas residuales por diferentes fuentes subproductos en el malteado [5], oxidación-reducción [7] y dióxido de carbono [12].

Parámetro	Subproductos del malteado	Oxidación-Reducción	Dióxido de carbono
pH	4- 12	4.4 - 12.2	3 - 12
Temperatura (°C)	24- 30	25,3 - 37	18 - 40
Alcalinidad (mg/l)	_ _ _		
Conductividad (µS/cm)	_ 1893 - 6017	_	
TDS (mg/l)	2020 - 5940	1043 - 2572	2020 - 5940
Turbidez (NTU)	187 - 2000	303 - 1039	2901- 3000
Fosfato (mg/l)	2 - 43	_ 10 - 50	
Nitrógeno (mg/l)	16 - 67	13,7 - 106	25 - 80
DBO (mg/l)	1600 - 4000	_ 1200 - 3600	
DQO (mg/l)	1000 - 6000	3447 - 11813	2000 - 6000

Conociendo el nivel de producción de aguas residuales en las fábricas de cerveza y lo peligrosas que son, las estrictas leyes que exigen una eliminación adecuada de las aguas residuales de las fábricas de cerveza y las elevadas tasas por verter aguas residuales al alcantarillado sin tratamiento previo han obligado a la industria cervecera a encontrar nuevas formas de utilizar las aguas residuales [5,12]. Se han incorporado las siguientes medidas:

1. Reducir el uso de agua en el proceso de producción o introducir nuevas tecnologías;
2. Redirigir el agua utilizada para otras actividades;
3. Tratamiento adecuado antes de su vertido al sistema de aguas residuales o al medio ambiente.

Para reducir el consumo de agua, el Instituto Europeo de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC) ha elaborado varias directrices para las fábricas de cerveza [5,14]:

1. Reutilización del agua caliente obtenida del enfriamiento del mosto - el agua caliente se almacena en recipientes aislados térmicamente.


y pueden utilizarse para diversos fines (limpieza, aclarado o calefacción);

2. Reutilización de las aguas residuales del filtro;
3. Reutilización del agua utilizada en el embotellado para la pasteurización;
4. Uso de filtración de flujo cruzado.

En Mozambique hay dos fábricas de cerveza, una en Maputo, la capital del país, y otra en La Riba (centro), ambas propiedad de Cervezas de Mozambique (CDM), filial de SABMILLER, South African Breweries/Miller (SAB Miller), la mayor cervecera de África y la cuarta del mundo. La fábrica de Beira suministra a las provincias del norte y el centro del país las cervezas 2M, Manica, Laurentina Preta y Raiz en botellas de 550 ml. En Beira también se producen 2M y Laurentina Preta de barril. Laurentina era, hasta marzo de 2002, la fábrica de la marca de cerveza más famosa, Laurentina. En mayo de 2002, CDM adquirió Laurentina. Posteriormente se cerró la fábrica de Laurentina, y toda la fabricación, preparación, envasado y distribución de los productos pasó a manos de la fábrica de cerveza Mahon, en Maputo.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de toma de muestras de las aguas residuales de la cervecería se basó en la identificación de un punto convergente (tanque INLET SUMP 100-TK-101) donde se encuentran las aguas en estado bruto, procedentes de las diversas etapas y actividades, entre las que destacan los procesos de fabricación, llenado y logística [15-19]. Las muestras se tomaron durante varios días con el fin de proporcionar una mejor caracterización, y las mismas muestras se analizaron en el laboratorio, seguido de análisis de los principales

	<p>CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA MOZAMBIQUEÑA: COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS CON EFLUENTES DE CERVECERÍAS DE OTROS PAÍSES</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO DE INVESTIGACIÓN</p>	<p>Nicolau Penicela-Chirinza, Paulino-Vasco Mariano-Muguirrima, Federico León-Zerpa*, Carlos-Alberto Mendieta-Pino</p>	

parámetros estándar, a saber: pH, Temperatura, Alcalinidad, Conductividad, TDS, Turbidez, Fosfato, Nitrógeno, DBO y DQO. El análisis de pH, conductividad y TDS se basó en el uso del equipo HQ40d, y los parámetros de temperatura y alcalinidad se analizaron mediante la técnica de valoración [20-27]. El turbidímetro 2100 se utilizó para analizar la turbidez y, por último, los parámetros Fosfato, Nitrógeno, DBO y DQO se analizaron utilizando el equipo DR6000.

