

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“METODOS ALTERNATIVOS PARA EL TRATAMIENTO DE
LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTON MEJIA,
PICHINCHA, ECUADOR”**

Realizado por:

MARIA JOSE ANRANGO PAVON

Director del proyecto:

Magíster. Emma Ivonne Carrillo Paredes

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTION AMBIENTAL

Quito, 26 de Febrero del 2018

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, MARIA JOSE ANRANGO PAVON, con cédula de identidad # 171586690-9, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



171586690-9

FIRMA Y CEDULA

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“METODOS ALTERNATIVOS PARA EL TRATAMIENTO DE
LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTON MEJIA,
PICHINCHA, ECUADOR”**

Realizado por:

MARIA JOSE ANRANGO PAVON

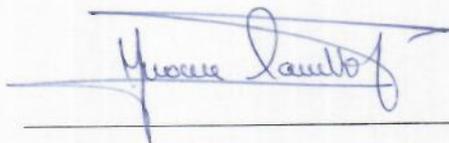
como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTION AMBIENTAL

ha sido dirigido por la profesora

EMMA IVONNE CARRILLO PAREDES

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



170728174-5

FIRMA Y CEDULA

PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

WALBERTO GALLEGOS

JOHANNA MEDRANO

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador.



FIRMA



FIRMA

QUITO, 26 Febrero del 2018

DEDICATORIA

A mis sobrinos Gandhi, Fátima, Isaac, Monserrath, Josafath, Milena y Raphael

“Un sueño no se hace realidad a través de la magia, conlleva sacrificio, sudor, lágrimas, estudio y arduo trabajo; el esfuerzo que ahora pongan en conseguir ese sueño será la semilla y los frutos que mañana cosecharan, serán sus victorias”

Es lo que deseo con todo mi corazón, los Amo!!.....

La tía José.

A los chicos del laboratorio Viky en ese entonces, ahora Anita, Dayri, Karencita,
Stalin, Stefy, Santy, señor Edu, mis compañeras de clases Nik, Alexita, Isabel,
Fany, Paul; siempre estuvieron prestos a colaborar un gesto, una palabra, una
ayuda en el momento oportuno fue un aliciente para culminar con éxito este
trabajo, considero un honor haber compartido con cada uno de ustedes AMIGOS,
gracias totales!!!

María José

AGRADECIMIENTO

A mi familia, que durante estos dos años, demostró que somos un equipo, el MEJOR, a pesar de que hemos venido caminando con adversidad, hoy entendemos que somos fuertes, nuestro angelito que está en el cielo, estará orgullosa de haber formado esta familia hijas, niet@s y bisniet@s que en cada logro llevan plasmados su palabra, valentía y bendición.

A Ivonne, mi Directora de Tesis, desde aquel día que me conoció depositó su confianza en mí, su enseñanza profesional sus conocimientos y los lazos de amistad que logramos consolidar en aquellos días de trabajo e investigación, serán las armas con las que ahora enfrento este reto, su calidez, su forma de ser, deja en mi un sentimiento y profundo agradecimiento por ser quien es, una extraordinaria profesional y un gran ser humano.

A Walberto Gallegos y Jhoana Medrano, quienes con su experiencia supieron guiar este trabajo y ante las dificultades que se presentaron en el camino estuvieron ahí para ayudarme, con sus consejos, con su forma de ver el problema hasta llegar a una solución.

Para ser sometido a: *Journal of Material Cycles and Waste Management*

Métodos alternativos para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador

Alternative methods for the treatment of leachates from the sanitary landfill of Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador

María José Anrango¹ & Ivonne Carrillo Paredes²

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Email: ma.jose@live.com

²Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Email: emma.carrillo@uisek.edu.ec

- Autor de correspondencia: MSc. Ivonne Carrillo, emma.carrillo@uisek.edu.ec

Titulo corto (Running title): Tratamiento de lixiviados

Resumen.

Una consecuencia inevitable de la existencia de los rellenos sanitarios, es la generación de lixiviados, que son una importante fuente de contaminación para aguas y suelos, sino son tratados adecuadamente; este líquido altamente contaminante se caracteriza por contener concentraciones elevadas de compuestos orgánicos e inorgánicos lo que dificulta su tratamiento. En este contexto el objetivo del presente trabajo, fue 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 ambiental vigente.

Mediante la caracterización durante dos épocas del año, invierno y verano, se determinó que la relación DBO₅/DQO fue baja (menor a 0,20) indicador que representa que la materia orgánica contenida en el lixiviado no puede ser biodegradable, particularidad por la cual se empleó métodos químicos para cumplir con los objetivos planteados.

La investigación a nivel de laboratorio se llevó a cabo con una muestra de 0,5 L. Inicialmente se aplicó el tratamiento químico Coagulación – Floculación, la dosis de coagulante inorgánico fue de 6000 mg/L y 1400 mg/L de coagulante orgánico, se removió 75% de la Demanda Química de Oxígeno. El segundo tratamiento fue la Oxidación Avanzada, mediante la reacción fenton, utilizando peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso heptahidratado como catalizador. Se dosificaron los reactivos de acuerdo a la relación molar H₂O₂/DQO y H₂O₂/Fe⁺, se removió el 90% de DQO. El tercer método fue la combinación de ambos en donde se obtuvo el 88% de remoción en este parámetro.

Finalmente con los resultados obtenidos se planea una propuesta de tratamiento para el lixiviado del relleno sanitario con estas características, de manera que se pueda disponer del efluente tratado considerando el criterio de calidad de agua de acuerdo al uso del cuerpo receptor.

Palabras clave

Relleno sanitario, lixiviados, carga orgánica, biodegradabilidad, coagulación, floculación, dosis óptima, oxidación avanzada, reacción fenton, peróxido de hidrógeno, sulfato ferroso heptahidratado, catalizador, relación molar, DQO, efluente, cuerpo receptor.

Abstract.

An unavoidable consequence of sanitary landfills existence, is the generation of leachates, which are an important source of water and soil contamination, if those are not treated properly; This highly polluting liquid is characterized by containing high concentrations of organic and inorganic compounds, which hinder its treatment. In this context, the objective of this research was to characterize the leachate of Romerillos landfill in the Mejía Canton, to determine the biodegradability degree and thereby establish treatment techniques which allow compliance with the established parameters in the environmental regulations.

