



Referencia

López López, J. R. (2022). Diseño, construcción y evaluación de un filtro intermitente de arena pómez. *Revista Científica del Sistema de Estudios de Postgrado*. 5(2). 87-102.
DOI: <https://doi.org/10.36958/sep.v5i2.101>

Diseño, construcción y evaluación de un filtro intermitente de arena pómez

Design, construction, and evaluation of an intermittent pumice sand filter

José Ramón López López

Ingeniero Civil, M.Sc. Ingeniería Sanitaria,
Universidad de San Carlos de Guatemala
ing.joseraimonlopez@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7623-5477>

Recibido: 31/03/2022

Aceptado: 13/10/2022

Publicado: 04/11/022

Resumen

PROBLEMA: evaluar la eficiencia de la piedra pómez a emplearse como medio filtrante en un tratamiento secundario y mejorar la calidad de los afluentes de origen doméstico que descarguen a un cuerpo receptor. **OBJETIVO:** determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica y nutrientes a la salida de un filtro intermitente, proponiéndose una tecnología sustentable utilizando arena pómez en viviendas que no estén conectadas a un alcantarillado municipal haciendo su comparación con la legislación ambiental de Guatemala. **MÉTODO:** a través de una recopilación bibliográfica se definieron los lineamientos para la elaboración del modelo experimental para la depuración de las aguas residuales; el enfoque de la investigación es de tipo cuantitativo, estableciendo una caracterización de los efluentes a la salida de un biodigestor provenientes de una fracción de la Colonia Aurora II ubicada en la zona 13 de la ciudad de Guatemala. **RESULTADOS:** la unidad de tratamiento es una alternativa para comunidades de escasos recursos económicos, alcanzando una remoción promedio de materia orgánica, DBO5 de 82.62%, Demanda Química de Oxígeno, DQO de 84.32%, Fósforo Total de 35.44%, Nitrógeno Total de 24.66% y Sólidos Suspendidos de 36.89%, cumpliendo con los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos” en su etapa cuatro. **CONCLUSIÓN:** la mejora de los parámetros fisicoquímicos en afluentes de origen doméstico comprende la calidad de las descargas en que se emplee tratamientos biológicos, asumiendo un cuidado en la preservación de los ecosistemas mediante un criterio ambiental.

Palabras claves

afluente, agua residual, filtro intermitente, medio filtrante, efluentes

Abstract

PROBLEM: to evaluate the efficiency of pumice sand to be used as a filter media in a secondary treatment and to improve the quality of domestic effluents discharged to a receiving body. **OBJECTIVE:** to determine the percentage of organic matter and nutrient removal at the outlet of an intermittent filter, proposing a sustainable technology using pumice sand in homes that are not connected to a municipal sewage system and comparing it with the environmental legislation of Guatemala. **METHOD:** through a bibliographic compilation, the guidelines for the elaboration of the experimental model for wastewater treatment were defined; the research approach is quantitative, establishing a characterization of the effluents at the outlet of a biodigester coming from a fraction of Colonia Aurora II located in zone 13 of Guatemala City. **RESULTS:** the treatment unit is an alternative for low-income communities, achieving an average removal of organic matter, BOD5 of 82.62%, Chemical Oxygen Demand, COD of 84.32%, Total Phosphorus of 35.44%, Total Nitrogen of 24.66% and Suspended Solids of 36.89%, complying with the parameters established in Governmental Agreement 236-2006 in its stage four. **CONCLUSION:** the improvement of physicochemical parameters in effluents of domestic origin includes the quality of the discharges in which biological treatments are used, assuming care in the preservation of ecosystems through an environmental criterion.

Keywords

influent, wastewater, intermittent filter, filter media, effluent

Introducción

La investigación se estableció en la construcción y evaluación de un modelo experimental de tipo aeróbico, empleando materiales de origen ígneo, propios de la formación geológica del Valle de la Ciudad de Guatemala, siendo una alternativa factible y sostenible para aplicarse en afluentes de origen doméstico. Previo al ingreso del sistema aerobio planteado, se encuentra instalada una unidad depuradora de tipo primaria, la cual es un biodigestor prefabricado de polietileno de mediana densidad; una fracción de aguas residuales ingresa a la unidad que es generado por las actividades de higiene y limpieza de la Colonia Aurora II. La unidad de depuración se fundamenta en un proceso de tipo biológico, a este tipo de tecnología se le debe dosificar el caudal, esto para no saturar súbitamente el medio filtrante, que para este caso es arena pómez.

El modelo experimental está colocado en serie, este recibe los efluentes previamente tratados por un biodigestor, dando como resultado una remoción en más del ochenta por ciento de materia orgánica y un sesenta por ciento en remoción de nutrientes. La superficie del lecho filtrante está compuesta por distintas granulometrías, donde los tamaños de los granos se ubicarán de manera decreciente a través de un tamizado, el efluente se percolará en un paso simple por acción descendente hasta el fondo.

