

Disminución de la contaminación ambiental mediante biorremediación de aguas de lejía provenientes de desamarizado de aceitunas verdes de mesa

Mariela Maldonado^{12*}; Dimitri Lesik³; Paula Giorlando²; Leonel Lisanti²; Adrián Boscarol²; Simón Contreras²; Vanina Enriquez Tellez²; Carla Zaragoza²; Clarisa Marty²; Ariel Marquez², Patricia Bueno⁴; Graciela Affranchino²

Resumen: El propósito del trabajo fue estudiar la disminución de la contaminación ambiental mediante bioestimulación de los microorganismos nativos presentes en aguas de lejía producto del desamarizado de aceitunas verdes de mesa provenientes de una industria mendocina. Se realizaron dos tratamientos el T1 agua de lejía diluida al 50% con agua destilada y el tratamiento 2 agua de lejía diluida al 75%. En ambos tratamientos la bioestimulación consistió en el agregado de sales como fuente de potasio, y nitrógeno y glucosa como fuente de carbono. Los testigos de los mismos consistieron en el agua de lejía a la concentración correspondiente, sin bioestimulación. Se generó aerobiosis por agitación en un agitador orbital a 220 rppm durante 14 días a temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$. Se midió la evolución de parámetros como la DBO₅, DQO, Conductividad eléctrica y azúcares reductores. Se monitoreo el crecimiento de microorganismos nativos mediante recuento total en placa. Los parámetros como DQO presentaron una disminución del 100% mientras que la CE disminuyo alrededor de 20 a 30% en el tratamiento 1 respecto del T2. La DBO inicial disminuyó consistentemente con la Disminución de DQO. Los testigos que solo tenían la aireación, pero en ausencia de bioestimulación reportaron resultados

¹ CONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

² Departamento de Ingeniería Química, UTN FRM, Mendoza, Argentina

³ Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo, Mendoza, Argentina

⁴ Departamento de Irrigación

semejantes a los tratamientos debido posiblemente al crecimiento de microorganismos a expensas de las fuentes nativas de materia orgánica

Palabras claves: bioestimulación, aguas lejías, microorganismos nativos, contaminación, biorremediación

Introducción:

De aquí al 2030, es un objetivo encomiable y perentorio el mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.” (United Nations, 2018).

Muchas industrias alimentarias contribuyen al aumento de contaminación por no tratar sus efluentes. Entre ellas la industria aceitunera **con** volúmenes enormes y cuyos efluentes son altamente contaminantes. Se estima que en fábricas de aceitunas eficientes el volumen generado por cada kilo de aceituna es de 1 a 1,5 litros de agua potable, pero puede llegar a 4 litros/kg en fábricas poco eficientes, con lo cual en el mejor de los casos el volumen mundial de efluentes generados sería de tres millones a cuatro y medio miles de millones de litros al año. Las aguas de lejía son un efluente muy alcalino, de pH 12, alto contenido de DBO₅: 15000mgO/L DQO: 23000 mg/ sólidos disueltos totales: 48,2000 mg/L y con un contenido de NaOH libre de 11g/l aproximadamente (Fernández Llano et al., 2001). La legislación mundial y local prohíbe que estos efluentes se arrojen sin tratamiento. Desde la puesta en marcha de normativas más severas en materia de vertido público de residuos, existe un interés creciente por el desarrollo de nuevas tecnologías y procedimientos para la depuración de estos efluentes. En el caso específico de aguas de lejías (Aggelis et al., 2001) evaluó el desempeño de un proceso anaeróbico, aeróbico y combinado anaeróbico-aeróbico logrando una reducción de materia orgánica del 83.5 and 28% de polifenoles. Siendo este uno de los pocos trabajos hallado con aguas de lejías y existiendo una importante necesidad de hallar una solución para este tipo de aguas residuales, es que el objetivo de este trabajo es verificar la performance de biorremediación de los microorganismos nativos en aguas de lejías de origen local

Materiales y Métodos

Para la caracterización del efluente utilizado en el ensayo se tomó una muestra de cinco litros después de agitar para realizar los siguientes

análisis según APHA (1992): pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, DQO, DBO5, sedimentos sólidos a los 10 min y 2 horas, sólidos solubles totales, sólidos suspendidos fijos, sólidos solubles volátiles, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, sodio, potasio, calcio y magnesio.