Through the characterization during two seasons of the year, winter and summer, was determined that the BOD5 / COD ratio was low (less than 0.20), an indicator that represents that the organic matter contained in the leachate cannot be biodegradable, particularity whereby chemical methods were used to meet the objectives set.

The laboratory-level research was carried out with a sample of 0.5 L. Initially the chemical treatment Coagulation - Flocculation was applied, the dosage of inorganic coagulant was 6000 mg / L and 1400 mg / L of organic coagulant, was removed 75% of the Chemical Oxygen Demand.

The second treatment was Advanced Oxidation, by means of the Fenton reaction, using hydrogen peroxide and ferrous sulphate heptahydrate as a catalyst. The reagents were dosed according to the molar ratio H_2O_2 / COD and H_2O_2 / Fe^+ , 90% of COD was removed.

The third method was the combination of both where 88% removal was obtained in this parameter.

Finally, with the obtained results, a treatment proposal for the leachate of the sanitary landfill with these characteristics is planned, so that the treated effluent can be disposed considering the water quality criteria according to the use of the receiving body.

Key words

Sanitary landfill, leachate, organic load, biodegradability, coagulation, flocculation, optimum dose, advanced oxidation, fenton reaction, hydrogen peroxide, ferrous sulfate heptahydrate, catalyst, molar ratio, COD, effluent, body receptor..

INTRODUCCION

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 sino principalmente a las corrientes líquidas producidas como consecuencia de la infiltración del agua a través de los residuos sólidos. Según el Libro VI de la Legislación Ambiental Ecuatoriana – TULSMA, 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).

Siendo los rellenos sanitarios los tratamientos más adecuados para la disposición de los RSU, traen consigo la gran responsabilidad del control y tratamiento del lixiviado que se genera por la descomposición de los residuos confinados. Debido a la naturaleza potencialmente contaminante del líquido, la lluvia y las precipitaciones en el área, éste debe ser colectado y tratado previamente a fin de cumplir con los parámetros establecidos en la normativa ambiental vigente para ser descargado y evitar que llegue a ser fuente de contaminación en el suelo, agua superficial y subterránea (Morales, 2007).

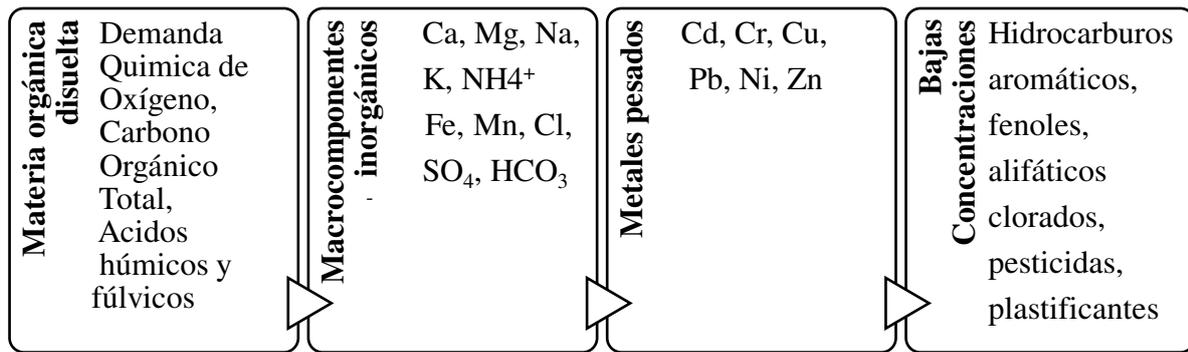
Antes del año 2010, en el Ecuador, de un total de 221 municipios, 160 disponían sus desechos en “botaderos a cielo abierto” y los 61 municipios restantes, presentaban manejo de desechos con insuficientes criterios técnicos. En referencia a este panorama, el Gobierno Nacional a través del MAE, crea el 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 las ocho parroquias de su circunscripción. Hasta la actualidad son cinco celdas que se han construido, tres de ellas están en la 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 a de mejora en el tratamiento de lixiviados. (GADM, 2012).

Los lixiviados captados tanto de los cubetos cerrados como de los que reciben residuos, son almacenados en piscinas impermeabilizadas, posteriormente se transportan hacia la planta de tratamiento, en donde se trata el lixiviado mediante el proceso de coagulación y floculación, logrando disminuir alrededor del 30% del DQO; 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 logrando disminuir 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).

Los lixiviados se componen de una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos, que pueden ser clasificados en cuatro grupos, ver Tabla 1. También se pueden clasificar de acuerdo con el tiempo de operación del relleno sanitario: Jóvenes < 5 años; Intermedios 5-10 años y Maduros > 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 puede establecer mediante el seguimiento de la relación DBO_5/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 en los rellenos sanitarios antiguos, la relación menor a 0,2 indica que es poco biodegradable; este decrecimiento es debido a que el lixiviado maduro contienen ácidos húmicos y fúlvicos, que no son fácilmente biodegradables (Mendoza & López, 2004; Torres-Lozada, Barba-Ho, Ojeda, Martínez, & Castaño, 2014).

Tabla 1. Clasificación de Lixiviados



Fuente: Edad de Lixiviados y Toxicidad (Torres-Lozada *et al.*, 2014)

El lixiviado del relleno sanitario “Romerillos” ha sido 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, por lo que se propuso la recirculación como alternativa para su tratamiento. (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 esta a su vez depende de factores como el tipo de desecho, edad, condiciones ambientales y aspectos técnicos característicos del relleno sanitario, los cuales 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 físicoquímicas del lixiviado y con los resultados obtenidos evaluar métodos de tratamiento a fin de mitigar el impacto provocado por el líquido contaminante (Mendoza & López, 2004).

Se propone entonces, estudiar diversos métodos para tratar el lixiviado, el primero es la Coagulación - Floculación, ya que el líquido contiene material suspendido, sólidos que se pueden sedimentar y otros dispersos que no se sedimentan con facilidad; estos últimos son llamados coloides, cuyas partículas se encuentran estabilizadas por una serie de cargas de igual

signo sobre su superficie haciendo que se repelan, de esta forma, los procesos de coagulación desestabilizan los coloides y la floculación permite el transporte de partículas coaguladas provocando colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración hasta conseguir su sedimentación lo cual se logra con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado (Royer Méndez et al., 2009).