La filtración intermitente se define como una superficie en la que se le añade aguas residuales en forma intermitente a través de un dosificador, esta es descargada a un lecho filtrante poco profundo que su rango típico de diseño oscila de 0.60 m a 1.0 m. En este tipo de configuración, los efluentes depurados en la remoción de la DBO poseen valores menores a 10 mg/L y los Sólidos Suspendidos corresponden a 15 mg/L.

Para el caso de la dosificación para la distribución de las aguas residuales hacia el filtro intermitente, una de las variables más importantes para la distribución de forma uniforme en la unidad filtrante es que se cree una película biológica con un espesor no menor a ocho centímetros para llevar a cabo la degradación de los componentes solubles como coloidal presente en el afluente de origen doméstico.

En aquellas comunidades con limitaciones de accesos a los servicios de redes de alcantarillado sanitario, se busca la viabilidad en los distintos procesos de tratamiento que tendrán los afluentes de tipo ordinario, aprovechando tecnologías que no empleen en su operación la energía eléctrica y que muestren resultados efectivos.

Antecedentes

La evacuación de las aguas servidas a través de sistemas de drenaje impulsa la expansión de la urbe, pero con ello se tienen las limitaciones en comunidades que por la irregularidad topográfica, o bien, lo alejado que puede estar para conectarse a la red municipal, estará en función del sistema de tratamiento a implementarse (Romero, 2009). Por ejemplo, las tecnologías que se desarrollan para la depuración de las aguas residuales y que se especifican por

su sencillez de construcción-operación en América Latina se enlistan a continuación: Tanques Imhoff, filtros de medio granular con recirculación, lechos filtrantes, pozos de infiltración entre otros. Siendo el más habitual la fosa séptica, cuya peculiaridad distingue en un contenedor prefabricado donde es posible la eliminación del material flotante y una sedimentación. Este actúa como digestor anaeróbico, por la alta carga de concentración orgánica no se sugiere hacer percolación en el terreno sin que se tenga una depuración para la disminución de la carga orgánica, esto deriva en un potencial contaminante para las aguas subterráneas.

A través de distintas investigaciones que se han desarrollado en las instalaciones de la Planta de Tratamiento “Ing. Arturo Pazos”, se ha contribuido con la academia con estudios relacionados al empleo de la piedra pómez, por ejemplo, acerca del desecado de los lodos, previo a un proceso de digestión anaerobia, utilizando patios de grava y pómez como medios filtrantes (Montoya, 1981), el autor describe en su trabajo de investigación que la aplicación de materiales locales, cuya geología es propia del Valle de la Ciudad de Guatemala, permite obtener resultados eficientes al utilizarlos como medios filtrantes. En otra investigación (Vásquez, 1992) se describe el empleo de filtros construidos con arena pómez, como tratamiento terciario en aguas negras, deriva una práctica con resultados, satisfactorios, especialmente en la remoción de los Sólidos Sedimentables y los parámetros fisicoquímicos (DBO, DQO, Nitrógeno y Fósforo), en la que su efectividad es del 97%.

Otro trabajo de investigación expuesto en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, para evaluación de filtros intermitentes, aplicando materiales granulares como lechos filtrantes, la distribución de los caudales por medio de un dosificador artesanal sin recirculación de los efluentes (Siguí, 2012), los resultados en la remoción de la materia orgánica, su eficiencia media es de 63.2% tomando en consideración que, para el estudio, no se comparó el porcentaje de remoción de nutrientes.

Derivado de lo anterior, el fin esencial de la investigación es emplear la arena pómez en lechos filtrantes, en un tratamiento biológico, del que se ha tenido experiencias positivas en la antigüedad (Alvarado, 1986). Este tipo de materiales por su origen geológico, incluso ha servido para aumentar la eficiencia de los efluentes en lagunas de estabilización (Romero, 2004).

Ubicación

El filtro intermitente de arena pómez, para su diseño, construcción y evaluación, está ubicado en la Planta Piloto Ing. Arturo Pazos Sosa, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS-. Por su posición geográfica y pendiente del terreno, este recibe todos los afluentes de origen doméstico de la Colonia Militar Aurora II. Como nota importante, el modelo experimental corresponde a una fracción del caudal que ingresa a las instalaciones. Las colindancias corresponden al norte con el Observatorio Nacional Meteorológico, al este con el Aeropuerto Internacional “La Aurora”, al sur y al oeste por un barranco.

