

Calidad de los lixiviados producidos en el tiradero a cielo abierto en Tlapacoyan, Veracruz

Miguel Ángel López-Ramírez¹, Leonides Sánchez-Mota¹, Keila Elena Ocaña-Drouaillet¹,
Fernando Alberto Hernández-Guevara², Guadalupe Rodríguez-Martínez², Yasser Armando Aburto-Gutiérrez³

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla

³ Investigador Independiente

Resumen

El basurero a cielo abierto ubicado en Tlapacoyan, Veracruz, México, no cumple con ningún tipo de normativa por lo que se puede considerar un foco de contaminación, ya que los residuos sólidos urbanos se encuentran sin cobertura, causando malos olores y contaminación visual, sin olvidar la presencia de animales nocivos para la salud humana, sin embargo, estos son los menores de los problemas ambientales, ya que dicho sitio de disposición clandestina, produce un líquido color oscuro y nocivo para la biota en general, denominado como lixiviado. Esta investigación se centró en proponer el uso del índice de calidad del agua como indicador de la calidad de lixiviados, utilizando 6 parámetros (pH, DBO₅, Fósforo, Nitrógeno, Coliformes Fecales y Temperatura), con la finalidad de determinar de manera puntual si el líquido es contaminante. Se obtuvo que el ICA del lixiviado tuvo un valor de 44.74 lo cual corresponde a un valor MALO, por lo que dicho líquido puede ocasionar daños al ambiente.

Abstract

The open-air dump located in Tlapacoyan, Veracruz, Mexico, does not comply with any type of regulation, so it can be considered a source of contamination, since urban solid waste is found without cover, causing bad odors and visual contamination, without forgetting the presence of animals that are harmful to human health, however, these are the least of the environmental problems, since said clandestine disposal site produces a dark colored liquid that is harmful to biota in general, called leachate. This research focused on proposing the use of the water quality index as an indicator of leachate quality, using 6 parameters (pH, BOD₅, Phosphorus, Nitrogen, Fecal Coliforms and Temperature), in order to determine in a timely manner if the liquid is polluting. It was obtained that the WQI of the leachate had a value of 44.74, which corresponds to a BAD value, so that said liquid can cause damage to the environment.

Palabras Clave: lixiviado ICA, MALO.

Keywords: leachate, WQI, BAD.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas a nivel mundial es la creciente producción de residuos sólidos urbanos (RSU) y esto es conforme la población mundial ha crecido y ha aumentado su nivel de consumismo por la globalización, convirtiendo a corto plazo estos productos en desechos, que al pasar de los años crearan impactos negativos, no solo en lo estético sino en lo ambiental.

Desde el momento en que se acumula en casa la basura sin ser clasificada, se mezclan los diferentes residuos emanados de la misma (sobrantes de detergentes, materia orgánica en descomposición, productos de la oxidación de metales humedecidos, entre otros). Uno de los subproductos generados de dicha mezcla de basura se convierte en un fluido que se denomina: lixiviado, el cual se clasifica de acuerdo al tiempo de vida del

mismo, y cuya composición es difícil de establecer como tal, pues esta dependerá de la combinación de las cantidades de uno u otro residuo contenidos en determinado lote de desechos.

Debemos resaltar, que resulta prometedor apostar en la clasificación de residuos desde el hogar, oficinas, negocios diversos y empresas, pues de esta manera se reduciría de forma decisiva el contenido de contaminantes tóxicos en la composición de los lixiviados, pues no debemos perder de vista que, en los grandes tiraderos urbanos, estos terminan filtrándose en los mantos freáticos, o bien, al evaporarse el contenido acuoso, los restos sólidos generarán contaminación en el aire.

Por estas razones, entre otras más, es necesario considerar el tratamiento de los lixiviados, de tal manera que se amortigüe su impacto contra el ambiente y la salud del hombre (Martínez-López et al., 2014).