El otro método, es la Oxidación Avanzada (AOX), utilizada comúnmente como proceso alternativo y/o complementario a los sistemas convencionales que permiten tratar contaminantes resistentes a la biodegradación. Las reacciones involucradas poseen una mayor factibilidad termodinámica y una velocidad de oxidación incrementada por la participación del radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$), que tiene alto potencial de oxidación ($E=2,80\text{V}$). Este radical puede ser generado por diversos métodos (ozono, peróxido de hidrógeno, fenton, foto-fenton, y procesos fotocatalíticos), capaces de degradar la materia orgánica del medio, permitiendo la completa mineralización y transformación a CO_2 y H_2O 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 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 y evitar su acumulación que representa una fuente de contaminación inminente; el primer paso para conseguir el objetivo comienza con la caracterización físicoquímica y microbiológica del lixiviado, según los resultados se aplica varios métodos como son: Coagulación – Floculación, Oxidación Avanzada (reacción fenton) y una combinación de ambos, se experimentó con varias dosis de los reactivos implicados en cada proceso, hasta determinar la dosis óptima y finalmente se evaluó la eficiencia de cada proceso en los parámetro pH, DQO, color y turbidez. Se realizó el análisis estadístico ANOVA, para determinar las diferencias significativas entre los métodos cuyos resultados sirvieron para elaborar una propuesta de tratamiento a esta problemática en la gestión de los residuos sólidos urbanos en los municipios del país.

La hipótesis establece que los lixiviados por su variabilidad en contaminantes, constituye uno de los factores difíciles de ser tratado por métodos convencionales, la utilización de procesos de óxido-reducción, dan una opción para su tratamiento, al cambiar las especies como aniones y cationes a compuestos más fácilmente degradables.

Los métodos aplicados al tratamiento de lixiviados, disminuye la carga contaminante hasta los límites máximos permisibles establecidos en la Normativa Ambiental

MATERIALES Y METODOS

AREA 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). Ver Anexo 1.

En los análisis gravimétricos se determinó, sólidos totales, sólidos totales disueltos, sólidos suspendidos, se utilizó la muestra de lixiviado sin dilución. Mientras que se realizó diluciones para medir el color real y aparente, en el espectrofotómetro HACH DR 2800, Método 160. 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 y D del Standard Methods 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, utilizando los protocolos establecidos en el Standard Methods (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, las bacterias del género coliformes totales, se sembró 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 marca WiseCube, al cabo de ese tiempo se contó las colonias resultantes.

Una vez caracterizado el lixiviado se evaluó la relación DBO_5/DQO para determinar el grado de biodegradabilidad, este resultado permitió establecer tres métodos netamente químicos para su tratamiento Coagulación – Floculación (C-F), Oxidación Avanzada (Reacción Fenton F), Coagulación – Floculación y Reacción Fenton (CF y F).

a) PROCESO DE COAGULACION - FLOCULACION

En la prueba de jarras, marca Velp Scientific, se realizó los ensayos para clarificar el lixiviado. Se utilizó como coagulante policloruro de aluminio PAC y como floculante un polímero de alto peso molecular aniónico. Se evaluaron dosis de 1000 a 7000 mg/L (1000, 2500, 5000, 6000 y 7000 mg/L) para el floculante y 500 a 1500 mg/L (500, 1000, 1200, 1400 y 1500 mg/L) para el 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.

$$ppm = \frac{CxV}{\% \times 1000000} \quad \text{Ecuación 1.0}$$

Donde: C: Concentración
 V: Volumen
 %: Porcentaje
 10000000: Factor de conversión

Debido a la composición variable del lixiviado y por aseguramiento de calidad, cada ensayo de jarras se realizó por triplicado y las dosis se seleccionaron aleatoriamente. El proceso de coagulación – floculación se procedió según las 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 (REACCION FENTON)

La oxidación avanzada se llevó a cabo mediante la reacción fenton que se produce en el lixiviado al mezclar peróxido de hidrógeno grado reactivo (H₂O₂) y sulfato de hierro heptahidratado (Fe SO₄ ·7 H₂O) como catalizador de la reacción. La cantidad de H₂O₂ se calculó utilizando la ecuación descrita por (Rodríguez, Flesler, & Lehmann, 2014).

$$H_2O_2 \text{ estequimetrico} = 2,125$$

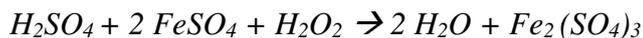
Ecuación 2.0

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 de concentración (1,145 mg/L) y el volumen de lixiviado a tratar 0,5 L, se determinó el volumen de H_2O_2 a dosificar; la cantidad de catalizador se determinó, mediante la relación estequiometrica entre reactivos y productos que actúan en la reacción fenton; para determinar la dosis necesaria se probó con varias relaciones molares H_2O_2/Fe^+ (1:1, 1:2, 1:4, 1:10, 1:20).

Calculado el volumen de H_2O_2 y la masa de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, varios ensayos de la reacción fenton se realizaron en el equipo de jarras, según la metodología descrita por Rodríguez *et al*, 2014, quien establece que la reacción tiende a ser mejor en un rango de pH de 2,7 a 3,1 se estabilizó el pH con ácido sulfúrico 5 N y se ajustó hasta los valores recomendados 3,0 unidades de pH y se efectuó la reacción descrita a continuación:



Reacción 3.0

Se añadió el peróxido de hidrógeno H_2O_2 y el catalizador $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, se agitó la mezcla en el equipo de jarras a 100 rpm durante una hora, se neutralizó a pH 7.0 y finalmente se dejó sedimentar. Transcurrido el tiempo, se tomó una alícuota de 50 mL y se analizó pH, color, turbidez y DQO.

c) COMBINACION DE PROCESOS: COAGULACION - FLOCULACION Y REACCION FENTON

El clarificado obtenido del experimento de coagulación – floculación inicial, fue sometido a la reacción fenton, con el propósito de bajar aún más la carga contaminante según se establece en los objetivos. Se siguió el mismo procedimiento descrito para la reacción fenton, con la diferencia que se calculó el volumen de H_2O_2 con el resultado de DQO (mg/L) medida en el clarificado.