Figura 1. Ubicación del modelo



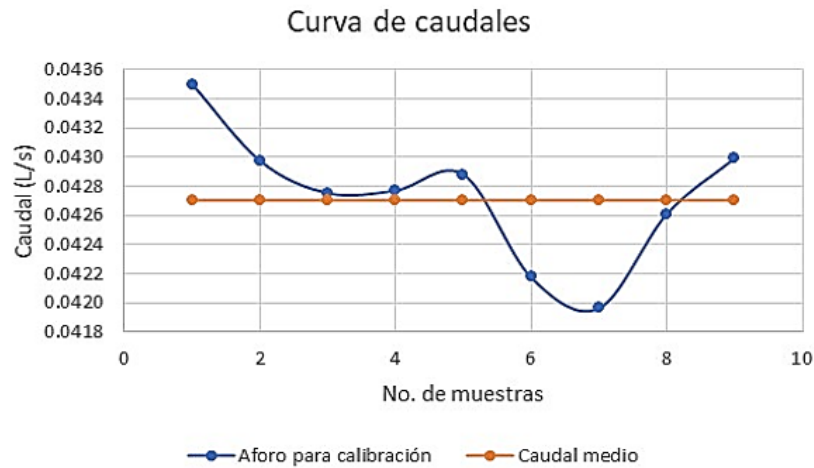
Metodología

El estudio de investigación abarcó seis aspectos importantes: 1) la formulación del problema, 2) la fase exploratoria, 3) diseño, construcción y evaluación del modelo, 4) trabajo de campo, que corresponde a la ejecución de la unidad de tratamiento y recolección de las muestras, 5) trabajo de gabinete, en el cual se tabuló los datos recolectados in situ y examinados en laboratorio y 6) presentación de resultados, en que se evaluó la viabilidad de este tipo de unidades (Sampieri et al, 2006).

En los casos de estudio en que se desee un aprovechamiento de los efluentes de tipo ordinario, el grado de tratamiento se analiza de acuerdo con los requisitos de calidad para cada tipo de reúso, acorde a las necesidades y normas ambientales para cada proyecto y la calidad del cuerpo receptor. En la investigación se utilizó lechos filtrantes de origen volcánico, donde solo se busca evaluar la eficiencia de materiales locales, acoplándose para optimizar la construcción de sistemas de tratamiento.

Para proceder al dimensionamiento del filtro intermitente, es importante establecer el caudal que está descargando el biodigestor, aun sabiendo que su capacidad es de mil trescientos litros, la metodología empleada es por medio de un aforo volumétrico, cuyas distintas muestras recolectadas y se analizaron mediante la construcción de una curva de caudales, representándose el caudal medio, como lo mostrado en la figura 2.

Figura 2. Curva de caudales



El sistema propuesto es un tratamiento secundario y con ello se buscó reducir la cantidad de materia orgánica y nutrientes, mejorando la calidad del efluente para un reuso, teniendo cuidado que se cumplan los parámetros ambientales de la legislación ambiental (Amasifuen y Morón, 2021). En casos ideales se sugiere el uso de una geomembrana con un espesor como mínimo de treinta milésimas de pulgada, garantizado una protección al sistema, evitando con ello infiltraciones. Para la separación de las distintas granulometrías que se apliquen en un filtro intermitente y evitar que migren los finos o se colmaten las perforaciones del fondo falso, con el uso de un geotextil no tejido elaborado de fibras de polipropileno, cuya función principal es una separación y filtración de los afluentes a depurar.

Figura 3. Filtro intermitente de arena pómez



La granulometría de los suelos que corresponde a una arena pómez, el porcentaje según el diámetro de partícula corresponde a 70.74% de arena, 2.72% de material fino y un 26.54% de grava.

Volumen de la muestra

La obtención y toma de muestras de las aguas residuales, corresponden a la entrada y salida de la unidad experimental, recolectándose tres litros, con ello se evaluó la eficiencia de la unidad de tratamiento, considerando una temperatura ambiental y clima semicálido.

Las muestras que se recolectaron deberán almacenarse de forma que se garantice la temperatura y transporte, posteriormente se movilizan al laboratorio para ser analizadas, con ello se previene la discrepancia y sesgos en la obtención de los siguientes parámetros fisicoquímicos: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno Total, Fósforo Total y Sólidos Suspendidos. Estudios microbiológicos no se consideraron en la presente investigación.

Parámetros fisicoquímicos

Para garantizar una calidad del agua para reúso de los efluentes y generar un desarrollo sustentable (Anderson et ál, 1992) asegurando la protección de los recursos naturales, entidades como la Organización Panamericana para la Salud han definido los siguientes conceptos que deben considerarse de las aguas ordinarias que se descarguen a cuerpos receptores:

Valor de DBO5: aprueba la medición de la cantidad de oxígeno molecular necesario bajo las condiciones de ensayo a cinco días, con una incubación en oscuridad a una temperatura de 20 °C estableciendo con ello la concentración de materia orgánica, en términos de oxígeno que es necesario para su estabilización.

Valor de DQO: define una muestra bajo condiciones controladas, su reacción ante un agente oxidante, este parámetro es usado como medida para indicar las condiciones tóxicas de los afluentes y la presencia de sustancias orgánicas biológicamente resistentes.

