

TRATABILIDAD DE LOS LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LOS CORAZONES DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR MEDIANTE EL USO DE CARBÓN ACTIVADO

TREATABILITY OF THE LIXIVIATES OF SANITARY FILLING THE HEARTS OF THE CITY OF VALLEDUPAR THROUGH THE USE OF ACTIVATED CARBON

¹ **Omar Enrique Trujillo Romero**

² **Omar Enrique Trujillo Varilla**

³ **Andrés Quintero Tovar**

⁴ **Julio Vega Suarez**

¹ *Ingeniero Ambiental y Sanitario, Especialista en Educación Superior a Distancia, Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA, Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD.*

² *Licenciado en Matemáticas y Física, Especialista en Computación para la Docencia, Maestría en Matemática Educativa. Departamento de Matemáticas y Física – Universidad Popular del Cesar -UPC.*

³ *Zootecnista Msc. Educación Superior, estudiante de doctorado en Etología Animal.*

⁴ *Ingeniero Agroindustrial, Magister en Ingeniería Ambiental. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA, Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD. Vicerrector de Investigación- Universidad Popular del Cesar -UPC.*

¹ omar.trujillo@unad.edu.co

² omartruva@gmail.com

³ andres.quintero@unad.edu.co

⁴ juliovega@unicesar.edu.co

RESUMEN

La investigación realizada evaluó la tratabilidad en términos de remoción de materia orgánica (DQO) presente en los lixiviados del relleno sanitario Los Corazones de la ciudad Valledupar, a través del proceso de adsorción con carbón activado, desarrollado bajo dos

modelos de flujo hidráulico (reactores continuos y discontinuos) analizando variables como dosis, tiempo de contacto y PH, con el fin de comparar y obtener el mayor rendimiento en la remoción de carga orgánica de los lixiviados en estudio.

Para reactores discontinuos con lixiviado crudo se obtuvieron resultados de un 67% de remoción de materia orgánica. Modificando el PH a 3, se obtuvieron resultados de un 80% de remoción de materia orgánica, obteniendo a su vez las mejores condiciones de remoción de DQO en el modelo de flujo discontinuo empleando dosis de 100g/l con tiempos de contacto de 90 minutos.

El reactor continuo se utilizó con caudal de 6 ml/min, tiempo de retención hidráulico de 90 min, dosis utilizada de 640g de carbón activado, donde se ensayó con lixiviado crudo obteniéndose remociones de carga orgánica del 83%, ajustando el pH a 3 se obtuvo remociones del 97%.

Palabras clave: Demanda química de oxígeno, Reactor tipo Batch, Reactor flujo pistón.

ABSTRACT

The research carried out evaluated the treatability in terms of the removal of organic matter (COD) present in the leachates of Los Corazones sanitary landfill in Valledupar, Colombia,

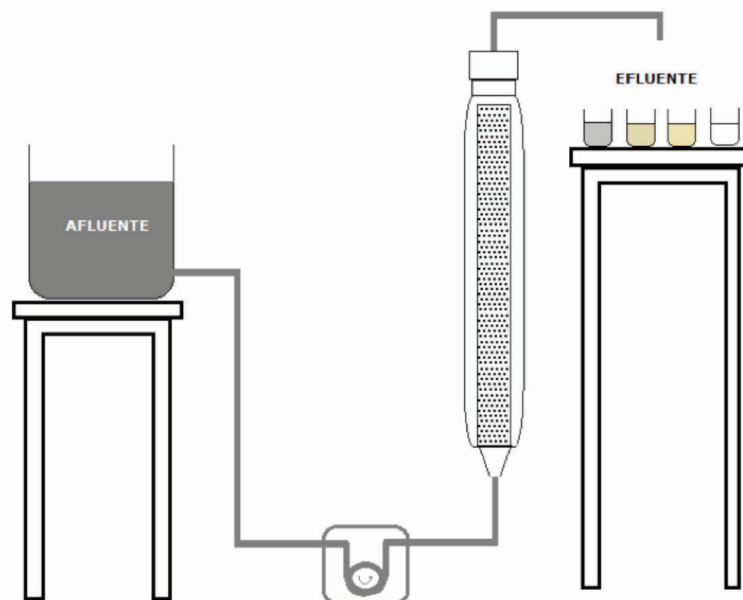
through the adsorption process with activated carbon, developed under two hydraulic flow models (continuous reactors). and discontinuous) analyzing variables such as dose, contact time and pH, with the purpose of comparing and obtaining the highest yield in the organic load removal of the leachates under study.

For discontinuous reactors with crude leachate, results of 67% removal of organic matter were obtained, modifying the PH to 3, results of 80% removal of organic matter were obtained, obtaining at the same time the best conditions of COD removal in the discontinuous flow model using doses of 100g / l with contact times of 90 minutes.

The continuous reactor was used with flow rate of 6 ml / min, hydraulic retention time of 90 min, used dose of 640 g of activated charcoal, where it was tested with crude leachate obtaining removals of organic load of 83%, adjusting the pH to 3 He obtained 97% removals.

Keywords: Chemical oxygen demand, Vatch type reactor, Piston flow reactor.

Resumen gráfico



INTRODUCCIÓN

La definición legal para Colombia de lixiviado es: *"sustancia líquida, de color amarillo y naturaleza ácida que supura la basura o residuo orgánico, como uno de los productos derivados de su Sustancia líquida, como uno de los productos derivados de su descomposición."* (Ley 1259 de 2008). Los líquidos residuales producidos en un Relleno Sanitario están en función de múltiples factores relacionados con las condiciones climáticas, el diseño y operación del Relleno y la composición de la basura. El caudal generado varía de acuerdo al estado de avance y el tipo de operación del Relleno y la composición también varía en el tiempo.