La cantidad de catalizador $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, fue probada a diferentes relaciones molares (1:2, 1:10, 1:15, 1:20 y 1:25) igualmente hasta obtener la dosis óptima, y con el resultado final se analizó pH, color, turbidez y DQO.

ANALISIS ESTADISTICO DE LOS PROCESOS APLICADOS

Para determinar las diferencias estadísticamente significativas de los procesos aplicados al tratamiento de lixiviados se utilizó el programa SPSS Statistics 22 y se llevó a cabo el análisis de varianza ANOVA, que permite conocer la variabilidad que existe en un factor con respecto a la variable dependiente cuantitativa. En el estudio, el factor corresponde a los tres tratamientos aplicados Coagulación – Floculación (C-F), Oxidación Avanzada (reacción fenton F), Coagulación – Floculación y Reacción Fenton (CF y F); mientras que la variable dependiente fue la demanda química de oxígeno DQO. El análisis permite contrastar la hipótesis nula, que asegura que las medias de los tres tratamientos aplicados son iguales y la hipótesis alternativa, que afirma lo contrario. Al existir diferencias estadísticas entre los tres grupos se utilizó las pruebas de rango post-hoc para identificar subconjuntos homogéneos de medias que no se diferencian entre sí y finalmente se calculó la eficiencia de cada proceso.

RESULTADOS

CARACTERIZACION DEL LIXIVIADO

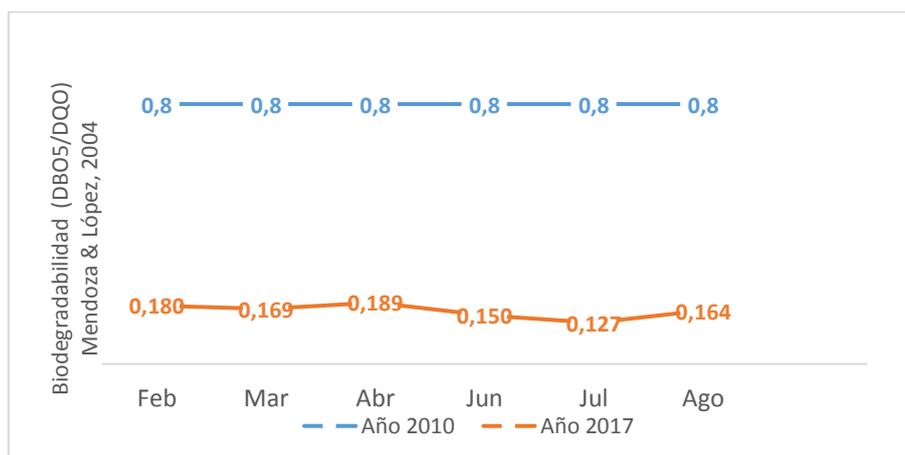
Los resultados de la caracterización del lixiviado del relleno sanitario “Romerillos” del Cantón Mejía, se muestran en la Tabla 2, en la cual se destacan los valores promedio de los parámetros analizados en época lluviosa y época seca, y su comparación con algunos parámetros de la Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Tabla 2. Características promedio del lixiviado en dos estaciones de muestreo, Relleno Sanitario Romerillos, año 2017

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



Fuente: Elaboración autor

Figura 3. Comparación de la relación DBO₅/DQO, grado de biodegradabilidad del lixiviado, Relleno Sanitario Romerillos.

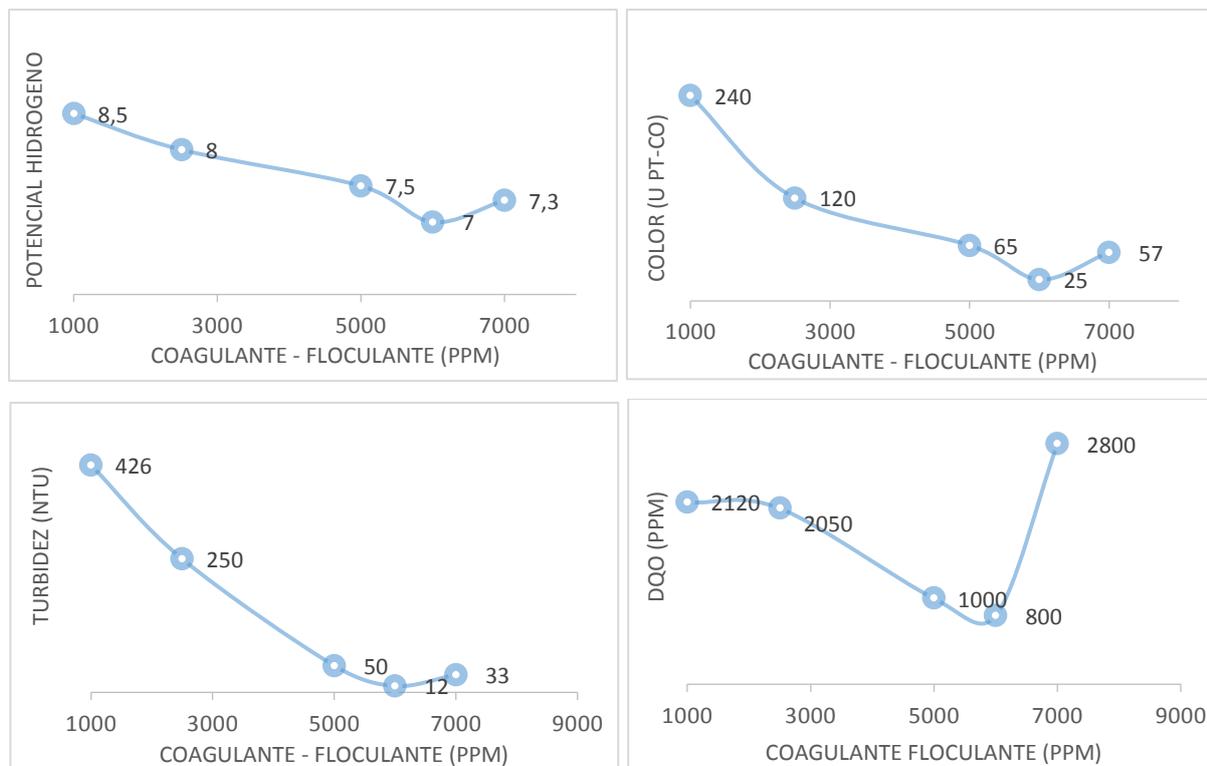
a) *EVALUACION DEL PROCESO DE COAGULACION - FLOCULACION*

En el proceso de coagulación – floculación se consigue los mejores parámetros de pH, color, turbidez y DQO después de la evaluación en el equipo de jarras utilizando 6000 mg/L de policloruro de aluminio, PAC y 1400 mg/L de polímero aniónico. Ver Tabla 3.

