

Influencia del relleno sanitario de Rafaela en las aguas subterráneas: Calidad del Agua Análisis de índices.

Rafaela's landfill influence on groundwater: Water Quality Index Analysis.

Sabrina Monay

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela- Santa Fe - Argentina
sabrinamon00@gmail.com

Lucas Alessiato

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela - Santa Fe - Argentina
lucasalessiato@hotmail.com

Tomás Valsagna

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela - Santa Fe - Argentina
tomasvalsagna@gmail.com

Resumen

En respuesta al crecimiento poblacional y la generación de residuos sólidos urbanos, los rellenos sanitarios (RS) se han convertido en una solución común. Estas instalaciones minimizan impactos ambientales y de salud pública mediante procesos de descomposición anaeróbica generando lixiviados, sin embargo, son líquidos contaminantes que varían según factores como humedad y edad del relleno. Esta investigación analiza a través del Índice de Calidad de Agua (ICA), cómo el RS de Rafaela ha afectado la calidad del agua subterránea comparando valores antes, después de su inauguración y mediante su evolución. Se monitorearon semestralmente 9 pozos de agua subterránea, aguas arriba y aguas abajo. Este método multiparamétrico que permite evaluar la calidad del agua y su vulnerabilidad frente a contaminantes dió como resultado que ninguno de los pozos monitoreados posee agua apta para consumo humano y que la baja calidad obtenida se debe a características naturales del lugar estudiado.

Palabras clave: lixiviados, relleno sanitario, aguas subterráneas.

Abstract

In response to population growth and the generation of urban solid waste, sanitary landfills (SR) have become a common solution. These facilities minimize environmental and public health impacts through anaerobic decomposition processes generating leachates; however, they are contaminating liquids that vary depending on factors such as humidity and age of the landfill. This research analyzes, through the Water Quality Index (WQI), how the Rafaela's SR has affected the quality of groundwater by comparing values before, after its inauguration and through its evolution. Nine groundwater wells, upstream and downstream, were monitored semiannually. This multiparametric method that allows us to evaluate water quality and its vulnerability to contaminants resulted in the fact that none of the monitored wells have water suitable for human consumption and that the low quality obtained is due to natural characteristics of the place studied.

Keywords: leachate, landfills, groundwater

Introducción

En los últimos años, dentro de los métodos de disposición final y como solución al problema de la gestión de residuos generados por el crecimiento de la población, los rellenos sanitarios (RS) se han convertido en una alternativa comúnmente utilizada por los municipios. Estas instalaciones construidas ingenierilmente para la disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU), diseñada y operada para minimizar los impactos ambientales y sobre la salud pública, opera en su interior llevando a cabo la descomposición anaeróbica de la materia orgánica contenida en los RSU, generando biogás y lixiviado.

El lixiviado es un líquido contaminante que se produce por la descomposición de los RSU y puede incrementarse cuando se mezcla con el agua de lluvia. Ésta se filtra a través de los residuos sólidos en descomposición, aumentando el volumen de corrientes líquidas, caracterizadas por un gran número de sustancias (Wiszniewski et al., 2006), considerados el principal contaminante de un relleno sanitario.

El lixiviado de un relleno sanitario es un agua residual compleja, con considerables variaciones en la composición y el flujo volumétrico (Trebouet et al., 2001). La generación de estos líquidos percolados depende de factores tales como: grado de compactación de los desechos, grado de humedad inicial de la basura, material de cubierta de las celdas, precipitaciones, humedad atmosférica, temperatura, evaporación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración, entre otros. La concentración y composición de contaminantes en el lixiviado pueden ser muy diferentes según las condiciones antes mencionadas, pero además pueden variar de acuerdo con la edad del relleno (Ngo et al., 2010). Estos líquidos, generalmente contienen altas concentraciones de agentes contaminantes y compuestos tóxicos: compuestos orgánicos tóxicos, compuestos nitrogenados (principalmente amonio y metales pesados). Debido a esto, pueden causar graves problemas al medio ambiente ya la salud humana, por lo que requieren de un tratamiento apropiado (Bakhshoodeh et al., 2020).

