



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Eficiencia de un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados
para reducir benceno en el aire, Villa Salvador, 2019

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORA:

Sucapuca Aguilar, Katia (ORCID: 0000-0001-8422-384X)

ASESOR:

Dr. Valverde Flores, Jhonny Wilfredo (ORCID: 0000-0003-2526-112X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de Recursos Naturales

LIMA- PERÚ

2019

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quién me guío por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante, acompañarme en cada etapa de mi vida y a mis padres, Guillermina Aguilar y Mario Sucapuca por su apoyo y sus consejo que me han brindado en mi crecimiento como persona, así mismo a mi pareja Ronald Chipa, por su comprensión y mi bebe Nicolás Chipa Sucapuca que ha sido mi mayor fortaleza para lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Dios, gracias por guiarme en esta investigación es una gran bendición. También agradezco al Dr. Jhonny Wilfredo Valverde Flores quien fue mi asesor durante este proyecto de investigación y un especial agradecimiento al Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar, Q.F. Rosalvina De la Cruz Ávila y al Ing. Sigfredo Quintana Paetan quienes me apoyaron con sus enseñanzas y consejos en esta etapa de mi vida, así mismo a mi compañero Marcelo Villalobos por su apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	<i>i</i>
AGRADECIMIENTO	<i>ii</i>
RESUMEN	<i>ix</i>
ABSTRACT.....	<i>x</i>
I.INTRODUCCIÓN	<i>1</i>
II.MÉTODO.....	<i>30</i>
2.1. Diseño de la investigación	<i>30</i>
2.2. Variable y definición operacional	<i>32</i>
2.3. Población y muestra	<i>33</i>
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	<i>37</i>
2.5. Método de análisis de datos	<i>44</i>
2.6. Aspectos éticos.....	<i>44</i>
III.RESULTADOS.....	<i>45</i>
3.1 Análisis físico, químico, biológico y microbiológico	<i>45</i>
3.2 Adaptación de los lodos activados	<i>46</i>
3.3 Proceso de Inoculación	<i>48</i>
3.4 Operación del Biofiltro Percolador y Recolección de Datos.....	<i>49</i>
IV.DISCUSIÓN DE RESULTADOS	<i>74</i>
V.CONCLUSIONES	<i>75</i>
VI.RECOMENDACIONES.....	<i>76</i>
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	<i>77</i>
ANEXOS	<i>83</i>

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura Química del Benceno.....	16
Figura 2. Estructura química del Poliestireno	19
Figura 3. Ubicación de la cámara de bombeo	34
Figura 4. Toma de muestra de lodos Activados	34
Figura 5. Se tomaron 5 muestras de agua residual.....	35
Figura 6. Se colocó en un cooler las muestras, para mantener su temperatura	35
Figura 7. Esquema de los puntos de muestreos del sistema de Biofiltro Percolador.....	36
Figura 8. Secuencia del proceso experimental del Biofiltro percolador	38
Figura 9. 2 Recipientes de 5litros cada uno para adecuar la muestra.....	39
Figura 10. Se colocaron piedras de aire y mangueras, para mantener el oxígeno de las muestras	39
Figura 11. Vertimiento 1.5L de lodo activado a cada recipiente.....	39
Figura12. Proceso de Adaptación del lodo activado por 2 semanas.....	40
Figura 13. Se armar tres biofiltros percoladores.....	40
Figura 14. Se coloca el material de poliestireno y se inocula el lodo activado	40
Figura 14. Se adiciona el macro y el micro nutriente a cada biofiltro percolador	41
Figura 15. Proceso de operación del sistema de biofiltro percolador	41
Figura 16. Comportamiento de la temperatura vs los días de adaptación de 1500 mL de la muestra de lodos activados.	47
Figura 17. Comportamiento del pH vs los días de adaptación de 1500 ML de la muestra de lodos activados.....	47
Figura 18. Eficiencia de remoción Biofiltro a base de poliestireno N° 1	54
Figura 19. Eficiencia de remoción Biofiltro a base de poliestireno N° 2	54
Figura 20. Eficiencia de remoción Biofiltro a base de poliestireno N° 3	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físicas del Benceno	17
Tabla 2. Matriz de Operacionalización de variable independiente	32
Tabla 3. Matriz de operacionalización de la variable dependiente	33
Tabla 4. Ubicación de la unidad experimental.....	36
Tabla 5. Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	43
Tabla 6. Datos Generales de Especialistas.....	43
Tabla 7. Resultado de los parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos de los lodos activados	45
Tabla 8. Resultados de pH y temperatura durante la adaptación de los lodos activados.	46
Tabla 9. Resultados de las propiedades físicas de los materiales de soporte .	48
Tabla 10. Resultados de concentración de benceno en los Biofiltros a base de Poliestireno.....	49
Tabla 11. Resultados de CE y ER de benceno en los Biofiltros a base de Poliestireno.....	50
Tabla 12. Resultados del primer tratamiento en condiciones de operación en el sistema de biofiltro percolador a base de POLIESTIRENO.....	51
Tabla 13. Resultados del segundo tratamiento en condiciones de operación en el sistema de biofiltro percolador a base de POLIESTIRENO.....	52
Tabla 14. Resultados del tercer tratamiento en condiciones de operación en el sistema de biofiltro percoladores a base de POLIESTIRENO.....	53
Tabla N°15. Prueba de normalidad de la concentración de benceno (ppm) inicial y final-Muestra N°1 poliestireno y lodos activados	56
Tabla N°16. Prueba de Wilcoxon para el tratamiento con Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados de la muestra N°1:	56
Tabla N°17. Prueba de normalidad de la concentración de benceno (ppm) inicial y final-Muestra N°2 poliestireno y lodos activados	58
Tabla N°18. Prueba de Wilcoxon para el tratamiento con Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados de la muestra N°2.....	58
Tabla N°19. Prueba de normalidad de la concentración de benceno (ppm) inicial y final-Muestra N2 poliestireno y lodos activados.....	60
Tabla N°20. Prueba de Wilcoxon para el tratamiento con Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados de la muestra N°3.....	60
Tabla N°21: Prueba de normalidad para la humedad (%) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno)	62
Tabla N°22: Prueba de homogeneidad de varianza para la humedad (%) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).....	62

Tabla N°23: Prueba ANOVA de un factor de varianza para la humedad (%) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).....	64
Tabla N°24: Prueba de normalidad para la Temperatura (C°) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).	65
Tabla N°25 Prueba de homogeneidad de varianza para la Temperatura (C°) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).....	66
Tabla N°26: Prueba ANOVA de un factor de varianza para la Temperatura (C°) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).....	67
Tabla N°27: Prueba de normalidad para la pH - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).	68
Tabla N°28: Prueba de homogeneidad de varianza para la pH -Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).....	68
Tabla N°29: Prueba ANOVA de un factor de varianza para la pH - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).....	69
Tabla N°30: Prueba de normalidad para la presión (Bar) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).	71
Tabla N°31: Prueba de homogeneidad de varianza para la presión (Bar) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).....	71
Tabla N°32: Prueba ANOVA de un factor de varianza para la presión (Bar) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).....	73

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo principal evaluar el experimento y adecuar la muestra en un biofiltro percolador, ya que el lodo activado tiene presencia de microorganismos como *E. coli* y *Pseudomona Sp.*

Las muestras fueron adaptadas por un periodo de 26 días en condiciones de oxigenación apropiadas y mediante la adición de sustancias nutritivas (micro y macro nutrientes), así mismo se vierte 0.5 mL del contaminante (benceno).

Seguidamente se construye el biofiltro percolador a escala de laboratorio, con un soporte a base de poliestireno que fue inoculado con las muestras de lodo activado, con la finalidad de tratar la corriente de aire contaminado con benceno y un caudal de $11.7\text{m}^3/\text{h}$. Dicha unidad experimental consto de tres reactores de material de acrílico que funcionaron de forma paralela y de manera continua, por un periodo de 12 días.

Finalmente, se monitorea la concentración del contaminante al momento del ingreso y salida del sistema de biofiltros percolador esto se realiza cada dos días, con el equipo medido de COV's Mini RAE 2000. La investigación desarrollada fue aplicada, con un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y un diseño experimental, en el cual se desarrolló un pre y post prueba. Mediante los resultados obtenidos en la etapa de operación de la unida experimental, se determinó que la concentración del benceno en la corriente de aire tratada en los tres biofiltros, logro alcanzar valores máximos de eficiencia de remoción (ER) 42.15%, 57.08% y 50.57% para concentraciones finales obtenidos es de 19.9ppm, 19.10ppm, y 19.50ppm respectivamente. Se concluye, en la investigación que el material de soporte a base de poliestireno en un biofiltro percolador, permite en promedio menos una ER del 20% del contaminante benceno.

Palabras claves: Biofiltro Percolador, Lodos Activados, eficiencia de remoción y capacidad de remoción.

ABSTRACT

The main objective of this research work is to evaluate the efficiency of a biofilter based on polystyrene and activated sludge in order to reduce the rolling in an air current in Villa El Salvador, for this purpose experimentation is appropriate to the samples of Activated sludge, which has the presence of a bacterial consortium such as E. coli and Pseudomonas Sp. For this purpose, the samples were adapted for a period of 26 days under the conditions of oxygenation by which the addition of nutritive substances was used (micro and macro nutrients), then they were adapted to the benzene contaminant in the proportion of 0.5 mL every two days. Next, the polystyrene-based support material was inoculated with the activated sludge samples, the experimental unit was designed and built and increased to treat a volume of 0.009 m³ of air stream contaminated with benzene. Said experimental unit of three towers or reactors of acrylic material that worked in parallel and continuously for a period of 12 days. Finally, the pollutant concentration is found in the entrance and exit of the biofilter system every two days, with the measured equipment of VOCs Mini RAE 2000. The research developed was the efficiency of a trickling biofilter based on polystyrene and activated sludge in order to reduce benzene in an air stream in Villa the Salvador with the Mini RAE 2000 equipment obtaining as a result 96.4ppm in the area, according to the Environmental Quality Standards for Air, the benzene parameters is 2ug / m³ which is equivalent to 574cm³ (C₆H₆) / m³air. It is for this reason that said applied, with a quantitative approach, an explanatory level and a experimental design, in which a previous and subsequent test has been carried out. Through the results in the operation stage of the experimental unit it was determined that the efficiency in the removal (ER) of the benzene concentration in the air stream treated in the three biofilters, achievement of maximum values of 42.15%, 57.08% and 50.57% to start at 34.40, 44.50 and 39.45 ppm respectively. It is concluded, in the research that the support material, a polystyrene base and a percolating biofilter, allows on average less an ER of 20% of the benzene contaminant.

Keywords: Percolating biofilter, activated sludge, removal efficiency and removal capacit

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas ambientales es la contaminación atmosférica, en la actualidad esto ha ocasionado afecciones al ser humano y al medio ambiente. Según la Organización Mundial de la Salud (2016) el 58% de fallecidos encontrados están relacionados con la contaminación atmosférica como: enfermedades respiratorias agudas, derrames cerebrovasculares, cardiopatías y afecciones cancerígenas por la cantidad de smog fotoquímico y partículas de aire contaminado; es por ello que el aire contaminado está más allá de las personas. Para ello, las autoridades deben tomar medidas de control, así como normativas nacionales e internacionales en sectores tales como transporte, gestión de residuos, construcción, agricultura e industrias.

Según SENAMHI en el 2018 menciona que el ozono troposférico (O_3) y los compuestos orgánicos volátiles son componentes importantes en la química atmosférica, puesto que el ozono es un gas de efecto invernadero debido a su fuerte absorción en bandas de radiación infrarroja terrestre y es secundario formado a través de oxidación fotoquímica de compuestos orgánicos volátiles en presencia de óxido de nitrógeno (p. 1). La contaminación del aire se compone de muchos contaminantes y/o partículas. En nuestro país, estas partículas pueden penetrar profundamente en el tracto respiratorio y, por lo tanto, constituyen un riesgo para la salud al aumentar la mortalidad por infecciones y enfermedades respiratorias, cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares seleccionadas.

La contaminación ambiental al ser emitida los compuestos orgánicos volátiles (COV's) a la atmosfera se comprueba que los compuestos orgánicos volátiles está ocasionando efectos dañinos en el ambiente como la contribución al smog fotoquímico, así mismo la combustión de gasolina en vehículos, quema de madera y uso como insumo para la elaboración de disolventes, pinturas, aromatizantes entre otros productos se mantiene en la tropósfera, este depósito de sustancia toxica generan nubes grises conocida como smog industrial o fotoquímico ocasionando que se cubra la ciudad entera (Riveros, 2017, p. 19; Ghittori, 2014, p.2). Uno de los COVs es el

benceno, el cual ha sido catalogado como una sustancia de carácter tóxico para la salud ya que produce de modo selectivo una afectación a la médula ósea. Es cancerígeno puesto que altera la hematopoyesis, las altas exposiciones del benceno se desarrolla pancitopenia, anemia aplásica, leucemia y afecta al sistema nervioso central ocasionando depresión, cefalea, fatiga, y dificultad para articular las palabras, así mismo se penetra en la piel (Guardino, 2015, p.1).

En nuestro país se encuentra aprobado los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire y establecen Disposiciones complementarias DECRETO SUPREMO N° 003-2017 MINAM, valores para compuestos orgánicos volátiles como el Benceno (C_6H_6) con un valor de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un criterio de evaluación (media aritmética anual), método de análisis (cromografía de gases) (MINAM, 2017, p. 4).

En la zona del parque Industrial del distrito de Villa El Salvador, donde están ubicados los principales proveedores de madera industrial y exportadores a nivel nacional, se hace uso de productos sintéticos como lacas, pinturas y entre otros disolventes que son usados sin protección alguna puesto que tienen contacto directo con las personas, estos productos sintéticos contienen (COV's), como el benceno el cual es altamente tóxico para el ser humano provocando diversas enfermedades, alteraciones respiratorias, cáncer al pulmón, afecciones cardiovasculares entre otras enfermedades de mortalidad.

La Eficiencia del tratamiento microbiológico con los biofiltros percoladores aplicados con una corriente gaseosa contaminado con benceno, surge como una alternativa eficiente a bajo costo de operación a escala laboratorio, a diferencia de otras investigaciones convencionales de tratamiento fisicoquímico de gases como incineración, oxidación térmica, catalítica y adsorción con carbón activado (Chen et al. 2010) son altamente costosas, este proyecto es eficiente con el tratamiento de lodos activados ya que en esta se encuentran un conjunto de microorganismos como *salmonella*, *coliformes fecales*, *coliformes totales*, *Pseudomonas sp.* Estos forman biopelícula que se van adherir en las paredes de los biofiltros alimentándose del contaminante.