La fábrica de cerveza mozambiqueña visitada dispone de un sistema de tratamiento de aguas residuales como el que se muestra en la figura 1:

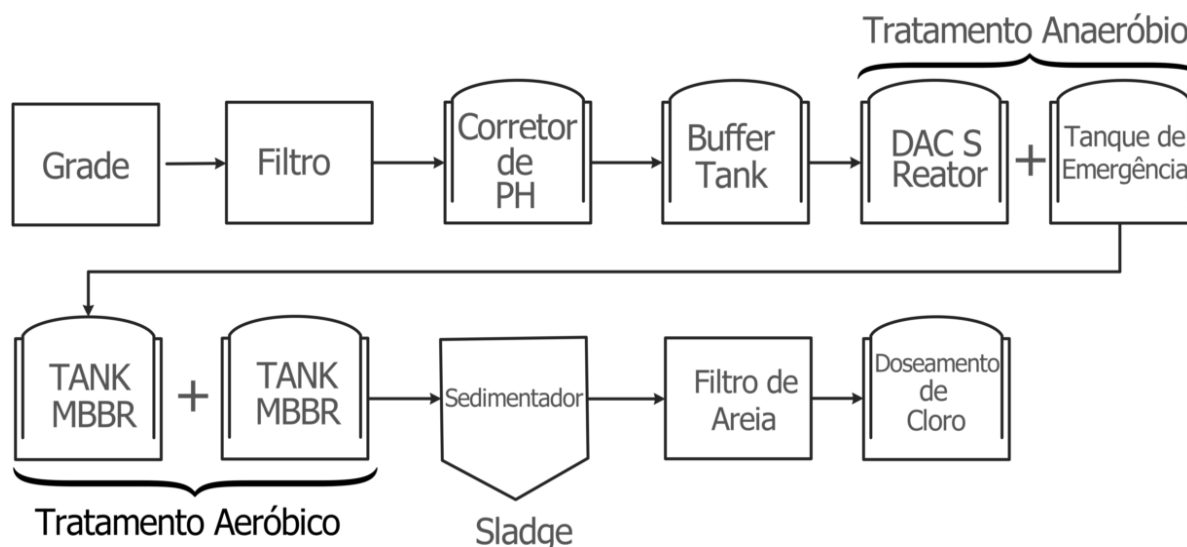



Figura 1 Representación esquemática de una planta de tratamiento de aguas residuales en una fábrica de cerveza mozambiqueña. El agua procedente de las distintas actividades desemboca en un depósito formado por una rejilla para eliminar los sólidos gruesos, tras lo cual pasa por un depósito filtrante para eliminar algunos sólidos cuya granulometría no les permite atravesar los poros. A este tanque filtrante se acopla un contenedor para depositar los sólidos retenidos en el filtro. El sistema dispone de varias válvulas automáticas de control, una de las cuales controla el nivel de pH del agua tras el proceso de filtración, y cuando es elevado dispone de un tanque denominado de calamidad que corrige el pH añadiendo un ácido específico para estabilizarlo. Además de los tanques mencionados, existe un tanque posterior denominado tanque pulmón, seguido de dos tanques con bacterias anaerobias (tanque de emergencia y reactor DACS) donde se realiza el tratamiento biológico anaerobio. El sistema también tiene dos tanques con bacterias aerobias en secuencia (MBBR1 y MBBR2), un decantador con fondo para eliminar los lodos. Tras la sedimentación hay un filtro de arena y un tanque de dosificación de cloro.