Maitia et al. (2016) reportó que los lixiviados de rellenos sanitarios afectaron la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, por lo que un tratamiento, seguido de una disposición final adecuada, es primordial para un manejo sustentable de los mismos. Por esto, se impermeabilizan para evitar su ingreso por escurrimientos pluviales y proteger los mantos acuíferos. El monitoreo y control de estos recursos son necesarios para garantizar la calidad del agua subterránea y controlar que no exista contaminación de estas.

En este trabajo, se estudió el RS de la ciudad de Rafaela, perteneciente a la Planta de tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos Sólidos Especiales (RSE). El mismo fue inaugurado por la Municipalidad de Rafaela en 2003. Actualmente, el RS posee dos celdas, una ya finalizada con cobertura final y la otra en proceso de uso y construcción. Asimismo, la planta posee 28 pozos de monitoreo de lixiviados y 9 pozos de monitoreo de aguas subterráneas.



Figura 1 – Distribución de los pozos de monitoreo de aguas subterráneas en el predio del RS de Rafaela

El cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA) es un método multiparamétrico que primeramente fue propuesto por Horton (1965) y que ha contribuido al desarrollo de éste. Relaciona tanto parámetros fisicoquímicos como biológicos, mediante una serie de ecuaciones con el objetivo de evaluar el estado de un cuerpo de agua (Abbasi & Abbasi, 2012). Según Sadat-Noori et al. (2014), el método ICA ha sido utilizado debido a su capacidad de expresar de forma integral la información de la calidad del agua subterránea de una región y determinar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas potenciales (Soni & Thomas, 2014).

La zona en estudio se encuentra en el departamento Castellanos, provincia de Santa Fe, donde hay antecedentes que la calidad del agua subterránea con fines de abastecimiento, la cual no es óptima debido a la degradación antropogénica. (Panigatti et al., 2022). El objetivo de este trabajo es el estudio de la influencia del RS de Rafaela en la calidad de las aguas subterráneas a través del cálculo del índice de calidad de agua (ICA) según los límites máximos permitidos para consumo humano en el Código Alimentario

Argentino (CAA, 2019) tanto previo a la inauguración como en su posterior actividad y evolución.

Metodología

Desde el año 2003, se analizan semestralmente muestras de las aguas subterráneas del RS, extraídas de los pozos de monitoreo previamente mencionados. Se seleccionaron cuatro muestreos por pozo, el primer muestreo para todos los pozos es previo a la inauguración del RS.

Se subdividió la distribución de los pozos en aguas arriba y aguas abajo. Aguas arriba está conformado por los pozos 1,2,7,8 y 9. Aguas abajo está conformado por los pozos 3, 4, 5 y 6. En cada caso, se determinaron los parámetros enunciados en Tabla 1:

Parámetros	wi	Wi	Si
pH	1,00	0,01	7.50
Sólidos Totales (mg/l)	4,00	0,06	1500
Turbidez (NTU)	1.00	0.01	3.00
Dureza Total (mg CaCO ₃ /l)	3,00	0,04	400
Calcio (mg Ca ²⁺ /l)	3,00	0,04	50
Magnesio (mg Mg ²⁺ /l)	3,00	0,04	30
Cloruro (mg Cl ⁻ /l)	4,00	0,06	350
Sulfato (mg SO ₄ ⁻² /l)	4,00	0,06	400
Cromo Total (mg Cr /l)	5,00	0,07	0.05
Arsénico (mg As/l)	5,00	0,07	0.01
Cadmio (mg Cd/l)	5,00	0,07	5.00
Cinc (mg Zn/l)	5,00	0,07	1.00
Manganeso (mg Mn/l)	5,00	0,07	0.10
Mercurio (mg Hg/l)	5,00	0,07	0.001
Níquel (mg Ni/l)	5,00	0,07	0.02
Plomo (mg Pb/l)	5,00	0,07	0.05

Wi= peso relativo
 wi= peso de cada parámetro
 Si = subíndice de cada parámetro

Tabla 1. Pesos relativos de los parámetros considerados para el cálculo del índice de calidad de agua subterránea según su importancia para la salud humana.