Lixiviados

Los lixiviados son fuente de sustancias químicas y biológicas altamente tóxicas, que pueden generar perjuicios en la salud humana y el ambiente (Raco et al., 2013); el mayor impacto ambiental está asociado a la contaminación de fuentes de agua superficial y subterránea (Pablos et al., 2011). Generalmente, los lixiviados se componen de una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos, que pueden ser clasificados en cuatro grupos (Kjeldsen et al. 2002; Wiszniowski et al. 2006; Aziz et al. 2010):

1. Materia orgánica disuelta (DQO, COT, AGV, ácidos húmicos y fúlvicos);
2. Macrocomponentes inorgánicos (Ca, Mg, Na, K, NH_4^+ , Fe, Mn; Cl, SO_4 , HCO_3^-);
3. Metales pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn);
4. Compuestos xenobióticos (hidrocarburos aromáticos, fenoles, alifáticos clorados, pesticidas, plastificantes).

Otros compuestos pueden estar presentes en los lixiviados (boratos, sulfuros, arsenato, selenato, Ba, Li, Hg, Co), pero, normalmente, en concentraciones muy bajas (Ramírez-Sosa et al. 2013).

En un mismo relleno sanitario es común encontrar áreas o celdas de diferentes edades, lo que genera lixiviados de diferente composición (Ragle et al. 1995; Pablos et al. 2011). Adicionalmente, la composición de los lixiviados varía entre diferentes rellenos sanitarios, dependiendo, principalmente, de factores, como la composición y la etapa de degradación de los RSU y la tecnología o tipología de relleno (Kjeldsen et al. 2002). De acuerdo con diversos autores (Kang et al. 2002; Kulikowska y Klimiuk, 2008; Renou et al. 2008; Shouliang et al. 2008), los lixiviados se pueden clasificar en tres grupos, de acuerdo con el tiempo de operación del relleno sanitario y, particularmente, de la celda del relleno, de la cual, provengan (jóvenes < 5 años; intermedios 5-10 años y maduros > 10 años de operación). En general, el grado de biodegradabilidad de los lixiviados es inversamente proporcional a su edad, siendo más biodegradables los jóvenes y menos los maduros (Fátima et al. 2012; Ramírez – Sosa et al. 2013), por esta razón, la determinación de la cantidad y la composición de los lixiviados son un paso esencial en el desarrollo de sus sistemas de gestión (AbuQdais et al. 1997; El-Fadel et al. 2002), incluida la identificación y la selección de estrategias de tratamiento adecuadas (Shouliang et al. 2008) y a pesar de que la composición es variada, hay autores como Tchobanoglous et al. (1994) que ha clasificado alguna de sus características como se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Calidad de los lixiviados

Parámetro	Vertedero nuevo	Vertedero viejo
	Rango (mg L ⁻¹)	Rango (mg L ⁻¹)
DBO ₅	2 000-30 000	100-200
COT	1 500-2 0000	80-160
DQO	3 000-60 000	100-500
SST	200-2 000	100-400
Nitrógeno orgánico	10-800	80-120
Nitrógeno amoniacal	10-800	20-40
Nitratos	5-40	5-10
Fósforo total	5-100	5-10
Ortofosfatos	4-80	4-8
Alcalinidad	1 000-10 000	200-1 000
pH	4.5-7.5	6.6-7.5
Dureza total como	300-10 000	200-500
Calcio	200-3 000	100-400
Magnesio	50-1 500	50-200
Potasio	200-1 000	50-400
Sodio	200-2 500	100-200
Cloro	200-3 000	100-400
Sulfatos	50-1 000	20-50
Hierro total	50-1 200	20-200

Calidad del agua

Como se puede observar en los apartados anteriores, uno de los principales problemas de los lixiviados son su variada composición química, las cuales impiden darles un buen tratamiento y tienden a contaminar las aguas superficiales y subterráneas cuando son producidos en sitios de disposición final no controlados como basureros a cielo abierto o rellenos sanitarios abandonados, impacto de manera negativa a la biota y al ambiente sobre todo en los bienes nacionales de índole acuático. A continuación, hablaremos del índice de calidad del agua, el cual nos indica si un cuerpo está contaminado.