Tabla 3. Medición de parámetros, proceso de Coagulación- Floculación del Lixiviado

<i>Dosis</i> <i>C – F (mg/L)</i>	<i>pH</i> <i>(Unidades de pH)</i>	<i>Color</i> <i>(U Pt-Co)</i>	<i>Turbidez</i> <i>(NTU)</i>	<i>DQO</i> <i>(mg/L)</i>
1000 – 500	8,5	240	426	2120
2500 – 1000	8,0	120	250	2050
5000 – 1200	7,5	65	50	1000
6000 – 1400	7	25	12	800
7000 – 1500	7,6	57	33	2800

Fuente: Elaboración autor



Fuente: Elaboración autor

Figura 4. Comportamiento de variables fisicoquímicas en el proceso a) Coagulación – Flocculación.

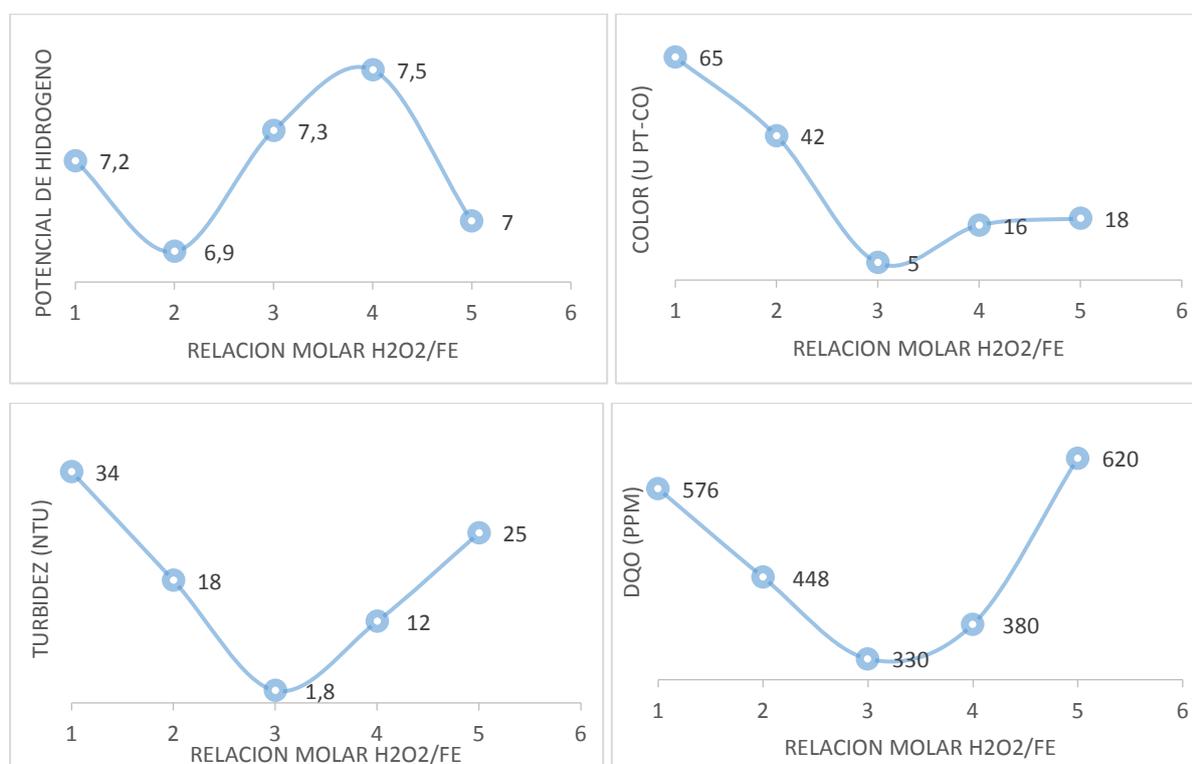
b) EVALUACION DEL PROCESO, OXIDACION AVANZADA – REACCIÓN FENTON

Se determinó que el volumen de H_2O_2 al 30% está influenciado por la concentración de DQO en mg/L que presenta la muestra; la cantidad de catalizador en cambio se establece de acuerdo a la relación molar H_2O_2/Fe^+ , la relación óptima fue 1:5. Los resultados obtenidos de los parámetros analizados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Medición de parámetros en el proceso de Oxidación Avanzada (Reacción fenton)

<i>Relación</i> <i>H₂O₂/Fe⁺</i>	<i>pH</i> <i>(Unidades de pH)</i>	<i>Color</i> <i>(U Pt-Co)</i>	<i>Turbidez</i> <i>(NTU)</i>	<i>DQO</i> <i>(mg/L)</i>
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



Fuente: Elaboración autor

Figura 5. Comportamiento de variables fisicoquímicas en el proceso b) Oxidación Avanzada - Reacción Fenton