El presente trabajo de investigación consiste en la utilización de tres biofiltros percoladores con base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire.

VALERO, P. (2016). En su investigación menciona sobre "las biopelícula de microorganismos" en la cual las bacterias son cultivadas en un medio húmedo poroso del biofiltro, este sistema es una nueva biotecnología dispuesta a reducir los compuestos orgánicos volátiles que se encuentran en la atmosfera, su proceso consiste en captar el aire que contiene COV's se pasa a través de los medio biológicamente activo en donde los microorganismos van a descomponer el compuesto orgánico volátil en un compuesto más simple como es el dióxido de carbono y agua, puesto que las baterías aeróbicas, así mismo la fase líquida es estacionaria en el biofiltro.

NATARAJAN, R. et al. (2017). En su investigación "Biodegradation of ethyl benzene and xylene contaminated air in an up flow mixed culture biofilter" (en español, Biodegradación de etilbenceno y aire contaminado con xileno en un biofiltro de cultivo mixto de flujo ascendente) señala que el biofiltro es continuo en el tratamiento del benceno y xileno, ya que contienen microorganismos mixtos para su velocidad de entrada con un aproximado de 25.0-408.0 g/m³h del total de carga y al ser eliminadas esta llega a 85.63 y 63.2 g/m³h. Indica que a mayor altura del lecho hay mayor eliminación de carga, comprobando la eficiencia del biofiltro puesto que en su proceso exotérmico se observa mayor formación de biopelícula en la parte baja y media del biofiltro. En conclusión, se han reportado alta eficiencia de eliminación de vapores de tolueno de biofiltro a escala laboratorio.

BAISAUTOVA, P. et al. (2011). En su investigación "The comparison with the physicochemical one, biological treatment (biofilters) is a effective, efficient, and environment-friendly", el objetivo primordial del estudio es verificar el rendimiento del biofiltro de compost lleno para eliminar el contaminante de la corriente de aire. Menciona la importancia del método, la necesidad de mantenimiento del sistema y su sensibilidad de flujo de gas es

variable. Este proceso de biofiltración es donde los contaminantes se transfieren de una fase gaseosa a una fase líquida y se descompone aún más por microorganismos. Esta técnica biológica permite que los contaminantes se conviertan en agua dióxido de carbono y biomasa orgánica y los contaminantes del aire se transforman en orgánico y pueden ser utilizados como una fuente de energía, debido a la alta presión de vapor UDMH (103 mmHg a 20 °C).

LAKHOUIT, A. et al. (2016). En su investigación “Two Novel Biofilters to Remove Volatile Organic Compounds Emitted by Landfill Sites” (En español, Dos nuevos biofiltros para eliminar compuestos orgánicos volátiles Emitido por los vertederos) en su investigación da a conocer sobre los compuestos orgánicos volátiles, ya que estos compuestos se encuentran disponibles en nuestro clima, puesto que éstos se forman en los vertederos durante su humificación y escape de COV presentes inicialmente en los residuos enterrados. De ello, el biogás, emite los compuestos saturados, hidrocarburos insaturados, alcoholes orgánicos, hidrocarburos aromáticos, halogenados, compuestos de azufre como disulfuro de carbono y mercaptanos por último compuestos inorgánicos, pero la alta concentración alta de los COV en biogás crudo puede variar 0.05 a 1077 mgm (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) también los isómeros (conocidos por los compuestos BTEX) forman un importante grupo de COV encontrado en biogás de vertedero.

PETRAUSKAITEA, E. et al. (2017). En su investigación “Experimental study of droplet biofilter packed with green sphagnum to clean air from volatile organic compounds” (En español, estudio experimental del biofiltro de gotitas empacado con sphagnum verde para limpiar el aire de compuestos orgánicos volátiles) en la investigación realizada la biofiltración es una tecnología limpia con posibilidades de limpiar el aire contaminado con compuestos orgánicos volátiles, puesto que desde el punto de vista ambiental y económico es la mejor técnica utilizada para el control de compuestos orgánicos volátiles (COV), esta técnica consiste en utilizar microorganismos fijados en un medio poroso para descomponer los

contaminantes presentes en la corriente de aire ya que estos microorganismos crecen en una biopelícula en la superficie de un medio de partículas y un lecho filtrante que consiste en sustancias relativamente inertes que aseguran una superficie. Para ello, se prepara un área de fijación y suministro adicional de nutrientes, ya que a medida que pasa el aire a través de la cámara son absorbidas en la biopelícula en medio del filtro donde se van a biodegradar.

MALAKAR, S. et al. (2017). En su investigación “Microbial biofilter for toluene removal: Performance evaluation, transient operation and theoretical prediction of elimination capacity” (En español: Biofiltro microbiano para la eliminación de tolueno: Evaluación del rendimiento, Operación transitoria y predicción teórica de la capacidad de eliminación) señala en su investigación que el biofiltro necesita poca adición de nutrientes para el desarrollo y crecimiento de los microorganismos sin riesgos secundarios. Este proceso de biofiltración implica una combinación de diferentes procesos incluyendo la adsorción, biodegradación y desorción de los contaminantes tóxicos en su fase gaseosa, pero un biofiltro con material de empaque normalmente es inoculado con microorganismo como bacterias mixtas o cepas de hongos, puesto que el material de embalaje siempre se selecciona en base a su estructura de la superficie ya que estas son primordiales para la eficiencia del biofiltro. Para ello se considera que el material de soporte pueden ser sustancias orgánicas y/o inorgánicas y para su rendimiento se considera el factor como la carga de entrada, aire, Velocidad, humedad, caída de presión, distribución del tamaño de poro y pH.

CHENG, Z. et al. (2016). En su investigación “Treatment of gaseous toluene in three biofilters inoculated with fungi/bacteria: Microbial analysis, performance and starvation response” (En español: Tratamiento del tolueno gaseoso en tres biofiltros inoculados con hongos / bacterias: Análisis microbiano, rendimiento y respuesta a la inicio) las bacterias y los hongos son utilizados continuamente para biodegradar los contaminantes orgánicos volátiles, con el propósito de comparar la biofiltración fúngica con la biofiltración bacteriana, para el tratamiento de tolueno. Una vez puesto en

práctica el proceso en ambos biofiltros se concluye que el biofiltro fúngico elimina menos tolueno a diferencia del biofiltro bacteriano en donde la reducción del contaminante es mayor, concluyendo que el biofiltro es una buena opción para el tratamiento de los compuestos orgánicos volátiles, ya que incluye una buena eliminación y estabilidad de rendimiento.

HASSAN, A. et al. (2010). En su investigación "Removal of benzene under acidic conditions in a controlled trickle bed air biofilter" (En español: Eliminación de benceno en condiciones ácidas en un biofiltro de aire de lecho suspendido controlado) menciona sobre el biofiltro de aire de cama inflable, considera que es un sistema económico a su vez es amigable con el medio ambiente para el tratamiento de compuestos orgánicos volátiles, puesto que los COV's hidrófilos son fácilmente degradables a diferencia que los hidrófobos son buenos para el tratamiento adecuado debido a la transferencia de compuestos orgánico a una fase líquida, ya que los estudios proponen utilizar el pH = 4 (ácido) con la finalidad de favorecer el crecimiento de hongos en consorcio. De esta forma, va a biodegradar el benceno, obteniendo así una eficiencia de 90% remoción del contaminante a tratar.

VAIŠKŪNAITĖ, R. (2016). En su investigación "Modelling of a biofiltration process of volatile organic compound mixtures in a biofilter" (En español, Modelado de un proceso de biofiltración de volátiles orgánicos compuestos mezclas en un biofiltro) menciona al respecto que el objetivo de este estudio fue probar el rendimiento de un biofiltro desarrollado con material de empaque de corteza de pino activado para la limpieza biológica del aire y para modelar matemáticamente los procesos de biofiltración. El análisis comparativo de los resultados del modelado de contaminantes individuales (acetato de butilo, butanol y xileno) mostró la mayor dependencia de la eficacia de la eliminación de xileno del aire en la cantidad y proporción de otras sustancias (del 20% al 70%). Por lo tanto, el proceso de eliminación de contaminantes (butanol y acetato de butilo) que son más fáciles de descomponer biológicamente se obtuvo para ser influenciado en menor medida por la cantidad y proporción (%) de otros componentes. Con los

parámetros del biofiltro (altura del material de empaque, velocidad del flujo de aire entrante) y los contaminantes a eliminar conocidos, se encontró la expresión matemática de la eficiencia del filtro, lo que permitiría hacer un cálculo teórico y una selección de los parámetros más apropiados del dispositivo, así como para lograr la máxima eficiencia de limpieza de aire.

ESTRADA, M. et al. (2013). En su investigación “A comparative study of fungal and bacterial biofiltration treating a VOC mixture” (un estudio comparativo de la biofiltración de hongos y bacterias que trata una mezcla de COV) menciona que el biofiltro bacteriano es inoculado con lodos activados aeróbico, a diferencia que un biofiltro de hongos fue inoculado con biomasa de hongos, también se realizó la inoculación mezclando el 50% de material de empaque, inicialmente la concentración de la biomasa en el biofiltro es de 4,1g. La diferencia en ambos es que el flujo de compuestos orgánicos volátiles se divide por igual y se alimenta en paralelo al hongo y bacterias por un periodo de 60 días. Esta estrategia operativa se utilizó en ambos biofiltros, con un tiempo de residencia en la cámara vacía (EBRT) de 90 s. permitiendo la presencia de microbios aclimatados.

ZHAI, J. et al. (2017). En su investigación “A comparative study of bacterial and fungal-bacterial steady-state stages of a biofilter in gaseous toluene removal: performance and microbial community” (En español, Un estudio comparativo de las etapas bacterianas y de hongos en estado estacionario de un biofiltro en la remoción de tolueno gaseoso: rendimiento y comunidad microbiana) en la investigación se indica que el objetivo fue construir un biofiltro de alto rendimiento para la remoción de tolueno, además comparar el rendimiento de degradación con un biofiltro tradicional y revelar la relación entre la comunidad microbiana y el rendimiento operacional con diferentes parámetros operacionales. Los resultados ilustran que, en comparación con los biofiltros convencionales, la eficiencia de eliminación (RE) y la máxima capacidad de eliminación (CE máx.) del alto rendimiento, fúngico y bacteriano el biofiltro (F y B-BF) aumentó en un 19,6% y 18 g de tolueno/m³h, respectivamente.

MOHAMMAD, B. et al. (2017). En su investigación “Performance of a thermophilic gas-phase biofilter treating high BTEX loads under steady- and transient-state operation” (En español, Rendimiento de un biofiltro de fase gaseosa termófila que trata altas cargas de BTEX bajo operación de estado estable y transitorio) nos indica que el rendimiento de un biofiltro termófilo (50 °C) se evaluó para tratar una mezcla de benceno en fase gaseosa, tolueno, etilbenceno, p-xileno, m-xileno y o-xileno (BTEX), en estado estable y transitorio. Después de la aclimatación, las capacidades totales de eliminación de BTEX en estado estacionario oscilaron entre 6 y 360 g/m³h, dependiendo de la tasa de carga total de BTEX aplicada (8-978 g/m³h). Se demostró que la biodegradación de BTEX depende de la capacidad de eliminación total del biofiltro. En condiciones de estado estacionario, se notaron mayores eficiencias de eliminación para el benceno (a menudo 100%) en comparación con los compuestos de alquilbenceno a la misma carga inicial. Así mismo, se determinó que los microorganismos mantuvieron su actividad microbiana dentro del lecho del filtro bajo altas sobrecargas. Se mantuvieron altas remociones de BTEX incluso después de 4 y 6 días de cierre del biofiltro.

RENE, E. et al. (2011). En su investigación “Performance and optimization of a compost biofilter and treating gas-phase mixture of benzene and toluene” wherein a maximum elimination capacity (EC)” (En español, Rendimiento y optimización de un biofiltro de compost para su tratamiento de mezcla en fase gaseosa de benceno y tolueno en donde su capacidad de eliminación es máxima (EC)). En su investigación menciona que el biofiltro de compost tiene una capacidad de eliminación máxima (EC) de tolueno en fase gas, en donde se obtiene 65 gm³h⁻¹ con una carga de entrada de 125 gm³h⁻¹, la influencia de concentración de sustrato, nutrientes y temperatura en la biodegradación de tolueno. En este estudio se diseñó un biofiltro de compost para tratar el tolueno en fase gaseosa bajo una operación de larga duración (~ 54 d), CE máximo de 93 gm³h⁻¹, observándose en la carga de entrada 114 gm³h⁻¹. Llegando a la conclusión que hubo degradación de los contaminantes ya que tienen un óptimo rendimiento para el crecimiento de biopelícula y disminución del contaminante COV en un biofiltro.

LESON, G. et al. (2012). En su investigación "Biofiltration: An innovative air pollution control technology for VOC emissions" (En español, Biofiltración: una tecnología innovadora de control de la contaminación del aire para las emisiones de COV) sostiene que la biofiltración es una tecnología de control de contaminantes de aire para compuestos orgánicos volátiles, es un sistema que controla los olores y los contaminantes orgánicos e inorgánicos del aire como (COV). Para ello se considera un material biológicamente activo, con una mezcla de compost en un biofiltro cerrado en su interior. Luego el contaminante se difunde en una capa humedad, biológicamente activa, degradándose el contaminante gracias a los que rodean las partículas del filtro, convirtiéndose en una degradación aeróbica de los contaminantes. El objetivo de los microorganismos, principalmente las bacterias están presentes y pueden metabolizarlos hasta su biodegradación completa. Este proceso micro y macrocinético en un biofiltro como modelo macrocinético básico es un lecho de partículas de filtro sólido, que está rodeado por una cepa húmeda y biológicamente activa llamada "biopelícula".

SÁNCHEZ, M. (2015). En su investigación "Sistemas biológicos para el manejo ambiental: alternativas de control para contaminantes atmosféricos" en su investigación sostiene que la utilización de material orgánico y/o inorgánico es útil como soporte físico también como fuente de nutrientes para los microorganismos, al atravesar el aire contaminado se depura por la actividad microbiológica. Este biofiltro percolador es cada vez más conocido por diferentes investigadores ya que su tecnología "verde" no permite utilizar productos químicos, ni produce residuos peligrosos para el medio ambiente, este proceso es una alternativa para el tratamiento de gases en la cual se depura una serie de microorganismos con capacidad de metabolizar agentes contaminantes, transformando compuestos menos dañinos para la salud humana.