La calidad del agua (ICA), es un término ampliamente usado. Sin embargo, la cuantificación científica resulta importante y esta es una estrategia básica en el desarrollo de las bases científicas para el manejo de los recursos hídricos, (Hakanson et al., 2000). El término del manejo óptimo de los recursos requiere estándares predefinidos de calidad integral de agua, como componente de los criterios de optimización (Straskraba y Gnauck, 1985).

El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que, en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creo y diseño un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de comparar lo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Para la determinación del “ICA” interviene 9 parámetros, los cuales son:

Coliformes Fecales (NMP 100 mL⁻¹)
pH (en unidades de pH)
Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg L⁻¹)
Nitratos (NO₃ en mg L⁻¹)
Fosfatos (PO₄ en mg L⁻¹)
Cambio de la Temperatura (en °C)
Turbidez (en FAU)
Sólidos disueltos totales (en mg L⁻¹)
Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

En general, el grado de biodegradabilidad de los lixiviados es inversamente proporcional a su edad, siendo más biodegradables los jóvenes y menos los maduros (Fátima et al., 2012; Ramírez-Sosa et al. 2013), por esta razón, la determinación de la cantidad y la composición de los lixiviados son un paso esencial en el desarrollo de sus sistemas de gestión (Abu-Qdais et al. 1997; El-Fadel et al. 2002), incluida la identificación y la selección de estrategias de tratamiento adecuadas (Shouliang et al., 2008). En el presente estudio, se propone utilizar el índice de Brown como un indicador de la calidad del lixiviado.

2. METODOLOGÍA

Características del sitio

Se realizaron muestras simples de los lixiviados procedentes del sitio de disposición final no controlado durante el periodo comprendido entre septiembre y noviembre de 2021, ubicado en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz, México, al costado de la carretera Tlapacoyan-Plan de Arroyos, en la zona 14Q 688 949.04 m E y 2 207 991.00 m N, se encuentra a 200 m del río Alseseca, afluente del río Nautla. Además, está rodeado de suelo, principalmente suelo agrícola destinado a cultivos comerciales de cítricos y musáceas. Una de las principales características que se pueden observar en la figura 1 el sitio destinado para los residuos marca una coloración arenosa rodeada de vegetación.



Figura 1. Sitio de disposición final no controlado en Tlapacoyan, Veracruz (México)

Dicho sitio no tiene ningún control por lo que los residuos se encuentran esparcidos por todo el lugar. Así mismo, se cavan depósitos, a manera de métodos de contención clandestinos, sin membranas de retención (figura 2). En estos depósitos se colocan los desechos, los cuales no son cubiertos; por lo tanto, se generan los lixiviados que esparcen por el sitio y deterioran la biota de los alrededores.



Figura 2. Depósito clandestino de deposición de lixiviados

Características y lavado de los envases

Para el muestreo, se emplearon envases de polietileno de alta densidad, esto para evitar que el envase sea, en su caso, corroído por el lixiviado y al mismo tiempo que este no se contamine con algún residuo que puedan contener los recipientes.

Los envases empleados para las tomas de muestras, fueron previamente lavados con una solución de ácido nítrico (HNO_3) al 2 % para evitar contaminación externa de metales pesados.

Procedimiento de muestreo

La toma de muestras se llevó a cabo siguiendo el proceso establecido en la norma mexicana NMX-AA-003-1980 (1980), adecuándola a las características del sitio, por ejemplo, utilizando un extensor de 1 a 2 m de largo para la toma de muestras profundas.