	<p style="text-align: center;">CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA MOZAMBIQUEÑA: COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS CON EFLUENTES DE CERVECERÍAS DE OTROS PAÍSES</p>	<p style="text-align: right;">Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO DE INVESTIGACIÓN</p>	<p style="text-align: center;">Nicolau Penicela-Chirinza, Paulino-Vasco Mariano-Muguirrima, Federico León-Zerpa*, Carlos-Alberto Mendieta-Pino</p>	

3.- RESULTADOS

La tabla 2 presenta una evaluación numérica comparativa de los datos obtenidos a partir de los diferentes análisis de laboratorio de las muestras tomadas en la cervecería mozambiqueña para el presente estudio y comparados con los resultados obtenidos en estudios anteriores por diferentes autores.

Cuadro 2: Datos comparativos de los distintos parámetros subproductos en el malteado [5] y la oxidación-reducción [7]

Parámetro	Muestra	Análisis	Subproductos del malteado	Oxidación-Reducción
pH	5,1	- 6,4	3- 12	4,4 - 12,2
Temperatura (°C)	18	- 20	18- 40	25,3 - 37
Alcalinidad (mg/l)	240	- 265	___	___
Conductividad (µS/cm)	2120	- 3480	_ 1893	- 6017
TDS (mg/l)	2335	- 3246	2020 - 5940	1043 - 2572
Turbidez (NTU)	53,42	- 349,92	187 - 2000	303 - 1039
Fosfato (mg/l)	15,12	- 37,22	10 - 50	_
Nitrógeno (mg/l)	22,03	- 35,09	25 - 80	13,7 - 106
DBO (mg/l)	1490	- 3241	1200 - 3600	_
DQO (mg/l)	2670	- 3798	2000 - 6000	3447 - 11813

Según los resultados de laboratorio de las diferentes muestras tomadas en la cervecería mozambiqueña, el efluente presenta un nivel ácido variado con tendencia débil, en referencia a los valores de pH. La variación ácida débil característica de las aguas residuales de la cervecería mozambiqueña tiene su origen en el uso de ácidos fuertes y moderados (ácido nítrico y fosfórico) en el proceso de limpieza e higienización, y se amortigua a partir del drenaje de una base fuerte (sosa cáustica) utilizada en el proceso de llenado.

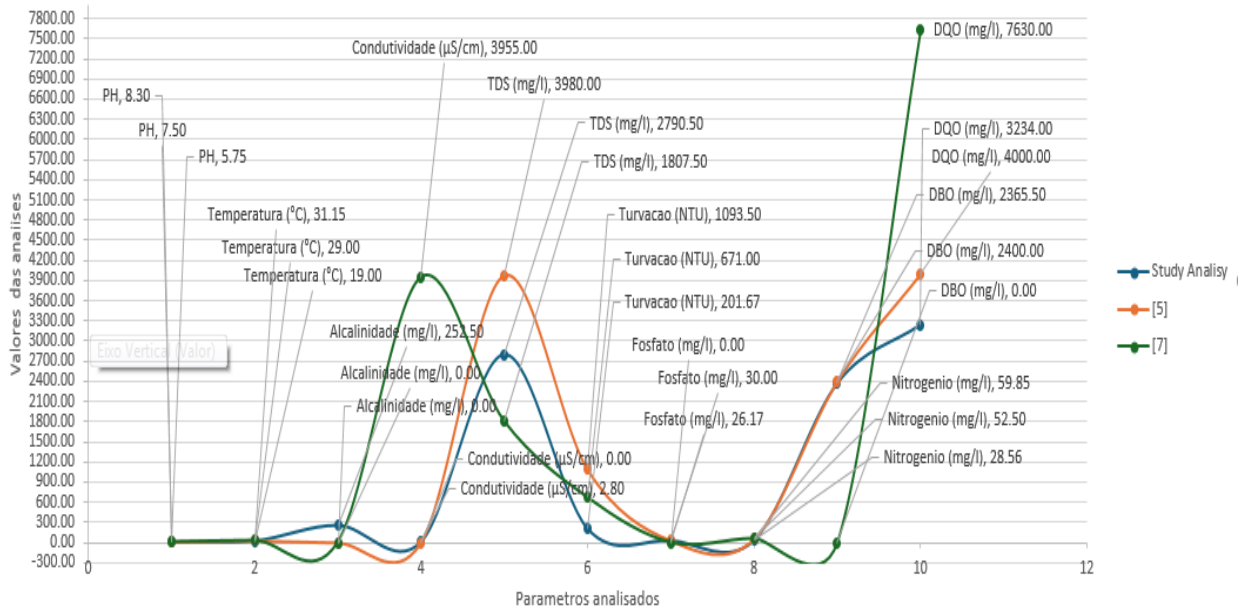
En cuanto al parámetro de la alcalinidad, cabe destacar que representa la capacidad cuantitativa del ácido para ser absorbido sin alterar el pH. Según los datos de la muestra relativos a este parámetro, presenta una gran capacidad de amortiguación y se ve menos afectada cuando se añade algo ácido. En cambio, se resiste a modificar el pH cuando se añade una pequeña cantidad de un ácido o una base fuerte.