El manejo y la eliminación de residuos sólidos domésticos son problemas críticos en las áreas urbanas de América Latina (Noguera, 2010), esto representa uno de los problemas de contaminación ambiental en nuestro medio, porque dichos residuos contienen una elevada carga de contaminantes (orgánicos e inorgánicos). Estos residuos pueden alterar significativamente la calidad fisicoquímica y microbiológica de las corrientes de aguas naturales, nacimientos y pozos vecinos (Vega, 2006; Campaña, A., Et al, 2017). Por lo tanto, se han probado diversos métodos de tratamiento tanto biológicos (aeróbicos y anaeróbicos) como fisicoquímicos para disminuir la carga de contaminantes.

El carbón activado ofrece una alternativa en el tratamiento de aguas residuales, debido a que estas presentan grandes áreas superficiales, lo cual se aumenta por el poder de adsorción y sus estructuras porosas (Ensuncho, A., Et al, 2015; Solis-Fuentes, J., et al., 2012).

La adsorción es posible mediante la formación de enlaces físicos o químicos entre el lixiviado

y la superficie de los poros del carbón activo granular. Arbeláez, (2010). Castelló, (2017). En esta investigación se trató la adsorción sobre carbón activado como un método que ha mostrado eficiencia en la disminución de cargas de contaminantes, razón por la cual, se experimentó el efecto del carbón activado sobre el lixiviado del relleno sanitario Los Corazones, para la remoción de carga orgánica en términos de DQO, bajo dos modelos hidráulicos: flujo continuo y flujo discontinuo; donde se determinaron las mejores condiciones de operación, manipulando las variables de tiempo de operación y PH, para la consecución de resultados eficaces en el proceso de adsorción de carga orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo y nivel de investigación

Este estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, debido a que se utilizaron principios teóricos del proceso de adsorción, a fin de aplicarlos en el tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario "LOS CORAZONES" de Valledupar - Cesar.

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, este proyecto es de carácter experimental y se desarrolló en dos modelos de flujo hidráulico (reactores continuos y discontinuos) analizando variables como dosis, tiempo de contacto y PH con el fin de comparar y obtener el mayor rendimiento en la remoción de carga orgánica.

Ubicación del área de estudio

El relleno sanitario Los Corazones está ubicado a seis kilómetros del casco urbano de la capital departamental, sobre la vía que conduce a Patillal y posee un área de ciento veinte

(120) hectáreas; se encuentra ubicada en una zona suburbana de Valledupar, sobre las latitudes 1'083.000 y 1'099.000 este, limita en la parte sur con el Rio Guatapurí, al occidente la carretera que de Valledupar conduce a Patillal, Al norte con el arroyo el Pájaro y hacia el oriente la Vega.

MATERIAL DE ESTUDIO

El material de estudio lo constituyó el lixiviado recolectado en los pondajes, así mismo el

carbón activado de origen mineral, operado bajo dos modelos de flujo hidráulico tanto reactor discontinuo como en reactor continuo.

Muestras

Las muestras que se tomaron en los pondajes del relleno sanitario los corazones para realizar los ensayos fueron cinco muestras simples en días diferentes, recolectando el volumen necesario (40 litros aproximadamente) (Figura 1).



Figura 1. Recolección de muestra de lixiviado.

Fuente: Autores

Parámetros fisicoquímicos de los lixiviados del relleno Sanitario los corazones de la ciudad de Valledupar.

Las muestras se tomaron en el punto de descargas, y se refrigeraron a 4°C para su conservación. Los parámetros determinados fueron los siguientes (ver tabla 1):

Tabla 1. Parámetros en la caracterización de lixiviados.

PARÁMETRO	UNIDADES	METODOLOGÍA
pH	Unidades	Potenciométrico SM 4500 H+ B
Temperatura	oC	Potenciométrico
Acidez	ppm	Titulométrico SM 2310 B
Alcalinidad	ppm	Titulométrico SM 2320 B
Sólidos totales	mg /L	Gravimétrico SM 4540 B

PARÁMETRO	UNIDADES	METODOLOGÍA
Sólidos suspendidos totales	mg /L	Gravimétrico SM 2540 D
Conductividad eléctrica	µS/cm	Electrométrico 2110 B
DBO5	mg O2/L	Reflujo cerrado SM 5220 D
DQO	mg O2/L	Incubación 5 días SM 5210 B
grasas y o aceites	mg/L	Soxleth SM 5520 D
Detergentes o Tensoactivos	mg SAAM/L	Colorimétrico SM 5540 C
Cloruros	mg Cl=/L	Argentométrico SM 4500 B
Nitrógeno Amoniacal	mg NH4 /L	Titulométrico SM 4500 C
Sulfuros	mg S=/L	Método yodométrico
Ácido Sulfhídrico	mg H2S/L	Método yodométrico
Sulfatos	mg SO4/L	Turbidimétrico SM 4500 E
Cianuros	mg CN/L	Digestión ácido débil/colorimetría
Metales pesados		
Cadmio	mg Cd/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Plomo	mg Pb/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Mercurio	mg Hg/L	Absorción atómica generación de hidruros SM 3114
Cromo Hexavalente	mg Cr+6/L	Colorimétrico
Cobre	mg Cu/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Otros elementos		
Hierro Total	mg Fe/L	Fenantrolina SM 4500
Sodio	mg Na/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Magnesio	mg Mg/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Aluminio	mg Al/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Zinc	mg Zn/L	Absorción atómica llama, SM 3111

Fuente de consulta: Laboratorios Ortiz Martínez.