MELO, D. (2016). En su investigación "Evaluación de los coeficientes globales de transferencia de masa en biofiltros percoladores para el tratamiento de corrientes gaseosas residuales contaminadas con xileno" en su investigación menciona sobre el tratamiento biológico de los gases(COV),

en la cual es una gran alternativa, a bajo costo y amigable con la naturaleza este sistema es monitoreado y controlado en la cual se va realizar las siguientes mediciones como; pH, temperatura, presión, adicionar nutrientes y remoción de contaminantes, para que sea un tratamiento eficaz, en la cual se considera que los contaminantes de interés en cierto grado de interés biodegradable, no toxico sobre todo presentar cierto grado de solubilidad. En este caso, para el tratamiento de efluentes gaseosos con biorreactores se considera una actividad metabólica de microorganismos, puesto que degradan el contaminante y son aprovechables como fuente de materia y energía para su desarrollo, crecimiento así como para su reproducción microbiana. Usualmente existen varias alternativas de biorreactores, pero los más utilizados son los biofiltros percoladores ya que éstas se caracterizan por ser eficaces y tiene gran capacidad de remoción de contaminante de gases.

FILLOL, U. (2015). En su investigación “Eliminación de vapores de xileno presentes en una corriente de gas en un biofiltro percolador” sostiene que el tratamiento de los compuestos orgánicos volátiles consiste en alimentar la corriente de gas por medio de una columna la cual tiene un material de soporte, tanto ascendente y descendente. Este material es inerte el cual forma biopelícula en su interior, puesto que éstas son efectivas para el crecimiento y adaptabilidad de los microorganismos; ya que es una zona humedad desde la parte superior de BTF a si mismo esta tiene una corriente líquida continua y que también contienen nutrientes todo este sistema hace que el biofiltro sea óptima para la proliferación de los microorganismos permitiendo que degraden los compuestos orgánicos volátiles presentes en el biofiltro.

ARANA, A. (2010). En su investigación “Biofiltro edificio de tamices de la E.D.A.R de arazuri: Estudio y propuesta de mejoras” da a conocer sobre el biofiltro convencional compuesto de un material de soporte filtrante el cual puede ser orgánico y/o inorgánico, dentro del sistema se hace circular la corriente de aire que va a tratarse. El material es llamado material de relleno o lecho biológico, en la cual va servir de soporte para los microorganismos,

puesto que éstas tienen la función de degradar el contaminante presente, desarrollando una biopelícula a la que serán transportadas las partículas del contaminante. Este sistema de biofiltro también puede utilizar carbón activado, rocas porosas, greda volcánica, perlita y entre otros compuestos inorgánicos, a diferencia de un material sintético tiene más ventaja ya que no sufre biodegradación, incrementando su vida útil de los microorganismos, del mismo modo el biofiltro puede ser empleado a escala de laboratorio para el tratamiento de corriente de gases.

CARLESSO, B. (2014). En su investigación “Uso de biofiltración y remoción de sulfatos de hidrogeno presente en biogás” da a conocer sobre la eficiencia del sistema de remoción del H₂S en la cual el sistema de operación del biogás continuamente tiene una duración de 37 días, está expuesto a una concentración de efluente de H₂S constante a 10.00 ppmv (1%) con un volumen constante de 0,0197 m³.h⁻¹, correspondiente a una tasa de carga masiva de volumen de 173,68 g.m⁻³.h⁻¹, y un tiempo de resiliencia de 289 segundos a una velocidad superficial de 0,17 cm.s⁻¹. En la cual se obtuvieron resultados de concentraciones de H₂S en afluentes e efluentes del biofiltro en un periodo prolongado de operación continua. Así mismo la eficiencia máxima de remoción del sistema en el tratamiento de H₂S fue de 97% en 15 días de monitoreo, correspondiendo a concentración del efluente H₂S en un 280 ppm. Y el menor valor de eficiencia es de 49%. En los 7 días de monitoreo del reactor se obtuvo una concentración de H₂S en 5.080ppmv. Llegando a la conclusión que el biofiltro es eficiente en la reducción del contaminante.

PÉREZ, F. (2012). En su investigación “Diseño de un sistema biológico para la eliminación de acetona y estireno en el aire procedente de una industria especializada en la fabricación de equipos en poliéster reforzado con fibra de vidrio” da a conocer el modelo del biofiltro percolador, la cual consta de una columna de relleno en el cual existen microorganismos inmovilizados, teniendo contacto el gas contaminando a depurar. Indica que en la parte superior se vierte un líquido gota a gota en contracorriente o paralelo. El líquido contiene componentes y nutrientes necesarios para que

su desarrollo sea óptimo, también consta de circulación del medio cultivo por medio de la columna, así mismo el líquido que se encuentra en la parte inferior de la columna se almacena en un tanque y nuevamente vuelve a circular. Esto se realiza con la finalidad de eliminar productos intermedios de reacción con mayor facilidad y mantener el control de las variables en este caso el pH y la composición del medio del sistema del biofiltro.

MEHDI AMIN, M. et al. (2017). En su investigación “Biodegradation of n-hexane as single pollutant and in a mixture with BTEX in a scoria/compost-based biofilter” (En español, Biodegradación de n-hexano como único contaminante y en una mezcla con BTEX en un biofiltro basado en residuos/compost) se evaluó inicialmente, el biofiltro alimentado con n-hexano y se obtuvieron capacidades máximas de eliminación (CE máx.) de 10.7 y 8.1 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ para tasas de carga de entrada (TCE) de 14.0 y 11.6 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ en tiempos de retención de lecho vacío (TRLV) de 138 y 108 s, respectivamente. En presencia de BTEX, la eficacia de eliminación de n-hexano disminuyó drásticamente del 76 al 21% en la TRLV de 108 s. En esta condición, BTEX se degradó fácilmente con un CE máx. De 110.6 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ para TCE de 119.1 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ (eficiencia de eliminación del 89%) a comparación con n-hexano en la fase de mezcla. En el estudio se determinó, que una disminución significativa de concentraciones de BTEX es un requisito indispensable para una mayor eficiencia de eliminación de n-hexano.

MORENO, A. (2008). En su investigación “Efecto de la carga másica y altura del medio filtrante sobre la remoción de H^2S mediante biofiltración” modela el sistema de biofiltración de gases en la cual analiza de manera cinética la remoción de sustratos, considerando el biofiltro con una capacidad de eliminación de sustratos sin importar los fenómenos que suceden dentro del biofiltro. También tiene la función de transferencia de masa del seno del fluido a la interface de la biopelícula dentro del proceso de reacción, al realizar una transferencia de masa en un seno de fluido mediante convección constante de transferencia dentro de la biopelícula por la cual se va asumir por difusión de la ley de Fick. A si mismo este modelo

es uno de los más utilizados por su descripción y su funcionamiento en biofiltros percoladores para reducir compuestos orgánicos volátiles.

CHANG, S. et al. (2015). En su investigación “Removal of VOC’s emitted from p-xylene liquid storage tanks by a full-scale compost biofilter” (En español, Eliminación de compuestos orgánicos volátiles emitidos por tanques de almacenamiento de p-xileno por un biofiltro de compost a gran escala) el objetivo fue demostrar que el sistema de biofiltro de compost es un sistema factible, ya que no requiere mantenimiento continuo en su operación, así mismo se indica que se construyó tres tanques verticales análogos de p- xileno (p-X) de 7500 m³ de volumen total para el SBC. Señala que la eficiencia de eliminación promedio es de 95.4% por un periodo de 18 meses de operación del llenado de los tanques. El rendimiento del SBC se ve influenciado por el peso del carbón empleado en el tampón de concentración. La reducción de presión diaria es muy baja, con un máximo de 7.6 mm-H₂O. Se concluye que el sistema es una alternativa de control prometedora para el tratamiento de vapores provenientes de líquidos orgánicos, debido de las ventajas en cuanto a su mantenimiento.

CORDERO, L. (2013). En su investigación “Propuesta del sistema de tratamiento de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV’s), en el plantel de RECOPE ubicado en El Alto de Ochomogo” la biofiltración consta de una corriente gaseosa para su depuración en un tratamiento destructivo. Al aplicar este sistema de tratamiento de emisiones reduce la concentración del contaminante mediante la depuración de gases mediante biofiltración en medio de un pretratamiento de lavado que va filtrar y va acondicionar el aire por tratar. Por ello, alcanzará una temperatura y humedad óptima para el tratamiento biológico posterior, puesto que el biofiltro está conformado por una estructura porosa e inerte que va servir para el crecimiento de las bacterias puesto que éstas van a depurar los compuestos orgánicos volátiles presentes en ella, a medida que pasa el gas el lecho filtrante, los contaminantes y nutrientes son incorporados por los microorganismos presentes en el biofiltro transformándolos en compuestos inocuos. Para ello, se tiene que mantener las condiciones fisicoquímicas apropiadas como el pH

y temperatura.

RAMÍREZ, M. (2015). En su investigación “Biofiltros percoladores. Una tecnología emergente para el tratamiento de olores y desulfuración de biogás” da a conocer sobre el tratamiento de biogás aplicando el sistema de biofiltración percolador, ya que es la biodesulfuración de biogás, este sistema es una fuente de energía renovable que se puede disminuir de manera dependiente los derivados del petróleo. La composición del biogás varía dependiendo de su procedencia, de las cuales el principal contribuyente es el metano y el dióxido de carbono el cual es tóxico para los seres vivos. La eliminación biológica del H_2S se realiza bajo las condiciones aeróbicas ya que los procesos monóxidos utilizan desnitrificantes autótrofos capaces de desarrollarse en ausencia de oxígeno, usando el sulfuro como aceptor final de electrones y de nitratos como donante de electrones. En consecuencia, se empleó un biofiltro percolador con un volumen de 2.4 L, también se utilizó como inóculo agua y residuos procedente de un biorreactor de planta de tratamiento de aguas residuales y como soporte el poliuretano.

VALERO, P. (2016). En su investigación “Modelación del proceso de biofiltro percolador para el tratamiento de emisiones en aire de compuestos orgánicos volátiles de elevada solubilidad en agua” el biofiltro percolador es interesante y eficiente en el tratamiento de compuestos orgánicos volátiles. También es adecuado para compuestos con solubilidad media y alta en agua. Son capaces de obtener rendimientos superiores debido a su material de relleno de mayor superficie, también por su capacidad de respuesta a las cargas volumétricas de entrada del contaminante, también es fácil de llevar el control de los parámetros fisicoquímicos como el pH, humedad, temperatura, circulación de la corriente del líquido, así mismo permite ampliar la vida útil del relleno, sin necesidad de reemplazar el biofiltro percolador.

LAFITA, C. (2016). En su investigación “Degradación de disolventes orgánicos de uso industrial en un reactor anaerobio de lecho expandido”

menciona acerca del

biolavador anaeróbico de lecho granular a escala de laboratorio, en la cual se va mostrar un montaje del sistema en medio anaeróbico de lecho granular para el tratamiento de una corriente de gaseosa contaminada por compuestos orgánicos volátiles de elevada solubilidad de agua, este consta en una combinación del reactor RALF (Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado) y una torre lavadora en la cual vamos a obtener una corriente de aire limpio y por otra parte una corriente de agua contaminada con disolventes. Así mismo a esta torre se va agregar nutrientes y su medio debe ser alcalino, se realiza con la finalidad que el efluente del reactor anaeróbico se recircule como agua de riego y recircule en ella con el fin de favorecer el consumo de oxígeno en el tanque de mezcla para evitar la entrada del agua con oxígeno disuelto dentro del tanque de mezcla. Este sistema consta de las siguientes partes; controlador de flujo másico, torre lavadora, tanque de circulación, tanque de mezcla, tanque de nutrientes, baño termostático, reactor RALF, biogás y frasco lavador por ultimo expulsión del aire limpio a la atmósfera.

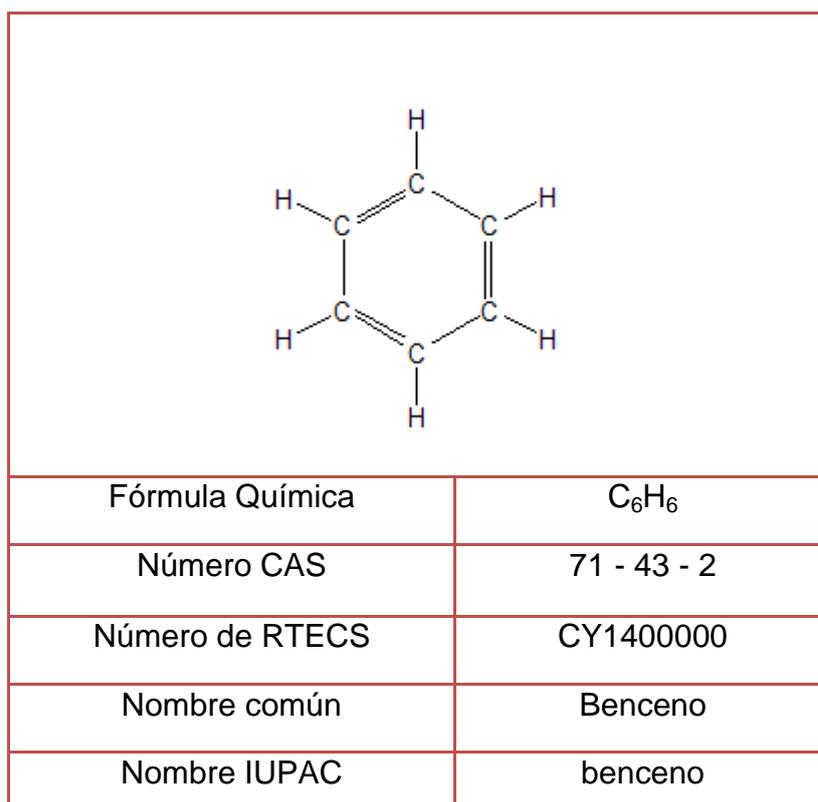
SÁNCHEZ, R. (2015). En su investigación “operación de un sistema de biofiltración de metano para la mitigación de emisiones de efecto invernadero a la atmósfera” da a conocer en su investigación que el biofiltro de gas es una alternativa ecológica y económica para minimizar la contaminación atmosférica. Fue aplicado recientemente para el tratamiento de emisiones de CH_4 contenido en el biogás, puesto que algunos microorganismos son capaces de eliminar mediante oxidación hasta CO_2 , H_2O y biomasa, este estudio tuvo como finalidad evaluar la capacidad de eliminación del biofiltro presente con alto valores de comparación con los empaques inorgánicos de esponja y anillos y también la eficiencia de eliminación de CH_4 en un medio de biofiltro, ya que están compuestas por tres diferentes materiales; compost, esponja de poliuretano y anillos.

