

## Métodos Alternativos para el Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario del Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador

María José Anrango Pavón  
[manrango@tecnologicosucree.edu.ec](mailto:manrango@tecnologicosucree.edu.ec)  
Carrera de Gestión Ambiental  
Instituto Superior Tecnológico Sucre, Quito, Ecuador

### Resumen

Una consecuencia inevitable de la existencia de los rellenos sanitarios es la generación de lixiviados. Los lixiviados son una importante fuente de contaminación para aguas y suelos si no son tratados adecuadamente. Estos líquidos altamente contaminantes se caracterizan por contener concentraciones elevadas de compuestos orgánicos e inorgánicos, lo que dificulta su tratamiento. En este contexto, el objetivo de esta investigación, es caracterizar el lixiviado del relleno sanitario Romerillos del cantón Mejía, para determinar el grado de biodegradabilidad y con ello establecer técnicas de tratamiento que permitan cumplir con los parámetros establecidos en la normativa, Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, Libro IV (TULSMA, 2015). En la caracterización del lixiviado durante dos periodos: invierno y verano, se determinó la relación DBO5/DQO (menor 0,20) indicador que representa la poca biodegradabilidad del líquido. Por esta razón se plantearon tres alternativas para su tratamiento. Los ensayos a nivel de laboratorio se efectuaron con una muestra de 0,5 L, inicialmente se aplicó el tratamiento químico Coagulación – Floculación, con la dosis de 6000 mg/L y 1400 mg/L respectivamente, se logró remover el 75% de la Demanda Química de Oxígeno DQO. El segundo tratamiento fue la Oxidación Avanzada, reacción fenton, con la dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/DQO y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+</sup> se removió el 90% de DQO. El tercer tratamiento fue la combinación de ambos en donde se obtuvo el 88% de remoción del parámetro; los resultados obtenidos permiten plantear una propuesta de tratamiento integral para mitigar el impacto ambiental causado por los lixiviados en los municipios del Ecuador.

**Palabras Claves**—*Biodegradabilidad, coagulación, floculación, lixiviados, oxidación avanzada,*

### Abstract

An inevitable consequence of the existence of sanitary landfills is the generation of leachates, which are an important source of contamination for water and soil if they are not properly treated; This highly polluting liquid is characterized by high containing concentrations of organic and inorganic compounds, which makes its treatment difficult. In this context, the objective of this work was to characterize the leachate of the “San Romerillos” landfill in the “Mejía” canton, to determine the degree of biodegradability and thereby establish treatment techniques that allow compliance with the established parameters in the current environmental regulations. The characterization of the leachate was carried out during two seasons of the year, winter and summer. The BOD5 / COD ratio (lower 0.20) was determined, which represents the low biodegradability of the liquid, so three alternatives were proposed for its treatment. The tests at the laboratory level were carried out with a sample of 0.5 L, initially the chemical treatment Coagulation -

Flocculation was applied, at a dose of 6000 mg / L and 1400 mg / L respectively, it was possible to remove 75% of the Chemical Demand for Oxygen COD. The second treatment was Advanced Oxidation, fenton reaction, with a dose of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / COD and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / Fe + and 90% of COD was removed. The third treatment was the combination of both, where 88% removal of the parameter was obtained; With the results obtained, a comprehensive treatment proposal is planned to dispose of the treated effluent considering the water quality criteria according to the use of the receiving body.

**Keywords** — *Biodegradability, coagulation, flocculation, leachate, advanced oxidation.*

## **Introducción**

El manejo de los residuos sólidos urbanos es uno de los problemas ambientales que enfrentan los municipios, no solo en Ecuador sino a nivel mundial. Fruto del incremento demográfico acelerado es el aumento de la generación de residuos sólidos urbanos que sobrepasan su capacidad de manejo, induciendo a la utilización de malas prácticas (botaderos a cielo abierto) y carencias en los segmentos del proceso de gestión (reducción, separación, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final), los cuales representan un riesgo para la salud y calidad de vida de la población y una constante amenaza para los ecosistemas a corto y largo plazo (Palacios & Almeida, 2015).

El impacto ambiental que producen los rellenos sanitarios no solo está asociado a la emisión de gases de efecto invernadero CO<sub>2</sub>, sino también a las corrientes líquidas producidas como consecuencia de la infiltración del agua a través de los residuos. En el Libro VI de la Legislación Ambiental Ecuatoriana – TULSMA, se define al lixiviado como: “Líquido que percola a través de los residuos, formado por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías y la humedad de los residuos, por reacción o descomposición de los mismos, que arrastra residuos sólidos disueltos o en suspensión y contaminantes que se encuentran en los mismos residuos” (TULSMA, 2015), (Mendoza & López, 2004).