Técnicas para remoción de materia orgánica

La determinación de la remoción de materia orgánica se hizo bajo dos modelos hidráulicos (flujo discontinuo con agitación completa y flujo continuo a través de un lecho de carbón activado).

Modelo de flujo discontinuo con agitación completa

La evaluación de la tratabilidad bajo este modelo hidráulico se desarrolló en columnas rectangulares de 10 × 10 × 20 cm, la cual

tiene una capacidad de recolectar dos litros de muestra de lixiviado (Figura 2). En el desarrollo de este ensayo se trabajó con alimentación por cochada de 1 litro de muestra con cantidades determinadas de carbón activado de (20, 40, 60, 80, 100, 120) g respectivamente, La agitación del sistema se llevó a cabo mediante una serie de paletas, con dimensiones de 6.2 cm cada una.

Inicialmente se determinaron las dosis óptimas de material adsorbente que removiera la

mayor cantidad de materia orgánica cuantificada en términos de DQO soluble, bajo condiciones de temperatura ambiente, tiempo de contacto de una hora y pH de residuo variable 7,6,5,4,3,2 respectivamente, fijándolo con H_2SO_4 al 50 % de concentración.

Una vez hallada cada una de las dosis óptimas,

se procedió a determinar el tiempo óptimo de contacto; es decir, el tiempo de contacto que favorezca una mayor remoción de materia orgánica (DQO soluble), en el cual se varió el tiempo con intervalos de 60, 90, 120, y 150 minutos respectivamente, para cada una de las dosis óptimas encontrada

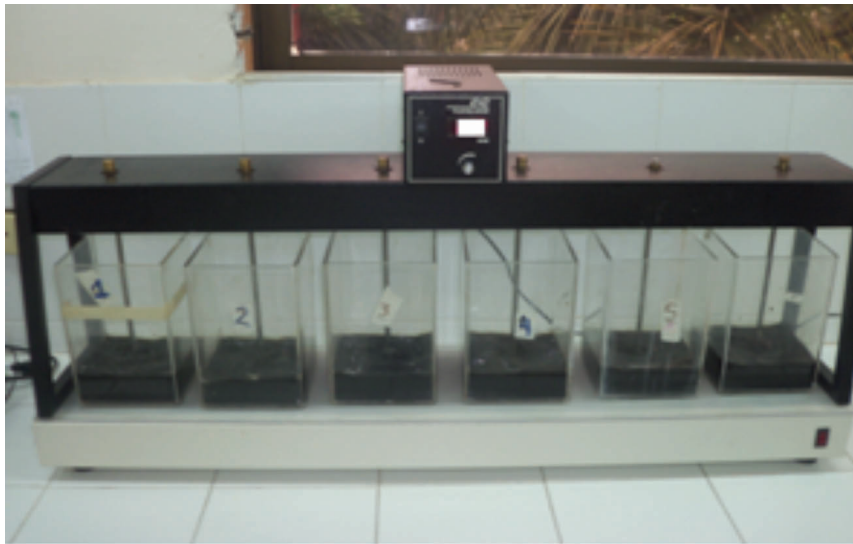


Figura 2. Reactor discontinuo.

Fuente: Autores

Modelo de flujo continuo a través de un lecho de carbón activado

Para evaluar el proceso de adsorción bajo este

modelo, se construyó una columna de acrílico de forma cilíndrica con las características mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de las columnas de adsorción.

PARÁMETRO	VALOR
Diámetro de la columna (cm)	6,0
Altura total de la columna (cm)	60
Altura de la columna de carbón activado (cm)	35
Cantidad de carbón activado (g)	640
Porosidad	0,216

Fuente: Elaboración propia

La columna se operó con flujo ascendente empleando una bomba peristáltica (Figura 3), se evaluó para diferentes tiempos en minutos (60, 90, 120, 150). En cada ensayo se determinó la

DQO soluble en el efluente, cada hora hasta que la concentración del efluente fuera similar a la de entrada.



Figura 3. Reactor continuo.

Fuente: Autores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la caracterización suministrada por InterAseo S.A .ESP. (Tabla 3), se observa que las concentraciones de los parámetros monitoreados no corresponden a un patrón de tendencia mostrada en la literatura, ya sea para lixiviados jóvenes o lixiviados viejos, esto se debe a la mezcla de éstos; producto del proceso

de recirculación, además, las precipitaciones pluviales someten a un proceso de dilución de los lixiviados que se encuentra depositado en los pondajes, y a una continua evaporación de acuerdo a las condiciones imperantes en la ciudad de Valledupar.

Tabla 3. Resultados lixiviados del vertimiento final a la laguna de Oxidación 1 - Relleno sanitario Los Corazones.