En cuanto a la conductividad, el afluente analizado presenta un menor contenido en sales disueltas, aunque éste es directamente proporcional a su conductividad.

En cuanto a los sólidos disueltos, los valores obtenidos indican un índice elevado. Las aguas residuales presentan una elevada concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) debido a la presencia de carbohidratos y proteínas utilizados en la producción de cerveza.

En este estudio se han comparado las aguas residuales de la industria cervecera de Mozambique con otras referencias [5] y [7]. Se muestra que la DQO analizada en Mozambique está en el mismo intervalo que las otras, un poco más baja que ellas. La DBO también se encuentra en el mismo intervalo que las demás. La turbidez es inferior a la de las otras referencias [5, 7], pero sigue dentro del intervalo. En el caso del fosfato y el nitrógeno, también se encuentran en el intervalo de las aguas residuales de la industria cervecera (figura 2).

Figura 2: Evaluación comparativa de los datos medios de los distintos parámetros



En todos los casos, los valores obtenidos por los diferentes autores y el presente estudio son coherentes. No hay grandes discrepancias en los valores, lo que significa que, en lo que se refiere al proyecto de trabajo y a los productos utilizados, existe una gran aproximación.

4.- CONCLUSIONES

Las principales preocupaciones medioambientales que suscitan las operaciones cerveceras son el consumo de agua, las aguas residuales, los residuos sólidos y la generación de subproductos, el uso de energía y las emisiones atmosféricas.


Los componentes de las aguas residuales de las fábricas de cerveza, como los granos de levadura sobrantes, producidos en dos etapas principales de la fabricación de la cerveza (elaboración y envasado), son los que más contribuyen a la contaminación del medio ambiente cuando se mezclan con los efluentes.

En este trabajo, tras estudiar todos los datos tomados y compararlos con las aguas residuales de la industria cervecera de Mozambique y otras referencias [5] y [7], se demuestra lo siguiente:

- La DQO analizada en Mozambique se sitúa en el mismo rango que las demás referencias, un poco por debajo de ellas.
- La DBO también está en el mismo rango que las demás.
- La turbidez es inferior a la de las otras referencias [5, 7], pero sigue estando dentro del intervalo.
- Fosfato y Nitrógeno, también se encuentran en el intervalo de las aguas residuales de la industria cervecera.