Métodos de análisis

Respecto los métodos de experimentación de los parámetros se realizaron por triplicado y se analizaron de acuerdo a las siguientes normas establecidos en la tabla 2:

Tabla 2. Metodología de laboratorio

Parámetro	Normativa
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016 (2016)
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2013 (2013)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	NMX-AA-028-SCFI-2001 (2001)
Fosforo	U. S. Environmental Protection Agency ([U. S. EPA] 1993, agosto)
Nitrógeno total	Cálculo
Coliformes fecales	NMX-AA-042-SCFI-2015 (2015)

Índice de calidad del agua

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la tabla 3:

Tabla 3. Clasificación de la calidad del agua

Calidad del agua	Color	Valor
Excelente	Azul	91 a 100
Buena	Verde	71 a 90
Regular	Amarillo	51 a 70
Mala	Naranja	26 a 50
Pésima	Gris	0 a 25

Para calcular el Índice de Brown se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICA_a) o una función ponderada multiplicativa (ICA_m). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue:

$$Ecuación 1 \dots ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * W_i)$$

$$Ecuación 2 \dots ICA_m = \prod_{i=1}^9 Sub_i^{W_i}$$

Donde:

W_i : Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub_i : Subíndice del parámetro i .

Los pesos de los diversos parámetros son:

Tabla 4. Pesos de los parámetros de la calidad del agua

i	Sub_i	W_i
1	Coliformes Fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO ₅	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos totales	0.08
9	Oxígeno Disuelto	0.17

Derivado a que en esta presente investigación se realizaron solo los primeros 6 parámetros se propone la siguiente adecuación:

Tabla 5. Parámetros de la calidad del agua adecuados

i	Sub_i	W_i
1	Coliformes Fecales	0.22
2	pH	0.18
3	DBO ₅	0.15
4	Nitratos	0.15
5	Fosfatos	0.15
6	Temperatura	0.15

3. RESULTADOS

Parámetros fisicoquímicos en lixiviados del sitio no controlado

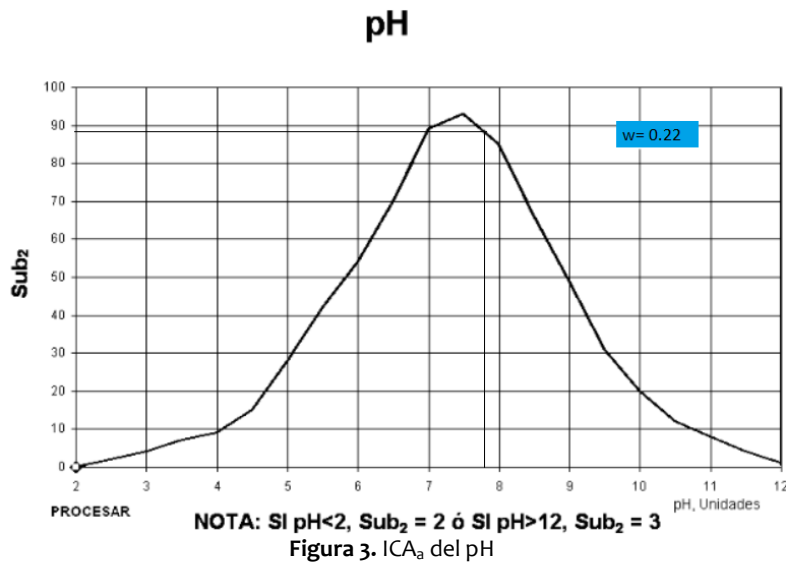
Los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos, se obtuvo lo siguiente:

Tabla 6. Resultados de la caracterización

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3	Media	Rango
pH	UpH	7.8	7.8	7.8	7.8	-
Temperatura	°C	28	28	28	28	-
DBO	mg L ⁻¹	24.965	27.541	26.694	26.4	±13.62
Fósforo	mg L ⁻¹	16.598	18.564	16.105	17.089	±1.0622
Nitrógeno total	mg L ⁻¹	152.759	152.759	152.759	152.759	-
Coliformes Totales	NMP 100 mL ⁻¹	>2 400	>2 400	>2 400	>2 400	-

