

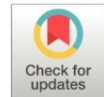


Análisis de dispersión de la contaminación en cuerpos de agua por lixiviados, provenientes del botadero de basura Curgua, Guaranda - Ecuador

Analysis of pollution dispersion in water bodies by leachates from the from the Curgua garbage dump, Guaranda – Ecuador

- ¹ Katherin Jhomayra Torres Murillo  <https://orcid.org/0009-0002-5443-283X>
Maestría en Prevención y Gestión de Riesgos, Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador.
jhomayra.torres@ueb.edu.ec
- ² Juan Gaibor Chávez  <https://orcid.org/0000-0002-4516-7416>
Investigador, Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador.
jgaibor@ueb.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 10/07/2024

Revisado: 08/08/2024

Aceptado: 02/09/2024

Publicado: 13/09/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i3.2.3176>

Cítese:

Torres Murillo , K. J., & Gaibor Chávez , J. (2024). Análisis de dispersión de la contaminación en cuerpos de agua por lixiviados, provenientes del botadero de basura Curgua, Guaranda - Ecuador. *ConcienciaDigital*, 7(3.2), 18-33.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i3.2.3176>



CONCIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia *Creative Commons AttributionNonCommercialNoDerivatives 4.0 International*. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras claves:

Lixiviados,
contaminación
agua, índice
calidad agua

Keywords:

Leachate, water
pollution, water
quality index,
water quality
index

Resumen

Introducción: la disposición final de residuos sólidos municipales constituye una problemática ambiental y sanitaria actual. **Objetivo:** el objetivo de la investigación fue analizar la dispersión de la contaminación en cuerpos de agua, por los lixiviados provenientes del botadero de basura denominado Curgua, Cantón Guaranda – Ecuador. **Metodología:** las muestras de agua se recolectaron en diferentes puntos: al ingreso al cuerpo de agua dulce localizado a 60 m de la fuente que constituye el punto 2; luego a 500 m, 1.5 km, 2 km y 3 km. El análisis se realizó por triplicado durante 3 semanas. Se realizaron análisis físico - químicos de acuerdo con la metodología de la empresa HACH. Se determinó la dinámica de la concentración de los principales compuestos de acuerdo con los puntos de muestreo. **Resultados:** se presenta los valores de los principales estadísticos de los parámetros de calidad analizados, el promedio, desviación estándar, coeficiente de variación. Se encontró que a medida que aumenta la distancia del punto de origen los valores de los parámetros disminuyen parcialmente, pero aún persisten, lo que provoca la constante presencia de contaminación en el cuerpo de agua dulce. **Conclusiones:** existe una correlación entre algunos parámetros, esto se debería por el tipo y composición físico química y biológica de los residuos que se generan. Este hecho incrementa el riesgo de mantener e incluso aumentar la contaminación en épocas en las que se puede influir directamente en la generación de residuos sólidos. **Área de estudio general:** Ciencias del Ambiente. **Área de estudio específica:** Manejo y disposición de residuos. **Tipo de estudio:** Artículo original

Abstract

Introduction: the final disposal of municipal solid waste is a current environmental and sanitary problem. **Objective:** the objective of the research was to analyze the dispersion of contamination in bodies of water by leachates from the Curgua garbage dump, Canton Guaranda - Ecuador. **Methodology:** water samples were collected at different points: at the entrance to the freshwater body located 60 m from the source, which is point 2; then at 500 m, 1.5 km, 2 km and 3 km. The analysis was carried out in triplicate for 3 weeks. Physical-chemical analyses

were performed according to HACH methodology. The dynamics of the concentration of the main compounds was determined according to the sampling points. **Results:** the values of the main statistics of the quality parameters analyzed the average, standard deviation and coefficient of variation are presented. It was found that as the distance from the point of origin increases, the values of the parameters decrease partially, but persist, which causes the constant presence of contamination in the freshwater body. **Conclusions:** There is a correlation between some parameters, due to the type and physical, chemical and biological composition of the waste generated. This fact increases the risk of maintaining and even increasing pollution in times when the generation of solid waste can be directly influenced. **General area of study:** Environmental Sciences. **Specific area of study:** Waste management and disposal. **Type of study:** Original article

Introducción

La presencia de residuos sólidos municipales genera alta concentración de sustancias tóxicas en líquidos derivados de la descomposición de los residuos, lo cual constituye un constante riesgo para la salud humana y el medio ambiente (Murcia et al., 2020). El manejo y disposición de los residuos sólidos urbanos, es un constante problema que deben afrontar los municipios en el Ecuador, se ha creado el Programa Nacional para la Gestión Integral de los Desechos Sólidos (PNGIDS)_(Vaca, 2020). El cual tiene objetivos concretos para disminuir y aprovechar los desechos en todas las etapas del proceso (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2019), y la implementación de políticas para la reducción de residuos, con la imparcial de eliminar los botaderos (Gila, 2022), así como promover el uso de materiales reutilizables, reparables y reciclables para disminuir el impacto ambiental (Cando & Arguello, 2021), lo que coincide como todo asunto fisco, ecológico y biológico que se desarrolla por la incrementación incontrolada de la población (Rodríguez, 2023). Los vertederos de residuos sólidos urbanos se identifican como amenazas principales de los recursos hídricos subterráneos (Lascano, 2020). Como los restos sólidos que se depositan en vertederos o basureros al aire libre que pueden verse afectados por el desbordamiento de aguas subterráneas y la infiltración de precipitaciones u otras formas de entrada de agua (León & Andrade, 2021). Los lixiviados de vertedero, al infiltrarse en las aguas superficiales y subterráneas, pueden introducir una variedad de compuestos químicos y materiales disueltos que representan un riesgo para la comunidad (Espinoza-Quispe et al., 2020). Sin embargo como todo botadero o vertedero son sitios donde se desecha basura de forma inadecuada sin recibir ningún método debidamente