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
Numero de muestra		63319
Identificación de la muestra		PISCINA N° 1
Fecha de recolección		2017/06/17
Hora de recolección		11:30 a.m
pH	Unidades	7,98
Temperatura	oC	25
Acidez	Ppm	2

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
Alcalinidad	Ppm	5950
Sólidos totales	mg /L	17884
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	16550
Conductividad Eléctrica	mS/cm	18680
DBO5	mg O2/L	5400
DQO	mg O2/L	11130
grasas y o aceites	mg/L	368
Detergentes o Tensoactivos	mg SAAM/L	21,7
Cloruros	mg Cl=/L	2229,2
Nitrógeno Amoniacal	mg NH4 /L	406,36
Sulfuros	mg S=/L	166,4
Ácido Sulfhídrico	mg H2S/L	5674,2
Sulfatos	mg SO4/L	3869,9
Cianuros	mg CN/L	<0,002
Metales pesados		
Cadmio	mg Cd/L	<0,013
Plomo	mg Pb/L	<0,07
Mercurio	mg Hg/L	<0,00088
Cromo Hexavalente	mg Cr+6/L	<0,005
Cobre	mg Cu/L	0,08
Otros elementos		
Hierro Total	mg Fe/L	10,6
Sodio	mg Na/L	2784,6
Magnesio	mg Mg/L	421
Aluminio	mg Al/L	1,37
Zinc	mg Zn/L	1,06

Fuente: InterAseo S.A

Un relleno siempre va a tener una parte que aporta lixiviado joven (la que se está rellenando en ese momento) otra parte que tiene lixiviado maduro (las que tienen unos años) y otras lixiviado viejo (las que tienen más de cinco años) (Noeggerath, 2011). En la caracterización del relleno sanitario Los Corazones se muestran lixiviados con comportamientos similares descritos anteriormente presentando elevadas concentraciones de materia orgánica e índices de biodegradabilidad (DBO₅/DQO)

superiores a 0,4 que corresponden a lixiviados jóvenes y a su vez se evidencian pH que corresponden a un rango de lixiviados viejos.

Determinación de la remoción de DQO mediante ensayos de adsorción bajo dos modelos hidráulicos (flujo discontinuo y flujo continuo)

Bajo el modelo de flujo discontinuo con lixiviado crudo se obtuvieron remociones de carga orgánica entre un 16% a 67%, en donde se

obtuvo una dosis optima de 100 g/l con tiempo de contacto igual a 90 minutos (Figuras 4 y 5), para las condiciones del residuo con pH modificados a 7 y 6 respectivamente, presentó el mismo comportamiento que el lixiviado crudo, mientras que para pH modificados a 5 y 4 respectivamente, mostró eficiencias entre 25% y 75% de remoción de DQO, obteniendo la mayor eficiencia con dosis de 100 g/l, con tiempos de contacto de 120 minutos para pH 5 y 90 minutos para pH 4, las mejores condiciones de remoción de materia orgánica se presentó en pH modificados a 3 y 2 con eficiencias que oscilaron entre 20% y 80% de remoción de DQO, con dosis óptima de 100 g/l, y tiempos de contacto de 120 minutos para pH igual a 3, y 90 minutos para pH ajustado a 2.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el reactor discontinuo se observó que a medida que disminuye el pH de la muestra de lixiviado se aumentaron los porcentajes de remoción de materia orgánica. Comprobando que el valor del pH inicial en el proceso de carbón

activado se relaciona con la eficiencia y capacidad de remoción de contaminantes (Jialong et al., 2000). Demostrando que la tasa de adsorción de contaminantes orgánicos en soluciones acuosas se incrementa cuando decrece el pH.

Lo anterior se explica, porque a medida que se reduce el pH a la muestra, se le están agregando iones de hidrogeno de carga positiva, reduciendo de una manera considerable la carga negativa de la muestra de lixiviado permitiendo así, una mayor adsorción por el carbón activado. El carbón activo lleva corrientemente una carga superficial neta negativa Bean y col.,(1964 citado por Weber, 1979). Lo que permite que haya una interacción por proceso de fisisorción fuerzas (electrostática, polarización, dispersión) o quimisorción, facilitando el compartimiento o transferencia de electrones entre la muestra de lixiviados y el adsorbente en nuestro caso carbón activado de origen mineral.

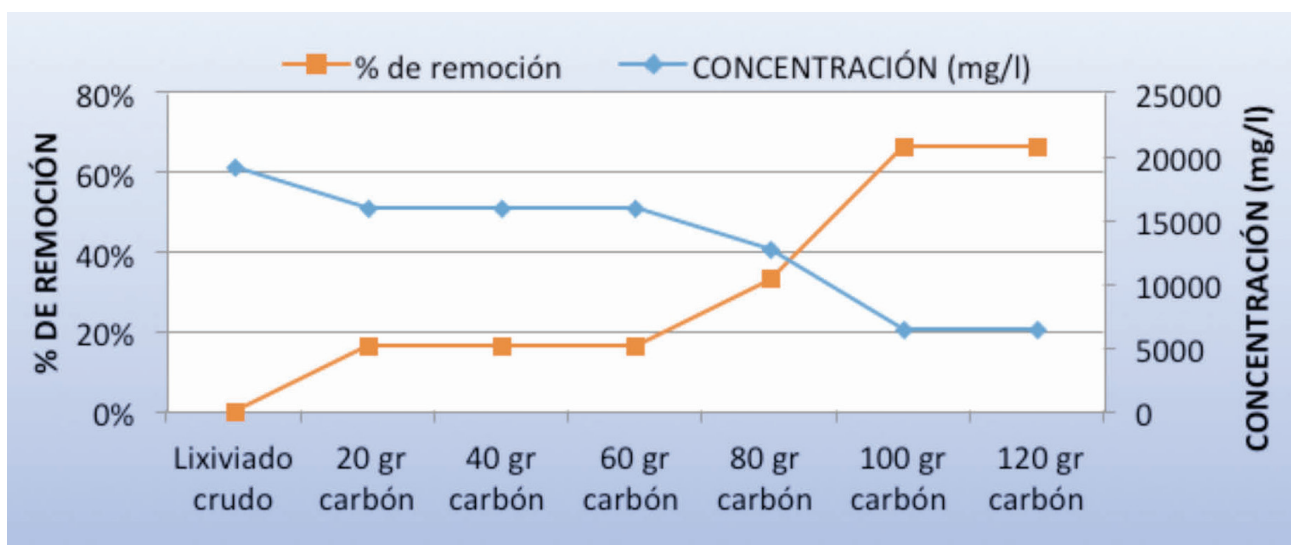


Figura 4. Eficiencia de remoción de DQO. Dosis, pH de la muestra.