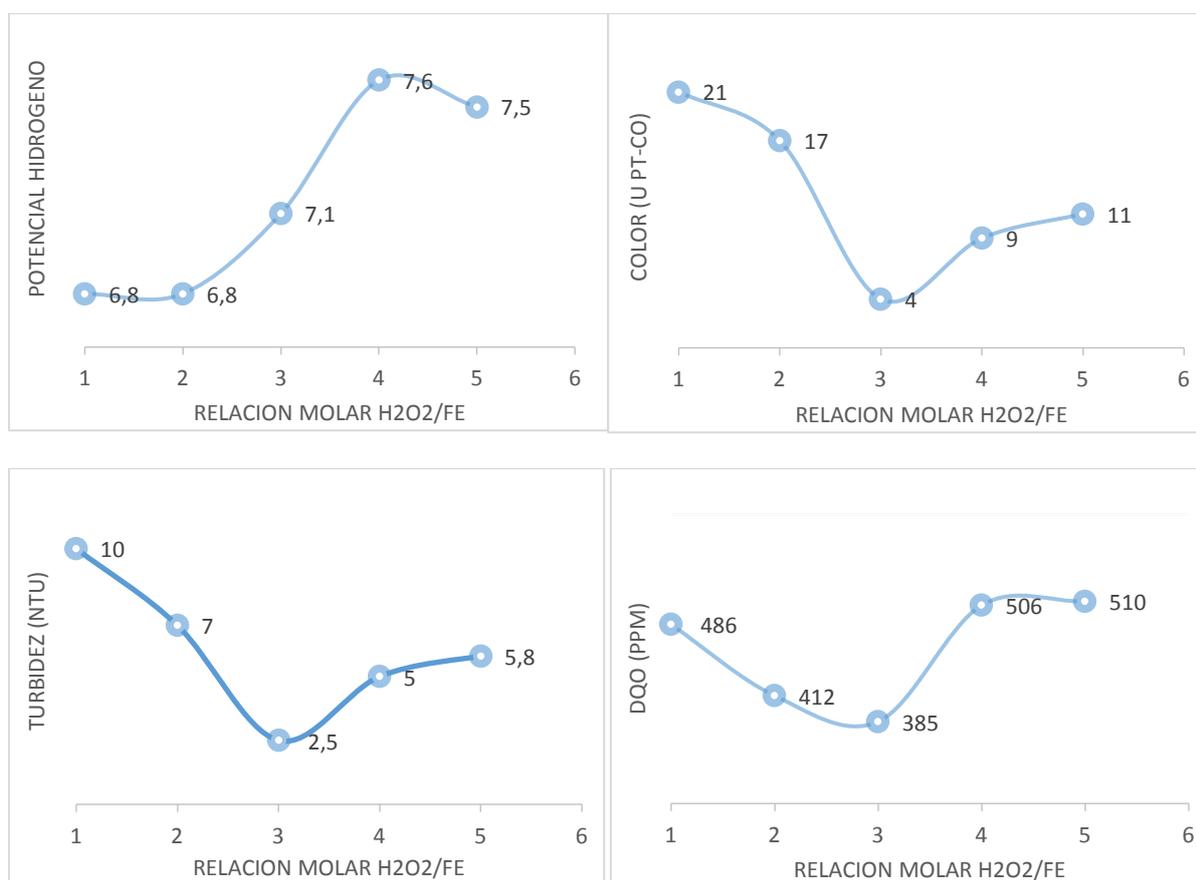
c) *EVALUACION DE LA COMBINACION DE PROCESOS: COAGULACION-FLOCULACION Y REACCION FENTON*

Al combinar los procesos, se determinó que la cantidad H₂O₂, partido 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 H₂O₂/Fe⁺ con la que se consigue buenos resultados fue 1:20. Los valores de los parámetros analizados en este experimento, se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Medición de parámetros, experimento combinación de procesos

<i>Relación</i> <i>H₂O₂/Fe⁺</i>	<i>pH</i> <i>(Unidades de pH)</i>	<i>Color</i> <i>(U Pt-Co)</i>	<i>Turbidez</i> <i>(NTU)</i>	<i>DQO</i> <i>(mg/L)</i>
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



Fuente: Elaboración autor

Figura 6. Comportamiento de variables fisicoquímicas en la combinación de procesos

ANÁLISIS ESTADÍSTICO – ANOVA DE UN FACTOR

Para conocer la varianza del factor, en este caso los tres procesos aplicados al tratamiento de lixiviados con respecto a la variable dependiente cuantificada DQO, se aplicó el análisis estadístico, cuyos resultados se presentan en la Tabla 6 y 7.

Tabla 6. Descriptivos de prueba

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
C-F	5	800,00	215,05	96,17	532,97	1067,02	500,00	1100,00
FENTON	5	330,00	15,81	7,07	310,36	349,63	310,00	350,00
C-F Y F	5	385,00	14,30	6,39	367,24	402,75	365,00	405,00
Total	15	505,00	245,97	63,51	368,78	641,21	310,00	1100,00

Fuente: Elaboración autor

El análisis de varianza, indica que dos variables (una independiente y otra dependiente) están relacionadas en base a si las medias de la variable dependiente son iguales o diferentes en los grupos de la variable independiente. Se calculó el estadístico de prueba F, para determinar si las medias entre los grupos y dentro de los grupos varían.

Tabla7. ANOVA de un factor

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	660250,00	2	330125,00	21,20	,000
Dentro de grupos	186818,00	12	15568,16		
Total	847068,00	14			

Fuente: Elaboración autor

Una vez determinado que existen diferencias significativas entre las medias de los grupos (procesos evaluados), las pruebas de rango Post-Hoc, permiten determinar que medias difieren; es decir identifica subconjuntos homogéneos de medias que no se diferencian entre si y realiza comparaciones múltiples por parejas para contrastar esta diferencia.

Tabla 8. Pruebas Post-Hoc, comparaciones múltiples entre procesos aplicados al lixiviado

	(I) Proceso aplicado	(J) Proceso aplicado	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
BONFERONI	C-F	FENTON	470,00*	78,91	,000	250,66	689,33
		C-F Y F	415,00*	78,91	,001	195,66	634,33
	FENTON	C-F	-470,00*	78,91	,000	-689,33	-250,66
		C-F Y F	-55,00	78,91	1,00	-274,33	164,33
	C-F Y F	C-F	-415,00*	78,91	,001	-634,33	-195,66
		FENTON	55,00	78,91	1,00	-164,33	274,33

Fuente: Elaboración autor

*La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

PORCENTAJE DE REMOCION DE MATERIA ORGANICA

Para evaluar el porcentaje de remoción del DQO se tomó en cuenta el valor promedio inicial y el valor después del tratamiento, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Porcentaje de remoción de DQO en cada proceso empleado para el tratamiento de lixiviados, Relleno Sanitario Romerillos, 2017.