REFERENCIAS

- [1] D. K. Amenorfenyo et al, "Microalgae brewery wastewater treatment: Potentials, benefits and the challenges," Int J Environ Res Public Health, vol. 16, no. 11, Jun. 2019, doi: 10.3390/ijerph16111910.
- [2] Z. Luo, D. Xu, Y. Ma, and Q. Cheng, "Experimental study on co-firing of coal and brewery wastewater sludge," Applied Sciences (Switzerland), vol. 10, no. 21, pp. 1-11, Nov. 2020, doi: 10.3390/app10217589.
- [3] M. Vítězová, A. Kohoutová, T. Vítěz, N. Hanišáková, and I. Kushkevych, "Methanogenic microorganisms in industrial wastewater anaerobic treatment," Processes, vol. 8, no. 12. MDPI AG, pp. 1-27, Dec. 01, 2020. doi: 10.3390/pr8121546.
- [4] K. P. Shabangu, B. F. Bakare, and J. K. Bwapwa, "The Treatment Effect of Chemical Coagulation Process in South African Brewery Wastewater: Comparison of Polyamine and Aluminum-Chlorohydrate coagulants," Water (Switzerland), vol. 14, no. 16, Aug. 2022, doi: 10.3390/w14162495.
- [5] A. Karlović, A. Jurić, N. Čorić, K. Habschied, V. Krstanović, and K. Mastanjević, "By-products in the malting and brewing industries-re-usage possibilities," Fermentation, vol. 6, no. 3. MDPI AG, 2020. doi: 10.3390/fermentation6030082.

	<p style="text-align: center;">CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA MOZAMBIQUEÑA: COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS CON EFLUENTES DE CERVECERÍAS DE OTROS PAÍSES</p>	<p style="text-align: right;">Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO DE INVESTIGACIÓN</p>	<p style="text-align: center;">Nicolau Penicela-Chirinza, Paulino-Vasco Mariano-Muguirrima, Federico León-Zerpa*, Carlos-Alberto Mendieta-Pino</p>	