sanitario se considera una contaminación en la formación del lixiviado (Fernández-Cortés et al., 2020). El líquido lixiviado resulta un contaminado del proceso de drenado de un relleno sanitario que se filtra a través de un sólido (Cárdenas-Ferrer et al., 2020), proveniente de las lluvias, la humedad de los desechos sólidos y descomposición de subproductos (Morales, 2021), por el cual este líquido es definido como inflación de agua que traspasa la tierra subterránea llevando consigo los componentes de desechos disueltos de la reacción bioquímica que constituye un peligro para el medio ambiente (Podlasek, 2023). Los compuestos de diversos materiales que actúan en la composición de los lixiviados son influidos por aspectos extremos ambientales (edad del relleno, tecnología usada en la planta) y aspectos de la naturaleza de los mismos desechos (pH, edad, temperatura) (Pozo et al., 2020). La variable composición de este líquido depende principalmente de las fases de residuos sólidos y la edad del relleno sanitario (Cuichán, 2022), así mismo sus desechos sólidos se representa como rechazo debido a que no se pueden maniobrar apropiadamente (Raza-Carrillo & Acosta, 2022). El líquido contaminado de estos desechos que se filtra de un relleno sanitario, conocido como lixiviado, presenta una composición que puede variar considerablemente en función de la edad del relleno y del tipo de residuos que alberga del mismo (Becerra-Moreno et al., 2022), estos desechos se definen por tener mayores concentraciones de DQO (Demanda Química de Oxígeno), DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), amonio y alcalinidad, una alta relación DBO/ DQO (Luo et al., 2020). Esta variabilidad, evoluciona en la cantidad y composición de los desechos que depende del nivel de compactación de la humedad inicial de la basura, el tipo de material de cobertura, la precipitación pluvial, temperatura, evaporación, infiltración y la capacidad de campo del relleno son factores determinantes en el manejo y disposición de despojos sólidos (Poblete et al., 2019). El volumen de los lixiviados que se generar estos desechos, se basa en cada uno de sus componentes dando lugar a distintas formulaciones para su aplicación, sin embargo hay problemas medioambientales de los vertederos con mayor influencia en la disposición de lugares con residuos sólidos urbanos (Pellón et al., 2009), como la infiltración de los lixiviados en aguas superficiales y subterránea con los líquidos de carácter contaminante en los vertederos deben ser tratados antes de ser vertidos en una superficie (Espinosa, 2023). Por esta razón, es necesario establecer los tratamientos más apropiados para reducir y reciclar los residuos (Huang et al., 2019), con un enfoque en el tratamiento efectivo para mitigar su impacto negativo en el entorno (Cárdenas-Ferrer et al., 2019), como prevenir la producción de los desechos tóxicos y formación de residuos con cambios de los hábitos de consumo y reutilización de forma creativa los productos que pueden llegar a generar basura o contaminantes (Vidarte & Colmenares, 2020).

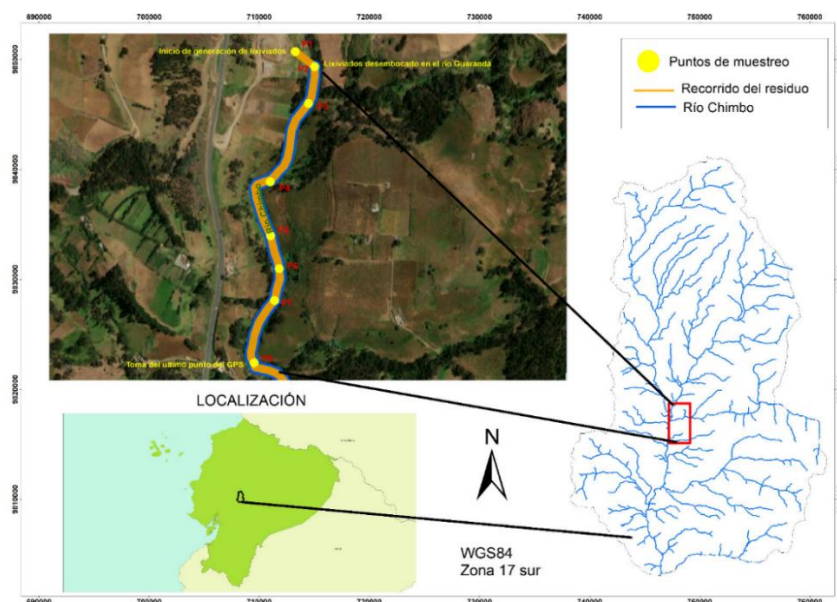
Metodología

La presente investigación adoptó un enfoque metodológico observacional y analítico para evaluar el impacto del lixiviado generado en el sector de Curgua sobre un cuerpo de agua

dulce cercano. Se implementó un muestreo sistemático en la fuente de lixiviado y en puntos estratégicos a lo largo del cuerpo de agua, permitiendo analizar la dinámica de la contaminación a diferentes distancias. Los análisis físico-químicos realizados con la proporcionaron datos cuantitativos sobre la concentración de contaminantes clave, mientras que el análisis estadístico permitió interpretar la evolución de la contaminación y establecer relaciones entre las variables estudiadas. El estudio se realizó en el sector denominado Curgua, Parroquia de Santa Fe – Cantón Guaranda – Ecuador. Se analizó el lixiviado que se produce directamente en la fuente. Las muestras de agua se recolectaron en diferentes puntos: al ingreso al cuerpo de agua dulce localizado a 60 metros de la fuente con constituye el punto 2; luego a 500 m, 1.5 km, 2 km y 3 km. El análisis se realizó por triplicado durante 3 semanas. Se realizaron los análisis de acuerdo con la metodología de la empresa HACH. Se realizaron solo análisis físico-químicos con rapidez para evitar la alteración de los resultados. Se determinó la dinámica de la concentración de los principales compuestos de acuerdo con los puntos de muestreo. Se realizó el análisis estadístico de los datos.