<i>Proceso</i>	<i>Porcentaje Remoción (%)</i>
<i>Coagulación -Floculación</i>	74,90
<i>Oxidación Avanzada</i>	89,65
<i>C-F y F</i>	87,92

Fuente: Elaboración autor

DISCUSION

CARACTERISTICAS DEL LIXIVIADO

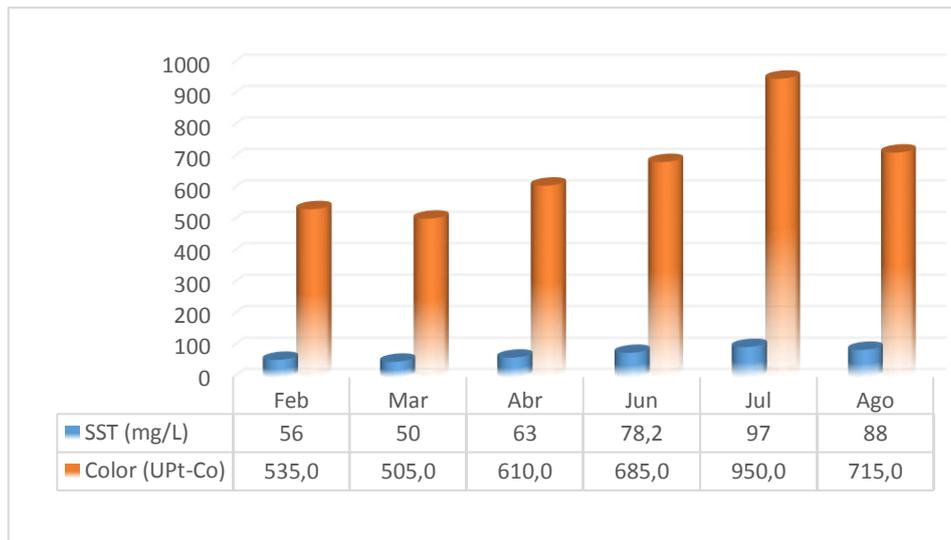
En la Tabla 2, se observa que existen diferencias en algunos parámetros entre una época y otra, la carga orgánica para el lixiviado en época lluviosa es menor que el valor determinado en época seca, esto se debe a que, por la lluvia y las precipitaciones el lixiviado tiende a diluirse. A pesar de lo anterior se observa que en ambas épocas el índice de biodegradabilidad es inferior a 0.2, Grafico 3; este valor define en gran medida el tipo de tratamiento al cual deberá someterse el lixiviado, varios estudios establecen que registros inferiores a 0,3 en la relación DBO₅/DQO determinan que el lixiviado es maduro, y por tanto autores como (Roger Méndez et al., 2010) lo catalogan como poco biodegradable por la presencia de materiales orgánicos recalcitrantes, igualmente manifiesta (Mendoza & López, 2004) que la relación cae porque los lixiviados de vertederos antiguos contienen ácido húmicos y fúlvicos que no son fácilmente biodegradables.

pH y Temperatura

La relación pH – temperatura es inversamente proporcional, Señala Nájera *et al.*, 2009 que el pH de un lixiviado nuevo varía entre 7,5 a 7,9 y la temperatura entre 26 a 28 °C; mientras que para el lixiviado viejo el pH está entre 8,0 a 8,6 y la temperatura desciende; esto es debido a que el relleno sanitario se encuentra en la fase metanogénica, los ácidos orgánicos se incrementan y se eleva el pH producto de las reacciones biológicas que en él ocurren (Nájera, Castañón, Figueroa, & Rojas-Valencia, 2009),

Sólidos totales, sólidos disueltos, solidos suspendidos

Los sólidos totales, que son la suma de sólidos totales disueltos y los sólidos suspendidos totales, en época de invierno es mejor que en época de verano, estos valores indican que la mayor parte de sólidos se encuentran disueltos, esto implica un inconveniente al momento de remover el color y la turbidez del lixiviado; un tratamiento convencional sería útil para eliminar los sólidos suspendidos más no los disueltos, y se requeriría de un tratamiento más especializado para remover los sólidos presentes, así lo afirma (Torres-Lozada et al., 2014).



Fuente: Elaboración autor

Figura 7. Relación entre Sólidos suspendidos y color del lixiviado del Relleno Sanitario Romerillos, 2017

Color y Turbidez

El color que presenta el lixiviado está relacionado con los sólidos suspendidos. En el Grafico 7, se observa el efecto que tienen los SST en el color, el mayor valor reportado para sólidos suspendidos en el mes de julio es 97 mg/L, coincide con el mayor valor reportado para color 950 U Pt-Co en el mismo mes. La diferencia del color en los periodos climáticos es notoria.

Similar al color, la turbidez se ve afectada por las partículas sólidas, especialmente aquellas de tamaño entre 0,1 - 1,0 μm , dado que la generación de lixiviados trae consigo arrastre de material sólido disuelto y en suspensión, se justifica que la turbidez en la época de invierno sea mejor que en la época de verano. Adicionalmente cuando se presenta altos contenidos de sólidos suspendidos, la turbidez aumenta.

Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno

La DBO_5 mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para degradar la materia orgánica en forma biológica, es un proceso que indica, si la materia es biodegradable. Los resultados obtenidos presentan valores promedios entre 505 mg/L a 667 mg/L en invierno y verano respectivamente.

Afirma (Torres-Lozada et al., 2014) que en la fase metanogénica por la presencia de los ácidos orgánicos se incrementa la DBO y DQO produciéndose un aumento en el pH y una reducción de los parámetros biológicos.

La DQO por su parte, mide la cantidad de material orgánico presente en el lixiviado, susceptible de ser oxidado químicamente, la concentración de este parámetro varía entre 2533 mg/L y 3844 mg/L en las dos épocas del muestreo. En la Figura 3, se reporta los valores de la relación ente DBO₅/DQO, el valor promedio 0,16; corresponde a una baja biodegradabilidad, comparando con los resultados obtenidos por (Zaldumbide, 2012), cumple con la característica de biodegradabilidad, sin embargo con el pasar del tiempo el lixiviado se vuelve viejo (maduro) y su tratamiento biológico se vuelve poco eficiente, este es el caso del lixiviado en estudio. (López & Santos, 2012).

Aniones y Cationes

El nitrógeno total del lixiviado está compuesto por: nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico. La cantidad de nitrógeno varía entre 1591,51 mgN/L y 1626,5 mgN/L, cuya diferencia no es tan significativa en las dos épocas muestreadas (López & Santos, 2012) refieren que el nitrógeno es de especial interés si se va a evaluar un tratamiento biológico ya que junto con el fósforo son los nutrientes principales para el crecimiento de la biomasa. Por su parte los sulfatos y cloruros también presentan valores característicos propios del lixiviado.