Teorías relacionadas al tema

Benceno (C₆ H₆). El benceno a comparación de otros alquenos y polienos es más estable, según el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos la estructura química y nomenclatura sistemática es 1-3-5-ciclohexatrieno, su fórmula es C₆H₆ (tiene 6 átomo de carbono y 6 átomos de hidrogeno) es un tipo de compuesto aromático, a temperatura ambiente es un líquido incoloro e inflamable con aroma dulce ligero más ligero que el agua e insoluble.

Se encuentra presente en el aire, agua, suelo y de manera natural como petróleo crudo, gasolina y humos de cigarrillos. La gran parte de las personas pueden percibir el olor en el aire a concentraciones de 1.5pp a 4.7ppm y percibir el sabor del agua a 0.5ppm a 4.5ppm (2011, p.3).

Figura 1. Estructura Química del Benceno



Propiedades Físicas: Según la agencia de sustancias tóxicas y registros de enfermedades menciona que las impurezas encontradas en los productos comerciales son tolueno, xileno, fenol, tiofeno, disulfuro de carbono, acetilnitrilo y piridina (NIOSH 1974). El benceno-535 comercial refinado está libre de sulfuro de hidrógeno y dióxido de azufre, pero contiene un máximo

de 1 ppm de tiofeno y un máximo de 0,15% no aromáticos (2018, p.5).

Tabla 1. Propiedades físicas del Benceno

PROPIEDAD FÍSICAS	VALOR
Peso Molecular (g/mol)	78,11
Estado Físico	Líquido
Punto de Ebullición	5.5
Punto de Fusión	80,1;760mmhg
Presión de Vapor (mmHg)	75;20 °C
Gravedad Específica (Agua = 1)	0,8787
Densidad de Vapor (Aire = 1)	2,7
pH	No reportado
Solubilidad en Agua (%peso)	Insoluble
Koc	60 – 83
Constante de la Ley de Henry	$5,5 \times 10^{-3} \text{ atm/m}^3 \cdot \text{mol}$
Límites de Inflamabilidad (%vol.)	1,2 – 7,8
Temperatura de Autoignición (°C)	498
Punto de Inflamación °C	-11; copa cerrada

Propiedades del benceno. Dentro de las propiedades físicas del benceno se caracteriza por ser incoloro, olor dulce aromático (altamente toxico para la salud), se volatiliza rápidamente en el aire, se disuelve poco en agua ya que es poco polar, según PEREZ, menciona que el benceno está presente en el aire, agua y suelo puesto que su densidad es menor al agua en medio acuático. Este compuesto se encuentra en la naturaleza proveniente de procesos naturales (volcanes, incendios forestales, petróleo crudo y la gasolina), pero también es parte de la actividad humana (se encuentra disponible comercialmente libre en pinturas, barnices). En este caso el olor del benceno se puede percibir en concentraciones de 1,5 a 4,7ppm y el sabor en el agua se percibe en 0,5 a 4,5 ppm (2010, p. 34).

Toxicología del benceno: El benceno al ser inhalado suele ocasionar enfermedades cancerígenas, y por su exposición prolongada ocasionan cáncer en la piel y enfermedades respiratorias, dolores de cabeza intensos,

mareos intensos así sea el mínimo rango de ppm el olor del compuesto es intenso, por ello afecta la salud así mismo son dañinos para los animales (ATSDR, 2007, p. 3).

Efectos a la salud. Este compuesto químico puede causar cáncer es altamente toxico y dañino para la salud del ser humano. El reactivo se absorbe con rapidez por inhalación e ingestión y dérmico, pero es más leve ya que ésta es volátil, al inhalar niveles bajos puede ocasionar somnolencia, mareos, dolor de cabeza, pérdida de conocimiento, aceleración del ritmo cardiaco, temblor, confusión. Por ingesta de reactivo en niveles altos puede causar vómitos, irritación en el estómago, mareos, convulsiones incluso la muerte. La larga prolongación por un año aproximadamente ocasiona efectos nocivos en la medula ósea y produce disminución del número de glóbulos rojos o llamado leucemia (EPA, 2002, p.45).

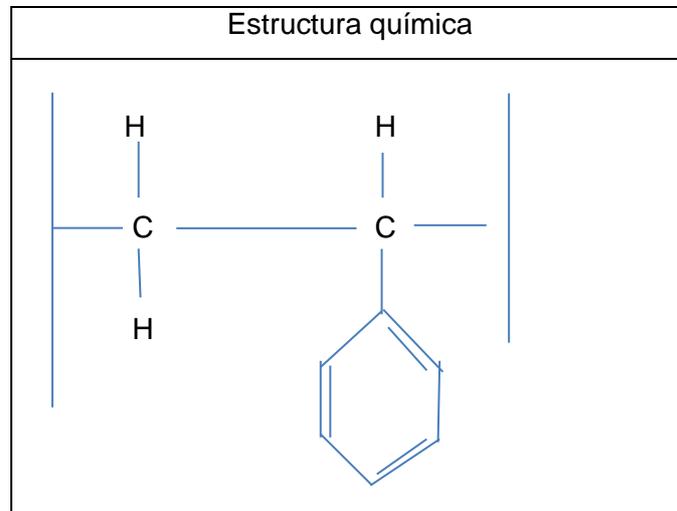
Efectos en el ambiente. El Benceno se encuentra comúnmente en el ambiente, ya que los procesos industriales presentan una fuente principal en las emisiones hacia la atmosfera, los niveles de concentración en el aire pueden incrementar por la emisión de combustión de carbono y petróleo, barnices, pinturas, humo de cigarrillos, descargas industriales, derrames de tanques subterráneos, planta de tratamiento de aguas residuales, industrias petroleras, automóviles. Contaminado el suelo, agua, aire, principalmente el benceno al ser liberada a la atmosfera se puede fijar a la lluvia y el suelo por dispersión humedad o principalmente en la fase de vaporización (RENZO, 2016, p.131).

El benceno al ser emitido a la atmosfera se dispersa y experimenta varios procesos; dispersión, transformación física, reacciones químicas. “Dependiendo de la naturaleza del Contaminante (reactividad, tamaño de la molécula, estado de agregación) y de las condiciones atmosféricas existentes (tanto en el momento de la emisión como en el periodo de tiempo posterior), aunque puedan ocurrir varios procesos al mismo tiempo, un proceso predomina sobre el resto” (ALONSO *et al*, 1999, p.34).

Poliestireno: El poliestireno es un termoplástico amorfo, también conocido químicamente como polivinilo benceno, los grupos bencénicos

característicos de este polímero quedan distribuidos aleatoriamente a lo largo de la cadena polimérica. (Urbano, 2018, p.4).

Figura 2. Estructura química del Poliestireno



El poliestireno presenta una resistencia mecánica y una dureza media, elevada rigidez, y resistencia al impacto baja. Las temperaturas de uso continuo están comprendidas entre -10 y 50-70 °C, con puntas de poca duración de hasta 60-90 °C (las temperaturas más altas son las correspondientes a los copolímeros de estireno/alfametilestireno). La dilatación térmica que presenta el PS es media. (Urbano, 2018, p.4).

Bioteología. Se define bioteología como la técnica de utilizar organismos para la obtención de bienes y servicios. La bioteología tiene una gran repercusión en el campo de la investigación del ser humano ya que permite aplicarlo en la producción de energía, medicina, química industrial, minería, gestión ambiental (CASTILLO et al, 2005, p.30).

Biofiltro Percolador. Estos sistemas de biofiltro percolador se basa en alimentar la corriente de gas a través de una columna empacada con un material de soporte, de la cual puede ser de forma descendente (contra-corriente) o ascendente (contra-corriente); el material de soporte usualmente es de tipo inerte tales como cerámica, plástico y espuma sintética, (FILLLOL, 201, p.20). En el material de soporte se adhieren las biopelículas formadas por el conjunto de bacterias encontradas en los lodos activados, estas colonias humedecen la superficie de los biofiltros.

Diseño del biofiltro percolador. Para el diseño del biofiltro percolador hay distintas investigaciones, según VALERO (2016) “El biofiltro percoladores utilizan como material de relleno un soporte sintético (Normalmente plástico) sobre el que se forma una película fina de biomasa. El relleno puede utilizarse desordenado o estructurado y son muy similares a los utilizados en la operación unitaria de absorción. Se establece un flujo líquido móvil, que puede ser en paralelo o en contracorriente al flujo de aire contaminado, que permite introducir los nutrientes y el agua necesaria para el desarrollo de la película de biomasa, así como para controlar la humedad y el pH. En cambio, los violadores se componen de dos etapas. La primera es una torre de absorción donde los contaminantes del aire se transfieren a una fase líquida. En la segunda etapa, el líquido contaminado se regenera en un reactor biológico aerobio de cultivo en suspensión, que una vez reducido el contenido orgánico, se recircula a la torre de absorción. En el reactor biológico se realiza el control del pH y la adición de nutrientes para el crecimiento de los microorganismos encargados de la degradación de los contaminantes. La aplicación de esta técnica está limitada a la eliminación de contaminantes que presenten una solubilidad en agua adecuada”.

Inoculación y ecología microbiana. Este proceso es necesario para la selección adecuada del inóculo este depende del material de relleno y su biodegradabilidad del contaminante, para el proceso del biofiltro percolador se usará fangos activados de depuradoras y cultivos puros o también llamado consorcio de microorganismos adaptados al contaminante. Así mismo para la degradación de estireno (benceno) en un biofiltro, es importante la utilización de una cepa de *Pseudomonas* con capacidad degradación (PÉREZ *et al.*, 2014). Asimismo, los fangos activados contienen gran cantidad de microorganismos que ya fueron expuestos a contaminantes químicos, se encuentran presentes en el agua residual lo cual contiene microorganismos capaces de degradar los compuestos orgánicos volátiles (VALERO, 2016, p. 27).

Pseudomonas aruginosa. Es una bacteria Gram-negativa perteneciente a la rama de las proteobacterias y enterobacterias, estas se encuentran en

algunas especies como *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. syringae* y *P. alcaligenes*. *P. aeruginosa*, se encuentran en la naturaleza, se puede aislar de muestras de suelos, aguas prístinas y contaminadas, como en plantas también animales, estas son patógenas para el ser humano ocasionado enfermedades, así mismo son capaces de utilizar enorme variedad de compuestos orgánicos como sustrato para crecer, capacidad que le permite colonizar nichos (SOBERÓN, 2015).

Parámetros fisicoquímicos de operación del biofiltro percolador. El soporte utilizado en el biofiltro percolador es de material inerte, como poliestireno, poliuretano puesto que son los más adecuados para el funcionamiento del sistema en su proceso, también se consideran sus propiedades para la elección del soporte las cuales son; superficie específica elevada, porosidad elevada, estabilidad química elevada, estructural, peso bajo, superficie adecuada para favorecer la fijación y el crecimiento de los microorganismos a su vez una característica importante es la rugosidad de la superficie para que las bacterias se adhieran con mayor facilidad. También es necesario una superficie elevada para mejorar la transferencia del contaminante y oxígeno a la biopelícula de esta manera se va mejorar el rendimiento el biofiltro percolador (VALERO, 2016).

Temperatura. Es uno de los parámetros primordiales para el proceso biológico, ya que afecta en la reacción biológica y la transferencia de materia, en la reacción biológica, el rango mesófilo incrementa la temperatura con llevando al incremento de la actividad biológica, en caso de una transferencia de materia intervienen diversos fenómenos contrapuestos por otra parte disminuye la solubilidad del contaminante y del oxígeno. Esto ocurre en la fase líquida y también en el coeficiente de difusión en el interior de la biopelícula, por otro parte se ve favorecido al incrementar la temperatura facilitando la difusión en el interior de la biopelícula (VALERO, 2016, p.28).

Ph. Es una variable que tiene relación con la velocidad de crecimiento también se desempeña del BTF, estos parámetros deben ser regulados por

el proceso de oxidación, ya que originan ácidos y básicos ocasionando la inhibición y muerte de los microorganismos para ello se considera un rango adecuado entre pH=6 a pH=8 con un óptimo de pH=7 (FILLLOL, 2015, p 25).

Humedad. La humedad del biorreactor es relativa en el lecho filtrante ya que ésta se reduce por el espesor de la biopelícula, viéndose afectada la actividad microbiana. Por “desactivación” la energía es consumida para su crecimiento, adsorbiendo agua de la superficie del lecho, limitando su metabolismo provocando la eliminación del contaminante (FILLLOL, 2015, p.25).

Nutrientes. Para realizar un proceso biológico es primordial el aporte de nutrientes, puesto que una mala distribución causa rendimientos bajos también para la degradación de los compuestos orgánicos volátiles uno de los nutrientes primordiales es el nitrógeno y fosfora, potasio, magnesio, hierro, manganeso y otros nutrientes primordiales (VALERO, 2016, p.29).

Presión. La alimentación constante en un medio rico en nutrientes y el contaminante implica la acumulación de la biomasa en el sistema, pero al ser exceso ocasiona la colmatación del lecho ocasionado el incremento de pérdida de presión recayendo el rendimiento del sistema (KENNES *et al*, 2009). Así mismo el exceso de biomasa ocasiona la disminución del tiempo de residencia eficaz ayudando a la formación de zonas anaeróbicas con olores repugnantes, por otro lado, la biomasa del reactor no es habitual llegando en ocasiones a producirse entre el 80% a 90% de eliminación de primera mitad del reactor (VALERO, 2016, p.27).

Parámetros de rendimiento del biofiltro percolador

Velocidad del gas. “La carga del gas puede ser representada en términos de velocidad de flujo. Los valores de velocidad del gas a través del biofiltro están en un intervalo de 18 a 570 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$, aunque los intervalos normalmente utilizados se encuentran entre 18 a 96 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ” (MOREN, 2008, p.16).

Carga másica del contaminante. “La carga masiva del contaminante, se define como la cantidad de compuesto que se introduce al sistema de tiempo por unidad de volumen de un material de soporte, para ello la capacidad máxima de eliminación de un material de soporte corresponde a la máxima cantidad de contaminante que puede degradarse a 1m^3 de soporte por hora, para que no se inhiba la actividad microbiana que está en él expresando en la misma unidad de carga, puesto que son primordial para el diseños y operación del sistema de biofiltración” (MOREN, 2008, p. 16).