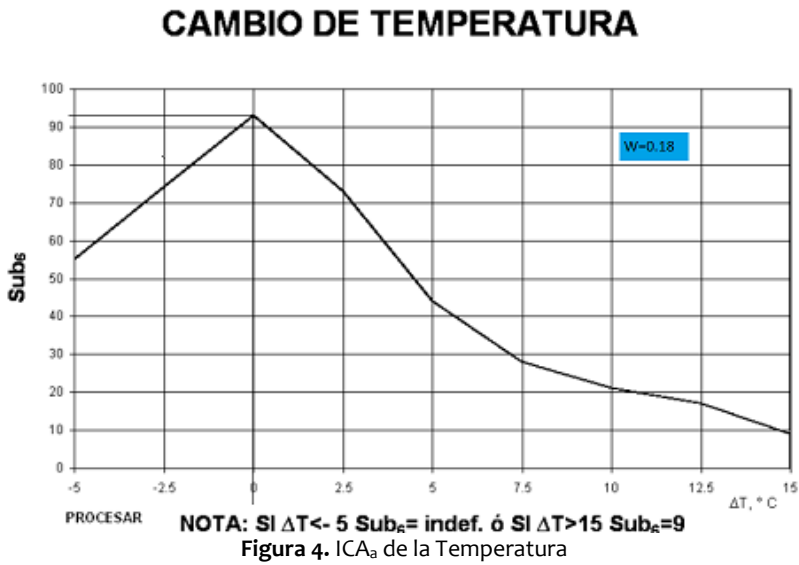
Índice de calidad del agua

pH



$$ICA_a = (89)(0.22) = 19.58$$

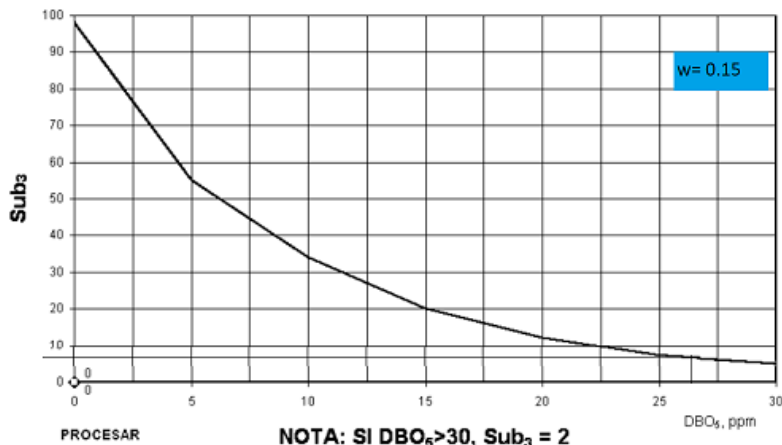
Temperatura



$$ICA_a = (92)(0.18) = 17.64$$

DBO

DBO₅



NOTA: SI DBO₅>30, Sub₃ = 2

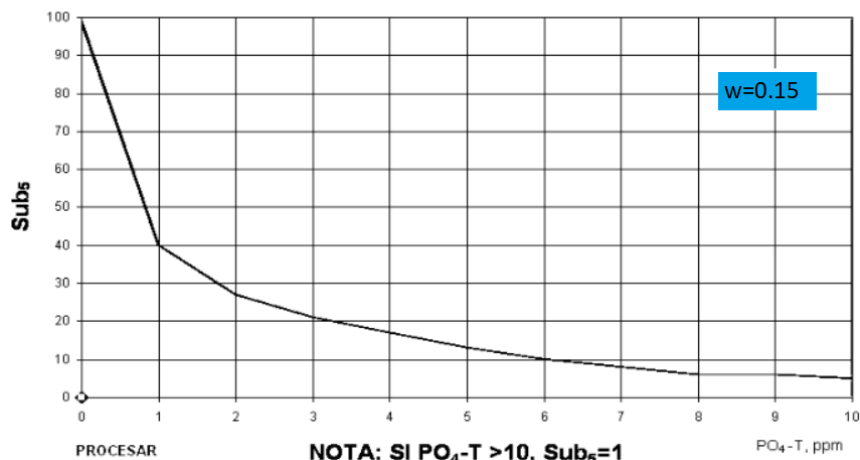
Figura 5. ICA_a de la DBO

$ICA_a = (9)(0.15) = 1.35$

Fosfatos

Para el fosfato se utilizó un factor de conversión de la Industria Hanna Instruments la cual menciona que para el cálculo de los fosfatos se debe multiplicar el fósforo total por un factor de 3.06 el fósforo obtenido, dando como resultado 52.29, valor utilizado en el ICA.