Ensayo de bioestimulación:

Se realizaron dos tratamientos por triplicado y su correspondiente testigo. El tratamiento uno (T1) consistió en colocar medio litro de agua de lejía diluida al 50% con agua destilada y el tratamiento 2 (T2) usó agua de lejía diluida al 75%. Luego para fin de bioestimar se realizó en el agregado de las siguientes sales en cada enlemeyer: 2 g/l de PO4HK2, NH4Cl, 0,5 g/L Citrato de sodio, 1 g/L de KCl, 1 g/L de MgSO4 y de triple 15® y 15 g/L de Glucosa anhidra como fuente de carbono. Se generó aerobiosis por agitación en un agitador orbital a 220 rppm durante 14 días. El ensayo se mantuvo a temperatura de 25 °C ± 2. Se midió la evolución de parámetros como la DBO5, DQO, Conductividad eléctrica, azúcares reductores y monitoreo de polifenoles. Además, se monitoreó el crecimiento de microorganismos nativos mediante recuento total en placa. Luego se realizó el aislamiento de los microorganismos por cultivo en placas con la técnica de estrías en superficie hasta lograr el cultivo axénico de los microorganismos nativos viables en agar EMB Britania® para el crecimiento de coliformes, Agar Plate count Britania® para el crecimiento de aerobios mesófilos y agar papa glucosado Britania® para el crecimiento de hongos y levaduras. Todos los medios fueron diluidos con agua destilada y efluente en una proporción de 15 %, 20% a fin de que crecieran los microorganismos viables adaptados al agua de lejía. Se realizó tanto la caracterización fenotípica como molecular de las cepas.

Resultados y Discusión:

La contaminación del agua y los temas relacionados a ella se encuentran regulados por la Resolución N° 52/2020 de la Provincia de Mendoza, que establecen los parámetros que deben tener vertidos industriales y de aguas residuales para reutilización agrícola. La resolución se basa en el principio regulado que pregona "El que contamina paga" (del art. 59). En consecuencia, todos los establecimientos que viertan efluentes al dominio público hidráulico deben obtener la correspondiente autorización administrativa y deben contar con un sistema de tratamiento de efluentes adecuado para cumplir con los requisitos técnicos previstos en la legislación vigente. La autorización mencionada es el "Permiso de Vertido" y es otorgada por la Superintendencia de la Dirección General de Irrigación (DGI). Si los

establecimientos no cumplen con los requisitos necesarios para obtener dicho permiso, deberán suscribir un “Contrato de Gestión de Permisos de Descarga”, mediante el cual se les otorga un plazo para ajustar la calidad de sus efluentes y mejorar sus sistemas de tratamiento. En función de esa resolución se ha analizado el agua de leña la cual se caracteriza en la tabla 1.

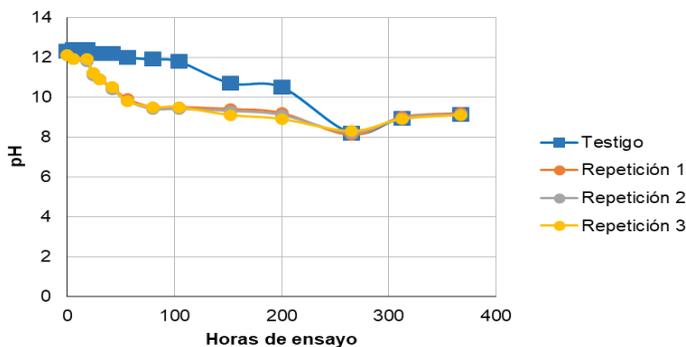
Tabla 1

Características del efluente usado en el ensayo.