En este sentido los rellenos sanitarios son los tratamientos más utilizados para la disposición de los RSU, sin embargo, traen consigo la gran responsabilidad del control y tratamiento del lixiviado que se genera por la descomposición de los residuos confinados. Antes del año 2010, en el Ecuador, de un total de 221 municipios, 160 disponían sus desechos en “botaderos a cielo abierto” y los 61 municipios restantes, presentaban manejo de desechos con insuficientes criterios técnicos. En referencia a este panorama, el Gobierno Nacional a través del MAE, crea el PROGRAMA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS (PNGIDS, 2010), con el objetivo de impulsar la gestión de los RSU en los GADs, con un enfoque integral y sostenible (Palacios & Almeida, 2015).

Enmarcado en esta iniciativa, el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mejía, sustituyó el botadero a cielo abierto con la construcción del relleno sanitario, que está ubicado a 13 km al sur de la ciudad de Machachi, en él se disponen los residuos sólidos de ocho parroquias de su circunscripción; hasta la actualidad son cinco celdas que se han construido, tres de ellas están en etapa de cierre y las dos

restantes en etapa de operación, es decir reciben desechos. Dado que el proyecto cuenta con licencia ambiental, se ejecuta el Programa de Seguimiento y Monitoreo de Lixiviados, en cuyos resultados se evidencia oportunidades de mejora para el tratamiento de lixiviados. (GADM, 2012).

Los lixiviados generados, son almacenados en piscinas impermeabilizadas, posteriormente se transportan hacia la planta de tratamiento, en donde se logra disminuir el 30% de la demanda química de oxígeno (DQO) mediante un proceso químico; una parte del caudal tratado es descargado hacia las lagunas de fitorremediación y la otra parte recircula al relleno sanitario. Esta técnica empleada es inadecuada porque no se está disminuyendo la cantidad de lixiviado generado, debido a que no cumple con los parámetros establecidos para su descarga; además, al recircularlo se sigue concentrando, lo que genera mayores problemas para un tratamiento posterior (GADM, 2012; Jimenez, 2017).

El lixiviado es un líquido altamente peligroso, se compone de una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos; además se clasifica de acuerdo al tiempo de operación del relleno sanitario: jóvenes menor 5 años, intermedios entre 5 y 10 años y maduros mayor a 10 años. Dado que la biodegradabilidad del lixiviado es inversamente proporcional a su edad, los más biodegradables son los jóvenes y menos biodegradables los maduros. Este parámetro se mide mediante el seguimiento de la relación DBO5/DQO. Las relaciones mayores a 0,4 se toman como un indicador de que la materia orgánica en los lixiviados es fácilmente biodegradable; mientras que la relación menor a 0,2 indica que es poco biodegradable; este decrecimiento se debe a que el lixiviado maduro contiene ácidos húmicos y fúlvicos que no son fácilmente biodegradables (Mendoza & López, 2004; Torres-Lozada, Barba-Ho, Ojeda, Martínez, & Castaño, 2014).

El lixiviado del relleno sanitario "Romerillos" fue estudiado por Zaldumbide en su trabajo "Caracterización física de los RSU y química de los lixiviados producidos", en donde se determinó la relación DBO5/DQO superior a 0,4 que corresponde a un lixiviado joven con potenciales características de biodegradabilidad, (Zaldumbide & Oviedo, 2012). Posteriormente Duque en su trabajo titulado "Formulación de una solución melaza-bacterias para el tratamiento de lixiviados" determinó que mediante el tratamiento biológico se logra remover un 20% de la carga contaminante y concluye que es necesario combinar con otros tratamientos para lograr una remoción óptima y descargar el lixiviado según la normativa; las dos investigaciones realizadas, sirvieron de aporte para la correcta operación de la planta de tratamiento en ese entonces; actualmente se evidencia que en el efluente tratado, la mayoría de parámetros que califican la calidad de un lixiviado exceden los límites máximos permisibles (Duque & Carrillo, 2014; Jimenez, 2017).