FOSFATOS



NOTA: SI PO₄-T >10, Sub₅=1

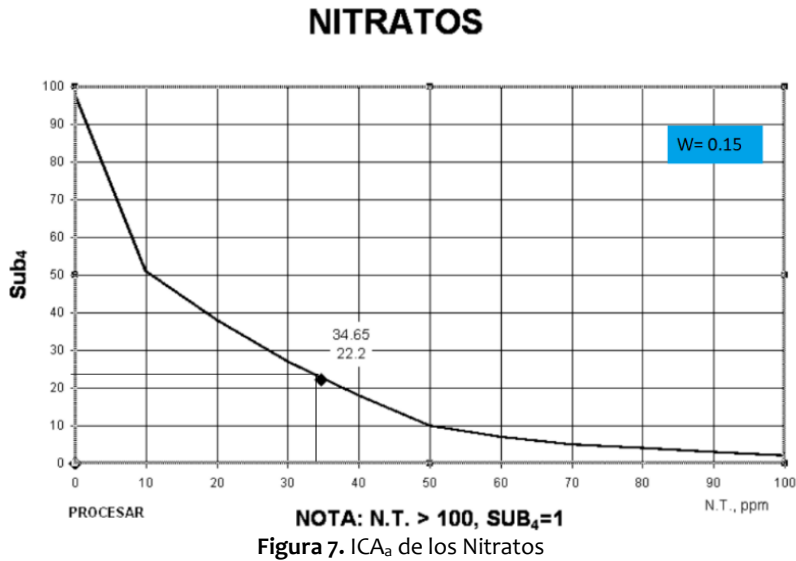
Figura 6. ICA_a de los fosfatos

Como indica el ICA el valor es superior a 10, por lo que el valor de Sub₁ es 1.

$ICA_a = (1)(0.15) = 0.15$

Nitratos

Para los nitratos se utilizó un factor de conversión de la Industria Hanna Instruments la cual menciona que para el cálculo de los nitratos se debe dividir por un factor de 4.427 el fósforo obtenido, dando como resultado 34.50, valor utilizado en el ICA.