Variable	Promedio	Unidad	Resolución 52/20	
			Vertido a cuerpos Receptores	Reuso Agrícola
pH	13,09	-	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Temperatura	25	°C	PERMITIDO	PERMITIDO
Conductividad eléctrica	57533.33	uS/cm	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Oxígeno disuelto	-	mg/l	NO APLICA	NO APLICA
DQO	68150	mg/l	NO CUMPLE	NO APLICA
DBO ₅	50568	mg/l	NO CUMPLE	NO APLICA
Nitratos	0.38	mg/l	PERMITIDO	(según caso particular)
Fosfatos		mg/l	NO APLICA	NO APLICA
Sólidos sedimentables 10 min	0.2	mg/l	NO APLICA	NO APLICA
Sólidos sedimentables 2 horas	51	mg/l	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Sólidos solubles totales	3 8.020	mg/l	NO CUMPLE	NO APLICA
Sólidos suspendidos fijos	36.384	mg/l	NO APLICA	NO APLICA
Sólidos solubles volátiles	1.636	mg/l	NO APLICA	NO APLICA
Cloruros	46	mE/g	PERMITIDO	PERMITIDO
Sulfatos	0	mg/l	PERMITIDO	PERMITIDO
carbonates	6794,23		NO APLICA	NO APLICA
Bicarbonatos	0		NO APLICA	NO APLICA
Sodio	13.500	mg/l	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Potasio	2594	mg/l	NO APLICA	NO APLICA
Calcio	40		NO APLICA	NO APLICA
Magnesio	120	mg/l	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Figura 1:

Evolución de pH tratamiento 1 (lejía al 50%)



Los valores de pH evolucionaron tal se muestran en las figuras 1 y 2 durante el tratamiento aeróbico. Tuvieron un comportamiento semejante tanto en el tratamiento T1 (lejía al 50 %) como en el tratamiento T2 (lejía al 25%) tanto en los testigo como en las repeticiones mostrando una disminución de pH hasta las 200 hs compatible con la posible degradación de materia orgánica que los microorganismos nativos consumieron en presencia de oxígeno generando ácidos por ciclo de Krebs. Esta acidificación transformó un efluente totalmente alcalino y de color marrón oscuro en un efluente más neutro de color más claro. La disminución de pH tornó los efluentes más cercanos a la neutralidad llegando a un valor final de pH= 8.2 en el caso de del tratamiento T1 y 8,3 en el caso del tratamiento T2.

La evolución de pH indicó la actividad microbiana que también se manifestó mediante la degradación de materia orgánica que el efluente tenía (representado por la DQO y DBO₅ que evidenciaron franca disminución) y fue consistente y simultánea manifestándose la presencia de los microorganismos en los recuentos microbianos efectuados (datos no mostrados)

Figura 2:

Evolución de pH tratamiento 1 (lejía al 25%)

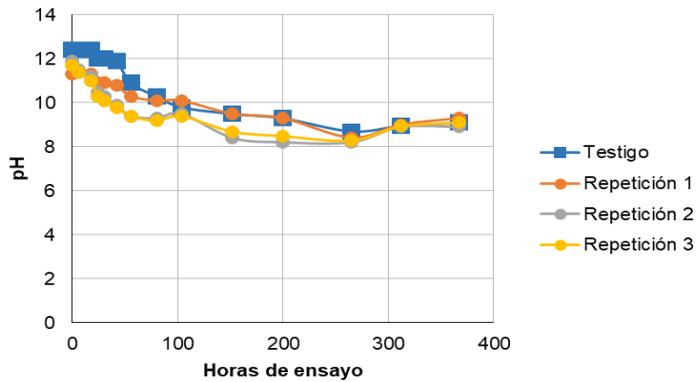
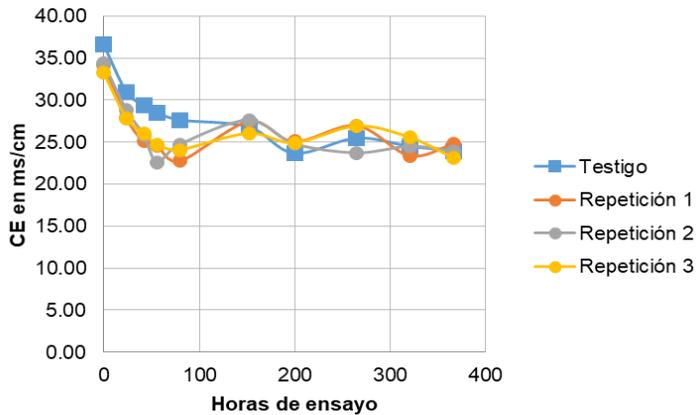


Figura 3:

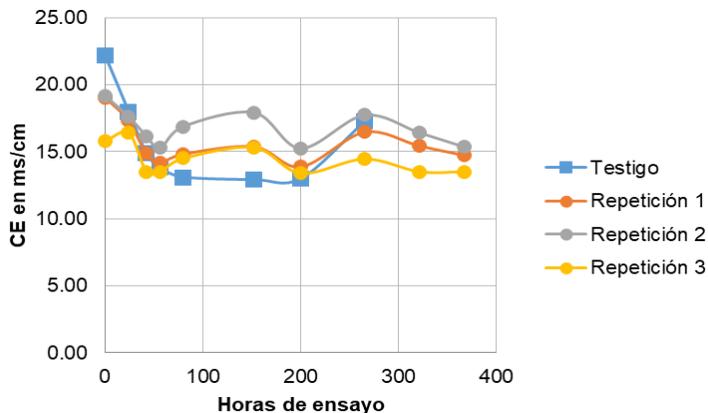
Evolución de Conductividad eléctrica para el tratamiento 1 (lejía al 50%)



Respecto de la Conductividad eléctrica (CE) el efluente inicial presentó un valor muy alto de 57.53ms/cm correspondiente a un 100% de lejía de NaOH, por lo que hace que el mismo no pueda ser vertido a un cauce publico sin tratamiento previo pues la resolución 52/20 de la DGI de Mendoza requiere una CE de 5,5 mS/cm como requisito para ser volcada al cauce público. La figura 3 muestra que el testigo y el tratamiento T1 (lejía al 50%) iniciaron con un promedio de 33,94 mS/cm. Estos reportaron una disminución de la CE durante el ensayo para el testigo que no tenía sales de bioestimulación del 35% y para las repeticiones del T1 en promedio fue del 29% debido a la presencia de sales de bioestimulación. En ambos casos la conductividad disminuyó, pero no logró valores para que el efluente pueda hacerse apto para el vertido en cauce público o para uso agrícola. Esta disminución de la CE es promisorio y también consistente con la hallada por Maldonado et al. (2022) para aguas de maquinado de aceituna donde el tratamiento aeróbico mostro una disminución de la CE del 35%

Figura 4:

Evolución de Conductividad eléctrica para el tratamiento 2(lejía al 25%)



En la figura 4 se muestra la evolución de la Conductividad eléctrica (CE) para el tratamiento 2 (lejía al 25%) y su testigo. Se puede observar que el valor inicial de CE fue de 22,16 mS/cm para el testigo y de

18,03MS/cm en promedio para el tratamiento T2(lejía 25%). No obstante, sus valores disminuyeron hasta las 56 horas para luego mantenerse en valores asintóticos al eje x en promedio de 15.12mS/cm, reportando una disminución promedio del 19%. En el caso del testigo la disminución fue del 31% al no tener sales de bioestimulación, debido a la actividad microbiana. Esta disminución de la CE con el tratamiento aeróbico es consistente con lo hallado por (Maldonado et al., 2022) y son promisorios, aunque para conocer el mecanismo por el cual ocurre la disminución se deberían hacer más investigaciones a futuro.

Tabla 2:

Parámetros del efluente antes y después del tratamiento

Parámetro	Valor previo al tratamiento	Valor posterior al tratamiento		Resolución 52/20		Estado	
		T1 (50%)	T2 (25%)	Max Permitido	Max Tolerable	T1	T2
						(50%)	(25%)
	Lejía 100%						
pH	13,09±0.2	8,2±0.2	7,1±0.2	6,5 a 8,5	5.5 a 9	Permitido	Permitido
DQO (mg/L)	68.150±100	610±100	215±100	75mg/L	250 mg/L	No cumple	Tolerable
DBO ₅ (mg/L)	50.568±100	164±100	15,7±100	30mg/L	120 mg/L	No cumple	Permitido
Sodio (mg/L)	13.500±0.2	5710±0.2	871±0.2	250mg/L	400 mg/L	No cumple	No cumple
Polifenoles (mg/L)	4,56±0.1	2,92±0.1	1,53±0.1	0,05 mg/L	1 mg/L	No cumple	No cumple

En la tabla 2 se describen algunos parámetros críticos antes y después del tratamiento y su comportamiento frente a la normativa local Resolución 52/20 de la dirección General de Irrigación. El valor de pH fue uno de los más afectados por el tratamiento haciendo que el mismo podría ser permitido su vuelco al cauce público, el valor disminuyó de 13 a 8,2 para el tratamiento T1 y 8,3 para el tratamiento T2. La DQO disminuyó considerablemente en ambos tratamientos presentando en ambos casos una disminución del 99%. Si bien ésta, se transformó en un valor permitido según la normativa para el tratamiento T2 cuya lejía inicial estaba más diluida, no ocurrió lo mismo para el tratamiento T1.