Fuente: Autores

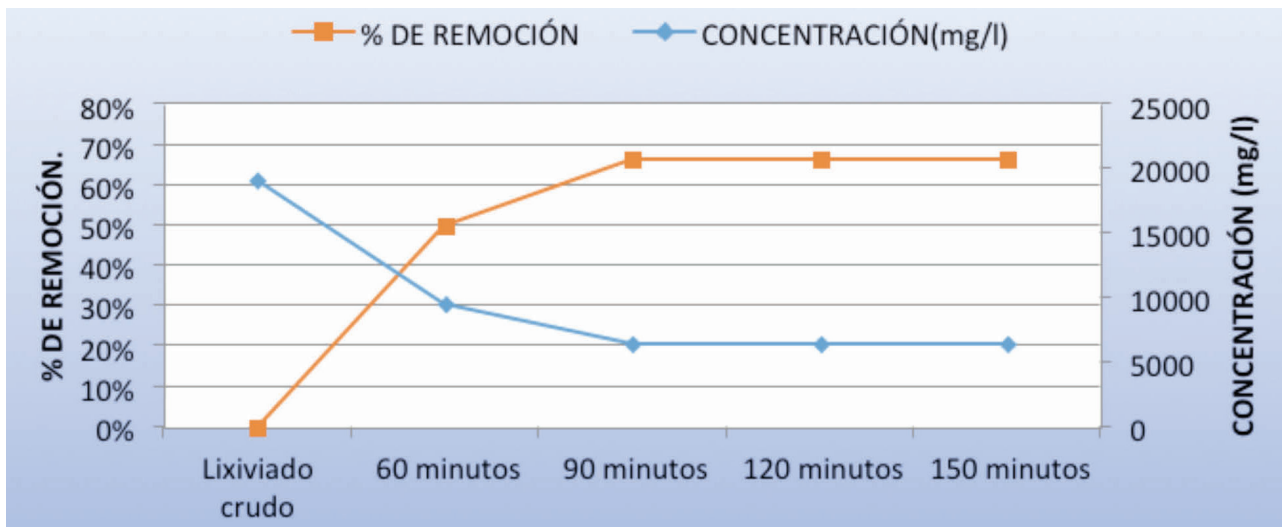


Figura 5. Eficiencia de remoción de DQO. Tiempo, pH de la muestra.

Fuente: Autores

Modelo de flujo continuo a través de un lecho de carbón activado.

Para la puesta en marcha del reactor se realizaron pruebas variando el caudal con el fin de garantizar los 90 minutos de tiempo de retención hidráulica, el cual fue el tiempo óptimo

obtenido en el reactor discontinuo, Y se probó la eficiencia de remoción de materia orgánica ensayando con pH del lixiviado crudo y con el pH ajustado a 3 que fue el de mayor eficiencia mostró en el reactor Batch.