Todas las determinaciones analíticas se realizaron de acuerdo con la metodología propuesta por APHA (2017).

La determinación del Índice de Calidad de Agua consta de cuatro etapas fundamentales.

Primera etapa: a cada uno de los dieciséis parámetros designados en la Tabla 1 se les asignó una ponderación (wi) (valor entre 1 y 5) acorde con su importancia relativa en la calidad del agua para consumo humano. La ponderación máxima fue de cinco para los metales pesados, generalmente presentes en lixiviados, en función de los efectos adversos que producen en la salud humana.

Segunda etapa: se calculó el peso relativo (Wi) de cada parámetro de acuerdo con la ecuación del método del peso aritmético [1] (Brown et al., 1970) (Horton, 1965) (Tabla 1):

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad [1]$$

Wi= peso relativo

wi= peso de cada parámetro

n= número de parámetros

Tercera etapa: se determinó una escala de valoración de la calidad para cada parámetro (qi). Para esto, se dividió la concentración resultante de cada muestra de agua analizada por su respectivo límite máximo permisible (Si) de acuerdo con el Código Alimentario Argentino y el resultado fue multiplicado por 100 [2]:

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} * 100 \quad [2]$$

qi = calificación de la calidad

C_i = concentración de cada parámetro químico en cada muestra de agua en mg/L

S_i = límite máximo permisible en mg/L (C.A.A., 2019)

Cuarta etapa: para calcular el ICA se determinó el S_i usando la ecuación [3]:

$$S_i = W_i * q_i \quad [3]$$

S_i = subíndice de cada parámetro

W_i = ponderación relativa

q_i = calificación de la calidad

Posteriormente se integraron los S_i de todos los parámetros en la siguiente ecuación [4]:

$$ICA = \sum_{n=1}^i S_i \quad [4]$$

ICA = índice de calidad del agua

S_i = subíndice de cada parámetro.

El resultado final es un único valor que permite clasificar el agua en cada punto de muestreo en cinco categorías, según la Tabla 2:

Valor de ICA	Calidad del agua
Menor de 50	Excelente
De 50 a 100	Buena
De 100 a 200	Pobre
De 200 a 300	Muy pobre
Mayor de 300	No apta

Tabla 2. Clasificación según la calidad del agua.

Resultados y discusión

Según la información obtenida por la Municipalidad de Rafaela el pozo 9 se inauguró posterior a la construcción de la celda por lo tanto se desestima su evaluación en este trabajo.

En la Tabla 3 se pueden observar los valores finales de ICA para cada pozo y su calificación según Tabla 2.

POZO	FECHA	VALOR ICA	CALIDAD	POZO	FECHA	VALOR ICA	CALIDAD
1	9 de diciembre de 2002	135.86	POBRE	5	9 de diciembre de 2002	100.83	POBRE
	6 de septiembre de 2008	199.88	POBRE		15 de septiembre de 2010	110.13	POBRE
	15 de septiembre de 2012	168.68	POBRE		5 de diciembre de 2017	125.67	POBRE
	11 de noviembre de 2016	204.98	MUY POBRE		7 de febrero de 2023	171.59	POBRE

2	9 de diciembre de 2002	107.96	POBRE	6	9 de diciembre de 2002	85.08	BUENA
	15 de septiembre de 2012	150.29	POBRE		30 de octubre de 2012	100.37	BUENA
	29 de abril de 2016	167.41	POBRE		27 de agosto de 2015	94.42	BUENA
	Fecha: 13 ago 2020	195.31	POBRE		19 de abril de 2022	400.07	NO APTA
3	9 de diciembre de 2002	135.90	POBRE	7	9 de diciembre de 2002	106.37	POBRE
	30 de octubre de 2012	112.78	POBRE		30 de octubre de 2012	134.88	POBRE
	5 de diciembre de 2017	131.94	POBRE		17 de mayo de 2018	88.27	BUENA
	30 de junio de 2021	132.82	POBRE		19 de abril de 2022	159.33	POBRE
4	9 de diciembre de 2002	118.51	POBRE	8	9 de diciembre de 2002	145.68	POBRE
	15 de septiembre de 2010	101.42	POBRE		29 de abril de 2014	155.03	POBRE
	29 de abril de 2014	94.73	BUENA		17 de mayo de 2018	178.49	POBRE
	13 agosto de 2020	156.97	POBRE		7 de febrero de 2023	172.92	POBRE

Tabla 3. Valores de ICA para cada pozo y su calificación.