- [6] P. Thanekar and P. Gogate, "Application of hydrodynamic cavitation reactors for treatment of wastewater containing organic pollutants: Intensification using hybrid approaches," *Fluids*, vol. 3, no. 4. MDPI AG, Dec. 01, 2018. doi: 10.3390/fluids3040098.
- [7] S. M. Khumalo, B. F. Bakare, S. Rathilal, and E. K. Tetteh, "Characterisation of South African Brewery Wastewater: Oxidation-Reduction Potential Variation," *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 10, May 2022, doi: 10.3390/w14101604.
- [8] G. Salbitani and S. Carfagna, "Ammonium utilisation in microalgae: A sustainable method for wastewater treatment," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 2. MDPI, pp. 1-17, Jan. 02, 2021. doi: 10.3390/su13020956.
- [9] A. Chakraborty, A. Pal, and B. B. Saha, "A Critical Review of the Removal of Radionuclides from Wastewater Employing Activated Carbon as an Adsorbent," *Materials*, vol. 15, no. 24. MDPI, Dec. 01, 2022. doi: 10.3390/ma15248818.
- [10] C. A. Mendieta-Pino, T. Garcia-Ramirez, A. Ramos-Martin, and S. O. Perez-Baez, "Experience of Application of Natural Treatment Systems for Wastewater (NTSW) in Livestock Farms in Canary Islands," *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 14, Jul. 2022, doi: 10.3390/w14142279.
- [11] S. M. Khumalo, B. F. Bakare, S. Rathilal, and E. K. Tetteh, "Characterisation of South African Brewery Wastewater: Oxidation-Reduction Potential Variation," *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 10, May 2022, doi: 10.3390/w14101604.
- [12] A. G. Rao, T. S. K. Reddy, S. S. Prakash, J. Vanajakshi, J. Joseph, and P. N. Sarma, "pH regulation of alkaline wastewater with carbon dioxide: A case study of treatment of brewery wastewater in UASB reactor coupled with absorber," *Bioresour Technol*, vol. 98, no. 11, pp. 2131-2136, Aug. 2007, doi: 10.1016/j.biortech.2006.08.011.
- [13] F. Younas et al, "Current and emerging adsorbent technologies for wastewater treatment: Trends, limitations, and environmental implications," *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 2. MDPI AG, Jan. 02, 2021. doi: 10.3390/w13020215.
- [14] G. G. Santonja, P. Karlis, K. R. Stubdrup, and T. Brinkmann, "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries," 2010.
- [15] Pradeep K, Poddar, Omprakash Sahu. Quality and management of wastewater in sugar industry. *Water Sci* 2 November 2014.
- [16] Ana Marszałek and Ewa Puszczalo. Effect of Photooxidation on nanofiltration membrane fouling during wastewater treatment from the confectionary Industry. *Water* 2020,12,793, doi:3390/w12030793/ 12 march
- [17] Abou-Elela, S.I.; Nasr, F.A.; El-Shafai, S.A. Wastewater management in small- and medium-size enterprises: Case studies. *Environmentalist* 2008, 28, 289-296 [Google Scholar] [CrossRef]
- [18] Ozgun, H.; Karagul, N.; Dereli, R.K.; Ersahin, M.E.; Coskuner, T.; Ciftci, D.I.; Ozturk, I.; Altinbas, M. Confectionery industry: A case study on treatability-based effluent characterisation and treatment system performance. *Water Sci. Technol.* 2012, 66, 15-20 [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed].
- [19] Sahu, O.P.; Chaudhari, P.K. Electrochemical treatment of sugar industry wastewater: COD and colour removal. *J. Electroanal. Chem.* 2015, 739, 122-129 [Google Scholar] [CrossRef]
- [20] Yotamo, A. F. D., Energy Balance of Boilers and Steam Lines, Monograph, 2009.
- [21] Marques, António E. C. Efficient Steam Generation from Bagasse, Internship Report, December 2014.
- [22] Abdoul Wahab Nouhou Moussa; Boukary Sawadogo; Yacouba Konate; Sayon dit Sadio Sidibe; and Marc Heran. Critical State of the Art of Sugarcane Industry Wastewater Treatment Technologies and Perspectives for Sustainability. *Membranes* 2023, 13, 709. <https://doi.org/10.3390/membranes13080709>.
- [23] José M. F. de Andrade; Kátia M. Diniz. Environmental Impacts of the Sugarcane Agroindustry: Subsidies for Management. Piracicaba September 2007
- [24] Nilton Bruno Silva Batista, André Aguiar, Study of physicochemical parameters and their correlations for dairy effluents in the state of Minas Gerais. XXII Latin American Scientific Initiation Meeting, XVIII Latin American Postgraduate Meeting and VIII Teaching Initiation Meeting - Vale do Paraíba University, 2018;
- [25] Apoorva D, Chandrashekar B. Treatment of Sugar Industry Wastewater by Adsorption method, *International Research Journal of Modernisation in Engineering Technology and Science*. Volume:04/Issue:08/August-2022;
- [26] Muguirrima, P.V.M.; Chirinza,N.P.; Grande,S.C; Mendieta Pino, C. A;León Zerpa,F; Pérez Báez,S.O; Martín, A. R. Tratamiento de efluentes domésticos mediante métodos biofiltro sostenibles. X Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el ámbito de las TIC y las TAC Las Palmas de Gran Canaria, 16 and 17 November 2023.
- [27] Matos,M.P.Effect of Binomial Time-Temperature of sample incubation on Biochemical Oxygen Demand diffusion of wastewater. Master's dissertation. Federal University of Viçosa, Minas Gerais 2012.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es financiado a cargo de fondos propios de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria de 2023, con título PIE "Aplicación de técnicas de aprendizaje activo y colaborativo en laboratorios como entornos de trabajo. Diseño, desarrollo y adaptación de equipos para su aplicación en sesiones de prácticas" y código PIE 2023-60 de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Esta investigación ha sido cofinanciada también por el programa de Cooperación INTERREG V-A, España-Portugal MAC (Madeira-Azores-Canarias) 2014-2020, proyecto MITIMAC (MAC2/1.1a/263).