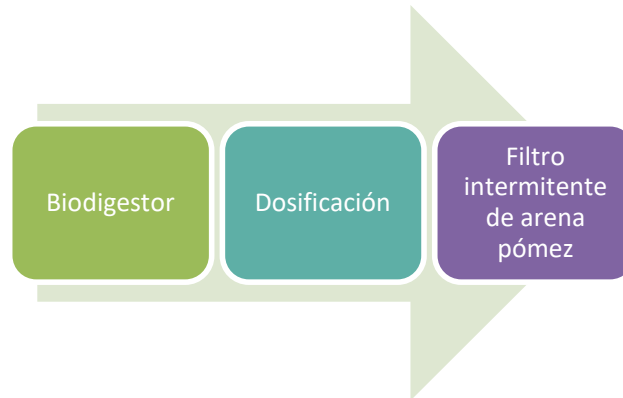
Sólidos totales: se relacionan con la materia que se encuentra suspendida o disuelta en las aguas residuales, en que una concentración alta, puede inducir a una reacción fisiológica desfavorable para un reúso.

Nutrientes: corresponde a un parámetro ambiental, que por sus características es considerada como uno de los mayores contaminantes de cuerpos receptores, disminuyendo la calidad de agua, lo cual conlleva a una eutrofización de los cuerpos de agua, afectando negativamente la flora y fauna por la acción antropogénica.

Los elementos de Fósforo y Nitrógeno son esenciales para el desarrollo de las plantas y pro-
tistas, por ello, se le ha añadido a la definición de nutrientes o bioestimuladores, siendo ne-

cesario para el crecimiento biológico (Anderson et al, 1992). El ciclo del Nitrógeno, es básico para la síntesis de las proteínas, siendo fundamental realizar la evaluación en los afluentes y qué datos de concentración contienen, valorándose la alternativa de tratamientos para depuración a través de un proceso biológico (Metcalf y Eddy, 1996).

Figura 4. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento



Medidas ambientales

Para una correcta operación y mantenimiento en las unidades de depuración de aguas residuales, cuya tecnología se considera hasta una unidad secundaria, es importante considerar las siguientes medidas ambientales para su implementación:

- La recolección del cieno y natas derivados de una flotación en las plantas de tratamiento. Se debe disponer en pozos, se deberá añadir de manera inmediata una capa de suelo con un espesor no menor a 0.50 m.
- No deberá disponerse de un vaciado de los lodos y material flotante directamente hacia las redes de alcantarillado sanitario o cuerpos receptores, esto con el fin de preservar la flora y fauna.
- Si se emplea otro medio de disposición para este tipo de materiales, este deberá ser aprobado por las autoridades de salud, en aquellas zonas que no contaminen o causen daños irreversibles a la naturaleza.

Resultados

Al analizar el efluente del biodigestor, se observa en la Tabla 1 que las concentraciones de carga orgánica son altas, previo a que se tiene una depuración de tipo primaria y en la Tabla 2 se exponen los resultados fisicoquímicos a la salida del filtro intermitente.

Tabla 1. Concentraciones iniciales de la calidad del afluente

No. De muestras	Fecha de recolección	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos Suspendidos SS (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	pH	Temperatura °C
1	8/08/2012	147.33	234.00	50.00	41.00	30.00	8.56	21.36
2	15/08/2012	162.00	301.00	46.67	31.00	30.00	8.30	21.20
3	22/08/2012	60.00	294.00	58.00	46.00	30.00	7.43	22.05
4	29/08/2012	158.67	252.00	36.00	40.00	5.00	7.45	22.02
5	5/09/2012	148.67	254.00	40.67	47.00	4.10	7.36	22.54
6	12/09/2012	140.00	277.00	40.00	49.00	5.20	8.00	22.28
7	19/09/2012	234.33	252.00	84.00	34.00	4.60	7.90	22.15
8	26/09/2012	57.00	286.00	42.66	46.00	5.40	8.50	23.14
9	3/10/2012	121.33	189.00	115.00	40.00	4.60	7.98	21.67
10	10/10/2012	104.67	193.00	28.00	28.00	4.80	8.70	22.84
Mínimo		57.00	189.00	28.00	28.00	4.10	7.36	21.20
Máximo		234.33	301.00	115.00	49.00	30.00	8.70	23.14
Promedio		133.40	253.20	54.10	40.20	12.37	8.02	22.13
Desviación estándar		51.97	39.03	26.27	7.18	12.17	0.49	0.61