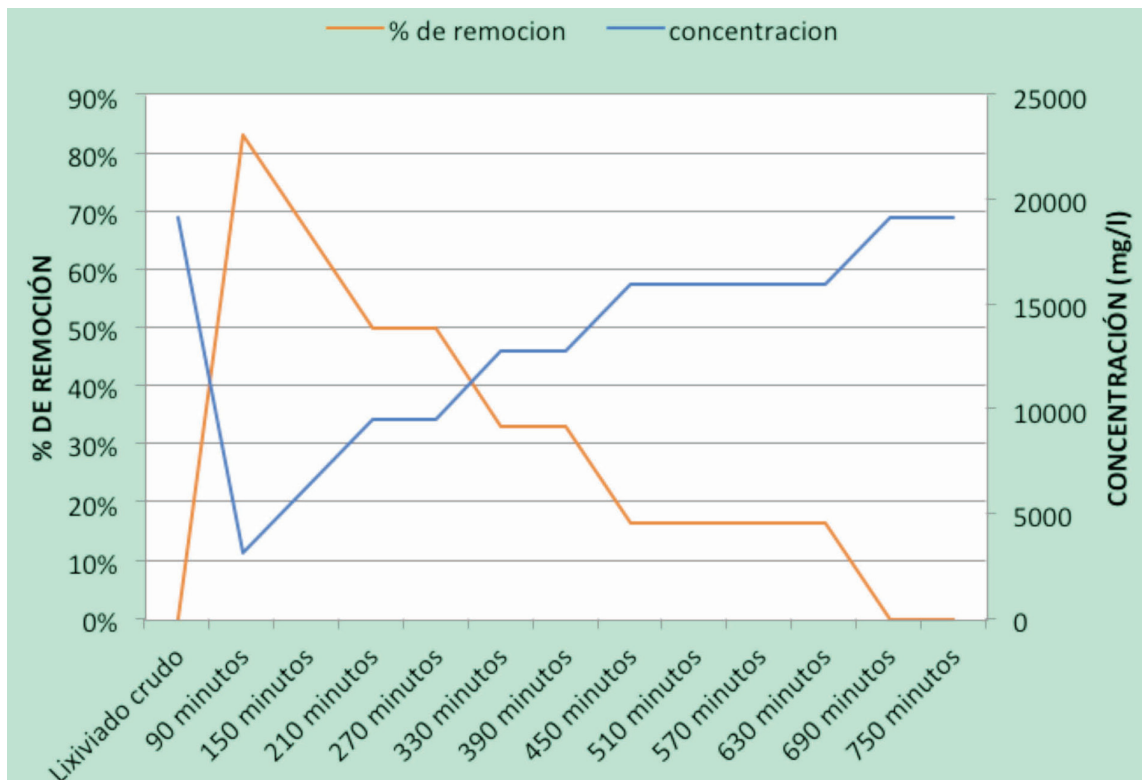


Figura 6. Eficiencia remoción de materia orgánica. PH lixiviado crudo.

Fuente: Autores

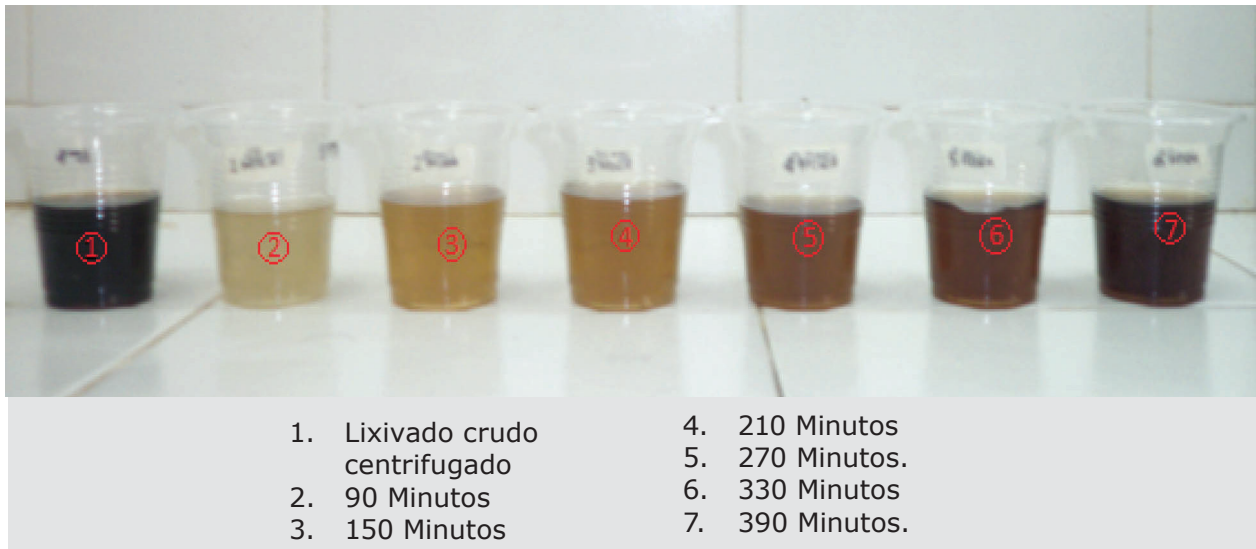


Figura 7. Comparación visual del proceso de adsorción. pH Lixiviados.

Fuente: Autores

Para el lixiviado crudo con el pH de la muestra que se encuentra en 8,0, pasado los 90 minutos del tiempo de retención hidráulica, arrojo resultado del 83,33% reduciendo así la carga orgánica de 19200 mg/l, a 3200 mg/l, pasada las dos horas y media el reactor arrojo eficiencia de un 67% disminuyendo la remoción de materia orgánica en un 50% en relación con la eficiencia mostrada a los 90 minutos, transcurrido el tiempo de cuatro horas y media el reactor arrojo una eficiencia del 50% en relación con el afluente, a partir de seis horas y media se evidencio resultados de un 33% con una concentración de 12800 mg/l, pasada las diez horas y media el reactor arrojo remociones del 17% mostrando que el lecho de carbón se encontraba saturado de carga orgánica, porque a partir de las 11 horas Y media ya no mostro eficiencia el reactor, arrojando una carga orgánica de 19200mg/l similar al residuo de entrada y la apariencia visual en relación con el tiempo transcurrido en el reactor (Figura 6).

La eficiencia encontrada en el reactor es comparable por la reportada por (Méndez, et al., 2002). Por lo que el reactor cuenta con las mismas características que las empleadas en

este proyecto, a diferencia que ellos probaron tiempo de retención hidráulica de 4 horas en el cual observaron eficiencias de remoción de DQO del 60 al 30% durante las primeras 60 horas, mientras que en este proyecto se observaron remoción de DQO del 83,33% al 17% durante las primeras 10 horas y media con TRH de 90 minutos.

Lo que podemos concluir que la remoción de materia orgánica en este proyecto es mucho mayor que la reportada por (Méndez, et al., 2002; Castellar, Et al., 2013), pero en relación con el tiempo es mucho menos prolongada, esto podría deberse a las diferencia marcadas en cuanto a la caracterización de los lixiviados, en relación con los parámetros de sólidos suspendidos totales, dado que en este proyecto reporta valores de 16550mg/l en comparación con 73 mg/l reportado por Méndez y demanda química de oxígeno de 19200mg/l a diferencia de la reportada por Méndez que es de 6089 mg/l, parámetros que inciden de una manera directa en el proceso de adsorción.