Mendoza & López, señalan que la tratabilidad de un lixiviado está directamente relacionado con su composición química y ésta a su vez, depende de factores como el tipo de desecho, edad, condiciones ambientales y aspectos técnicos característicos del relleno sanitario; mismo que obligan a que el diseño de una planta de tratamiento tenga gran flexibilidad de funcionamiento; por tanto este trabajo dirige sus esfuerzos hacia diagnosticar condiciones físico - químicas del lixiviado y con los resultados obtenidos evaluar métodos de tratamiento a fin de mitigar el impacto provocado por este líquido (Mendoza & López, 2004).

Para tratar el lixiviado, procesos como la Coagulación - Floculación, son mayormente empleados debido al alto contenido de sólidos suspendidos, la técnica consiste en neutralizar las fuerzas de repulsión de la suspensión coloidal

para desestabilizar y provocar mediante la energía de mezclado la aglomeración que aumenta de tamaño y peso a las partículas y se da paso a la sedimentación, obteniendo como producto un lixiviado clarificado. Una variedad de productos químicos naturales y sintéticos son utilizados en esta técnica ya que aportan carga eléctrica contraria al coloide estableciendo una relación carga/masa que favorecen la floculación (Royer Méndez et al., 2009).

La Oxidación Avanzada, utilizada comúnmente como proceso alternativo y/o complementario a los sistemas convencionales, permite tratar contaminantes resistentes a la biodegradación. Las reacciones involucradas en el proceso poseen mayor factibilidad termodinámica y velocidades de oxidación incrementadas por la participación del radical hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ) quien exhibe alto potencial de oxidación ( $E=2,80\text{V}$ ). Este radical puede ser generado por diversos métodos, como: ozono, peróxido de hidrógeno, fenton, foto-fenton, y procesos fotocatalíticos y es capaz de degradar la materia orgánica de su entorno facilitando la completa mineralización y transformación a moléculas sencillas de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y otros compuestos inorgánicos estables (Salas, 2010), (Rubio-Clemente, Chica, & Peñuela, 2014).

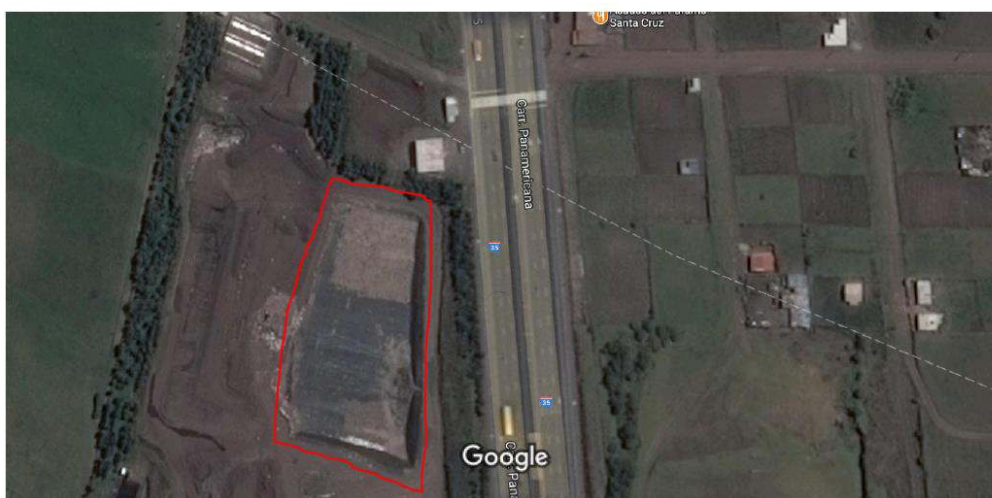
En este contexto, el objetivo del trabajo es evaluar a escala de laboratorio métodos alternativos para tratar el lixiviado proveniente del relleno sanitario Romerillos del cantón Mejía, con el fin de oxidar la materia orgánica y que los parámetros involucrados cumplan con la normativa ambiental vigente para ser descargados hacia un cuerpo hídrico, mitigando la acumulación que representa una fuente de contaminación inminente; los resultados de los métodos evaluados servirán para elaborar una propuesta de tratamiento a esta problemática en cuanto a la gestión de residuos sólidos urbanos en los municipios del país.

## Metodología

### Área de estudio

Las muestras de lixiviado fueron tomadas de la piscina N.1 del relleno sanitario "Romerillos" ubicado en el cantón Mejía, durante los meses de Febrero – Abril (época lluviosa) y Junio – Agosto (época seca) del año 2017.