La DBO₅ presentó una considerable reducción consistente con la disminución de la DQO del casi 99% transformado el valor del tratamiento T2 en permitido para la normativa, pero no resultado de la misma manera el tratamiento T1.

El sodio disminuyó considerablemente teniendo en cuenta que el mismo en la lejía original tenía un valor de 13500 mgNa/L para el 100% de NaOH. En el caso del T1 el valor de sodio inicial fue de 6750 mg Na/L (lejía la 50%) y con el tratamiento aeróbico bajó a 5710 mg Na/L. En el caso de sodio para T2 (lejía 25%) inicialmente el sodio fue de 3375 mg Na/L, pero luego del tratamiento aeróbico bajó a 871. Esto último es consistente con la bajada de conductividad eléctrica también puesta de manifiesta durante el proceso. La disminución de este mineral podría sugerir por parte de los microorganismos nativos la existencia de mecanismos de bioacumulación de sodio que algunos microorganismos utilizan como estrategia de supervivencia en ambientes tóxicos (González-Hernández J.C. y Peña A (2002). Por último, los valores de polifenoles totales se mantuvieron con poca variación, pues el valor pasó de 4,56 mg/L en la lejía al 100% a un valor promedio de 2,92 mg/L para el T1(lejía al 50%) y 1,53 mg/l para el T2(lejía al25%). Siendo estos últimos uno de los parámetros en donde la legislación se torna más estricta por su toxicidad, se considera que el tratamiento debería completar su degradación o combinarse el mismo con tratamientos con algún mecanismo de oxidación potente como reacción de Fenton que genera radicales hidroxilos que tienen un alto potencial de oxidación (Lucas y Peres 2009), muy utilizada en combinación con otras estrategias de biorremediación.

Conclusiones:

La biorremediación en condiciones aeróbicas resultó ser un tratamiento eficaz para la reducción de parámetros como DQO, DBO₅ y CE. No se encontraron diferencias aparentes en el caso de la bioestimulación ya que los testigos se biodegradaron únicamente en presencia de oxígeno con la fuente de materia orgánica que aportaba el efluente en su composición inicial. Sin embargo, se podría señalar la bioestimulación como un tratamiento que acelera el proceso. Con él obtenemos resultados más rápidos: en menos de 100 horas se produce una reducción de la CE de hasta un 35% en el tratamiento T2 y una caída del pH hasta valores finales de aproximadamente 8,2 - 8,3 en ambos tratamientos. Al parecer esto es importante, porque, aunque tenemos los mismos resultados finales que el testigo en general, pero con la bioestimulación se agiliza el tratamiento. Esto es valioso si

consideramos que las industrias no siempre tienen 300 horas para tratar un efluente de leña y cuanto más rápida es la degradación, más rápido está disponible para otros usos. Los microorganismos nativos fueron efectivos en la reducción de la contaminación, siendo este un tratamiento económico disponible en el propio ecosistema del efluente.

Agradecimientos (opcional):

CONICET: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas

UTN FRM: Universidad Tecnológica Nacional: Escuela Regional Mendoza. CONICET: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.

Referencias:

- Aggelis, G.G., Gavala H.N., and Lyberatos G. (2001). 'Combined and Separate Aerobic and Anaerobic Biotreatment of Green Olive Debittering Wastewater'. *Journal of Agricultural Engineering Research* 80(3): 283–92.
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021863401907322>.
- APHA. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th edition. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington, DC
- Fernández Llano, J., Arreghini, M., Ugarte, S., Herrero, C., Herrero, O., & Maya, S., (2001). Efluentes líquidos del procesamiento de las aceitunas verdes en fresco. Situación en la provincia de Mendoza. *Av. Energías Renov. y Medio Ambient.*, 5, 19-25
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79665> (accessed 09 September 2022).
- Maldonado, M., Baigori, M., Affranchino, G. (2022). 'Biodegradation of organic compounds and decrease in electrical conductivity by native consortium in effluents from the olive industry', *International journal of recycling organic waste in agriculture*, 11(2), 177-187.
doi: 10.30486/ijrowa.2021.1904679.1105
- United Nations (Ed.) (2018). *Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report on Water and Sanitation*. <https://bit.ly/3Plawun>

* * *