$$ICA_a = (22)(0.15) = 3.3$$

Coliformes Fecales

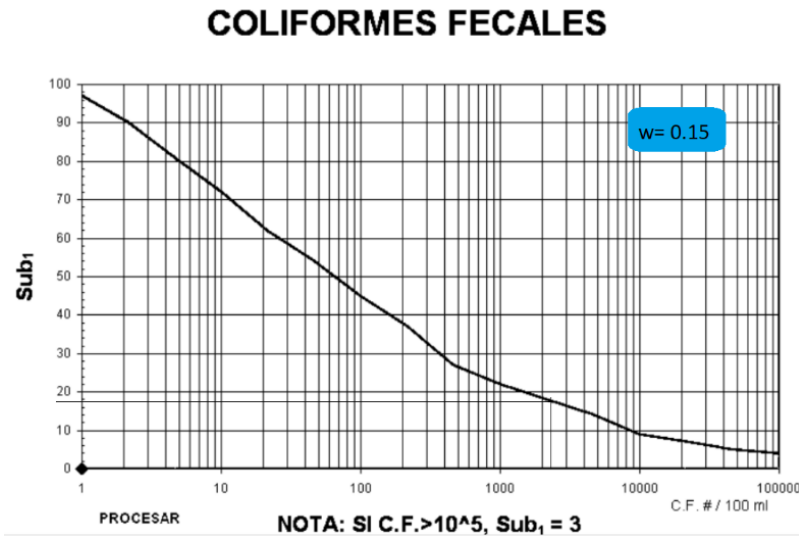


Figura 8. ICA_a de los Coliformes Totales

$$ICA_a = (18)(0.15) = 2.7$$

Calidad del lixiviado

Tabla 7. Resultados de la calidad de lixiviados

i	Sub _i	ICA _a
1	Coliformes Fecales	2.7
2	pH	19.58
3	DBO ₅	1.35
4	Nitratos	3.3
5	Fosfatos	0.15
6	Temperatura	17.64
ICA_m		44.74

Calidad: MALA

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas vigentes los parámetros de pH (7.8), DBO₅ (26.4 ppm), fósforo (17.08 ppm) y temperatura (28°C) cumplen respectivamente siendo los valores máximos permisibles los siguientes pH de 5 a 10 UpH, DBO 30 ppm, fósforo 20 ppm y temperatura N.A.; siendo coliformes fecales (>2400 NMP 100 ml⁻¹) y Nitrógeno Total (152.75 ppm) los que rebasan lo establecido en la norma oficial con un valor máximo de coliformes totales >2000 NMP 100 mL⁻¹ y nitrógeno total 40 ppm respectivamente.

Con respecto al parámetros de nitrógeno total, al encontrarse en exceso este produce unos tipos de algas tóxicas, siendo este fenómeno conocido como proliferación de algas nocivas, que agotan el oxígeno en el agua y pueden provocar zonas acuíferas muertas que repercuten en la vida submarina.

De acorde con los coliformes totales estos incumplen las normativas y ponen en riesgo la vida acuática, la zona agrícola y la salud humana. Así mismo, los líquidos con presencia de una alta cantidad de coliformes fecales (superior a 1 000 NMP 100 mL⁻¹) son indicadores de contaminación, cuyo contenido puede inhabilitar el uso de los cuerpos de agua, siendo de vital importancia su monitoreo ya que el sitio está ubicado a 200 m del río Alseseca y puede causar enfermedades de origen hídrico.

Como podemos observar la aplicación del ICA en los lixiviados nos pueden dar a conocer de manera rápida la calidad de estos y las posibles repercusiones que tengan con el medio, ya que, al ser un análisis matemático y crudo, se puede tomar una decisión inmediata para su control, con respecto a los tratamientos se proponen la aplicación del índice de biodegradabilidad (DBO/DQO), el cual establece si es menor la biodegradación a 0.28 se deben ocupar métodos químicos y si fuese mayor se proponen métodos como humedales.

REFERENCIAS

[1] Abu-Qdais, H.A.; Hamoda, M.F.; Newham, J. 1997. Analysis of residential solid waste at generation sites. Waste Manag. Res., 5, 395-405.

[2] Aziz, S.Q., Aziz, H.A., Yusoff, M.S., Bashir, M.J.K. y Umar, M. 2010. Leachate characterization in semiaerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study. J. Environ. Manag, 91, 2608-2614.

[3] El-Fadel, M., Bou-Zeid, E., Chahine, W. y Alayli, B. 2002. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. Waste Manag., 22, 269-282.

[4] Fátima, S., Rafiq, S.K. y Hai, A. 2012. Effect of depth and age on leachate characteristics of Achan Land- fill, Srinagar, Jammu and Kashmir, India. J. Environ. Sci. Tox. Food Technol. 2:4-11.