Capacidad de Eliminación (CE). Se menciona que “Los valores de CE para el BTF1 se incrementaron de 4.86 a $166.73\text{ gm}^3\text{h}^{-1}$, mientras que para el BTF2 fueron de 4.95 a $173.11\text{ gm}^3\text{h}^{-1}$ donde se presentan los valores de las capacidades de eliminación promedios de los BTF´s obtenidos” (FILLOL, 2015, p. 44).

Fórmula 1. Capacidad de Eliminación (CE).

$$CE (\text{g m}^3 \text{ h}^{-1}) = \frac{C \text{ Entrada} - C \text{ Salida}}{V_r} \cdot Q_G$$

Dónde:

C Entrada: concentración de contaminante en la entrada del biofiltro (gm^3).

C Salida: concentración del contaminante a la salida del biofiltro (gm^3).

Vr: Volumen del reactor (m^3)

Qg: caudal generado (m^3h)

Eficiencia de Eliminación (EE). Según FILLOL (2015), “Las eficiencias de eliminación (ER) de los BTF´s 1 y 2 durante los 89 días de operación. Los valores máximos de eficiencia se alcanzaron durante la fase II donde aumentaron de 62.9 a 93.9% y de 72.1 a 82.7% para los BTF 1 y 2 respectivamente cuando fueron operados a concentraciones afluentes de 1.30 gm^3 y manteniendo una velocidad de flujo de $0.26\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$. El TR del gas de 90s permitió un contacto suficiente del contaminante con los microorganismos para lograr la eliminación en estado estacionario, también los valores elevados de eficiencias de eliminación del contaminante en

ambos BTF's desde el inicio de la operación indican que tanto el período de adaptación del inóculo como el proceso de inoculación de los materiales de soporte empleados se realizaron con éxito" (p. 44).

Fórmula 2. Eficiencia de Eliminación

$$EE (\%) = \frac{C \text{ Entrada} - C \text{ Salida}}{C \text{ Entrada}} \cdot 100$$

Dónde:

C Entrada: concentración en la fase de entrada del biofiltro percolador (gm^3).

C Salida: concentración en la fase de salida del biofiltro percolador (gm^3).

V: Volumen (m^3).

Características en el diseño del Biofiltro Percolador: El biofiltro percolador se ha construido a escala de laboratorio, para ello se consideró las siguientes características; como área transversal, diámetro de la columna, su altura, el volumen y el tiempo de residencia del gas.

Fórmula 3. Área Transversal

$$Q = 11.7 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 3600 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$A = \frac{Q}{V} = 0.00325 \text{ m}^2$$

Dónde:

Q: Caudal de la compresora

V: Volumen de diseño de la corriente del gas

Fórmula 4. Diámetro de la Columna

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.00325}{\pi}} = 0.064 \text{ m}$$

Dónde:

D: Diámetro de la columna

A: Área de la sección transversal perpendicular al flujo del gas

Fórmula 5. Altura Promedio

$$\frac{L}{Dr} = 5$$

$$\frac{L}{0.064} = 5$$

$$L = 0.32 \times 3$$

$$L = 0.96$$

Dónde:

L: Altura de la columna

Dr: Diámetro de la columna

Fórmula 6. Volumen del biofiltro

$$Vb = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$Vb = \pi \times 0.032^2 \times 1,04$$

$$Vb = 0.003346 \text{ m}^3$$

Dónde:

Vb: Volumen del biofiltro

r: radio del reactor

h: Altura del reactor

Tiempo de Residencia del gas (EBRT)

Fórmula 7. Para el poliestireno.

$$EBRT = \frac{Vfx\alpha}{Q}$$

$$EBRT = \frac{0.003346 \text{ m}^3 \times 61.00}{11.7 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\text{EBRT} = 0.017 \text{ h}$$

Dónde:

Vf: Volumen del biofiltro

α : Porosidad del material del poliestireno

Q: Caudal

Parámetros fisicoquímicos de los lodos activados. Se consideran como principales parámetros para definir la eficiencia del biofiltro percolador como; el tiempo de residencia de volumen vacío, la carga másica volumétrica del contaminante, concentración del gas en la fase gas de entrada del biofiltro percolador, concentración del gas en la fase gas de salida del biofiltro percolador (VALERO, 2016, p. 30).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Es la capacidad de oxígeno que requiere los microorganismos para oxidar de materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias, esta demanda se cuantifica a 20°C y se expresa en mg/L. (RIVERA, 2013, p.32).

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Se usa para medir equivalentes a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidable fuerte, por lo general dicromato de potasio y en medio ácido en alta temperatura (RIVERA, 2013, p.32).

Parámetros microbiológicos de los lodos activados. Según RIVERA (2013) “Los parámetros microbiológicos se realizan con la finalidad de verificar si está ligado a la presencia de microorganismos patógenos que puedan estar en ella. Como Mesófilos aerobios, coliformes fecales y totales, mohos, levaduras, *Clostridium* sulfito reductor, *Salmonella* sp. y *Pseudomonas* sp.” (p.34).

El problema general se escribe:

- ¿Cuál es la eficiencia de un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire en Villa El Salvador?

Los problemas específicos se describen de la siguiente manera:

- ¿Cuáles son las características microbiológicas que varían durante el acondicionamiento de los lodos activados en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire en Villa El Salvador?
- ¿Cuáles son las características y propiedades físicas del poliestireno que influyen en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire en Villa El Salvador?
- ¿Cuáles son las condiciones óptimas de operación que influye en la eficiencia de un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire en Villa El Salvador?

La investigación que se plantea con la finalidad de reducir los compuestos orgánicos volátiles benceno emitido a la atmosfera, implementando un biofiltro percolador a escala de laboratorio. Este reactor tiene condiciones de operación específicas con parámetros físicos para su funcionamiento. También permite sostener los microorganismos inmóviles dentro del material de soporte poliestireno y carbón activado, donde fluirá una corriente de aire contaminado de esta manera se reducirá los compuestos orgánicos volátiles generando un ambiente laboral adecuado. LAFITA sostiene al respecto que la tecnología apropiada para el control de emisiones compuestos orgánicos volátiles benceno se desarrolla atendiendo a “factores como la eficacia requerida, los costes del tratamiento y los impactos ambientales. Para la aplicación de una manera eficaz, económica y medio ambiental, son viables estas tecnologías para cada una de las aplicaciones industriales, la selección de alternativas se realiza en función del caudal y de la concentración de compuestos orgánicos volátiles en la corriente para depurar, el rendimiento global de la operación y los límites de emisión. También han de tenerse en cuenta los parámetros económicos como la inversión inicial y los costes de operación” (2016, p. 9).

Justificación social. Esta investigación realizada favorecerá a la reducción de los compuestos orgánicos volátiles como el benceno, puesto que mejora la calidad ambiental y reduce los riesgos potenciales de contraer afecciones

cancerígenas, alteraciones nerviosas, falta de memoria y entre otras enfermedades, esta tecnología a escala de laboratorio se puede implementar en microempresas dedicadas a la fabricación de muebles. Son zonas donde se usa pinturas, barnices, disolventes orgánicos sin protección alguna, puesto que esta investigación favorecerá a los trabajadores, ya que mejorará su calidad de vida. Asimismo, PÉREZ en el 2012 nos menciona que “Los COV’s son todos liposolubles, de forma que se acumulan en los tejidos grasos, puesto que los efectos dañinos de los COV’s dependen del tipo de compuesto y concentración, así mismo tiempo de exposición.”(p, 4-5).

Justificación Ambiental. La calidad del aire viene siendo alterado por diferentes emisiones de sustancias tóxicas y COV’s hacia la atmósfera ocasionando efectos nocivos para la salud de las personas ocasionando enfermedades e hipersensibilidad, en cuanto a su efecto sobre el ambiente predomina la contribución a la formación del smog fotoquímico y gases efecto invernadero, (AGUDELO, 2015, p.11). El biofiltro percolador es una biotecnología que busca reducir la concentración de los compuestos orgánicos volátiles (xileno) para obtener una mejor calidad de aire hacia la atmósfera, puesto que es utilizado de manera directa sin protección en las industrias madereras, es por ello desarrollar esta tecnología que busca reducir los niveles de concentración de los compuestos orgánicos volátiles.

Justificación Económica. A comparación de otros sistemas fisicoquímicos habituales resulta factible realizar y desarrollar un sistema de biofiltración con adecuación de microorganismos y el material de soporte de poliestireno y carbón activado ya que son de mayor eficiencia para reducir los compuestos orgánicos volátiles (xileno), esta aplicación será económicamente rentable puesto que es aplicada a escala de laboratorio, también al respecto THALASSO y PINEDO sostienen que “la Biofiltración es una de las tecnologías más económicas, en especial para el tratamiento eficiente de grandes flujos de aire poco contaminados. El costo de tratamiento es muy variable [...], lo cual es de 3 a 10 veces inferior a las tecnologías de tratamiento de tipo físico-químico (incineración, adsorción,

etc.)” (2002, p. 327).

La hipótesis general se plantea de la siguiente manera:

El uso de un biofiltro percolador de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire de Villa El Salvador, tiene un nivel de eficiencia del 80%.

Las hipótesis específicas se plantean de la siguiente manera:

- Las características microbiológicas sí varían durante el acondicionamiento de los lodos activados en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire, Villa El Salvador.
- Las características y propiedades físicas del poliestireno influyen en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire, Villa El Salvador.
- Las condiciones óptimas de operación si influyen en la eficiencia del biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire, Villa El Salvador.

El objetivo general se plantea de la siguiente manera:

Evaluar la eficiencia de un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire de Villa El Salvador.

Los objetivos específicos se plantean de la siguiente manera:

- Determinar las características microbiológicas que varían durante el acondicionamiento de los lodos activados en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire en Villa El Salvador.
- Determinar las características y propiedades físicas del poliestireno que influyen en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire en Villa El Salvador.
- Determinar las condiciones de operación que influye en la eficiencia de un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire de Villa El Salvador.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de la investigación

- Tipo de investigación

La investigación por su propósito es de tipo aplicada y con enfoque cuantitativo en la cual se emplea una recopilación de diversos datos para contrastar una hipótesis así mismo es secuencial y probatorio. De acuerdo a la problemática de investigación, se determinan las hipótesis y variables, además se establece el tipo de diseño, según el método estadístico que se emplee se desarrollará la hipótesis planteada (HERNÁNDEZ, 2014, p.4).

- Nivel de investigación

La presente investigación es de nivel explicativo, al respecto HERNÁNDEZ en el 2017, sostiene que un estudio de nivel explicativo no solo busca desarrollar el problema, además busca encontrar las causas del mismo. En la investigación, se buscó determinar cómo los parámetros, físicos, químicos y microbiológicos influyen en la eficiencia del biofiltro percolador para la reducción del benceno en el aire.

- Diseño de investigación

En la presente investigación se utilizó un diseño experimental, HERNÁNDEZ, FERNANDEZ y BAPTISTA (2010, p.122) sostienen que el diseño es experimental porque permite la manipulación de la variable independiente, debido a ello se producen cambios en la variable dependiente. La variable dependiente que se manipulo en la investigación se encuentra representada por el biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados, las cuales permitieron determinar los cambios en la variable dependiente, demostrando la eficiencia en la reducción de benceno en el aire.

Fórmula 8. Medición del benceno por aplicación del biofiltro y reducción del benceno

$$O1 \text{ ---- } X \text{ ----- } O2$$

Dónde:

O1: Medición del benceno en el aire.

X: Aplicación del Biofiltro Percolador

O2: Reducción el benceno en el aire.

2.2. Variable y definición operacional

Tabla 2. Matriz de Operacionalización de variable independiente

Variable	Definición Conceptual	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Independiente: Biofiltro Percolador a base de Poliestireno y lodos activados	El acoplamiento de la tecnología de tratamiento biológico (microorganismos) se encuentran inmobilizados en un lecho que normalmente es de material poliestireno. Para depurar el aire se realiza por una cámara de humificación para proporcionar la humedad necesaria y optima biodegradación, después pasa el gas por el lecho de microorganismos de forma que se obtiene una corriente de aire depurada a la salida del biofiltro (PÉREZ, 2012, p. 13).	La eficiencia del biofiltro percolador se mide a través de las propiedades físicas del material de soporte (poliestireno). Así mismo se considera las características microbiológicas de la bacteria.	Propiedades físicas del poliestireno	Volumen aparente	cm ³
				Volumen efectivo	cm ³
				Cantidad	Kg
				Porosidad	% porcentaje
				Cantidad	kg
			condiciones de Operación del biofiltro percolador	Área Transversal	cm ²
				Área total	cm
				Altura del lecho	m ³ /h
				Caudal	°C
				pH	Unidad de pH
				Temperatura	°C
				Tiempo de residencia del gas	Segundos
			Características microbiológicas	Presión	Pa
				pH	Unidad de pH
				Temperatura	°C
Nutrientes	mL				

Tabla 3. Matriz de operacionalización de la variable dependiente

Dependiente: Benceno en el aire en villa el salvador	Los compuestos orgánicos volátiles (COV's), como el benceno son convertidos con facilidad a vapores a temperatura ambiental, son liberados comúnmente por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón. Por otro lado son emitidos a la atmosfera por el uso de disolventes, pinturas y otros productos empleados (VILLACRES, 2015, p.15).	La reducción del benceno en una corriente de aire es la disminución de la cantidad de contaminante que se generó dentro un sistema a escala mediante un Biofiltro percolador. Esto fue medido a través de los parámetros de rendimiento.	Carga de la contaminación	Cantidad del Benceno (C ₆ H ₆)	µg/m ³ h
			Parámetros de rendimiento del Biofiltro percolador	Capacidad de eliminación	µg/m ³ h
				Eficiencia de remoción $R = (C_i - C_o) / x \times 100$ (%)	% porcentaje

Fuente: Elaboración propia (2019)

2.3. Población y muestra

Población

En la investigación la población se determina por el volumen de aire contaminado con benceno en varias industrias químicas, que se generó en el distrito de Villa el Salvador.

Muestra

La muestra será no probabilística, puesto que no se basa en el azar. Para muestra se usaron tres biofiltros percoladores a base de poliestireno y lodos activados construidos a escala de laboratorio en Villa el salvador, cuyos volúmenes fueron de 0.0033 m³, 0.0033 m³ y 0.0033 m³, lo que equivale a un volumen total de 0.009 m³ de aire tratado con concentraciones de benceno, por ello, se consideraron los valores de los límites permisibles para agentes químicos en ambientes laborales establecidos en el reglamento de la Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral (SUNAFIL) de 1.6 mg/m³, equivalente a 0.5 ppm para el benceno en el aire.