Figura 1

Puntos de muestreo



Se calculo el índice de calidad de agua de acuerdo con la metodología desarrollada por Abbasi & Abbasi (2012). Propone una relación entre los valores medidos de los parámetros y los niveles naturales del parámetro. se basa principalmente en un método de agregación de suma aritmética ponderada, que transforma las valores por medio de curvas funcionales producidas por el método Delphi.

$$ICA = \sum_{i=1}^n w_i * SI_i \quad (1)$$

En donde w_i es el peso relativo del parámetro i , n es el número de parámetros que se utilizan (en este caso 11) y SI_i es el subíndice de calidad del parámetro i . Este índice incluye un amplio rango de contaminantes, el pH, el oxígeno disuelto y el DBO. El pH va a estar asociado a los niveles de toxicidad de diferentes contaminantes. En cambio, el oxígeno disuelto está asociado directamente a la dinámica de la vida en el ecosistema (Tambo, 2015). También se consideran los nitratos y fosfatos para evaluar la presencia de nutrientes. Por último, tiene en cuenta la demanda bioquímica de oxígeno ya que este puede funcionar como el indicador de contaminación por materia orgánica (Boyacioglu, 2007). En la tabla 1 se muestran los pesos relativos del índice de calidad NSF.

Tabla 1

Pesos relativos

Parámetro de calidad	w_i
pH	0,11
Sólidos disueltos	0,07
Conductividad eléctrica	0,11
Oxígeno disuelto	0,17
DBO	0,11
Dureza total	0,1
Cloruros	0,1
Nitrógeno amoniacal	0,1
Fosfatos totales	0,1
Color	0,11
Turbiedad	0,07

Fuente: Tomado de 'Conventional' Indices for Determining Fitness of Waters for Different Uses Abbasi & Abbasi (2012).

Después de determinar el índice de calidad para el punto de muestreo, este se debe comparar con los rangos de clasificación de la calidad del agua, en donde se tiene que:

Tabla 2

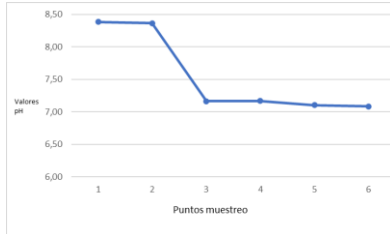
Rangos y criterios de valoración

Rango	Clasificación
0-25	Muy mala
26-50	Mala
51-70	Media
71-90	Buena
91-100	Excelente

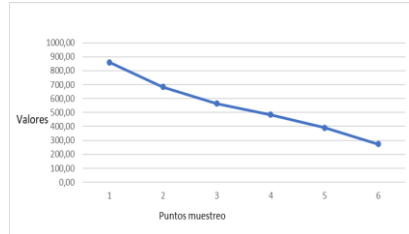
Se da a conocer los datos de calidad de agua mediante una escala de valoración.

Figura 2

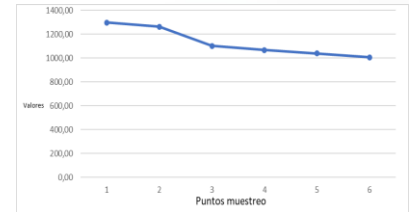
Dinámica de los parámetros de calidad de agua