- [5] Hakanson, L., Parparov, A., Ostapenia, A., Boulion, V.V., Hambright, K. D. 2000. Development of a system of water quality as a tool for management. Final report to INTAS, Uppsala university, Department of Earth Science.
- [6] Hanna Instruments. S.F. Fósforo: comprender los diferentes tipos de fósforo y los métodos utilizados para medirlo. <https://acortar.link/ZO7bkr>
- [7] Reactivos y Equipos. 2020. ¿Cuál es el factor de conversión de de NO₃-N a NO₃? <https://acortar.link/QLw18Y>
- [8] Kang, K., Shin, H.S. y Park, H. 2002. Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications. *Water Res.*, 36, 4023-4032.
- [9] Kjeldsen, P., Barlaz, M.A., Rooker, A.P., Baun, A., Ledín, A. y Christensen, T.H. 2002. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Crit. Rev. Env. Sci. Tec*, 32, 297-336.
- [10] Kulikowska, D. y Klimiuk, E. 2008. The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Biores. Technol.*, 99, 5981-5985.
- [11] Martínez-Lopez, A.G., Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, O. F., Chiquito-Coyotl, O., EscarolaRosas, M. A., Hernández-Lara, J.M., Elvira-Hernández, E. A., Méndez, G. A. y Tinoco-Magaña, J.C. 2014. Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en Química*, 9(1), 37-47.
- [12] Norma mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013: Análisis de agua – Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-007-SCFI-2000). (2014).
- [13] Norma mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016: Análisis de agua.- Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2011). (2016).
- [14] NMX-AA-028-SCFI-2001: Análisis de agua - Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-028-1981). (2001).
- [15] Norma mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015: Análisis de agua - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* – Método del número más probable en tubos múltiples (Cancela a la NMX-AA-42-SCFI-1987). (2015).
- [16] Pablos, M.V.; Martini, F.; Fernández, C.; Babín, M.M.; Herraes, I.; Miranda, J.; Martínez, J.; Carbonell, G.; San-Segundo, L.; García hortigüela, P.; Tarazona, J.V. 2011. Correlation between physicochemical and ecotoxicological approaches to estimate landfill leachates toxicity. *Waste Manag*, 31, 1841-1847.
- [17] Raco, B., Dotsika, E., Batglinni, R., Bulleri, E., Doveri, M. y Papakostantinou, K. 2013. A Quick and Reliable Method to Detect and Quantify Contamination from MSW Landfills: a Case Study. *Water Air Soil Poll*, 224, 1-18.
- [18] Ragle, N., Kissel, J., Ongerth, J.E. y Dewalle, F.B. 1995. Composition and Variability of Leachate from Recent and Aged Areas within a Municipal Landfill. *Water Environ. Res.*, 67, 238-243.
- [19] Ramírez-Sosa, D.R., Castillo-Borges, E.R., Méndez-Novelo, R.I., Sauri-Riancho, M.R., Barceló-Quintal, M. y Marrufo-Gómez, J.M. 2013. Determination of organic compounds in landfill leachates treated by Fenton-Adsorption. *Waste Manag.*, 33, 390-395.
- [20] Renou, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F. y Moulin, P. 2008. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *J. Hazard Mat.*, 150, 468-493.
- [21] Shouliang, H., Beidou, X., Haichan, Y., Liansheng, H., Shilei, F. y Hongliang, L. 2008. Characteristics of dissolved organic matter (DOM) in leachate with different landfill ages. *J. Environ. Sci.*, 20:492-498.
- [22] Straskraba, M. y Gnauck, A. H. 1985. *Freshwater Ecosystems. Modelling and Simulation. Development in Environmental Modelling*. Elsevier, 8, 373.
- [23] Tchobanoglous, G., Theisen, H., y Vigil, S. (1994). *Integrated solid waste management, engineering principles and management issues*. McGraw Hill.
- [24] U. S. Environmental Protection Agency. (1993, agosto). Method 365.1, Revisión 2.0: Determination of phosphorus by semi-automated colorimetry.
- [25] Wiszniowski, J., Robert, D., Surmacz-Gorska, J., Miksch, K. y Weber, J.V. 2006. Landfill leachate treatment methods: A review. *Environ. Chem. Lett.*, 4, 51-61.

Correo de autor de correspondencia: malopez@tecmartinez.edu.mx