

Análisis hidrológico del lixiviado generado en el relleno sanitario del Cantón Gonzalo Pizarro, Ecuador

Juan Pablo Morales Corozo¹

Resumen

En el Ecuador, los gobiernos autónomos descentralizados municipales tienen la competencia de la gestión integral de los desechos sólidos desde la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos, dentro de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, incluyen proyectos encaminados a la eliminación de fuentes contaminantes. El principal objetivo de la investigación fue desarrollar una metodología de cálculo de lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Gonzalo Pizarro, a través de la evaluación del balance hídrico de los residuos sólidos en las celdas de disposición final, y caracterizar los lixiviados a través del análisis físico, biológico y químico para establecer alternativas de diseño de sistemas de tratamiento. Existen varias alternativas las cuales se las puede categorizar de acuerdo a varias características ya sea por los niveles de tratamiento que se den en cada una de ellas o por el tipo de contaminación que puedan tratar, hay que tomar en cuenta que los lixiviados tienen una carga contaminante alta uno de ellos es patógeno, por transformación de materia orgánica y sustancias tóxicas.

Palabras clave: Desechos sólidos, producción per cápita, cantidad de lixiviados.

Hydrological Analysis of the Leakage Generated in the Sanitary Landfill of the Gonzalo Pizarro Canton, Ecuador

Abstract

In Ecuador, the municipal decentralized autonomous governments have the competence of the integral management of solid waste from the collection, transport, treatment and final disposal of solid waste, within the development plans and territorial ordering, including projects aimed at the elimination of polluting sources. The main objective of the research was to develop a methodology for calculating leachates generated in the Gonzalo Pizarro canton sanitary landfill, through the evaluation of the water balance of the solid waste in the final disposal cells, and to characterize the leachates through the physical, biological and chemical analysis to establish treatment system design alternatives. There are several alternatives which can be categorized according to various characteristics either by the levels of treatment that are given in each of them or by the type of contamination they can treat, it must be taken into account that leachates have a load high pollutant one of them is pathogenic, by transformation of organic matter and toxic substances.

Keywords: Solid waste, production per capita, amount of leachate.

Recibido: 10 de septiembre de 2021

Aceptado: 20 de diciembre de 2021

¹ Candidato a Doctor del programa Doctorado en Ambiente y Desarrollo, de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora", Director de Gestión de Ambiente del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Gonzalo Pizarro, de la provincia de Sucumbios Ecuador. Ingeniero Químico. Magíster de alta dirección y varios posgrados
j.p.shevaroj@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4538-4488>

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional acelerado en las áreas urbanas ha dado lugar a la generación de grandes cantidades de desechos sólidos. “A pesar de que la reutilización y el reciclaje toman fuerza día con día como medidas de reducción de desechos, los vertederos y rellenos sanitarios siguen siendo el método más dominante para la eliminación de remanentes en muchos países” (Orozco, 2018, p. 15). La inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos “afecta directamente la salud de los habitantes en los puntos de generación, recolección, transporte y disposición final, y los recursos naturales allí existentes” (Zafra M. et. al., 2019, p. 10objetivoob27).

En el Ecuador, los gobiernos autónomos descentralizados municipales tienen la competencia de la gestión integral de los desechos sólidos desde la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos, dentro de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, incluyen proyectos encaminados a la eliminación de fuentes contaminantes. Desde la creación del Programa Nacional de Gestión Integral de los Desechos Sólidos, cuyo propósito es el diseño y la implementación del plan nacional de gestión integral de los desechos sólidos a través del fortalecimiento de los servicios. Desde el año 2009, esta entidad adscrita al Ministerio del Ambiente, ha realizado proyectos encaminados a eliminar los botaderos de basura y a notificar a los gobiernos municipales para realizar mejoras a la disposición final. Según Amaguay E, (2019) “La legislación tanto a nivel local como nacional, tienden a definir lineamientos para evitar que los lixivados contaminen los suelos y los cuerpos de agua” (p. 35).