Además, se tomaron en cuenta las muestras de lodos activados, que fueron tomadas de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Municipalidad de San Borja, ubicada en el parque de la Felicidad (Ver Anexo N°5).

Muestreo

El muestreo se realizó de manera aleatoria, ya que es probabilístico, se considera según al juicio del investigador para seleccionar a los elementos de la muestra. El investigador puede decidir de manera arbitraria o consciente qué elementos incluirá en la muestra” (MALLHORTA, 2008, p. 340).

A) Técnicas de muestreo

Muestreo de lodos activados

Se tomaron las muestras de lodo activado del parque de la Felicidad del distrito de San Borja, la toma de muestra se realizó según el protocolo de monitoreo de agua. Para ello, la muestra de lodos activados se obtuvo de la primera etapa antes del proceso de tratamiento de aguas residuales, específicamente en la captación (cámara de bombeo), según el protocolo de monitoreo de agua es de suma importancia contar con la indumentaria y los materiales adecuados para la toma de muestras.



Figura 3. Ubicación de la cámara de bombeo



Figura 4. Toma de muestra de lodos Activados

Las muestras fueron tomadas en frascos sellado y esterilizados, con la finalidad de evitar la contaminación y alteración de las muestras de agua residual, así mismo se transporta en un cooler para mantener la temperatura del agua.



Figura 5. Se tomaron 5 muestras de agua residual.



Figura 6. Se colocó en un cooler las muestras, para mantener su temperatura

- **Muestreo de la concentración de benceno en el sistema de biofiltros**

Los tres biofiltros percoladores a base de poliestireno y lodos activados fueron muestreados en la entrada y salida de cada sistema, donde se genera aire contaminado con benceno, con la finalidad de determinar la eficiencia y reducción del benceno, así mismo controlar la frecuencia durante tres días (mañana, tarde y noche), con su respectiva replica, para ello se utilizó un Fotoionizador automático (Mini-RAE 2000). Ver en la siguiente Figura N°5, la ubicación de los puntos de muestreo. Dónde (C: Compresora, B: Bomba de recirculación, BF: Biofiltro y M: Punto de muestreo).

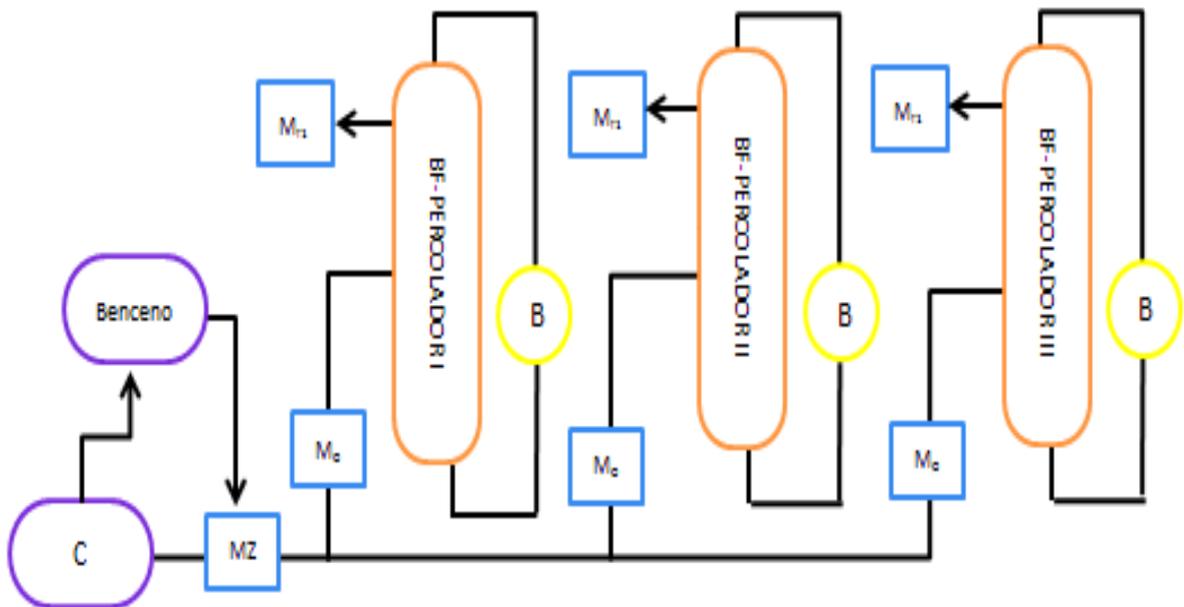


Figura 7. Esquema de los puntos de muestreos del sistema de Biofiltro Percolador.

B) Unidad Experimental

El volumen total de los tres biofiltros percoladores es de (0.009 m^3) , construidos a escala de laboratorio para tratar el aire contaminado con benceno, Villa el salvador 2019.

C) Localización de la Unidad Experimental

La ubicación de la unidad experimental fue en el distrito de Villa el Salvador, con las siguientes coordenadas UTM, WGS84 y Zona: 18 L:

Tabla 4. Ubicación de la unidad experimental

Este (X)	Norte (Y)
292949.88	8647716.19

El mapa de ubicación de la unidad experimental fue elaborado mediante el software ArcGis 10.3, con la finalidad de ubicar los puntos de muestreos del sistema de biofiltro percolador a base de poliestireno y lodo activado.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Materiales y equipos utilizados en el experimento

Materiales para adaptar los microorganismos

- 2 peceras de 50 x 50 CM
- Equipo de venoclisis
- 4 piedras de Burbujas de aire
- Bomba de Aireador difusor de Oxígeno
- 4 jeringas de 10 ML
- 3 jeringas de tuberculina
- 1 Jarra de plástico de 100ML
- 2 Nutrientes de solución hidroponía A y B
- 2 galones de Agua destilada equivalentes a 7.57082 litros
- 1 Termómetro para medir las muestras
- 1 Ph-metro. Para medir el pH de las muestras de lodo activado

Para la construcción del Biofiltro percolador a escala de laboratorio

- Reactores de acrílico y regulador de Presión
- Plato distribuidor de microorganismos y aire
- 6 Válvulas de agua y Filtro de aire
- 6 llaves de tres vías con extensión de 80 cm
- 2 Bomba de recirculación
- 1 Muestreador de entrada de aire
- 1 Muestreador de salida de aire
- 1 Compresor de aire caudal 11.7m³/h.
- 6 Manguera 3/8 pulgada
- 2 piedras de Burbujas de aire
- 1 Batería de auto de 12 voltios y 17 placas internas
- 5 Envase de plástico de 100 mL
- 3 llaves de aire de policarbonato

Para toma de muestra de aire

- 1 Libreta de campo
- 1 GPS
- 1 Cámara digital
- 1 Fotoionizador (MultiRAE 2000)

Descripción del procedimiento

En la presente investigación, se determinó y desarrolló una serie de procedimientos a fin de poder evaluar los objetivos propuestos en cuanto a medir la eficiencia de remoción del biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados en una corriente de aire contaminada con benceno. Es así, que se consideraron los siguientes procedimientos:

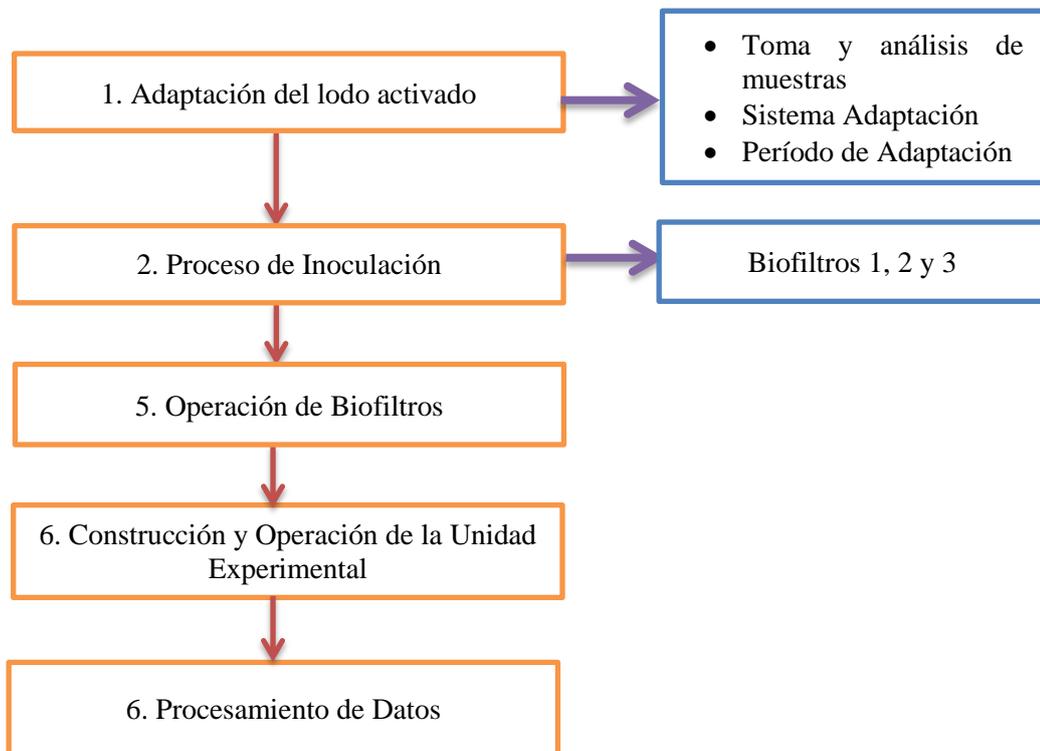


Figura 8. Secuencia del proceso experimental del Biofiltro percolador

a) Adaptación de los lodos activados

En esta etapa las dos muestras de 1.5 L de lodos activados obtenidas, se vierten a dos recipientes distintos de capacidad de 5 L cada una, en donde se va adecuar la muestra de lodos en presencia de oxígeno y adicionando micro y macro nutrientes con la finalidad de adaptar la comunidad de bacterias al benceno a tratar (Coliformes fecales, Salmonella, Coliformes

Totales, Pseudomonas). Procedimiento para la Adaptación del lodo activado



Figura 9. 2 Recipientes de 5litros cada uno para adecuar la muestra



Figura 10. Se colocaron piedras de aire y mangueras, para mantener el oxígeno de las muestras

Se vierte en cada recipiente 1.5 L de muestra de lodo activado y se mantiene por dos semanas, para la adaptación de la comunidad microbiana (bacterias), durante 20 días se realiza las mediciones de los parámetros físicos como el pH y la temperatura.



Figura 11. Vertimiento 1.5L de lodo activado a cada recipiente

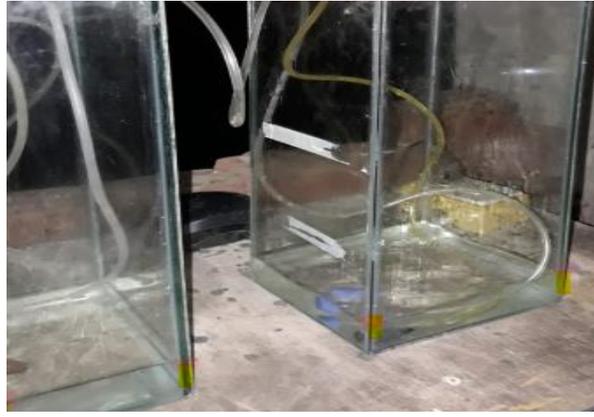


Figura 12. Proceso de Adaptación del lodo activado por 2 semanas.

b) Proceso de Inoculación de lodos activados

Se procede a armar los biofiltros 1, 2 y 3; para ello se introduce en cada capa del reactor el material de soporte a base de poliestireno, posteriormente se inocula el lodo activado a el material de soporte por 48 horas en los biofiltros percoladores, seguidamente pasando los dos días se vierte los micro y macro nutrientes (solución hidroponía A y B), 50 ML a cada biofiltro.



Figura 13. Se armar tres biofiltros percoladores



Figura 14. Se coloca el material de poliestireno y se inocula el lodo activado

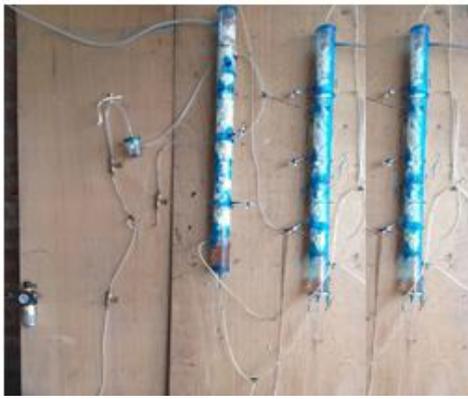


Figura 14. Se adiciona el macro y el micro nutriente a cada biofiltro percolador



Figura 15. Proceso de operación del sistema de biofiltro percolador

c) Construcción y Operación del sistema de Biofiltros

Primero se regula la presión, luego al ingresar el aire se distribuye la corriente de aire, permitiendo combinar el aire limpio y contaminado. Este último se genera mediante el burbujeo del benceno, posteriormente la corriente de aire contaminada circula por el material de soporte (poliestireno), el cual absorbe el contaminante gracias a la formación de biopelícula, generando aire limpio, a su vez en los biofiltros llega líquido mediante la bomba de circulación de manera intermitente nutritivo desde la parte alta y el aire contaminado va entre contracorriente.

d) Procesamiento y discusión de los datos

Mediante la toma de datos de las muestras de concentración del benceno presente en la corriente de aire y su reducción, permitirá determinar la eficiencia de la remoción del biofiltro percolador a base de poliestireno, se procede al análisis estadístico de dichos datos con la finalidad de determinar las hipótesis de investigación.

Técnica

Observación. Es un proceso empírico básico, donde las mediciones y el experimento necesitan de la observación, con el objetivo de generar resultados deseados por el investigador (BUNGE, 2004, p.591). Debido a que los datos recopilados son obtenidos directamente del muestreo ejecutado para un posterior análisis.

Instrumentos

Son datos importantes del desarrollo de la investigación, durante el proceso de adaptación de los microorganismos y el funcionamiento del biofiltro percolador, así mismo el muestreo del aire contaminado, es importante por ello la recolección de datos.

- **Ficha de recolección de datos para la adaptación de los lodos activados**

En esta parte se considera, el tipo de compuesto orgánico volátil (benceno), selección del tipo de muestra, así mismo se considera la temperatura, pH en la cual se adapta el inóculo con la finalidad de reducir el contaminante.

- **Ficha de recolección de datos y condiciones de operación del biofiltro percolador.**

Para la recolección de datos del proceso del biofiltro percolador se considera las condiciones del funcionamiento como; temperatura, presión, humedad, tipo de residencia del gas, así mismo la capacidad de eficiencia de eliminación, el tiempo de residencia de volumen de vacío, el material de soporte (poliestireno), fecha de inicio de funcionamiento y captación del contaminante.