Tabla 2. Concentraciones finales de la calidad del efluente

No. De muestras	Fecha de recolección	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos Suspendidos SS (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	pH	Temperatura °C
1	8/08/2012	7.53	38.00	25.50	31.00	25.00	7.61	20.06
2	15/08/2012	8.47	24.00	19.34	26.00	28.00	7.12	20.50
3	22/08/2012	13.87	20.00	39.00	32.00	10.00	7.15	21.95
4	29/08/2012	18.93	71.00	24.67	33.00	2.60	7.50	21.50
5	5/09/2012	14.33	16.00	29.20	23.00	2.90	6.93	21.75
6	12/09/2012	17.20	60.00	37.33	32.00	2.70	7.87	21.50
7	19/09/2012	47.40	80.00	54.00	30.00	2.90	8.14	21.97
8	26/09/2012	26.73	31.00	22.00	25.00	3.10	7.98	22.43
9	3/10/2012	26.00	28.67	61.34	34.00	3.30	7.87	20.46
10	10/10/2012	18.73	23.00	36.80	28.00	3.30	8.38	21.80
Mínimo		7.53	16.00	19.34	23.00	2.60	6.93	20.06
Máximo		47.40	80.00	61.34	34.00	28.00	8.38	22.43
Promedio		19.92	39.17	34.92	29.40	8.38	7.66	21.39
Desviación estándar		11.55	22.82	13.84	3.72	9.83	0.48	0.78

Nota: En la Tabla 3, se observa la eficiencia empleando como medio filtrante arena pómez, conteniendo la evaluación de los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida del sistema de tratamiento.

Tabla 3. Porcentaje de remoción del filtro intermitente empleando como medio filtrante arena pómez

No. De muestras	Fecha de recolección	DBO5 (%)	DQO (%)	Sólidos Suspendidos SS (%)	Nitrógeno Total (%)	Fósforo Total (%)
1	8/08/2012	94.89	83.76	49.00	24.39	16.67
2	15/08/2012	94.77	92.03	58.56	16.13	6.67
3	22/08/2012	76.88	93.20	32.76	30.43	66.67
4	29/08/2012	88.07	71.83	31.47	17.50	48.00
5	5/09/2012	90.36	93.70	28.20	51.06	29.27
6	12/09/2012	87.71	78.34	6.68	34.69	48.08
7	19/09/2012	79.77	68.25	35.71	11.76	36.96
8	26/09/2012	53.11	89.16	48.43	45.65	42.59
9	3/10/2012	78.57	84.83	46.66	15.00	28.26
10	10/10/2012	82.11	88.08	31.43	0.00	31.25
Mínimo		53.11	68.25	6.68	0.00	6.67
Máximo		94.89	93.70	58.56	51.06	66.67
Promedio		82.62	84.32	36.89	24.66	35.44
Desviación estándar		12.21	8.91	14.57	15.86	17.11

Nota: las figuras siguientes muestran la eficiencia del modelo de tratamiento, haciendo su comparación con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en su etapa cuatro.

Analizando los resultados obtenidos en las figuras 5 y 6 respectivamente, este representa una concentración máxima de 47.40 mg/L de DBO5 y 28.67 mg/L de DQO.