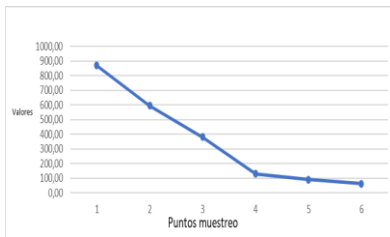
a) pH



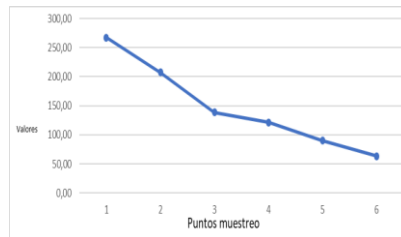
b) Sólidos disueltos



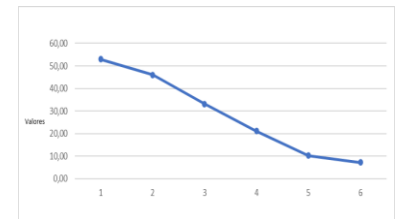
c) Conductividad



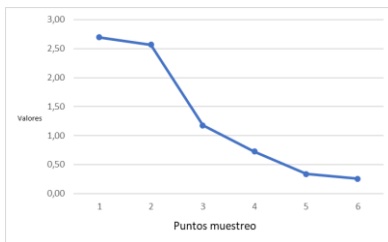
d) DBO5



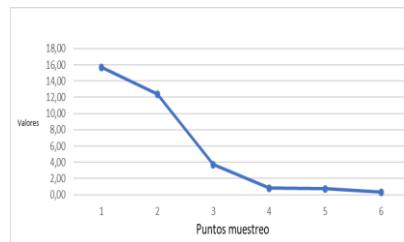
e) Dureza total



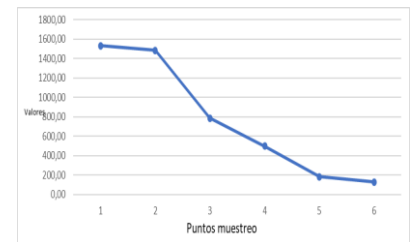
f) Oxígeno disuelto



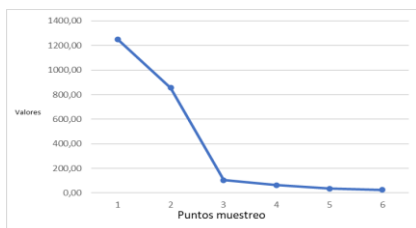
g) Fosfatos



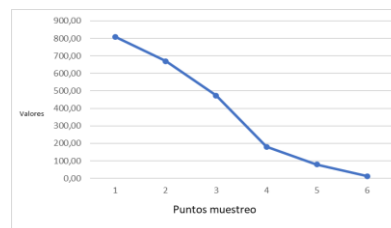
h) Nitrógeno amoniacal



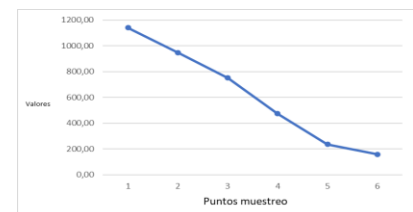
i) Cloruros



j) DQO



k) Turbiedad



l) Color

Se presenta los parámetros de calidad de agua medidos en diferentes puntos y a diferentes distancias.

Tabla 3

Parámetros de calidad de agua en diferentes puntos de muestreo

Parámetro	Estadístico	Color	Turbiedad	pH	Conductividad	Sólidos tot. Dis.	Temperatura	Nitrógeno total	Fosfatos	Nitrógeno Amoniacal (NH3-N)	Sulfatos	Fluoruros	Hierro total	Manganeso	Cromo		
Punto 1	Media	1140,43	808,32	8,38	1299,57	859,61	19,30	41,00	2,70	15,70	15,10	15,57	7,96	0,41	0,84		
	Mínimo	1087,35	808,23	7,85	1278,25	855,89	18,70	40,95	2,60	15,65	15,06	15,45	7,90	0,40	0,78		
	Máximo	1178,93	808,36	8,90	1315,27	862,69	19,80	41,08	2,84	15,76	15,12	15,65	8,00	0,42	0,88		
	CV	0,04	0,00	0,06	0,01	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,06	
	Dest	47,50	0,07	0,53	19,14	3,44	0,56	0,07	0,13	0,06	0,03	0,10	0,05	0,01	0,01	0,05	
Punto 2	Media	948,67	670,12	8,37	1263,26	684,08	18,40	31,84	2,57	12,39	13,77	12,03	6,61	0,21	0,75		
	Mínimo	941,00	668,22	8,32	1240,56	675,26	18,20	31,56	2,51	12,18	13,50	11,98	4,61	0,20	0,74		
	Máximo	955,00	672,15	8,40	1274,89	689,42	18,60	32,00	2,62	12,76	14,00	12,10	7,63	0,22	0,75		
	CV	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,26	0,05	0,01	0,01	
	Dest	7,09	1,97	0,04	19,66	7,69	0,20	0,24	0,06	0,32	0,25	0,06	1,74	0,01	0,01	0,01	
Punto 3	Media	751,30	473,61	7,16	1103,40	563,46	17,37	24,57	1,18	3,69	10,73	8,47	5,49	0,15	0,61		
	Mínimo	747,12	473,12	7,12	1103,11	560,24	17,20	24,12	1,12	3,62	10,73	8,46	5,48	0,14	0,60		
	Máximo	754,20	474,25	7,22	1103,84	567,03	17,60	24,95	1,23	3,74	10,74	8,48	5,51	0,15	0,62		
	CV	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,02	
	Dest	3,71	0,58	0,05	0,39	3,41	0,21	0,42	0,06	0,06	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	
Punto 4	Media	473,90	180,91	7,17	1068,19	485,37	17,30	15,42	0,73	0,81	8,23	5,34	3,48	0,10	0,38		
	Mínimo	468,39	180,14	7,15	1068,15	484,22	17,24	15,22	0,71	0,80	8,22	5,33	3,47	0,10	0,37		
	Máximo	478,22	182,12	7,18	1068,23	486,23	17,40	15,75	0,75	0,83	8,24	5,35	3,49	0,11	0,38		
	CV	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,02	
	Dest	5,02	1,06	0,02	0,04	1,03	0,09	0,29	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Punto 5	Media	236,68	79,41	7,10	1039,91	391,05	17,19	7,37	0,34	0,73	7,32	2,02	1,13	0,05	0,16		
	Mínimo	231,22	78,96	7,09	1038,74	390,58	17,02	7,15	0,31	0,72	7,29	2,02	1,12	0,05	0,15		
	Máximo	245,67	79,74	7,12	1040,78	391,36	17,50	7,69	0,36	0,74	7,34	2,03	1,14	0,05	0,16		
	CV	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,07	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,04	
	Dest	7,84	0,40	0,02	1,05	0,42	0,27	0,29	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	
Punto 6	Media	159,24	12,63	7,08	1006,77	273,05	17,02	5,23	0,26	0,30	5,13	1,42	0,78	0,03	0,10		
	Mínimo	152,32	12,43	7,08	1002,33	272,36	17,01	5,09	0,22	0,30	5,12	1,41	0,78	0,03	0,10		
	Máximo	163,21	12,80	7,09	1009,25	273,95	17,02	5,38	0,28	0,31	5,14	1,42	0,79	0,03	0,11		
	CV	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,06	0,06	
	Dest	6,01	0,19	0,01	3,86	0,82	0,01	0,15	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	
Parámetro	Estadístico	Cobre	Dureza total	Aluminio	Cloruros	Niquel	Plo mo	Zinc	Plata	Cianuro	Bario	Bromo	Molibdeno	Oxígeno disuelto	DBO5	DQO	
Punto 1	Media	0,64	267,10	0,14	1531,16	0,79	0,01	0,86	0,01	0,36	2,60	0,00	0,00	52,95	869,55	1251,41	
	Mínimo	0,62	265,65	0,13	1528,13	0,78	0,01	0,84	0,01	0,32	2,58	0,00	0,00	52,84	867,96	1249,64	
	Máximo	0,66	269,30	0,14	1535,14	0,81	0,01	0,88	0,01	0,40	2,61	0,00	0,00	53,03	872,24	1254,22	
	CV	0,03	0,01	0,04	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dest	0,02	1,94	0,01	3,60	0,02	0,00	0,02	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,10	2,34	2,46	2,46
Punto 2	Media	0,48	207,38	0,04	1485,71	0,75	0,00	0,76	0,01	0,25	1,89	0,00	0,01	46,00	596,41	855,49	
	Mínimo	0,48	206,56	0,04	1462,35	0,74	0,00	0,75	0,01	0,24	1,89	0,00	0,01	45,00	596,25	854,65	
	Máximo	0,49	208,34	0,05	1498,12	0,76	0,00	0,77	0,01	0,25	1,89	0,00	0,01	47,00	596,65	857,08	
	CV	0,01	0,00	0,13	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
	Dest	0,01	0,90	0,01	20,24	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	1,00	0,21	1,38	1,38