Los rellenos sanitarios comprende una de las prácticas más utilizada en el país para la disposición final de los desechos y residuos sólidos. Ocampo, M. et. al., (2016) sostiene que uno de los problemas ambientales más frecuente y significativo es la producción de los lixivados originados por la descomposición de los desechos y residuos sólidos, cuya composición es compleja debido a la cantidad de humedad sobrepasando la capacidad de campo presente en el terreno, dándose una infiltración en el suelo y con ello daños ambientales por su elevada carga contaminante. “Ante estos problemas, para poder hacer y plantear estrategias de protección

primero es necesario saber la cantidad de lixivados o biogás que se genera” (Martínez A., 2019, pág. 17). De acuerdo al análisis planteado por Abunama, T. et. al., (2017) los lixivados comprenden una de las principales fuentes de contaminación de las fuentes hídricas por lo que ha sido un área polémica dentro de la gestión integral de los desechos sólidos no peligrosos. Estos comprenden el resultado de la “interacción entre el proceso de biodegradación de la fracción orgánica de estos residuos y la filtración de aguas pluviales que solubilizan componentes orgánicos e inorgánicos” (Cunha, 2013, p. 12). Tener conocimiento acerca del origen, generación y los tipos de desechos sólidos que ingresan al relleno sanitario, así como también los datos acerca de la composición, comprenden parte básica considerable para la toma de decisiones para el diseño de sistemas de tratamiento.

(Altabella, et. al., 2015) manifiestan que “uno de los problemas relacionados con los vertederos es el riesgo de contaminación de aguas subterráneas y la consecuente influencia en la calidad de las aguas superficiales” (p. 1348). La calidad y cantidad de las aguas percoladas de los desechos sólidos en descomposición alcanzan fuentes de agua superficiales.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Gonzalo Pizarro, dando cumplimiento a sus competencias establecidas en el artículo 230 del Código Orgánico Ambiental, provee de “infraestructura técnica de acuerdo a la implementación de modelos de gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, de conformidad con los lineamientos y normas técnicas que se dicten para el efecto”. En la presente investigación dada la notabilidad de la contaminación de las fuentes de agua dentro de las actividades de prevención y mitigación de impactos ambientales el principal objetivo de la investigación fue desarrollar una metodología de cálculo de lixivados generados en el relleno sanitario del cantón Gonzalo Pizarro, a través de la evaluación del balance hídrico de los residuos sólidos en las celdas de disposición final, y caracterizar los lixivados a través del análisis físico, biológico y químico para establecer alternativas de diseño de sistemas de tratamiento. Como primer paso se identifican los diferentes factores generadores de lixiviado, posteriormente se analiza la interacción

de los factores y por último el volumen de lixiviado generado.

El relleno sanitario tiene un comportamiento como un biorreactor, donde se da la descomposición de la mayoría de los desechos sólidos, especialmente los fermentables que sirven de sustrato para los microorganismos existentes dentro del sitio.

Este comportamiento del relleno sanitario tiene cinco etapas las cuales son:

Fase I (Anaeróbica)

Comprende una fase rápida donde los componentes fermentables ingresan al relleno sanitario donde por las condiciones normales del ambiente sufre reacciones químicas.

Fases II (Transición)

En esta fase de degradación donde disminuye la cantidad de oxígeno e inicia las condiciones anaeróbicas, originándose la fermentación donde no es posible la producción de lixiviado, aquí el pH disminuye por la generación de ácidos grasos volátiles y por el incremento de la temperatura generándose CO₂ dentro del proceso.

Fase III (Ácida)

Se incrementa la velocidad de reacción debido a

la actividad microbiana donde se da la generación de lixiviados donde el pH es menor o igual a 5, por lo que se generan mayor cantidad de ácidos y las concentraciones de dióxido de carbono; la conductividad aumenta; se incrementa la concentración de DBO y DQO.