**Figura 1.** Piscina de lixiviados, relleno sanitario Romerillos, cantón Mejía



**Figura 2.** Piscina de lixiviados, punto de muestreo, medición de parámetros in Situ



### *Caracterización del lixiviado*

Durante el tiempo de muestreo programado, se colectaron muestras compuestas de lixiviado; se analizó *in situ*: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura, con un multiparámetro marca HACH, modelo HQ40d. En los laboratorios de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la UISEK, se analizaron algunos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según la Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, Libro IV (TULSMA, 2015).

En los análisis gravimétricos se determinó, sólidos totales, sólidos totales disueltos, sólidos suspendidos, se utilizó la muestra de lixiviado sin dilución. Se realizó diluciones para medir el color real y aparente. La turbidez se midió con el método EPA 800 utilizando el turbidímetro Termo Scientific.

La demanda química de oxígeno, se analizó por el método 5520 C-D y la demanda bioquímica de oxígeno se determinó por el método Winkler realizando diluciones de la muestra original al 0,5% y 1% v/v (APHA, 2012).

Los aniones nitrito, nitrato, nitrógeno de amonio, sulfatos, cloruros, fosfatos; se analizaron realizando diluciones de la muestra original, 1:10; 1:100 hasta 1:1000 respectivamente (APHA, 2012). El nitrógeno total se analizó por el método Kjeldahl con el digestor Berh INKJEL, acoplado la unidad de destilación.

En microbiología se determinó, coliformes totales, se inoculó en el medio de cultivo Levine, se utilizó la muestra original y diluciones, se incubaron las muestras por 48 horas a  $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  en la estufa WiseCube, finalmente se cuantificó las colonias resultantes.

Una vez caracterizado el lixiviado se evaluó la relación DBO5/DQO para determinar el grado de biodegradabilidad, el resultado obtenido permitió establecer tres métodos químicos como alternativa para su tratamiento Coagulación – Floculación (C-F), Oxidación Avanzada (Reacción Fenton F) y una Combinación de ambos (CF y F).

a) *Proceso de coagulación - floculación*

En la prueba de jarras Velp Scientific, se realizó los ensayos para clarificar el lixiviado. Se utilizó el coagulante policloruro de aluminio PAC y floculante un polímero de alto peso molecular aniónico. Se evaluaron dosis de 1000 a 7000 mg/L para el floculante y 500 a 1500 mg/L de polímero aniónico.

Mediante la ecuación 1.0 se calculó la cantidad necesaria de cada agente a dosificar en un volumen de 0.5 L de lixiviado

$$\text{Ppm} = \frac{\text{C} \times \text{V}}{\% \cdot 1000000} \quad \text{Ecuación 1.0}$$

**Donde:**  
 C: Concentración  
 V: Volumen  
 %: Porcentaje  
 10000000: Factor de conversion

Debido a la composición variable del lixiviado, cada ensayo de jarras se realizó por triplicado y las dosis se seleccionaron aleatoriamente. El proceso de coagulación – floculación se procedió según la norma ASTM D2030; se agitó durante un minuto a 200 rpm para propiciar el proceso de coagulación, posteriormente se agitó a 50 rpm durante 20 minutos para simular el proceso de floculación, finalmente se dejó sedimentar durante 30 minutos (ASTM, 2013). Del clarificado resultante se tomó una alícuota de 50 mL para analizar los parámetros: pH, color, turbidez y DQO.

b) *Proceso de oxidación avanzada (reacción fenton)*

Por medio de la reacción fenton que se produce en el lixiviado al mezclar peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y sulfato de hierro heptahidratado (Fe SO<sub>4</sub> ·7 H<sub>2</sub>O) como catalizador, se oxida la materia orgánica, la cantidad utilizada de reactivos fue calculada con la ecuación descrita por (Rodríguez, Flesler, & Lehmann, 2014).

$$\text{H}_2\text{O}_2 \text{ estequiométrico} = 2,125\text{DQO} \quad \text{Ecuación 2.0}$$

**Donde:**  
 2,125: Cantidad de hidroxilos necesaria para oxidar la materia orgánica  
 DQO: Demanda Química de Oxígeno de la muestra original (mg/L)

De la ecuación 2.0 con la densidad del peróxido de hidrógeno al 30% v/v (1,145 mg/L) y el volumen de lixiviado a tratar 0,5 L, se determinó el volumen de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a dosificar; la cantidad de catalizador se determinó, mediante la relación estequiométrica entre reactivos y productos de la reacción fenton; para establecer la dosis necesaria se probó varias relaciones molares H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+</sup>.

c) *Combinación de procesos: coagulación - floculación y reacción fenton*

El clarificado obtenido del experimento de coagulación – floculación inicial, fue sometido a la reacción fenton, con el propósito de bajar todavía más la carga contaminante. Se siguió el mismo procedimiento descrito para la reacción fenton, con la diferencia que se calculó el volumen de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> con el resultado de DQO (mg/L) medida en el clarificado.