Otro aspecto con cierta influencia es la granulometría del carbón activado empleado. En

los dos procesos se utilizó carbón de origen mineral, pero con tamaños de grano diferentes, observando que la cinética de adsorción fue mucho más rápida en el proceso de flujo continuo, pero a su vez se observa que el

tiempo saturación del lecho es muy corto, lo que quiere decir que el tamaño de grano del carbón activado es mucho menor al utilizado por (Méndez, et al., 2002;).

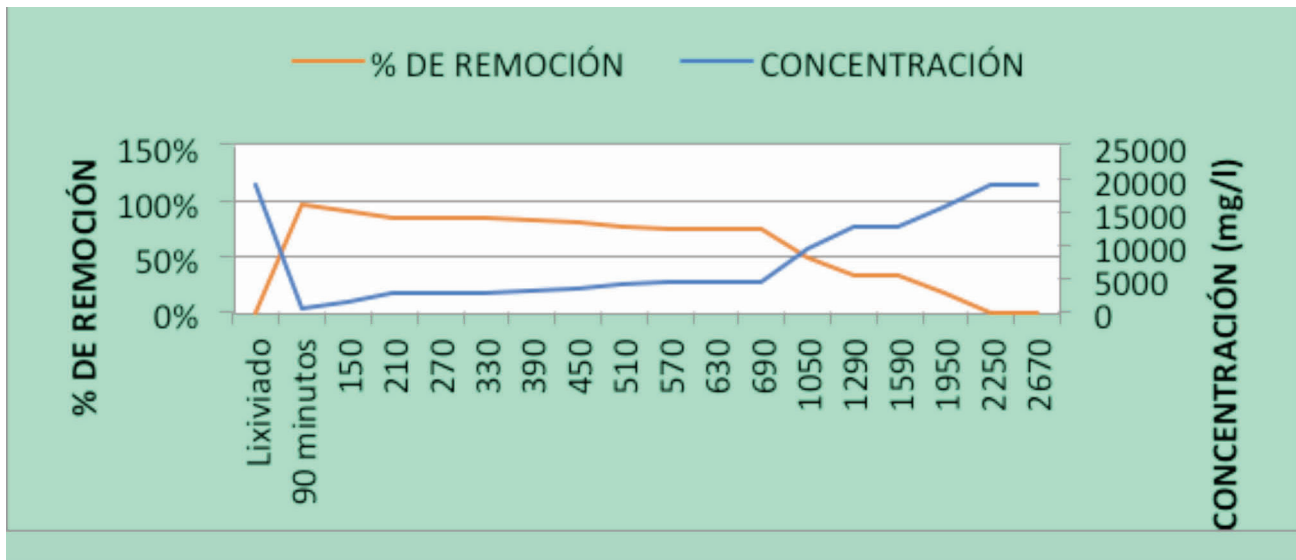
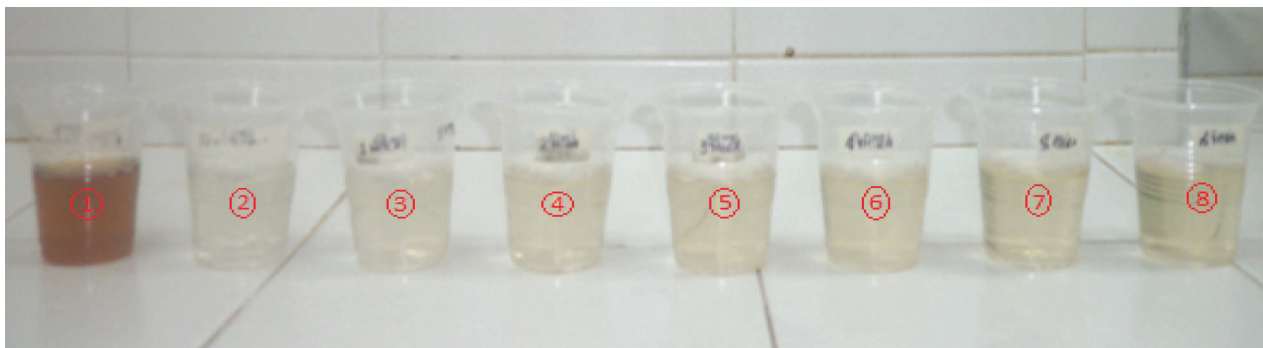


Figura 8. Eficiencia remoción de materia orgánica. pH 3,0.

Fuente: Autores



- | | |
|---------------------------------|-----------------|
| 1. Lixiviado crudo centrifugado | 5. 270 Minutos. |
| 2. 90 Minutos | 6. 330 Minutos |
| 3. 150 Minutos | 7. 390 Minutos. |
| 4. 210 Minutos | 8. 450 Minutos. |

Figura 9. Comparación visual del proceso de adsorción. pH Lixiviados.

Fuente: Autores

Pasado los 90 minutos de TRH se obtuvo eficiencia del 97% de remoción de carga orgánica, reduciendo así la concentración de 19200 mg/l, a 640 mg/l, los intervalos de remoción de 90% de DQO se llevó a cabo hasta las dos horas y media, a partir de ahí se observa un leve decrecimiento de porcentaje de remoción, arrojando como resultado un 85 % pasada las 5 horas y media, después de siete horas y media el porcentaje de remoción decrece al 81% con una concentración de 3520 mg/l, transcurrida once horas y media se observó porcentaje de remoción del 75% de carga orgánica, a partir de las diecisiete hora y media se obtienen remociones de un 50% de materia orgánica con concentraciones de 9600 mg/l, desde la veintiuna hora y media hasta las veintiséis hora y media se obtuvieron remociones del 33% de carga orgánica, transcurrido las treinta y dos horas y media se obtuvo remociones del 17% mostrando así que el lecho de carbón activado ya se encontraba saturado, por lo tanto a partir de las 38 horas no se presentó remoción de carga orgánica con relación al afluente.