Figura 5. Concentración de DBO5 a la salida del filtro intermitente

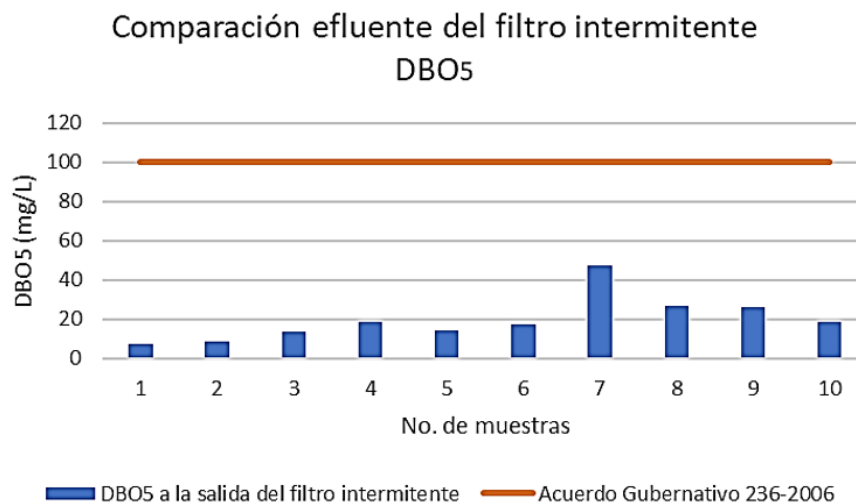
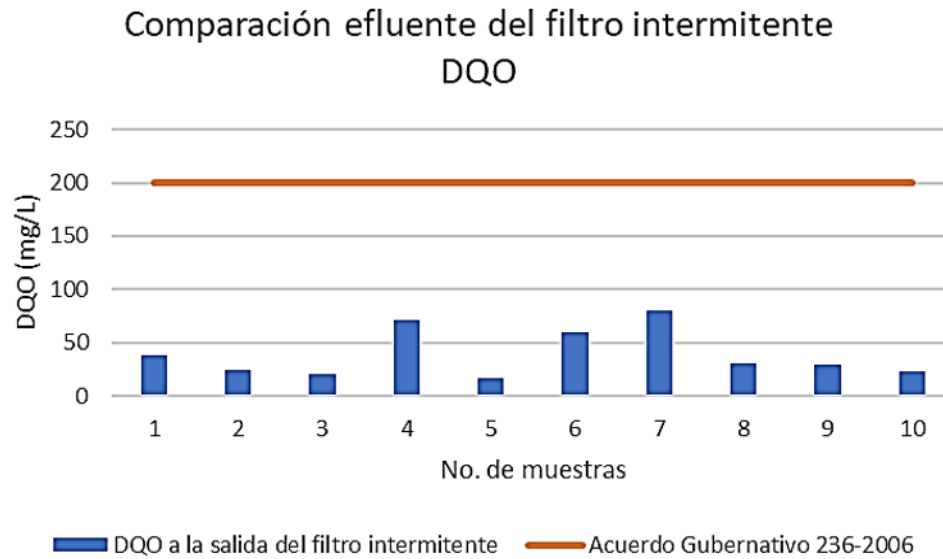
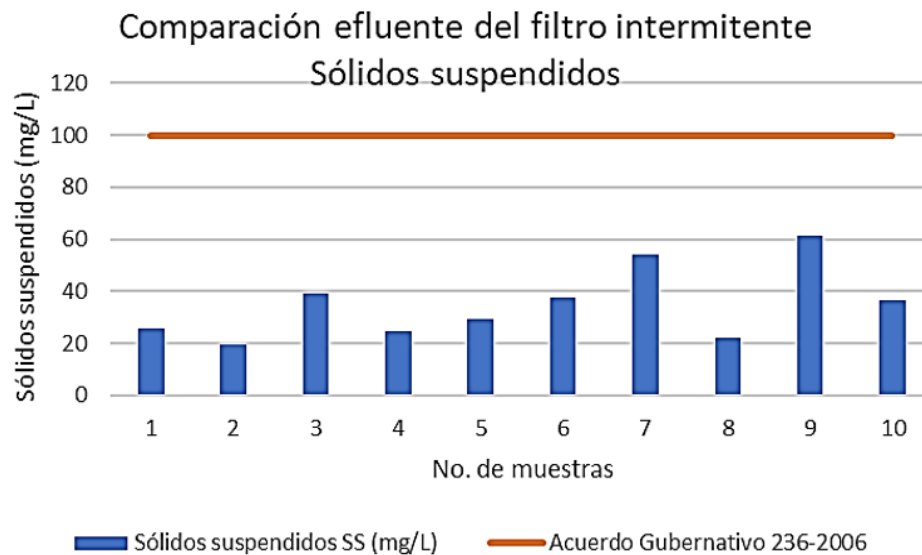


Figura 6. Concentración de DQO a la salida del filtro intermitente



Nota: se visualiza en la Figura 7 una baja remoción de Sólidos Suspendidos, por lo que al sistema primario hay que realizarle sus medidas correctivas para una adecuada operación.

Figura 7. Concentración de Sólidos Suspendidos a la salida del filtro intermitente



Nota: En las Figuras 8 y 9 respectivamente, se observa una concentración baja en remoción de nutrientes, alcanzando valores mínimos de Fósforo Total de 6.67 mg/L y Nitrógeno Total de 23 mg/L.