Tabla 3
Parámetros de calidad de agua en diferentes puntos de muestreo (continuación)

Parámetro	Estadístico	Cobre	Dureza total	Aluminio	Cloruros	Níquel	Plomo	Zinc	Plata	Cianuro	Bario	Bromo	Molibdeno	Oxígeno disuelto	DBO5	DQO
Punto muestreo 3	Media	0,38	138,34	0,04	787,07	0,56	0,00	0,60	0,00	0,08	1,41	0,00	0,01	33,09	381,16	103,42
	Mínimo	0,36	137,56	0,03	786,23	0,56	0,00	0,59	0,00	0,08	1,41	0,00	0,01	32,58	380,21	103,18
	Máximo	0,39	139,22	0,04	787,56	0,57	0,00	0,60	0,00	0,09	1,41	0,00	0,01	33,44	381,82	103,87
	CV	0,04	0,01	0,16	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	Dest	0,02	0,83	0,01	0,73	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,45	0,85	0,39
Punto 4	Media	0,23	121,20	0,03	497,17	0,36	0,00	0,38	0,00	0,04	0,88	0,00	0,01	21,11	130,38	63,39
	Mínimo	0,23	120,98	0,03	497,12	0,35	0,00	0,37	0,00	0,04	0,88	0,00	0,01	21,10	130,21	63,18
	Máximo	0,24	121,41	0,03	497,22	0,36	0,00	0,38	0,00	0,05	0,89	0,00	0,01	21,12	130,52	63,73
	CV	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dest	0,01	0,22	0,00	0,05	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,16	0,30
Punto 5	Media	0,07	90,21	0,01	181,27	0,14	0,00	0,17	0,00	0,00	0,36	0,00	0,01	10,26	92,21	34,64
	Mínimo	0,07	89,97	0,01	180,40	0,13	0,00	0,17	0,00	0,00	0,36	0,00	0,01	10,20	92,03	34,50
	Máximo	0,08	90,67	0,01	182,01	0,14	0,00	0,18	0,00	0,00	0,37	0,00	0,01	10,32	92,47	34,82
	CV	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	Dest	0,01	0,40	0,00	0,81	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,06	0,23	0,16
Punto 6	Media	0,06	63,28	0,01	126,79	0,11	0,00	0,12	0,00	0,00	0,28	0,00	0,01	7,22	64,46	24,32
	Mínimo	0,06	63,15	0,01	126,55	0,10	0,00	0,11	0,00	0,00	0,26	0,00	0,01	7,21	64,42	24,26
	Máximo	0,06	63,47	0,01	126,99	0,11	0,00	0,12	0,00	0,00	0,29	0,00	0,01	7,22	64,50	24,38
	CV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dest	0,00	0,17	0,00	0,22	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,04	0,06

La figura 2 indica los resultados de los análisis de los principales parámetros tomados en cuenta para el cálculo de la calidad de agua. En relación con el pH, se observa una tendencia decreciente a lo largo del tiempo, indicando que el agua se vuelve ligeramente más ácida. Sin embargo, los valores de pH se mantienen en un rango aceptable cercano a 7 (neutro). Existe una tendencia creciente de los sólidos disueltos en el agua. Esto sugiere un aumento en la cantidad de partículas disueltas, lo cual podría indicar un deterioro de la calidad del agua. La conductividad eléctrica muestra un patrón creciente similar al de los sólidos disueltos. Mayores niveles de conductividad están relacionados con una mayor presencia de iones disueltos en el agua. La Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días presenta valores fluctuantes, con picos ocasionales. Niveles elevados de DBO5 sugieren una mayor cantidad de materia orgánica que consume oxígeno durante su descomposición.