La cantidad de catalizador FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, fue probada a diferentes relaciones molares (1:2, 1:10, 1:15, 1:20 y 1:25) hasta obtener la dosis óptima y con el resultado final se analizó pH, color, turbidez y DQO.

## Resultados

### Caracterización del lixiviado

**Tabla 2.**

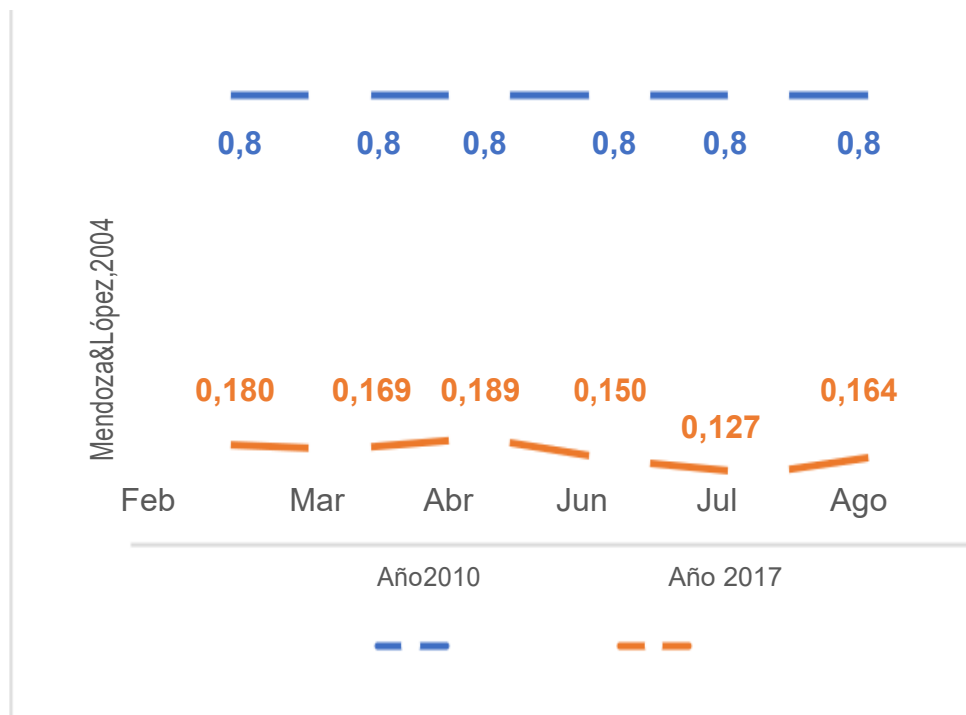
*Características promedio del lixiviado en dos estaciones de muestreo, Relleno Sanitario Romerillos, año 2017*

Parámetro	Unidad	Época Lluviosa	Época Seca	Tabla 9. TULSMA
pH	Unidad de pH	8,33	8,68	6 - 9
Temperatura	°C	18	20	-
Conductividad Eléctrica	ms/cm	15,18	11,81	-
Color	U Pt-Co	53,33	87,74	
Turbidez	NTU	486,5	661,0	
DBO5	mg/L	505	567	100
DQO	mg/L	2533	3844	200
N- Total	mg/L	1591,51	1626,5	50
N- Amoniacal	mg/L	1432	1463	30
Nitritos	mg/L	445	512	-
Nitratos	mg/L	117,5	98	-
Sólidos Totales	mg/L	9126,11	10 176	1600
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	79	70,8	130
Sulfatos	mg/L	35	55,33	1000
Cloruros	mg/L	3126,67	4267,5	1000
Fósforo Total	mg/L	95,17	45,4	10
Coliformes Totales	UFC/100mL	550	620	1000

**Fuente:** Elaboración autor

Durante el tiempo de muestreo se realizó el seguimiento de la relación DBO5/DQO para determinar la biodegradabilidad del lixiviado.

**Figura 3.** Relación DBO5/DQO, grado de biodegradabilidad del lixiviado, Relleno Sanitario Romerillos



**Fuente:** Elaboración autor

*.a) Evaluación del proceso de coagulación - floculación*

En el proceso de coagulación – floculación, con las dosis de 6000 mg/L de PAC y 1400 mg/L de polímero aniónico se consigue los mejores parámetros en pH, color, turbidez y DQO. Ver Tabla 3.