En las figuras 2 y 3 se pueden observar los valores de ICA para los cuatro muestreos de cada pozo.

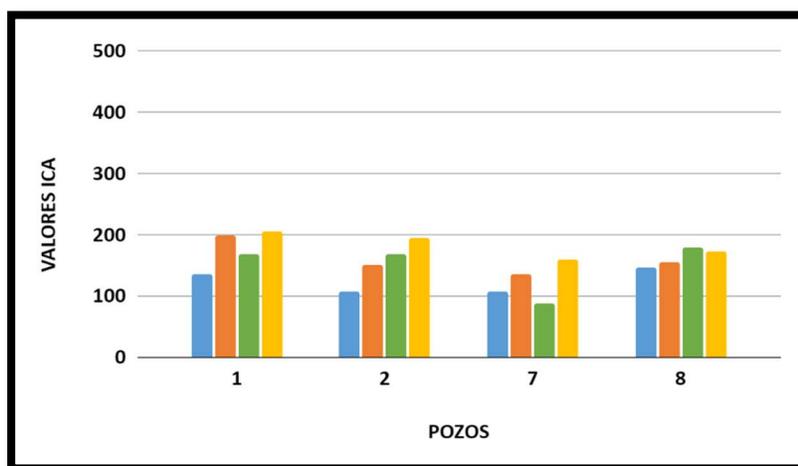


Figura 2. Valores de ICA para pozos de aguas arriba

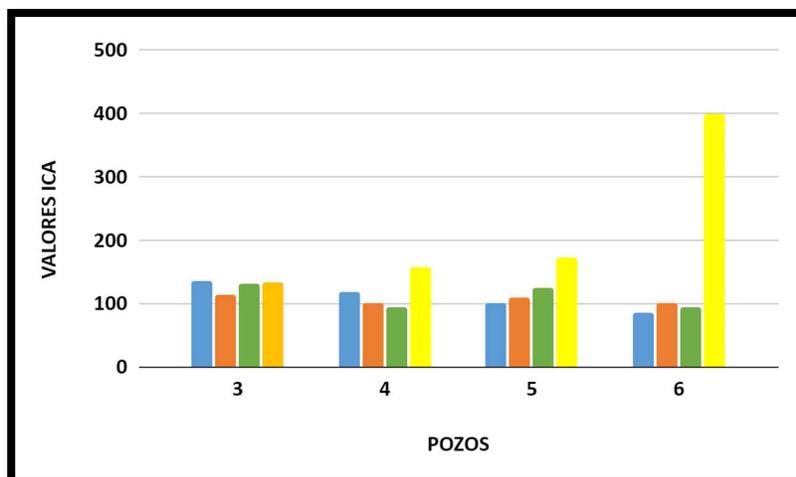


Figura 3. Valores de ICA para pozos de aguas abajo

En los pozos correspondientes a aguas arriba los valores del índice de calidad de agua se mantienen entre 50 y 200 a lo largo de todos los años sufriendo pequeñas variaciones, obteniendo una calificación de calidad entre buena y pobre. Con respecto a aguas abajo en el pozo tres los valores se mantienen entre 100 y 200, con una calificación de calidad pobre.

Los pozos cuatro y cinco tienen un comportamiento similar, manteniendo sus valores entre 50 y 200 con una calificación de calidad buena - pobre.