Coliformes totales

El crecimiento de bacterias del género coliformes totales, en promedio de las dos épocas muestreadas es 585 UFC/100 mL de lixiviado, con las características fisicoquímicas que presenta el lixiviado, pH, temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes, es evidente que estas condiciones desfavorecen al crecimiento de la población bacteriana aerobia, dado que las condiciones estudiadas del lixiviado se inclinan hacia la fase metanogénica en donde la población reinante serían bacterias degradadoras de metano o anaerobias.

En general, las características del lixiviado estudiado corresponden a lo que diversos autores denominan típicas de acuerdo a la edad de la celda (lixiviado joven menor a 5 años, lixiviado intermedio con un periodo de 5 a 10 años y lixiviado maduro con periodos mayores a 10 años),

la variación en las características del lixiviado responden a una relación inversamente proporcional entre la edad del lixiviado y el potencial de toxicidad, reflejado en los niveles de biodegradabilidad en función de la mayor edad del lixiviado; dado que el lixiviado del relleno sanitario Romerillos es recogido de la celda 1, 2, y 3 que se construyeron en a partir del año 2006 por lo que constituye una mezcla de líquidos de diferentes edades y un sistema abierto en estado estacionario, a su vez la mezcla de componentes de la fermentación ácida y metanogénica, además al estar expuestos a la evaporación y a la recarga pluvial es un factor que igualmente afecta (Torres-Lozada et al., 2014).

a) PROCESO DE COAGULACION – FLOCULACION

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 OXIDACION AVANZADA – REACCION 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_2O_2/DQO y H_2O_2/Fe . La relación estequiométrica entre el H_2O_2 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_2O_2 y generan radicales hidroxilo $\cdot OH$, los cuales reaccionan con el hierro remanente en disolución hasta que cambia su estado de oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} conjuntamente oxida la materia orgánica presente en la muestra a velocidades de reacción de 10^6 a 10^{12} veces más que otros oxidantes.

No obstante, un exceso en la concentración de H_2O_2 no mejora la oxidación de la materia orgánica, al contrario favorece a la producción de radicales $\cdot OH$ pero a una velocidad muy lenta y por tanto el Fe^{2+} 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_2O_2/Fe^{2+} 1:5 mejora los parámetros de DQO, color y turbidez.

c) PROCESO COMBINADO: COAGULACION – FLOCULACION Y REACCION 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_2O_2/Fe^{2+} , 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.

ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS

La variabilidad en la remoción de los contaminantes presentes en el lixiviado, se examinó mediante el ANOVA de un factor, donde el factor fue el proceso aplicado para el tratamiento del lixiviado y la variable de respuesta, la remoción de DQO, este análisis permitió hacer comparaciones entre los tres procesos aplicados para demostrar estadísticamente que al menos un proceso es diferente y es el más eficiente.

En la Tabla 6, se presentan los valores correspondientes a la media, la desviación estándar, el error y los límites al 95% del intervalo de confianza para la media, estos valores permiten identificar el comportamiento del factor sobre la variable dependiente.

En el análisis de varianza Tabla 7, se muestra el estadístico de prueba F con un valor de 21,20 con un nivel de significancia menor a 0,05; razón por la cual se rechaza la hipótesis nula y se

acepta la hipótesis alternativa; que indica que existen diferencias estadísticamente significativas en las medias de los tres procesos aplicados al tratamiento del lixiviado; pero se desconoce la diferencia que existe entre los procesos.

Por lo que se recurre a las pruebas de rango, Post-Hoc específicamente de Bonferroni para realizar comparaciones por pares de grupos, dado que esta prueba es más robusta cuando el grupo de comparaciones es pequeño. El resultado de la prueba indica que en las comparaciones menores a ($p < 0,05$) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa,; se establece que existen diferencias significativas entre el proceso de oxidación avanzada (reacción fenton) y el proceso combinado, de manera que se calcula el tamaño del efecto que es el porcentaje de la varianza que se explica por el modelo, es decir la diferencia de las medias de los grupos y no por las diferencias individuales o los factores extraños que pudieran existir en experimento estudiado.

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 DBO_5/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_2O_2/DQO determina la cantidad de hidroxilos necesarios para oxidar la materia orgánica y la relación H_2O_2/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.

RECOMENDACIONES

Como propuesta para el tratamiento de lixiviados, se creó un programa utilizando el software Visual Basic 6,0 el cual permite calcular la cantidad y el volumen de reactivos a dosificar para propiciar la reacción fenton en el lixiviado conociendo únicamente el valor de la demanda química de oxígeno DQO en mg/L, esta aplicación es sencilla e interactiva con el usuario, y constituye una herramienta que sería muy útil a ser aplicada en futuros proyectos para el tratamiento de lixiviados a gran escala. Ver Anexo 3. Programa CÁLCULO DOSIFICACIÓN.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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
- GADM, M. (2012). *PLAN ESTRATÉGICO PARTICIPATIVO INSTITUCIONAL*. Retrieved from http://www.municipiodemejia.gob.ec/documents/transparencia/2012/a/3planificacion_estrategica_participativa_institucional_2012.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*, 558. Retrieved from <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/268385/355954>
- Méndez, R., Castillo, E., Sauri, M. R., Quintal, C., Giácoman, 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
- Méndez, R., Pietrogiovanna, J., Santos, B., Sauri, R., Giácoman, 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>
- Mendoza, P., & López, V. (2004). *ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL LIXIVIADO DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA Y SU RESPUESTA BAJO TRATAMIENTO EN FILTRO ANAEROBIO PILOTO DE FLUJO ASCENDENTE*. Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/1059/1/patriciamendozasalgado.2004_.pdf

- 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 FÍSICOQUÍMICO DE LIXIVIADOS MADUROS PRODUCIDOS EN EL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MÉXICO (PDF Download Available). Retrieved August 22, 2017, from https://www.researchgate.net/publication/239530632_CHARACTERIZACION_Y_TRATAMIENTO_FISICOQUIMICO_DE_LIXIVIADOS_MADUROS_PRODUCIDOS_EN_EL_SITIO_DE_DISPOSICION_FINAL_DE_TUXTLA_GUTIERREZ_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
- 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.gov.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 INTERNACIONAL SEK.