**Tabla 3.**

*Medición de parámetros, proceso de Coagulación- Floculación del Lixiviado*

Dosis C – F (mg/L)	pH (Unidades de pH)	Color (U Pt-Co)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)
1000 – 500	8,5	240	426	2120
250				
0– 1000	8,0	120	250	2050
500				
0– 1200	7,5	65	50	1000
600				
0– 1400	7	25	12	800
7000 – 1500	7,6	57	33	2800

**Fuente:** Elaboración autor



b) *Evaluación del proceso, oxidación avanzada – reacción fenton*

El volumen de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% está influenciado por la concentración de DQO en mg/L de la muestra; la cantidad de catalizador en cambio se establece de acuerdo a la relación molar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+</sup>, la relación óptima fue 1:5. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.**

*Medición de parámetros en el proceso de Oxidación Avanzada (Reacción fenton)*

Relación n H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /F e <sup>+</sup>	pH (Unidades de pH)	Color (U Pt-Co)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)
1:1	7,2	65	34	576
1:2	6,9	42	18	448
1:5	7,3	5	2,5	330
1:10	7,5	16	12	380
1:20	7	18	25	620

**Fuente:** Elaboración autor

c) *Evaluación de la combinación de procesos: coagulación-floculación y reacción fenton*

Al combinar los procesos, se determinó que la cantidad H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, partiendo del clarificado resultado del proceso de Coagulación – Floculación es menor, dado que el DQO en este producto es también menor, al igual que la cantidad de catalizador. La relación molar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+</sup> óptima fue 1:20. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.**

*Medición de parámetros, experimento combinación de procesos*

Relación H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe +	pH (Unidades de pH)	Color (U Pt-Co)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)
1:5	6,8	21	10	486
1:10	6,8	17	7	412
1:20	7,1	4	2,5	385
1:25	7,6	9	5	506
1:30	7,5	11	5,8	510

**Fuente:** Elaboración autor

## Discusión

### a) *Proceso de coagulación – floculación*

En el proceso de Coagulación – Floculación, se remueve el 75% de la DQO, con una dosis de 6000 mg/L de policloruro de aluminio al 1% y 1400 mg/L de polímero aniónico al 0,1%. El proceso se basa en desestabilizar los sólidos suspendidos para promover su aglomeración hasta lograr la sedimentación (Royer Méndez *et al.*, 2009) la baja concentración que presentan estos coloides 66 mg/L (promedio, época seca y lluviosa), es un indicativo de la baja remoción que se obtiene en el proceso aplicando este método.

Por su parte el pH, Figura 4; se estabiliza en el rango de 7,3 a 7,5 unidades de pH, con la dosis de reactivos aplicada, del mismo modo el color junto y la turbidez se reducen hasta los valores de 25 U Pt-Co y 75 NTU respectivamente, cabe señalar que a mayor cantidad de coagulante – floculante dosificado el comportamiento es diferente, después de haber sobre dosificado el proceso tiende a revertirse.

### b) *Proceso de oxidación avanzada – reacción fenton*

La reacción fenton producida por la mezcla de peróxido de hidrógeno y sulfato de hierro heptahidratado, aumentó el porcentaje de remoción de DQO al 90 %, efectuado bajo condiciones ácidas, relación molar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/DQO y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe. La relación estequiométrica entre el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y DQO determinan la cantidad de hidroxilos necesaria para oxidar la materia orgánica, las sales de hierro por su parte actúan como catalizador para descomponer al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y generan radicales hidroxilo ·OH, los cuales reaccionan con el hierro remanente en disolución hasta que cambia su estado de oxidación de Fe<sup>2+</sup> a Fe<sup>3+</sup> conjuntamente oxida la materia orgánica presente en la muestra a velocidades de reacción de 10<sup>6</sup> a 10<sup>12</sup> veces más que otros oxidantes.

No obstante, un exceso en la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no mejora la oxidación de la materia orgánica, al contrario, favorece a la producción de radicales ·OH pero a una velocidad muy lenta y por tanto el Fe<sup>2+</sup> que se regenera propicia una cascada de reacciones que inhiben la oxidación de la materia orgánica, manifiesta (Salas, 2010) y se comprueba con los ensayos realizados Figura 5, en donde la dosis aplicada de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/ Fe<sup>2+</sup> 1:5 mejora los parámetros de DQO, color y turbidez.