Para la muestra de lixiviado a la cual se le fijo un pH igual a tres se obtuvo eficiencias mayores que para el lixiviado crudo, y el tiempo de remoción de DQO fue mucho más prolongado, reafirmando el comportamiento presentado en el reactor discontinuo en relación con el pH y comprobando que la remoción de materia orgánica es mucho mayor en medio ácido.

En comparación con los resultados obtenidos por (Méndez, et al., 2002). el cual trabajo con TRH de 8 horas y PH cercanos a 2 obteniendo eficiencias de remoción de DQO del 90 al 60 % durante las primeras 200 horas. En esta etapa experimental se obtuvieron remoción del 97% al 33% durante las primeras 33 horas. El cual muestra una diferencia marcada en cuanto al intervalo de tiempo, consecuencia de las variables manejadas.

En términos generales el método de flujo continuo de tipo columna tiene ventajas distintivas sobre los métodos discontinuos, puesto que las velocidades de adsorción dependen de la concentración del soluto en la solución que tratada. En el método de columna, el carbón está continuamente en contacto con una solución fresca, por tanto, la concentración de la disolución en contacto con una capa de carbón de la columna es relativamente constante. En el tratamiento discontinuo, la concentración del soluto en contacto con una cantidad determinada de carbón decrece a medida que la adsorción progresa, y por tanto decrece la efectividad del adsorbente para separar el soluto.

CONCLUSIONES

El relleno sanitario "Los corazones" recibe en promedio 10546 toneladas/mensuales de basura, generando en promedio 0,48 litros/segundo de lixiviado, con un acumulado de precipitación pluvial desde enero hasta agosto de 2016 de 581,5 mm.

Operando bajo los dos modelos de flujo hidráulico. en discontinuo se obtuvieron eficiencias de remoción de DQO soluble del 80% con tiempo de contacto óptimo de 90 minutos y dosis de 100 g/l en lixiviados a los que se le ajustó el pH a 2, y de 67% a los lixiviados crudos. Mientras que en reactores continuo con tiempo de retención hidráulica de 90 minutos se obtuvieron remociones de DQO soluble del 97% en lixiviados a los que se le ajustó el pH a 3, y del 83% para lixiviado crudo.

El carbón activado de origen mineral mostró resultados apropiados para los ensayos, mostrando una rápida cinética de adsorción, una amplia área superficial con una superficie porosa heterogénea.

En el reactor continuo, el tiempo de agotado del carbón activado, para lixiviado crudo

corresponde a once horas y media, para el cual manteniendo remociones de materia orgánica superiores de un 60 % pasada las dos horas y media, mientras que para lixiviado a los que previamente se le ajustó el pH a 3, el tiempo de agotado del carbón es aproximadamente treinta y ocho horas para lo cual manteniendo remociones de carga orgánica superiores a 75%, se llevó a cabo pasada las primeras 12 horas aproximadamente, por lo tanto es susceptible el tratamiento de lixiviado con carbón activado mediante reactores continuos.

LITERATURA CITADA

- Arbeláez, M. (2010). *Estudio de las tecnologías empleadas para el manejo de lixiviados y su aplicabilidad en el medio*. Universidad EAFIT. Medellín Colombia.
- Campaña, A., Gualoto, E., Chiluisa-Utreras, V. (2017). *Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito*. *Bionatura*. 2(2), pp.305-310.
- Castellar, G., Cardozo, B. Suárez, J. & Vega, J. (2013). *Adsorción por lote y en una columna de lecho fijo del colorante B39 sobre carbón activado granular*. *Prospect*, 11 (1), 66-75.
- Castelló, L. (2017). *Diseño de un sistema de adsorción para la eliminación de colorantes presentes en disolución acuosa*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia España.
- Jialong W., Yi Q., Horan N. & Stentiford E. (2000), *Bioadsorption of pentachlorophenol (PCP) from aqueous solution by activated sludge biomass*. Bioresourge Technology, UK.
- Ley N° 1259. *Diario Oficial de la Republica de Colombia*, 19 de diciembre de 2008.
- Méndez, R., Medina, E., Quintal, C., Castillo, E. & Sauri, M. (2002). *Tratamiento de lixiviados con carbón activado*. *Ingeniería*, 6 (3), 19-27.
- Noeggerath, F., Salinas, I. (2011). *Análisis comparativo de tecnologías para el tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios*. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas.
- Noguera, K. & Olivero, T. (2010). *Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*. 34 (132): 347-356.
- Solis-Fuentes, J., Tellez, M., Ayala & Durán, M. (2012). *Activated carbon from agroindustrial wastes for color removal from sugarcane juice*. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 27 (1), pp. 36-48.
- Vega, J. (2006). *Tratabilidad de los Lixiviados del Relleno Sanitario Doña Juana en un Reactor UASB* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia.
- Weber, W. (1979). *Control de la calidad del agua. Procesos fisicoquímicos*. 1ª ed. Ed. Reverté. Barcelona.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.