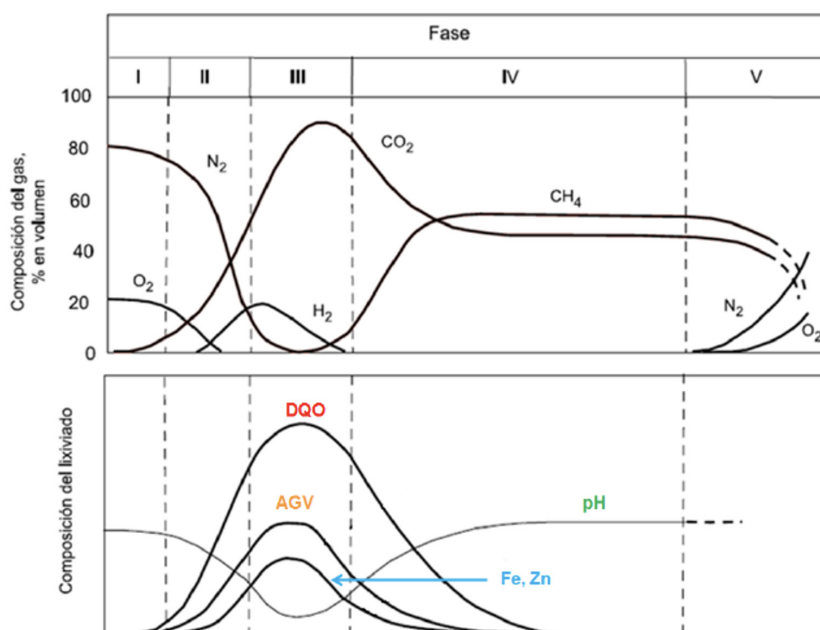
Fase IV (Metanogénica)

En esta fase se da origen al gas metano y dióxido de carbono debido a las reacciones entre ácidos grasos volátiles, aquí varían las condiciones del lixiviado donde la carga orgánica es menor de compuestos orgánicos de alta velocidad de reacción; se incrementa la concentración de amoníaco; el pH incrementa su valor oscilándose en el rango de 6,8 a 8, debido a la transformación de los ácidos grasos a dióxido de carbono y gas metano, disminuye la conductividad; la concentración de metales es baja.

Fase de V (Maduración)

Acá el comportamiento del lixiviado es de baja actividad reactiva en cuanto a la producción de gases, la velocidad de reacción que da origen a metano y dióxido de carbono debido a la disminución de sustratos y nutrientes que se encuentran en fase sólida con una actividad lenta.

Gráfico 1: Características de gas y lixiviado en un relleno sanitario



Fuente: (Sánchez, 2019)

La composición del lixiviado varía dependiendo del tipo y cantidad de desechos que ingresen al relleno sanitario, acompañado de las reacciones bioquímicas que se produzcan debido a las condiciones climáticas, las condiciones en las cuales se tiene el manejo de los lixiviados y la edad del relleno sanitario, este último es un factor muy considerable en la composición química ya que en este tiempo se estabiliza con el pasar del tiempo se va disminuyendo la concentración de los componentes.

Las características del lixiviado también pueden variar dentro del relleno sanitario debido a que se dan diferentes etapas de biodegradación se puede medir el grado del mismo mediante la relación DBO5/DQO denominado índice de biodegradabilidad, el cual muestra la reacción química originada en el relleno sanitario de ahí que la fase acidogénica tiene valores mayores a 0,4; la Metanogénica son menores a 0,1

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Para determinar el comportamiento hidrológico

de los lixiviados originados por la descomposición de los desechos sólidos en el relleno sanitario se realizó con base al método propuesto por (Theisen, 1994), donde se realiza un balance de masa que se inicia desde el cálculo del volumen de la celda de disposición final y la cantidad de material de cobertura.

Entrada: Se considera en el ingreso la fase líquida de los desechos sólidos, la precipitación fluvial y la humedad del material de cobertura.

Salida: La cantidad de líquido convertido en vapor de agua y biogas en el relleno sanitario.

La cantidad de agua que no se sale por evapotranspiración y la remanente de la reacción anaeróbica que se conduce por el sistema de filtración da como resultado el lixiviado. “Los desechos sólidos y el material de cobertura, ambos son capaces de retener agua. La cantidad de agua que se puede retener en contra de la gravedad, se denomina capacidad de campo (CC)” (Armas y Yaselga, 2005, p. 20)

Ilustración 1: Esquema de definición para el balance hídrico utilizado para calcular la cantidad de lixiviado de un relleno sanitario



Fuente: (Armas y Yaselga, 2005)

Los términos que componen al balance hídrico ecuación: según (Theisen, 1994), se describen bajo la siguiente

$$\Delta S_{RS} = W_{RS} + W_{FT} + W_{MC} + W_{A(u)} - W_{GV} - W_E - W_{F(L)}$$

Donde:

- ΔS_{RS} Variación de la cantidad de agua almacenada en los desechos sólidos (Kg/m3)
- W_{RS} Humedad de los residuos sólidos (Kg/m3)
- W_F Humedad de los lodos de plantas de tratamiento de aguas depositadas (Kg/m3)
- W_{MC} Humedad del material de cobertura (Kg/m3)
- $W_{A(u)}$ Agua filtrada superiormente (precipitación pluvial) (Kg/m3)
- W_{GV} Agua perdida en la formación de gas (Kg/m3)
- W_E Agua perdida debido a evapotranspiración (Kg/m3)
- $W_{F(L)}$ Lixiviado que se descarga (Kg/m3)

Humedad de los residuos sólidos

La humedad contenida de los residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario es uno de los parámetros más importantes y se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$M = \left(\frac{W - d}{w} \right) \times 100$$

Donde

- M Porcentaje de humedad de los desechos sólidos
- w Peso de la muestra de desechos sólidos
- d Peso de la muestra totalmente seco a 105°C

La cantidad de humedad de los desechos sólidos se encuentra en el rango de 20 al 40% del peso total de acuerdo a lo manifestado por (Theisen, 1994), esta humedad puede variar ya que se incrementa en época lluviosa y disminuye en verano, considerándose la siguiente ecuación para el cálculo del contenido de humedad:

$$W_{RS} = w_r * 0,2$$

Donde:

- w_r Cantidad de desechos sólidos que ingresan a la celda de disposición final en el relleno sanitario (Kg)

Humedad presente en el material de cobertura

El material de cobertura utilizado para el manejo

de los desechos en la celda de disposición final y la época del año en la que nos encontremos son los factores determinantes para determinar el contenido de humedad, como manifiesta (Theisen, 1994) la humedad es función de la capacidad de campo y depende mucho de la porosidad del material de cobertura.

La ecuación para el contenido de humedad del material de cobertura tomando en cuenta la capacidad de campo queda determinado de la siguiente manera según (Theisen, 1994):

$$W_{MC} = w_{mc} * CC_{MC}$$

Donde

- w_{mc} Cantidad de material de cobertura
- CC_{MC} Capacidad de campo del material de cobertura

Agua procedente de la precipitación fluvial

Comprende el agua producto de la precipitación atmosférica, ingresa a través del material de cobertura y los desechos sólidos

Vapor de agua

“Es el vapor de agua que escapa a la atmósfera junto al gas del relleno sanitario” (Theisen, 1994, p. 12); conocido también como evapotranspiración, la misma que se calcula con la siguiente ecuación:

$$ET_0 = 0,0023(t_{med} + 17,78) * R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0,5}$$

Donde

ET_0 Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

t_{med} Temperatura media diaria, °C

R_0 Radiación solar extraterrestre, en mm/día

t_{maz} Temperatura máxima

t_{min} Temperatura mínima

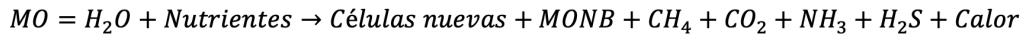
Tabla 3: Tabla de radiación solar extraterrestre en mm/día

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	46.1	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Fuente: (Allen, Rereira, & Smith, 2019)

Agua perdida en la formación de gas de compuestos orgánicos volátiles, y la reacción

Comprende el agua consumida al realizarse la reacción anaeróbica para dar origen a la formación química la describimos de la siguiente manera:

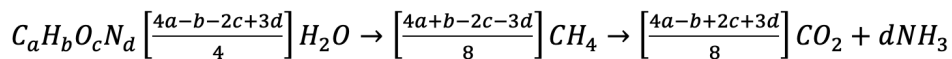


Donde:

MO Materia orgánica

$MONB$ Materia orgánica no biodegradable

La representación estequiométrica de la reacción química de los desechos sólidos:



Donde:

$C_aH_bO_cN_d$ Representación química de la materia orgánica

La velocidad de reacción con la que se degradan los desechos sólidos pueden ser rápida o lenta, (Orozco, 2018) en su investigación manifiesta que dentro de los primeros 10 años las reacciones son violentas y su velocidad comienza a disminuir de manera gradual conforme pasa el tiempo, de ahí que la cantidad de gases generados en los primeros años es mayor y disminuye en función del tiempo de ahí que la cantidad de agua consumida para la reacción química se la determina mediante la siguiente ecuación:

Velocidad de reacción rápida

$$W_{GV} = G_P * 0,165$$

Velocidad de reacción lenta

$$W_{GV} = G_P * 0,347$$

Donde:

W_{GV} Agua consumida en la reacción química (Kg/m³)

G_P Cantidad de gas generado en la reacción química

Capacidad de campo del relleno sanitario

La capacidad de campo comprende la cantidad de agua retenida por los desechos sólidos y el material de cobertura y la misma se determina mediante la siguiente ecuación:

$$CC = FC * W_{srs}$$

Donde:

CC Capacidad de campo del relleno sanitario

FC Factor de la capacidad de campo

W_{srs} Desechos sólidos completamente seco

Factor de la capacidad de campo

Se lo determina con la siguiente ecuación

$$FC = a - b \left[\frac{W_m}{c + W_m} \right]$$

Donde:

FC Factor de la capacidad de campo

W_m Peso de sobrecarga calculado a una altura media de los residuos en el nivel en cuestión (Kg)

a, b, c Valores constantes

$a = 0,6$

$b = 0,5$

$c = 4536$

Peso de sobrecarga a una altura media

$$W_m = W_N + 0,5(W_{srs} + W_{aar})$$

Donde:

W_N Peso total del nivel (Kg)

W_{srs} Peso seco de los residuos depositados en el relleno sanitario (Kg)

W_{aar} Peso del agua almacenada en los residuos (Kg)

W_{mc} Peso del material de cobertura (Kg)

Cantidad de lixiviado

La cantidad de lixiviado generado en el relleno sanitario comprende la diferencia entre la cantidad de agua remanente y la capacidad de campo, y se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$L = \Delta S_{RS} - CC$$

Donde:

L Lixiviados

ΔS_{RS} Cantidad de agua remanente de los desechos sólido que ingresan al relleno sanitario

CC Capacidad de campo del relleno sanitario

RESULTADOS

Tomando en cuenta la tasa de crecimiento del 1,2% y la población del año 2019 que es de 9599 habitantes se obtiene los siguientes resultados de la proyección hasta el año 2025.

Tabla 6. Producción per cápita

AÑOS	Descripción	Población	Cantidad diaria de desechos	Catidad anual de desechos	Producción Per cápita
	Unidades	Hab	Kg/día	Kg/año	Kg/Hab/día
2019	1	9599	3.000,00	1.095.000,00	0,31
2020	2	9714	3.105,00	1.133.325,00	0,32
2021	3	9949	3.326,15	1.214.046,07	0,33
2022	4	10311	3.687,77	1.346.034,58	0,36
2023	5	10815	4.231,80	1.544.605,64	0,39
2024	6	11480	5.026,05	1.834.506,97	0,44
2025	7	12332	6.178,29	2.255.077,46	0,50

Fuente: (Morales, 2019)

En la tabla 6 se realiza una proyección de la producción de lixiviados tomando en cuenta el crecimiento poblacional donde la producción per cápita de desechos sólidos se incrementa de 0.31 Kg/Hab/día en el año 2019, hasta 0,50 0.31 Kg/Hab/

día, hasta el año 2025, cabe indicar que dentro de la cantidad de desechos no se tomó en cuenta los desechos provenientes de las empresas HIDROALTO y COCA CODO SINCLAIR, que es variable y puede cambiar considerablemente los resultados.

Tabla 7: Cantidad de desechos sólidos confinados en el Relleno Sanitario del cantón Gonzalo Pizarro (2012 - 2019)

CELDA	Largo	Ancho	Área	Profundidad	Volumen	Cantidad de desechos	Volumen ocupado por los desechos
	(m)	(m)	(m2)	(m)	(m3)	Kg	(m3)
1	45,00	35,00	1.575,00	2	3.150,00	1.890.000,00	7.440,94
2	47,00	32,00	1.504,00	2	3.008,00	1.804.800,00	7.105,51
3	42,00	27,00	1.134,00	2	2.268,00	1.360.800,00	5.357,48
4	45,00	35,00	1.575,00	2	3.150,00	1.890.000,00	7.440,94
TOTAL					11.576,00	6.945.600,00	27.344,88