Se aprecia una tendencia general creciente en la dureza total del agua, lo que indica un aumento en la concentración de minerales disueltos, principalmente calcio y magnesio. Los niveles de oxígeno disuelto muestran variabilidad, con valores generalmente por encima de 6 mg/L. Es importante resaltar la necesidad de mantener niveles adecuados de oxígeno para la presencia de vida en los cuerpos de agua. Las concentraciones de fosfatos parecen mantenerse relativamente estables, con algunos picos ocasionales. Niveles excesivos de fosfatos pueden contribuir a la eutrofización.

Se observan fluctuaciones en los niveles de nitrógeno amoniacal, con valores generalmente bajos. El amoníaco puede ser tóxico para la vida acuática en concentraciones elevadas. Las concentraciones de cloruros exhiben una tendencia ligeramente creciente. Niveles altos de cloruros pueden indicar influencia de aguas residuales o intrusión salina. La turbiedad presenta valores variables, con algunos picos. Alta turbiedad reduce la claridad del agua y puede afectar la penetración de luz y la actividad fotosintética. Los datos de color muestran bastante variabilidad. Cambios en el color pueden estar relacionados con la presencia de sustancias disueltas o en suspensión.

Tabla 4

Análisis de correlación entre parámetros

	Color	Turb	pH	Conduc	STD	NT	Fosf. (NH3-N)	Sulf.	DT	Clour.	OD	DBO5	
Color													
Turb	0,994												
pH	0,861	0,886											
Conduc	0,953	0,965	0,972										
STD	0,980	0,971	0,869	0,958									
NT	0,998	0,993	0,873	0,960	0,986								
Fosf. (NH3-N)	0,961	0,973	0,966	0,995	0,947	0,964							
Sulf.	0,923	0,947	0,976	0,989	0,930	0,938	0,981						
DT	0,987	0,990	0,899	0,975	0,983	0,985	0,974	0,946					
Clouru.	0,968	0,967	0,925	0,983	0,990	0,979	0,970	0,968	0,977				
OD	0,977	0,982	0,940	0,986	0,954	0,976	0,996	0,962	0,982	0,967			
DBO5	0,998	0,995	0,889	0,967	0,977	0,996	0,976	0,939	0,990	0,972	0,989		
DQO	0,965	0,980	0,911	0,970	0,965	0,978	0,966	0,977	0,966	0,979	0,960	0,969	
	0,876	0,898	0,973	0,968	0,906	0,900	0,949	0,988	0,902	0,956	0,922	0,894	0,953

La tabla 4 indica las interrelaciones existentes entre diversos parámetros relacionados con la calidad del agua. Los resultados revelan la presencia de múltiples correlaciones positivas muy fuertes (coeficientes >0.95) entre ciertos indicadores, lo cual sugiere una estrecha vinculación y posible dependencia entre ellos. En primer lugar, se observa una correlación excepcionalmente alta entre el color del agua (0,994) y la turbiedad, el nitrógeno total (0,998), el oxígeno disuelto (0,998) y la demanda bioquímica de oxígeno (0,965). Esto indica que estos parámetros se encuentran estrechamente relacionados y podrían estar respondiendo de manera similar a las condiciones ambientales o factores que afectan la calidad del agua. De manera similar, se identificaron fuertes correlaciones entre la turbiedad y la conductividad eléctrica (0,965), los sólidos totales disueltos (0,971), los nutrientes como los fosfatos (0,973) y el amonio (0,947), así como con

determinados iones como los sulfatos (0,990) y cloruros (0,982). Estas estrechas relaciones (>0.95) sugieren que estos parámetros podrían estar influenciados por procesos y factores comunes. Por otro lado, la demanda química de oxígeno presentó correlaciones más moderadas (0.90-0.95) con el pH (0,973), el amonio (0,988) y ciertos iones, lo que indica una relación menos directa con estos parámetros en comparación con los anteriores. Esto podría deberse a la influencia de otros factores que afectan a la demanda química de oxígeno de manera más compleja o independiente.

Tabla 5

Parámetros de calidad de agua y su importancia

Parámetros	Importancia	I	I*W
pH	1,00	58,20	58,20
Sólidos disueltos	0,50	94,10	47,00
Conductividad eléctrica	2,00	35,70	71,30
Oxígeno disuelto	5,00	13,20	65,80
Demanda bioquímica de oxígeno	5,00	1,30	6,30
Dureza total	1,00	32,30	32,30
Cloruros	0,50	1,20	0,60
Nitrógeno amoniacal	2,00	17,80	35,60
Fosfatos totales	2,00	21,70	43,40
Color	1,00	15,40	15,40
Turbiedad	0,50	32,80	16,40
Peso total	20,5		392,3

Tabla 6

Puntos de muestreo y valores de calidad de agua

Criterio	Rango
No contaminado	85 - 100
Aceptable	70 - 84
Poco contaminado	50 - 69
Contaminado	30 - 49
Altamente contaminado	0 - 29