### c) *Proceso combinado: coagulación – floculación y reacción fenton*

La eficiencia en el proceso de coagulación – floculación fue mala por lo que se combinó este proceso con la reacción fenton, partiendo de la cantidad de materia orgánica remanente en la muestra, se trabajó con diferentes dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> /Fe<sup>2+</sup>, resultando óptima la relación molar 1:20, ya que se removió el 87% de DQO. La dinámica de ambos procesos permite que los parámetros pH, color, turbidez y DQO del lixiviado mejoren, ver Figura 6. Salas, 2010 manifiesta que la combinación de procesos sean estos pretratamientos o post-tratamientos de oxidación avanzada resultan eficientes al momento de efectuar un pulido de las aguas antes de la descarga a los cuerpos receptores.

## Conclusiones

La calidad del lixiviado del relleno sanitario Romerillos se relaciona con varios factores como, tipo de desecho, edad de la celda, fases de descomposición bioquímica, aspectos técnicos del relleno sanitario y condiciones ambientales; dado que la precipitación incide sobre el volumen del lixiviado, en época de

invierno parámetros como: color, turbidez, sólidos totales son menores que en la época de verano; por otra parte la edad del lixiviado se evidencia en el pH 8,33 – 8,68 unidades de pH, el carácter ligeramente básico en ambas épocas indica que el lixiviado es maduro y se comprueba que la celda está pasando por la fase metanogénica en donde los ácidos orgánicos se convierten en metano y dióxido de carbono como consecuencia estos valores se incrementan y menos constituyentes inorgánicos quedan en disolución.

La relación DBO5/DQO ubicada en el rango 0,127 – 0,189 caracteriza al lixiviado como un líquido con bajo contenido de materia biodegradable, esta característica se debe a la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos difíciles de degradar por métodos convencionales o biológicos, lo que se requiere de métodos avanzados para disminuir la materia orgánica e inorgánica contaminante presente en el lixiviado del relleno sanitario.

La coagulación - floculación es un proceso que se fundamenta en desestabilizar los sólidos suspendidos presentes en el lixiviado para promover la aglomeración y posterior decantación, resultando un líquido clarificado; con la dosis de 6000 mg/L de PAC y 1400 mg/L de polímero aniónico se remueve el 75% de la demanda química de oxígeno DQO, este rendimiento se considera poco eficiente debido a que la concentración de sólidos suspendidos involucrados en el proceso es baja.

La oxidación avanzada, reacción fenton remueve el 90% de la demanda química de oxígeno DQO, el proceso trabaja con dos reactivos importantes, peróxido de hidrógeno y sulfato de hierro heptahidratado como catalizador; la relación molar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/DQO determina la cantidad de hidroxilos necesarios para oxidar la materia orgánica y la relación H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe, forma sales de hierro que descomponen al peróxido de hidrógeno para generar radicales (OH) de manera que el hierro se oxida y junto con él la materia orgánica, provocando una disminución en el color, turbidez y DQO del lixiviado.

Debido a que el lixiviado presenta variabilidad en su composición, resulta bastante complejo proponer un solo tratamiento sea este químico, físico o biológico para disminuir la carga contaminante; aunque el proceso de oxidación avanzada (reacción fenton) fue el más efectivo, el proceso presenta inconvenientes en cuanto al empleo de grandes cantidades de catalizador, lo que supone la generación de lodos al momento de la implementación a escala industrial; no obstante estas limitaciones pueden ser superadas mediante la aplicación de sistemas heterogéneos (híbridos), el acoplamiento de procesos avanzados con pre o post tratamientos sería la alternativa más viable para la remoción de contaminantes tóxicos provenientes del relleno sanitario.

## Referencias

- APHA, A. P. H. A. A. W. W. A. W. E. F. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *Standard Methods*, (102), 541. <https://doi.org/10.2105/AJPH.51.6.940-a>
- ASTM, D. (2013). Standard Practice for Coagulation - Flocculation Jar Test of Water. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/328129512/Coagulation-Flocculation-Jar-Test-of-Water-ASTM-D2035-pdf>

Duque, C., & Carrillo, I. (2014). *FORMULACIÓN DE UNA SOLUCIÓN MELAZA-BACTERIAS PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE MACHACHI CANTÓN MEJÍA.*

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL. Retrieved from [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4671/1/56631\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4671/1/56631_1.pdf)