Fuente: (Morales, 2019)

En la tabla 7 se muestra los lixiviados generados m³, de desechos almacenados en las diferentes celdas dando un total de 27.344,88

Tabla 8: Evapotranspiración calculada en el año 2019

Mes	2019	T max	T min	T media	Ro	Eto
		°C	°C	°C		Kg
Enero	694,9	29,9	20	24,4	14,8	4,5
Febrero	511,5	28,6	19,9	23,7	15,3	4,3
Marzo	692,7	29,1	19,6	23,8	15,5	4,6
Abril	649,9	29,1	19,4	23,8	15	4,5
Mayo	428,8	28,7	19,8	23,7	14,2	4,0
Junio	429,6	28,1	19	23,3	15,6	4,4
Julio	366,2	27,9	18,9	23	13,8	3,9
Agosto	241,7	28,4	19,1	23,1	14,8	4,2
Septiembre	235,6	29,5	19,1	24,1	15,2	4,7
Octubre	203,2	30,1	19,7	24,3	15,3	4,8
Noviembre	339,1	29,5	18,7	24,1	14,8	4,7
Diciembre	631,0	29	19,5	23,8	14,5	4,3
TOTAL	5424,2	347,9	232,7	285,1	178,8	52,9

Fuente: (Morales, 2019)

En la tabla 8 se puede evidenciar la cantidad de desechos sólidos que ingresan a la celda de disposición final y el cálculo de la evapotranspiración de la cual se mantienen en un valor promedio de 4,5 Kg.

Tabla 9: Resumen de cálculo de cantidad de lixiviado generado

CELDA	Unidades	1	2	3	4
Desechos sólidos almacenados	Kg	1.890.000,00	1804800,00	1.360.800,00	1.890.000,00
Agua contenida en los desechos sólidos	Kg	378000	360960	272160	378000
Material de cobertura		Arena	Arena	Arena	Arena
Capacidad de Campo		12,00	12,00	12,00	12,00
Peso del material de cobertura	Kg	680.400,00	649.728,00	489.888,00	680.400,00
Cantidad de agua por evapotranspiración	Kg	52,93	55,58	58,36	61,27
Cantidad de metano generado	Kg	516.537,00	493.251,84	371.906,64	516.537,00
Agua perdida en la forma de gas	Kg	655.830,00	626.265,60	472.197,60	655.830,00
Factor de Capacidad de Campo		0,10	0,10	0,10	0,10
Capacidad de Campo del relleno sanitario	Kg	188.547,49	180.027,54	135.627,91	188.547,49
Cantidad de agua generada	Kg	402.517,07	384.366,82	289.792,04	402.508,73
Cantidad de lixiviado generado	Kg	213.969,58	204.339,29	154.164,14	213.961,24
Total de lixiviados generado	Kg	786.434,25	232,7	285,1	52,9

Fuente: (Morales, 2019)

En la tabla 9 se muestra la cantidad total de lixiviados donde se toma en cuenta la cantidad generada por las celdas de disposición final, el material de cobertura, la cantidad de agua perdida en forma de vapor, la cantidad de agua generada, la cantidad de lixiviado generado, dando una cantidad total de 786.434,25 Kg.

DISCUSIONES

Si bien es cierto la cantidad de lixiviado generado calculado es de 786.434,25 Kg, no se ha realizado un análisis para determinar si todo el lixiviado generado ingresa al sistema de tratamiento, a la vez no se toma en consideración las pérdidas debido al sistema de conducción.

No se ha realizado un balance en masa donde se determine el caudal con el que ingresan los lixiviados al sistema de tratamiento y el caudal a la salida, a la vez no se ha evidenciado si existe aguas de pantanos que se pueden infiltrar al sistema de conducción alterando la concentración de a carga contaminante y aumentar la cantidad de lixiviado.

CONCLUSIONES

(Eugenio, 1997), manifiesta que una vez conocidas las principales características del lixiviado se debe considerar el tratamiento tomando en

cuenta la tecnología para el mismo. Existen varias alternativas las cuales se las puede categorizar de acuerdo a varias características ya sea por los niveles de tratamiento que se den en cada una de ellas o por el tipo de contaminación que puedan tratar, hay que tomar en cuenta que los lixiviados tienen una carga contaminante alta uno de ellos es patógeno, por transformación de materia orgánica y sustancias tóxicas.