El pozo seis con una calidad de agua buena desmejora notablemente a ser no apta con valores mayores a 400 en el muestreo más reciente. Estas anomalías, pueden deberse a un caso particular de un cierto parámetro de gran peso en la ecuación que incide sobre el resultado final del ICA, como en este último caso resulto ser el arsénico (As). Este contaminante se encuentra en una amplia región del norte y centro de Argentina, abarcando también nuestra zona de estudio donde existen altas concentraciones de As en el agua subterránea (superiores al límite recomendado por el CAA: 0,01 mg/L), debido a la meteorización de minerales de origen volcánico y debido a las condiciones fisicoquímicas del agua que favorece la migración de este elemento (Smedley et al., 2005).

Conclusiones

A través del método ICA se obtuvieron valores que demuestran que el agua subterránea de los pozos monitoreados del RS de Rafaela, en su mayoría no son aptas para el consumo humano. Se descarta, en términos generales, que haya incidencia por parte de las actividades del RS sobre la degradación en la calidad del agua subterránea, pero si se observa que la baja calidad de los valores obtenidos en el estudio se la puede asociar con las características naturales de la zona en estudio. Llevar a cabo semestralmente un monitoreo permitirá alertar de manera temprana anomalías y de esta forma realizar acciones correctivas y/o paliativas frente a su deterioro.

Referencias bibliográficas

Abbasi & Abbasi, (2012). *Water Quality Indices. Elsevier 384 pp Hardback ISBN 978-0-444-54304-2. eBook ISBN 978-0-444-54305-9. Environ Earth Sci 71:4625–4628 DOI 10.1007/s12665-014-3141-9*

APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 9-56. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.*

Bakhshoodeh et al., (2020). Bakhshoodeh,R., Alavi,N.,Oldham,C., Santos,R. M., Babaei, A. A., Vymazal, J., & Paydary, P. (2020).Constructed wetlands for landfill leachate treatment: Areview. *Ecological Engineering*, 146, 105725.

Código Alimentario Argentino. (2019). “Artículo 982 - (Res Conj. SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2019)”.

Horton, R. (1965). “An Index Number System for Rating Water Quality,” *Journal of Water Pollution Control*

Federation. Vol. 37.

Ngo, H.; W. Guo, W. Xing (2010). Applied Technologies in Municipal Solid Waste Landfill Leachate Treatment. Water and Wastewater Treatment Technologies. UNESCO Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).

Maitia, S.K., Dea, S., Hazrab, T., Debsarkarb, A., Duttab, A. (2016). Characterization of leachate and its impact on surface and groundwater quality of a closed dumpsite - a case study at Dhapa, Kolkata, India. *Procedia Environ. Sci.* 35, 391–399.

Sadat-Noori et al. (2014). *Groundwater quality assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. Environmental Earth Sciences* 71(9).

Smedley, P.L.; Kinniburgh, D.G.; Macdonald, D.M.J.; Nicolli, H.B.; Barros, A.J.; Tullio, J.O.; Pearce, J.M.; Alonso, M.S. (2005) "Arsenic associations in sediments from the loess aquifer of La Pampa, Argentina" (2005) *Applied Geochemistry.* 20(5):989-1016.
http://hdl.handle.net/20.500.12110/paper_08832927_v20_n5_p989_Smedley

Soni & Thomas, (2014). Assessment of surface water quality in relation to water quality index of tropical lentic environment, Central Gujarat, India. *International journal of environment*, 3(1), 168-176.

Panigatti, M. C., Griffa, C., Boglione, R., Schierano, M. C., Asforno, M. (2022) Determinación del índice de calidad de aguas subterráneas del departamento Castellanos (Provincia de Santa Fe). Libro Digital Contaminación Atmosférica e Hídrica en Argentina. Contribuciones del VIII PROIMCA y VI PRODECA. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rafaela, Editores: Panigatti, M. C. et al. ISBN 978-987-4998-41-5. <http://hdl.handle.net/20.500.12272/6748>

Torres, Cruz & Patiño, (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.

Trebouet D., Schlumpf J.P., Jaounen P., and Quemeneuer F. (2001). Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical- nanofiltration process. *Water Research* 35(12): 2935-2942

Wiszniewski, et al. (2006). *Landfill leachate treatment methods, a review. Environ. Chem. Lett.* 4, 51-61.