Tabla 5. Técnica e instrumentos de recolección de datos

ETAPA	FUENTE	TÉCNICA	INSTRUMENTOS	RESULTADOS
Diseño y construcción de la unidad experimental	Laboratorio de Biotecnología de la UCV	Observación	Análisis de las concentraciones pre y post tratamiento	Equipo a escala de laboratorio construido: reactores de biofiltros percoladores
Análisis de las muestras de lodos activados	Laboratorio de microbiología de la UCV	Observación	Ficha de recolección de datos para la adaptación de lodos activados.	Reporte de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de lodos activados.
Adaptación de las muestras de lodos activados				
Operación del biofiltro Percolador	Villa el salvador	Observación	Ficha de recolección de datos y condiciones de operación del biofiltro percolador	Reporte de análisis de los parámetros físicos de las condiciones de operación del biofiltro percolador.

Validación y confiabilidad de instrumentos

La validación de instrumento es un grado de medición, al compararlo con algún criterio externo de un experto, (PEÑA, 2014, p.14), por lo cual se realizaron dos fichas de validación de instrumento, en el cual fueron revisados y aprobados por tres especialistas en el tema de investigación, docentes de la Universidad César Vallejo.

Tabla 6. Datos Generales de Especialistas

DATOS GENERALES ESPECIALISTAS		CARGO
QF. De La Cruz Avila Rosalbina	Químico Farmacéutico	Docente - UCV
Dr. Ordoñez Gálvez Juan Julio	Especialista Ambiental	Docente - UCV
Ing. Sigfredo Quintana Paetan	Químico	Docente - UCV

Confiabilidad: Se refiere al nivel de exactitud y consistencia de resultados que se obtienen al aplicar un instrumento. Si la respuesta es afirmativa cabe indicar que garantiza la confiabilidad del instrumento llegando a alcanzar el éxito del proyecto de investigación realizada por el investigador, (ALBA, *et al*, 2016, p. 3).

2.5. Método de análisis de datos

Las muestras recogidas durante la etapa de operación del sistema, se realizaron con el equipo de mini-RAE 2000, (medidor de COV's), este cuenta con un certificado de calibración y buen funcionamiento, puesto que la empresa INVENSAC S.A.C. brinda confiabilidad y garantía de los equipos de monitoreo, el cual permite recolectar datos exactos y garantiza eficiencia del biofiltro percolador, el monitoreo lo realizó el investigador en la zona de Villa el Salvador.

Se utilizó, el software para el procesamiento de datos, ya que este sistema brinda un mejor análisis de resultados.

- **SPSS Versión 24:** Este sistema permitió el procesamiento de datos estadístico, además facilitó la relación estadística de variables establecidas en la investigación.
- **Microsoft Excel:** El sistema nos ha permitido realizar distintos cuadros como; tablas, fichas y formatos durante el proceso de funcionamiento de la unidad experimental.
- **AutoCAD:** Este programa es práctico y de gran ayuda, ya que facilita diseñar el biofiltro percolador escala de laboratorio.
- **ArcGis 10.3:** El software permite la elaboración de mapas, como ubicación de puntos de muestreo (lodos activados) y la zona de investigación, realizada en Villa el Salvador.

2.6. Aspectos éticos

En esta investigación, se consideró la certificación y calibración de los equipos de laboratorio de la Universidad César Vallejo y el equipo de monitoreo por la empresa INVENSAC S.A.C. Así mismo los materiales de laboratorio estuvieron en óptimas condiciones, este procedimiento se realiza con la finalidad obtener resultados confiables durante el desarrollo del presente proyecto.

III. RESULTADOS

Se describe y se analizó los resultados obtenidos en las diferentes etapas, durante la ejecución del presente trabajo de investigación, para ello, se analizaron los parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos de las muestras (lodos activados), así mismo durante el período de adaptación. Se midieron los parámetros físicos del material de soporte a base de poliestireno, finalmente se analiza detalladamente la capacidad de eliminación (CE) y la eficiencia de remoción (ER) de los resultados obtenidos durante la etapa de operación de los biofiltros percoladores a base de poliestireno para la reducción de benceno en el aire.

3.1 Análisis físico, químico, biológico y microbiológico

Resultados Obtenidos

Los resultados iniciales obtenidos de las muestras de lodos activados fueron analizados y medidos en Laboratorio de Química de la Universidad César Vallejo. En los siguientes cuadros se detallan los parámetros físicos, químicos y microbiológicos obtenidos durante el análisis:

Tabla 7. Resultado de los parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos de los lodos activados

Parámetro Físico		
Parámetro	Unidad de Medida	Resultado
Temperatura	°C	22,9
Humedad	%	71,4
Parámetros Químicos		
Parámetro	Unidad de Medida	Resultado
Ph	pH	8,3
Alcalinidad	mg/L	500
Acidez	mg/L	1000
Cenizas	%	1,51
Parámetros Biológicos		
DBO	mg/L	325,15
DQO	mg/L	493,15
Parámetros Microbiológicos		
Coliformes Totales	NMP/100mL	4.8×10^5
Coliformes Fecales	NMP/100mL	2.3×10^3
Salmonella	NMP/100mL	5.8×10^4
Pseudomona sp.	NMP/100mL	1.8×10^4

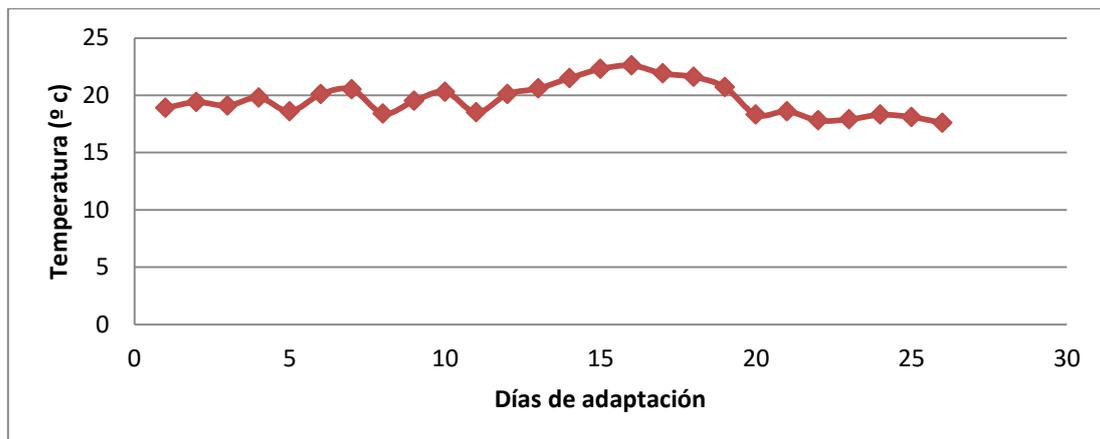
3.2 Adaptación de los lodos activados

Durante el periodo de adaptación de las muestras (lodo activado) y tomando en cuenta el análisis microbiológico, se corroboró la presencia de un consorcio bacteriano; entre ellos *Pseudomona sp* y *Salmonella*, estos microorganismos permiten la eliminación del Benceno, para ello los biofiltros están adaptados y estas puedan sobrevivir, asimismo se adicionaron micro y macro nutrientes para un buen crecimiento microbiano, posteriormente se le adicionaron 2.5 ML del contaminante Benceno cada dos días para la adecuación respectiva.

Tabla 8. Resultados de pH y temperatura durante la adaptación de los lodos activados.

N° Días	Fecha	Hora	Temperatura (°C)	pH
1	28/05/2019	7:15am	18,9	6,45
2	29/05/2019	6:20am	19,4	6,77
3	30/05/2019	7:10am	19,1	6,98
4	31/05/2019	7:32am	19,8	7,1
5	01/06/2019	7:12am	18,6	7,93
6	02/06/2019	6:40am	20,1	7,45
7	03/06/2019	7:37am	20,5	7,23
8	04/06/2019	6:31am	18,4	7,55
9	05/06/2019	6:20am	19,5	7,33
10	06/06/2019	6:43am	20,3	7,6
11	07/06/2019	7:30am	18,5	7,28
12	08/06/2019	7:31am	20,1	7,08
13	09/06/2019	6:14am	20,6	6,34
14	10/06/2019	6:12am	21,5	6,67
15	11/06/2019	6:20am	22,3	6,98
16	12/06/2019	6:54am	22,6	6,35
17	13/06/2019	6:25am	21,9	6,78
18	14/06/2019	7:01am	21,6	7,09
19	15/06/2019	6:00am	20,7	7,54
20	16/06/2019	6:14am	18,3	7,23
21	17/06/2019	6:12am	18,6	7,05
22	18/06/2019	6:00am	17,8	6,67
23	19/06/2019	6:54am	17,9	6,84
24	20/06/2019	6:09am	18,3	6,76
25	21/06/2019	6:26am	18,1	6,79
26	22/06/2019	6:18am	17,6	6,47

Figura 16. Comportamiento de la temperatura vs los días de adaptación de 1500 mL de la muestra de lodos activados.



En la figura 16, se representa el comportamiento de la temperatura durante los 26 días de adecuación de los 1500 mL de muestra de lodos activados en el reactor, además se adiciona cada dos días 2.5 mL de sustancia nutritiva (compuesta de micro y macronutrientes). En el gráfico, se puede analizar que la temperatura varío entre en $+1.7^{\circ}\text{C}$ durante los primeros trece días y durante los siguientes 13 días se aprecia que la temperatura descendió en -3°C , dichos resultados en cuanto a la temperatura permite determinar que el consorcio bacteriano presente en la muestra de lodos activados se mantiene dentro del rango permisibles, para las bacterias de tipo mesofilas como la *Pseudomona sp.* Lo cual permite su crecimiento.

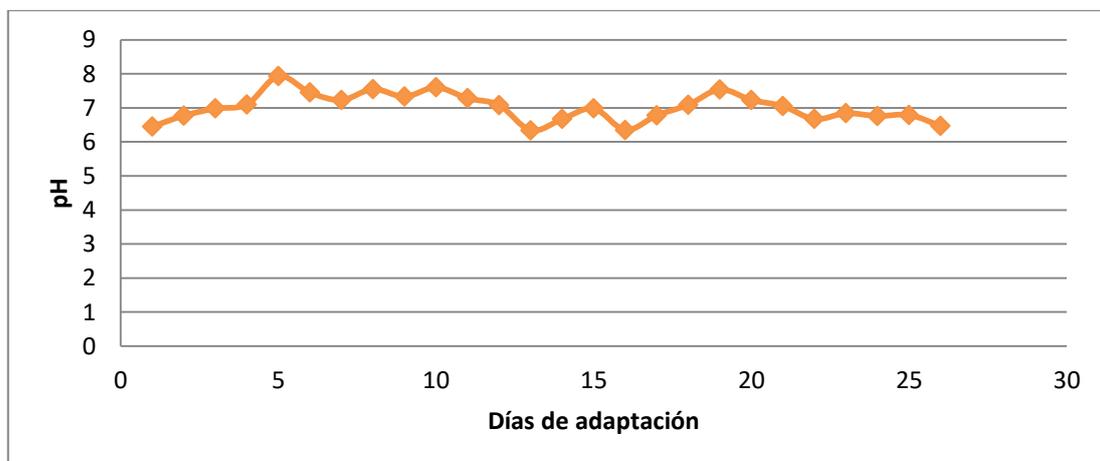


Figura 17. Comportamiento del pH vs los días de adaptación de 1500 ML de la muestra de lodos activados

En la figura 17. Se representa el comportamiento del pH. Los 26 días de adecuación de los 1500 mL de muestra de lodos activados en el reactor, además se adicione cada dos días 2.5 mL de sustancia nutritiva (compuesta de micro y macronutrientes). En el gráfico, se puede analizar que el pH varió en +1.48 unidades, durante los primeros cinco días de adaptación alcanzando un valor máximo de 7.93 y durante los siguientes 8 días se aprecia que el pH aumento la acides hasta los 6.34 unidades, posteriormente durante los siguientes 6 días alcanzo valores máximos de pH hasta los 7.54 unidades. Finalmente, durante los últimos 7 días que el pH aumento su acides a 6.47 unidades. Asimismo, se observa que el pH se ve influenciado directamente con los cambios en la temperatura, así como la influencia de la sustancia nutritiva para regular el medio y mantenerlo en un rango de pH entre 6 a 8 a fin de mantener la carga microbiana en la muestra de lodos activados.

3.3 Proceso de Inoculación

Los datos requeridos para determinar, la propiedad física del material de soporte a base de poliestireno, se obtuvieron en el laboratorio de química de la Universidad Cesar Vallejo, por lo cual fueron necesarios determinar el volumen aparente, real y efectivo y la porosidad del poliestireno.

Tabla 9. Resultados de las propiedades físicas de los materiales de soporte

Material de soporte del Biofiltro	Volumen Aparente (cm ³)	Volumen Efectivo (cm ³)	Porosidad %	Humedad %	Cantidad (Kg)
Poliestireno	0.17	0.07	81.00	-	0.1

Fuente: Resultados obtenidos en el laboratorio de Química de la Universidad César Vallejo (2019)

Los datos obtenidos, como el porcentaje de porosidad del poliestireno, permite determinar un mayor flujo de la corriente de aire contaminada al ser tratada en los biofiltros percoladores. El poliestireno fue debidamente esterilizado en la estufa por un periodo de 20 minutos a 121°C, luego fue

inoculado durante 48 horas con las muestras de lodos activados. La etapa de inoculación se realizó con la finalidad de asegurar la fijación de los microorganismos al material de soporte.

3.4 Operación del Biofiltro Percolador y Recolección de Datos

Los datos obtenidos fueron en la etapa de operación del sistema de biofiltros percoladores a base de poliestireno y lodos activados, mediante la operación del equipo detector de COV's miniRAE2000, equipo que contó con la certificación de calibración respectiva por parte de la empresa IMVEMSAC. Los datos recabados para el análisis fueron tomados durante los 20 días de funcionamiento en paralelo y de manera continua durante 24 horas cada 2 días, con paradas diarias cada 8 horas para la revisión y el mantenimiento.