Figura 8. Concentración de Fósforo Total a la salida del filtro intermitente

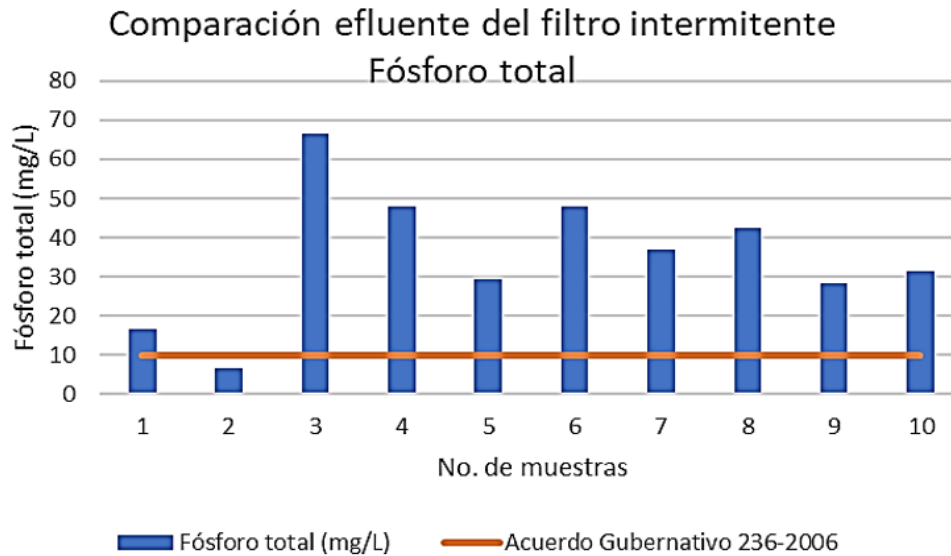
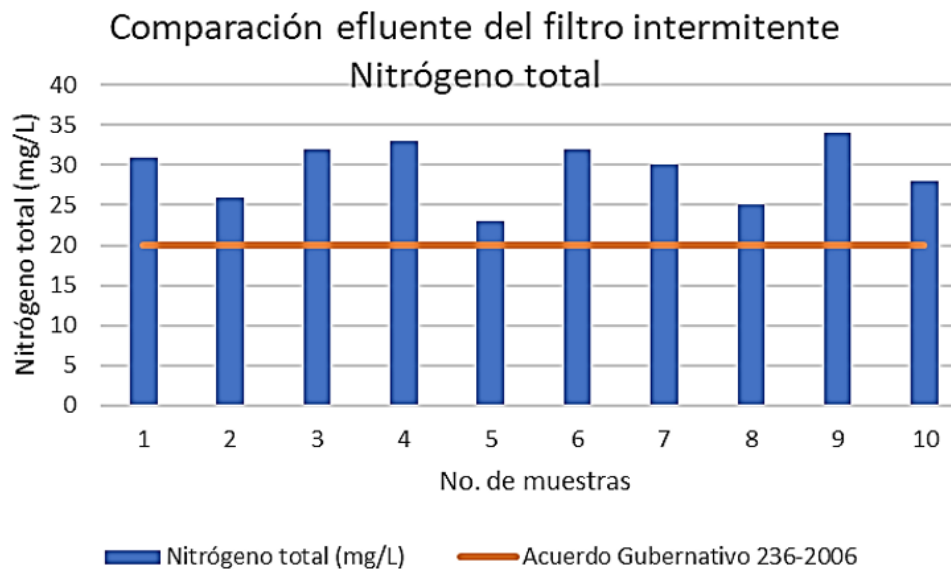


Figura 9. Concentración de Nitrógeno Total a la salida del filtro intermitente



Discusión de resultados

Al analizar las diferentes concentraciones de los contaminantes que se obtuvieron a la salida del filtro intermitente, se observa la eficiencia en la remoción de materia orgánica y nutrientes, en que se emplea materiales de origen ígneo en un tratamiento secundario como lechos filtrantes.

Al hacer la comparación con la normativa ambiental de Guatemala que dicta el Acuerdo Gubernativo 236-2006, las concentraciones en la remoción de nutrientes alcanzan valores ma-

yores del cincuenta por ciento, por lo que, para futuros trabajos de investigación, debe evaluarse la composición mineralógica para determinar su influencia en la formación de colonias de bacterias, promoviendo así, este tipo de tecnologías para viviendas individuales que descarguen a cuerpos receptores.

El valor del caudal estimado para el modelo experimental corresponde a una población no mayor a seis habitantes, representando una carga orgánica de 60 g/hab/día y un clima semi-cálido. Para futuras evaluaciones con mayores poblaciones, debe rediseñarse la unidad de depuración, teniendo cuidado de que se posea suficiente área superficial en aquellos proyectos que se necesite mejorar la calidad del agua posterior a un tratamiento primario.

Los parámetros fisicoquímicos empleados para la evaluación del filtro intermitente conciernen a afluentes de tipo ordinario, coincidiendo con la literatura de una biodegradabilidad en que es posible añadir un tratamiento biológico (Yáñez, 1993).

Es importante para la operación y mantenimiento de los sistemas de depuración de aguas servidas, que desde la planificación se elabore un manual, planteándose de forma precisa las actividades y los distintos procesos, en beneficio de los usuarios para que las unidades de tratamiento funcionen de la misma manera siempre. Esto sería un aporte para la preservación de la inversión y para mitigar el impacto ambiental de los afluentes que descarguen a cuerpos receptores (Arosemena, 1985).

El funcionamiento del modelo experimental empleando arena pómez como medio filtrante, como todo proceso de tratamiento no debe dejarse al azar, por lo que para futuras investigaciones si se desea replicar, es necesario incluir manuales en los que se describa la correcta toma de muestras, como también la bioseguridad de los colaboradores durante su operación (Romero, 2009).

Se hace énfasis en que los manuales de operación y mantenimiento deben ser actualizados constantemente a medida que los procesos se optimicen. Sugiriendo para su elaboración que no sea complicado en su redacción o bien lo más accesible posible, planteando como mínimo los siguientes elementos: descripción del sistema, instalación de los materiales, operación, mantenimiento, administración, responsables, regulación ambiental y un glosario con las preguntas recurrentes; esto conlleva a buenas prácticas de ingeniería en que se busca la preservación del medio ambiente (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Conclusiones

En zonas residenciales que no estén conectadas a un alcantarillado municipal o bien por la topografía, con el uso de arena pómez es posible alcanzar eficiencias de remoción de materia orgánica por encima del ochenta por ciento, estimándose para su evaluación afluentes de tipo doméstico.