Tabla 7

Puntos de muestreo valores calidad agua

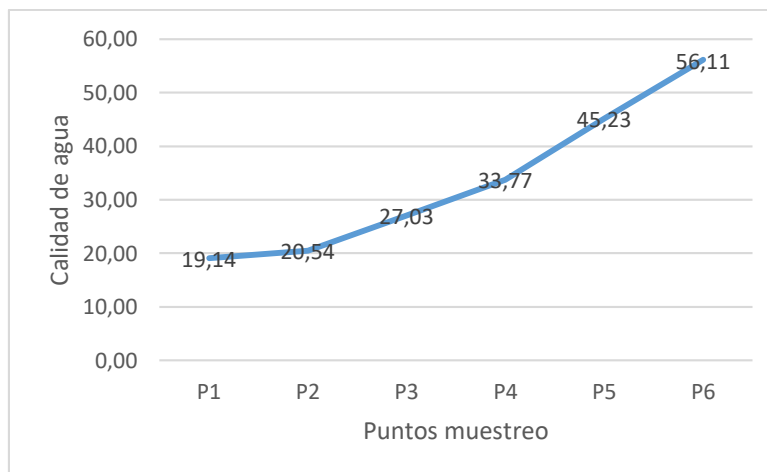
Ptos. Muestreo	Valor	Criterio
		Altamente contaminado
P1	19,14	contaminado
P2	20,54	Contaminado
P3	27,03	Contaminado
P4	33,77	Contaminado
P5	45,23	Contaminado
P6	56,11	Poco contaminado

Las tablas 5, 6 y 7 indican los parámetros y la importancia para realizar el cálculo del Índice de calidad de agua. La tabla 6 indica los criterios y valores de la calidad, y la tabla 7 indica los resultados en cada punto de muestreo. En síntesis, las tablas proporcionan

un marco para evaluar y clasificar la calidad del agua en función de su nivel de contaminación. Los rangos numéricos permiten cuantificar y comparar el estado de diferentes cuerpos de agua o muestras. Cuanto más alto sea el valor, mejor será la calidad del agua, mientras que los valores bajos indican una mayor contaminación y la necesidad de acciones de remediación. Esto sugiere que hay una mejora gradual en la calidad del agua a medida que se avanza a través de los puntos de muestreo, aunque los niveles de contaminación siguen siendo preocupantes en la mayoría de los puntos, en especial en los primeros puntos donde la contaminación es más severa, lo cual mantiene un nivel constante de contaminación hídrica, lo que puede afectar directa o indirectamente a la biota existente en el cuerpo de agua dulce, a la población de peces que habitan a lo largo del río, y al existir una actividad de pesca incrementa el riesgo de ingerir indirectamente un contaminante por parte del ser humano.

Figura 3

Evolución de la calidad de agua en relación con los puntos de muestreo



La figura 3 indica la evolución de la calidad de agua por punto de muestreo. Inicia en el punto 1, que es donde se forma el lixiviado. A medida que va movilizándose a diferente distancia, la contaminación disminuye. Es importante resaltar que el punto 6 a pesar de que existe una distancia del punto de origen, la calidad de agua no alcanza valores aceptables, la contaminación persiste, sumado a ello se identificaron puntos donde existen descargas de otros contaminantes denominados aguas servidas, esto mantiene o incrementa los valores de contaminación. No se evidencian controles en el transcurso del río hasta llegar al punto donde recibe otra carga fuerte de contaminantes, que corresponde a la Parroquia el Tejar, ubicada a 6 km y al Cantón Chimbo ubicada a 10 km.

Conclusiones

- La composición del lixiviado generado en el relleno sanitario denominado Curgua, varía en función la naturaleza de los residuos, en el cual la mayoría lo constituye materia orgánica y su grado de descomposición, y el resto mezcla de otros materiales tales como plástico, vidrio, metal, la antigüedad del relleno diseño y operación del relleno, y las condiciones climáticas. La lluvia influye en la cantidad de lixiviado producido, donde el pH del lixiviado, ligeramente alcalino, sugiere que se encuentra en una constante etapa avanzada de descomposición, lo cual provoca la transformación de ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono, proceso conocido como metanogénesis. Es de resaltar que a medida que la distancia aumenta, se evidencia la disminución parcial de los valores de los parámetros, sin embargo, se mantienen lo que provoca la constante presencia contaminación en el cuerpo de agua dulce. Este aspecto aumenta el riesgo de mantener y potencialmente aumentar la contaminación en épocas donde se pueden influir directamente en la generación de residuos sólidos.

Conflicto de intereses

Los autores deben declarar si existe o no conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

Referencias Bibliográficas

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2012). *Water quality indices*. Elsevier Science.
<https://shop.elsevier.com/books/water-quality-indices/abbasi/978-0-444-54304-2>
- Becerra-Moreno, D., Rubio-Gómez, Y., Ramírez-Ríos, L. F., Barajas-Solano, A. F., & Machuca-Martínez, F. (2021). Procesos avanzados de oxidación basados en ozono como alternativa de tratamiento para lixiviados de rellenos sanitarios. *Ciencia en Desarrollo*, 12(2), 95-108.
<https://doi.org/10.19053/01217488.v12.n2.2021.12503>
- Boyacioglu, H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme. *Water S.A.*, 33(1), 101-106.
<https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/47882/0>
- Cando, C., & Argüello, J. (2021, diciembre). *Documento metodológico de la estadística de información ambiental económica en GADM. Gestión de residuos sólidos 2020*. INEC. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2020/Residuos_solidos_2020/Metodologia_2020_GIRS.pdf