GADM, M. (2012). *PLAN ESTRATÉGICO PARTICIPATIVO INSTITUCIONAL.* Retrieved from

[http://www.municipiodemejia.gob.ec/documents/transparencia/2012/a/3planificacion estrategica participativa institucional 2012.pdf](http://www.municipiodemejia.gob.ec/documents/transparencia/2012/a/3planificacion%20estrategica%20participativa%20institucional%202012.pdf)

Jimenez, G. (2017). *GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CANTÓN MEJÍA.* Retrieved from <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/04am07-1704-p.pdf>

López, M. E., & Santos, R. (2012). Estudio preliminar del comportamiento de rellenos sanitarios como biodigestores a escala de laboratorio. *Afinidad LXIX*, [www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/268385/355954](http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/268385/355954)

Méndez, R., Castillo, E., Sauri, M. R., Quintal, C., Giacomán, G., & Jiménez, B. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 133–145. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000300002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300002)

Méndez, R., Pietrogiovanna, J., Santos, B., Sauri, R., Giacomán, G., & Castillos, E. (2010). DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE REACTIVO FENTON EN UN TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS POR FENTON-ADSORCIÓN. *Rev.*

*Int. Contam. Ambie*, 26(3), 211–220. Retrieved from

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v26n3/v26n3a4.pdf>,  
[http://www.bdigital.unal.edu.co/1059/1/patriciamendozasalgado.2004\\_.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/1059/1/patriciamendozasalgado.2004_.pdf)

TRATAMIENTO EN FILTRO ANAEROBIO PILOTO DE FLUJO ASCENDENTE. Retrieved from

Mendoza, P., & López, V. (2004). ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL LIXIVIADO DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA Y SU RESPUESTA BAJO

Morales, C. (2007). ESTUDIO PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LOS LIXIVIADOS. Universidad Nacional de Colombia.

Retrieved. From <http://www.bdigital.unal.edu.co/1073/1/claudiajohanamorales.2007.pdf>

Nájera, H., Castañón, J., Figueroa, J., & Rojas-Valencia, M. (2009). CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE LIXIVIADOS MADUROS PRODUCIDOS EN EL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MÉXICO (PDF Download Available). Retrieved August 22, 2017, Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/239530632\\_CHARACTERIZACION\\_Y\\_TRATAMIENTO\\_FISICOQUIMICO\\_DE\\_LIXIVIADOS\\_MADUROS\\_PROD](https://www.researchgate.net/publication/239530632_CHARACTERIZACION_Y_TRATAMIENTO_FISICOQUIMICO_DE_LIXIVIADOS_MADUROS_PROD)

UCIDOS\_EN\_EL\_SITIO\_DE\_DISPOSICION\_FINAL\_DE\_TUXTLA\_GUTIER  
REZ\_CHIAPAS\_MEXICO

- Palacios, L., & Almeida, E. (2015). Diseño de los Procesos en el Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos del Ministerio del Ambiente (MAE-PNGIDS); en la Ciudad de Quito en el Período 2014-2015. Retrieved from [http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/13500/1/Palacios\\_Encalada\\_Laura\\_Cristina.pdf](http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/13500/1/Palacios_Encalada_Laura_Cristina.pdf)
- Rodríguez, R. ;, Flesler, F., & Lehmann, V. (2014). OXIDACIÓN AVANZADA – SISTEMA FENTON – EN TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES DE ALTA CARGA ORGANICA. Retrieved from <https://www.inti.gob.ar/tecnointi2013/CD/info/pdf/365.pdf>
- Rubio-Clemente, A., Chica, E., & Peñuela, G. (2014). Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. *2014*, *16*(2), 211–223. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v16n2/v16n2a19.pdf>
- Salas, G. (2010). Tratamiento Por Oxidación Avanzada (Reacción Fenton) De Aguas Residuales De La Industria Textil. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím*, *13*(1), 30–38.
- Torres-Lozada, P., Barba-Ho, L., Ojeda, C., Martínez, J., & Castaño, Y. (2014). INFLUENCIA DE LA EDAD DE LIXIVIADOS SOBRE SU COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y SU POTENCIAL DE TOXICIDAD. *& Div. Cient*, *17*(1), 245–255. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a27.pdf>
- Zaldumbide, L., & Oviedo, E. (2012). *Caracterización física de Residuos Sólidos Urbanos, Caracterización Química de Lixiviados y Propuesta de Tratamiento para Lixiviados del Relleno Sanitario del Cantón Mejía*. UNIVERSIDAD