En las diferentes actividades generadas por los vecinos de la Colonia Aurora II, los afluentes representan un índice de biodegradabilidad de 0.52 por lo que es posible implementar tecno-

logías con principios de diseño biológicos, presentándose un modelo experimental en que se utiliza como medio filtrante arena pómez posterior a un tratamiento primario.

El uso de la arena pómez en filtros intermitentes, permitió una remoción promedio de Demanda Bioquímica de Oxígeno 82.62%, Demanda Química de Oxígeno del 84.32%, Sólidos Suspendidos de 36.89%, Fósforo Total de 35.44% y Nitrógeno Total de 24.66%.

Al hacer la comparación con la normativa ambiental de Guatemala en su etapa cuatro para descarga de afluentes hacia cuerpos receptores que no estén conectados a una red de alcantarillado sanitario, con el uso de tecnologías primarias utilizando materiales locales, es posible alcanzar los valores máximos permisibles en remoción de materia orgánica, pero para el caso de los nutrientes, es necesario añadir un tratamiento terciario para cumplir con la última etapa que dicta el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Referencias

Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento para las descargas de aguas residuales y de la disposición de lodos (6 de mayo de 2006). Disponible en http://www.infom.gob.gt/archivos/Docs-Pdf/Anexo-Legal/ANEXO_1_Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG236-2006.pdf

Amasifuen, M. y Morón, Ricardo, K. (2021). Aplicación de dosis de piedra Pómez y carbón activado para el tratamiento de agua residual en Camal Municipal Moquegua, 2021. [Tesis de Maestría, Universidad César Vallejo]. Lima: Lima Este. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/73440>

Anderson, D.; Siegrist, R. y Otis, R. (1992). Technology assessment of intermittent sand filters. Washington, DC: EPA. 30 p. Disponible en <https://nepis.epa.gov/Exe/tiff2png.cgi/200045JW.PNG?-r+75+-g+7+D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C-81THRU85%5CTIFF%5C00000617%5C200045JW.TIF>

Arosemena, A. (1985). Ensayo de arena pómez como medio filtrante. Trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Disponible físicamente en la biblioteca de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.

Crites, R. y Tchobanoglous, G (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia: Mcgraw-Hil. 739 p. Disponible en <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.022201/Description>

- Metcalf y Eddy (1996). Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1 y 2. 3ª ed. México: MacGraw-Hill. 1485 p. Disponible en https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_METCALF_and_EDDY_FREELIBROS_ORG_pdf
- Montoya, M. (1981). Desecado de lodos después de digestión anaeróbica, empleando patios de grava y arena pómez como medio filtrante. [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala: USAC. Disponible físicamente en la biblioteca de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Romero, J. (2009). Calidad del agua. 3ª ed. Colombia: Escuela Colombiana de ingeniería. 485 p. Disponible en http://www.uea.edu.ec/pmb/index.php?lvl=notice_display&id=900
- Romero, J. (2004). Tratamiento de aguas residuales. 3ª ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 1248 p. Disponible en http://www.uea.edu.ec/pmb/index.php?lvl=notice_display&id=123
- Sampieri, R.; Collado, C. y Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación. 4ª ed. México: Mcgraw-Hill. 265 p. Disponible en <http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20Investigaci%C3%B3n%20SAMPIERI.pdf>
- Siguí, N. (2010). Diseño y construcción de un filtro intermitente de grava sin recirculación y comparación teóricas de filtros con recirculación para el tratamiento de agua residual doméstica. [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0440_MT.pdf
- Vásquez, T. (1992). Empleo de filtros construidos con arena pómez, como tratamiento terciario en aguas negras. Guatemala. [Tesis de Maestría, Universidad Mariano Gálvez]. Disponible en <https://glifos.umg.edu.gt/digital/14381.pdf>
- Yáñez, F. (1993). Normas de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales borrador de discusión. Guatemala: OPS. 70 p. Disponible físicamente en la biblioteca de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.

Sobre el autor

José Ramón López López

Es Ingeniero Civil, egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con Maestría en Ciencias, en Ingeniería Sanitaria y un Postgrado en Sistemas de Información Geográfica. Actualmente, es docente para la Maestría en Geotécnica para la Escuela de Estudios de Postgrados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Financiamiento de la investigación

Con recursos propios.

Conflicto de intereses

Declara no tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o en las interpretaciones propuestas.

Declaración de consentimiento informado

El estudio se realizó respetando el Código de ética y las buenas prácticas editoriales de publicación.

Derecho de uso

Copyright (c) (2022) por José Ramón López López

Este texto está protegido por la [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Este texto está protegido por una licencia
[Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.