- Cárdenas-Ferrer, Teresa Margarita, Santos-Herrero, Ronaldo Francisco, Contreras-Moya, Ana Margarita, Rosa-Domínguez, Elena, & Domínguez-Núñez, Jorge. (2019). Propuesta metodológica para el sistema de gestión de los residuos sólidos urbanos en Villa Clara. *Tecnología Química*, 39(2), 471-488. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000200471&lng=es&tlng=es.
- Cárdenas-Ferrer, Teresa Margarita, Santos-Herrero, Ronaldo Francisco, Contreras-Moya, Ana Margarita, Rosa-Domínguez, Elena, & Correa -Cortés, Yania. (2020). Diseño de una planta para el tratamiento del lixiviado en Vertedero de Sagua La Grande. *Tecnología Química*, 40(2), 413-427. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852020000200413&lng=es&tlng=es.
- Cuichán Ango, J. I. (2022). *Tratamientos de lixiviados del relleno sanitario "Romerillos" del Cantón Mejía, provincia de Pichincha mediante coagulación - floculación con cloruro férrico* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23015/3/CD%2012434.pdf>
- Espinosa Noboa, J. A. (2023). *La gestión integral de los residuos: la política pública local como garantía de los derechos ambientales, estudio de caso ciudad Loja* [Tesis de maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), Quito, Ecuador] <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/19315/2/TFLACSO-2023JAEN.pdf>
- Espinoza-Quispe, C. E., Marrero-Saucedo, F. M., & Hinojosa-Benavides, R. A. (2020). Manejo de residuos sólidos en la gestión municipal de Huancavelica, Perú. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 28, 163-177. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/17068>
- Fernández-Cortés, Yessica, Sotto-Rodríguez, Karla Daniela, & Vargas-Marín, Luis Alberto. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, 15(1), 93-110. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>
- Gila Hoyas, A. (2022, abril 09). *El mercado de la gestión de residuos sólidos urbanos en Ecuador*. Editado por ICEX España Exportación e Inversiones, E.P.E. <https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/096/documentos/2022/07/documentos-anexos/DOC2022910503.pdf>
- Huang, Z., Gu, Z., Wang, Y., & Zhang, A. (2019). Improved oxidation of refractory organics in concentrated leachate by a Fe²⁺-enhanced O₃/H₂O₂ process.

Environmental science and pollution research international, 26(35), 35797–35806. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06592-y>

Lascano Garcés, J. E. (2020). *Depuración de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo, perteneciente al cantón Pastaza, provincia de Pastaza, utilizando métodos alternativos "Biomasa Residual"* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador]. <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/834/1/T.AMB.B.UEA.%20%203273.pdf>

León Chimbolema, J. G., & Andrade Borja, B. F. (2021). Tratamiento biológico complementario para lixiviados como alternativa para mitigar la contaminación ambiental. Caso: botadero "Curgua". *Polo del Conocimiento*, 6(6) <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2807>

Luo, H., Zeng, Y., Cheng, Y., He, D., & Pan, X. (2020). Recent advances in municipal landfill leachate: A review focusing on its characteristics, treatment, and toxicity assessment. *The Science of the total environment*, 703, 135468. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135468>

Morales Corozo, J. P. (2021). Análisis hidrológico del lixiviado generado en el relleno sanitario del Cantón Gonzalo Pizarro, Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 15(38), 24-33. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8377306.pdf>

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2019, enero 02). *Reciclaje de plásticos el sector está listo para un nuevo impulso*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/reciclaje-de-plastico-el-sector-esta-listo-para-un-nuevo-impulso>

Pellón Arrechea, A., López Torres, M., Espinosa Lloréns, M del C., Escobedo Acosta, R. (2009). Tecnología para el tratamiento de lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos. *Tecnología Química*, 29, 113-121. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543761014.pdf>

Poblete, R., Oller, M., Maldonado, & Cortes, E. (2019). Improved landfill leachate quality using ozone, UV solar radiation, hydrogen peroxide, persulfate and adsorption processes. *Journal of Environmental Management*, 232, 45-51. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479718312957>

Podlasek, A. (2023). Modeling leachate generation: practical scenarios for municipal solid waste landfills in Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 13256–13269. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23092-8>

Pozo Bejerano, J., García Gutiérrez, J. A., & Vázquez Pérez, Y. (2020). Estimación del caudal medio de lixiviados generados en el vertedero de Viñales, Pinar del Río. *CIGET-Holguín IDICT (Instituto de Información Científica y Tecnológica)*, 22(3). <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869117002/html/>

Raza-Carrillo, D., & Acosta, J. (2022). Planificación ambiental y el reciclaje de desechos sólidos urbanos. *Economía Sociedad y Territorio*, 22(69), 519–544. <https://doi.org/10.22136/est20221696>

Rodríguez Díaz, Y. (2023). *Diseño de un plan de acción para minimizar los riesgos ambientales que ocasionan el botadero municipal del cantón la Libertad, Santa Elena* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena, La libertad, Ecuador]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9180/1/UPSE-TII-2023-0007.pdf>

Tambo López, C. S. (2015, diciembre 9). *Propuesta de un índice de calidad del agua como herramienta de gestión para los humedales capitalinos* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás, Bogota, Ecuador]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2582/2015cristiantambo.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

Vaca Rueda, G. M. (2020). *Análisis de la gestión integral de residuos sólidos en el cantón Latacunga, principales actores, 2014-2018* [Tesis de especialización, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), Ecuador] <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/16571/2/TFLACSO-2020GMVR.pdf>

Vidarte Rodríguez, A., & Colmenares López, M. G. (2020). Basura cero. Gestión de residuos sólidos urbanos en México. *RICSH Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*, 9(18), 130 - 150. <https://doi.org/10.23913/ricsh.v9i18.217>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