Si bien es cierto en el Código Orgánico Ambiental en su artículo 231 en su numeral 1, describe las responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales con respecto al manejo de los desechos sólidos no peligrosos, obliga a fomentar alternativas de tratamiento, basados en la investigación y la generación de tecnologías que eviten la contaminación de los recursos agua, suelo y aires, en tal sentido la presente investigación es un insumo referencial para la implantación de un nuevo sistema de tratamiento de lixiviados, eficiente, efectivo y económico por lo que es de vital importancia tener en cuenta el comportamiento hidrológico.

No es exagerado decir que todas las tecnologías conocidas para el tratamiento de los lixiviados de rellenos sanitarios. Existe una extensa literatura técnica sobre las aplicaciones de las diferentes

tecnologías para el tratamiento de lixiviados. Una revisión detallada de cada tema está más allá de los alcances del presente documento. A continuación, se hace un resumen de las principales tecnologías que se tienen actualmente. No se hace una discusión de la opción de tratar los lixiviados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales mezclando el lixiviado con el resto del agua residual de la ciudad, ya que en la mayoría de los casos estas son inexistentes en los países en desarrollo y por lo tanto no es una opción viable. Sin embargo, la experiencia muestra que cuando esta es una opción, usualmente es una opción eficiente en costos.

En el año 2015, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Gonzalo Pizarro, nos contrató para una consultoría para el diseño de un nuevo sistema de tratamiento de lixiviados el mismo que debido a las condiciones físico – químicas del mismo donde no existía el ingreso de desechos peligrosos, ni el de orgánicos infecciosos ayudó menormente al sistema de tratamiento, disminuyendo la carga contaminante, este sistema para el año 2019, se saturó debido a la rotura de uno de las celdas de disposición final con lo que se saturó y colapsó.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Gonzalo Pizarro, preocupado por el problema que en parte se tornó social ya que se afectó a los moradores del sector aguas abajo a 6 kilómetros del relleno sanitario, decidió declarar en estado de emergencia¹, realizando la construcción de una nueva planta para el tratamiento físico – química de los lixiviados, no se ha identificado ni cuantificado la dosificación necesaria de los insumos químicos para realizar bien el tratamiento y cumplir con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente, de ahí la necesidad de la realización del presente documento.

Bibliografía

- Allen, R., Rereira, R., & Smith, M. (20 de Diciembre de 2019). *www.hidrologia.usal.es*. Obtenido de *www.hidrologia.usal.es*: http://hidrologia.usal.es/practicass/ET/ET_Hargreaves.pdf
- Altabella, et. al. (2015). Metodología para la estimación de flujo de lixiviados en depósitos controlados. *19th International Congress on Project Management and Engineering Granada*, 1347 - 1361.
- Armas, Y., & Yaselga, G. (2005). *Estudio de la evaluación de impactos ambientales que generará la construcción del relleno sanitario de San Miguel de Ibarra, en el sector Las Tolas de Sacapamba*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Cunha. (2013). *Planta de tratamiento de lixiviados del sitio de disposición final de la ciudad de Montevideo (vertedero Felipe Cardoso)*. Universidad de la República.
- Eugenio, G. (1997). *Tratamiento de lixivados de relleossanitarios*. Colombia.
- Orozco. (2018). *Determinación de lixivados de relleno sanitario de San Ramón y selección del sistema de tratamiento*. Tecnológico de Costa Rica.
- Sánchez. (2019). *Evaluación del sistema de tratamiento de lixivados del relleno sanitario del cantón Daule, provincia del Guayas*. Universidad de Guayaquil.
- Theisen, T. (1994). *Generación integral de residuos sólidos*. Madrid, España: Mc Graw - Hill/ Interamericana de España.

¹Estado de emergencia. - Este estado de emergencia se dicta, generalmente, en caso de perturbación de la paz o del orden interno de un Estado, ya sea a consecuencia de catástrofes, brotes de enfermedades contagiosas, graves circunstancias políticas o civiles que afectan e impiden la vida normal de una comunidad, región o país.