Tabla 10. Resultados de concentración de benceno en los Biofiltros a base de Poliestireno

BIOFILTRO PERCOLADOR A BASE DE POLIESTIRENO							
MUESTRA		Nº 1		Nº 2		Nº 3	
Parámetro		(C _o)	(C _f)	(C _o)	(C _f)	(C _o)	(C _f)
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Medición	1	50,60	44,80	53,50	44,19	52,05	44,50
	2	51,10	45,70	54,50	44,51	52,80	45,11
	3	54,90	44,90	50,19	44,18	52,55	44,54
	4	53,20	46,10	50,80	45,40	52,00	45,75
	5	50,49	46,90	52,50	46,10	51,50	46,50
	6	52,30	46,20	51,90	47,10	52,10	46,65
	7	52,00	44,90	50,60	46,70	51,30	45,80
	8	51,80	45,40	51,40	44,70	51,60	45,05
	9	50,60	45,60	50,18	44,80	50,39	45,20
	10	34,40	19,90	44,50	19,10	39,45	19,50
Promedio		50,14	43,04	51,01	42,68	50,57	42,86

Co: Concentración inicial de benceno
Cf: Concentración final de benceno

Fuente propia elaborado por Katia Sucapuca Aguilar

Resultados obtenidos durante la operación de la unidad experimental (2019)

Tabla 11. Resultados de CE y ER de benceno en los Biofiltros a base de Poliestireno

BIOFILTRO PERCOLADOR A BASE DE POLIESTIRENO							
MUESTRA		Nº 1		Nº 2		Nº 3	
Parámetro		(CE)	(ER)	(CE)	(ER)	(CE)	(ER)
		(ppm/h)	(%)	(ppm/h)	(%)	(ppm/h)	(%)
Medición	1	20280,93	11,46	32554,39	17,40	26400,18	14,51
	2	18882,25	10,57	34932,16	18,33	26889,72	14,56
	3	34967,12	18,21	21015,24	11,97	28008,67	15,24
	4	24826,66	13,35	18882,25	10,63	21854,45	12,02
	5	12553,20	7,11	22378,96	12,19	17483,56	9,71
	6	21329,95	11,66	16784,22	9,25	19057,08	10,46
	7	24826,66	13,65	13637,18	7,71	19231,92	10,72
	8	22378,96	12,36	23427,97	13,04	22903,47	12,69
	9	17483,56	9,88	18812,31	10,72	18147,94	10,30
	10	50702,33	42,15	88816,50	57,08	69759,41	50,57
Promedio		24823,16	15,04	29124,12	16,83	26973,64	16,08
CE: Capacidad de Eliminación del Benceno ER: Eficiencia de Remoción del Benceno							

Fuente propia elaborado por Katia Sucapuca Aguilar

Resultados obtenidos durante la operación de la unidad experimental (2019)
 Para realizar los cálculos, de capacidad de eliminación del benceno y la eficiencia de remoción del benceno se usó los siguientes datos.

Fórmula 9. CE y ER

$$CE = \frac{11.7 \text{ m}^3/\text{h} \times (C_0 - C_F)}{0.003346 \text{ m}^3}$$

$$0.003346 \text{ m}^3$$

$$ER = \frac{(C_0 - C_F) \times 100}{C_0}$$

$$C_0$$

Tabla 12. Resultados del primer tratamiento en condiciones de operación en el sistema de biofiltro percolador a base de POLIESTIRENO

TRATAMIENTO 1. BIOFILTRO PERCOLADOR A BASE DE POLIESTIRENO					
Condiciones de operación		Humedad (%)	Temperatura (C°)	Ph	Presión (Bar)
Medición	1	69.0	18.9	7.7	7500
	2	67.0	21.4	8.3	7500
	3	65.0	20.6	8.2	7500
	4	62.0	22.8	7.4	8000
	5	57.0	19.9	8.0	8000
	6	55.0	20.1	8.0	8500
	7	49.0	21.1	8.0	8500
	8	45.0	21.3	7.7	9000
	9	44.0	21.0	8.0	9500
	10	42.0	22.6	8.0	10000
Promedio		55.5	21.0	7.9	8400.0

Fuente propia elaborado por Katia Sucapuca Aguilar

Resultados obtenidos durante de operación de la unidad experimental (2019)

Máximo	69.0	22.8	8.3	10000.0
Mínimo	42.0	18.9	7.4	7500.0

En el primer tratamiento se aprecia la eficiencia de remoción del benceno en la corriente de aire, generada durante los 10 días realizados del biofiltro percolador a base de poliestireno, alcanzando un valor máximo de humedad 69% y un valor mínimo de 42%, así mismo la temperatura máxima fue 22.8°C y un mínimo de 18.9°C, el pH máximo es 8.3, el mínimo es 7.4, y la presión es 8400bar, la cual es adecuada para los microorganismos.

Tabla 13. Resultados del segundo tratamiento en condiciones de operación en el sistema de biofiltro percolador a base de POLIESTIRENO

TRATAMIENTO 2. BIOFILTRO PERCOLADOR A BASE DE POLIESTIRENO					
Condiciones de operación		Humedad (%)	Temperatura (C°)	Ph	Presión (Bar)
Medición	1	62.0	20.1	7.5	7500
	2	61.0	19.8	7.3	7500
	3	59.0	20.6	7.2	7500
	4	56.0	21.1	7.4	7800
	5	54.0	19.4	8.0	7800
	6	53.0	20.1	8.0	8000
	7	50.0	20.0	8.0	8500
	8	49.0	19.8	7.7	8500
	9	46.0	20.5	7.0	9000
	10	43.0	20.6	7.6	10000
Promedio		53.3	20.2	7.6	8210.0

Fuente propia elaborado por Katia Sucapuca Aguilar

Resultados obtenidos durante de operación de la unidad experimental (2019)

Máximo	62.0	21.1	8.0	10000.0
Mínimo	43.0	19.4	7.0	7500.0

En el segundo tratamiento se aprecia la eficiencia de remoción de benceno en la corriente de aire generada durante los 10 días realizados del biofiltro percolador a base de poliestireno, alcanzando un valor máximo de humedad 62% y un valor mínimo de 43%, así mismo la temperatura máxima fue 21.1°C y un mínimo de 19.4°C, el pH máximo es 8.0, el mínimo es 7.0, al igual la presión del biofiltro percolador en el primer tratamiento fue de 8400 bar, a diferencia del segundo tratamiento disminuyo a 8210bar.

Tabla 14. Resultados del tercer tratamiento en condiciones de operación en el sistema de biofiltro percoladores a base de POLIESTIRENO

TRATAMIENTO 3. BIOFILTRO PERCOLADOR A BASE DE POLIESTIRENO					
Condiciones de operación		Humedad (%)	Temperatura (C°)	Ph	Presión (Bar)
Medición	1	65.5	19.5	7.6	7500.0
	2	64.0	20.6	7.8	7500.0
	3	62.0	20.6	7.7	7500.0
	4	59.0	21.9	7.4	7900.0
	5	55.5	19.6	8.0	7900.0
	6	54.0	20.1	8.0	8250.0
	7	49.5	20.6	8.0	8500.0
	8	47.0	20.5	7.7	8750.0
	9	45.0	20.8	7.5	9250.0
	10	42.5	21.6	7.8	10000.0
Promedio		54.4	20.6	7.7	8305.0

Resultados obtenidos durante de operación de la unidad experimental (2019)

máximo	65.5	21.9	8.0	10000.0
mínimo	42.5	19.5	7.4	7500.0

En el tercer tratamiento se aprecia la eficiencia de remoción de benceno en la corriente de aire generada durante los 10 días realizados del biofiltro percolador a base de poliestireno, alcanzando un valor máximo de humedad 65.5% y un valor mínimo de 42.5%, así mismo la temperatura máxima fue 21.9°C y un mínimo de 19.5°C, el pH máximo es 8.0, el mínimo es 7.4, al igual la presión del biofiltro percolador en el primer tratamiento fue de 8400 bar, a diferencia del segundo tratamiento disminuyó a 8210bar y en el tercer tratamiento aumento en 8305bar.

Figura 18. Eficiencia de remoción Biofiltro a base de poliestireno N° 1

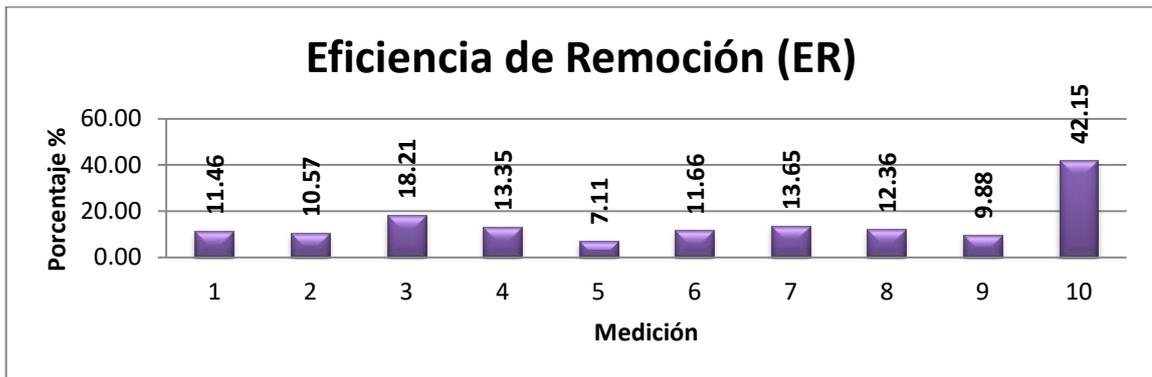


Figura 18, se aprecia la eficiencia de remoción de benceno en la corriente de aire generada durante los 10 días de operación del biofiltro percolador, N°1 a base de poliestireno, alcanzando valores máximos de 42.15 % ultimo día y 18.21% el tercer día, de operación del sistema, y los valores mínimos de 7.11% quinto día y 9.88% noveno día de funcionamiento, para el biofiltro percolador.

Figura 19. Eficiencia de remoción Biofiltro a base de poliestireno N° 2

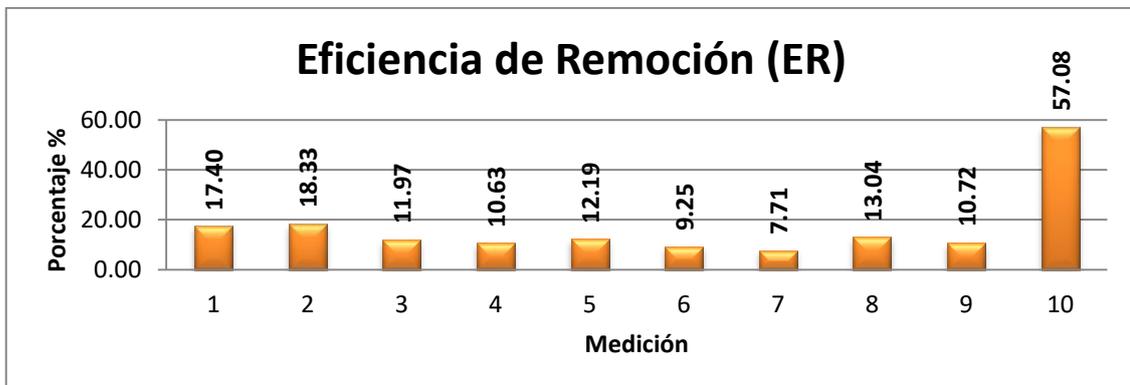


Figura 19, se aprecia la eficiencia de remoción de benceno en la corriente de aire generada durante los 10 días de operación del biofiltro percolador N°2 a base de poliestireno, alcanzando valores máximos de 57.08 y 18.33% en el último y segundo día de operación del sistema y los valores mínimos de 7.71 y 9.25% durante el sexto y séptimo día de funcionamiento, para el biofiltro percolador N°2 se trabajó bajo condiciones promedio de humedad de 80.17%, temperatura de 20.74 °C, pH de 8.09 y presión de 7833.33 Pa.

Figura 20. Eficiencia de remoción Biofiltro a base de poliestireno N° 3

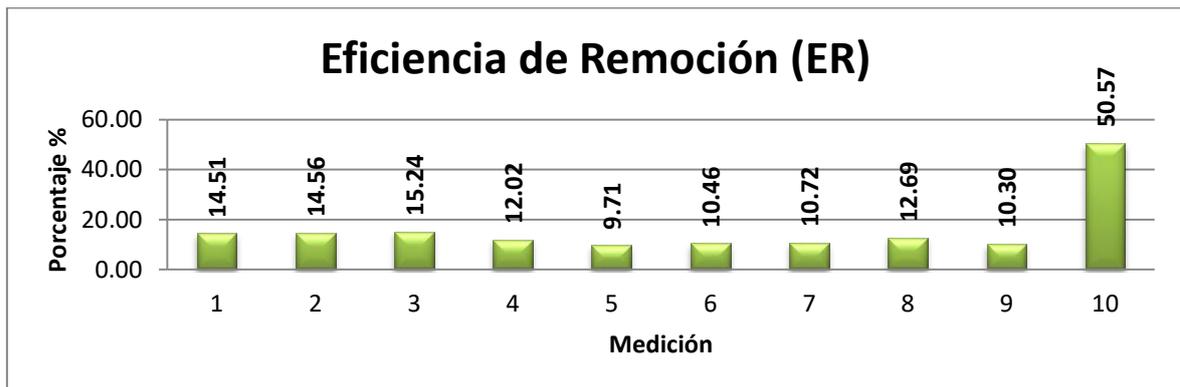


Figura 20. Se aprecia la eficiencia de remoción de benceno en la corriente de aire generada durante los 10 días de operación del biofiltro percolador N°3 a base de poliestireno, alcanzando valores máximos de 50.57 y 15.24% en el último y tercer día de operación del sistema, así como valores mínimos de 9.71 y 10.30% durante el sexto y séptimo día de funcionamiento, para el biofiltro percolador N°2 se trabajó bajo condiciones promedio de humedad de 80.17%, temperatura de 20.74 °C, pH de 8.09 y presión de 7833.33 Pa.

Contraste de hipótesis

Hipótesis general

Hi: El uso de un biofiltro percolador de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire de Villa El Salvador, tiene un nivel de eficiencia del 80%.

Ho: El uso de un biofiltro percolador de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire de Villa El Salvador, no tiene un nivel de eficiencia del 80%.

Prueba T- de Wilcoxon “muestras relacionadas”

Tabla N° 15. Se muestra los resultados obtenidos del análisis de normalidad correspondientes a la concentración de benceno en la corriente de aire bajo condiciones de laboratorio durante la muestra N°1 del biofiltro a base de poliestireno y lodos activados y los cálculos correspondientes de Kolmogorov-Samirnov y de Shapiro-Wilk.

Tabla N°15. Prueba de normalidad de la concentración de benceno (ppm) inicial y final-Muestra N°1 poliestireno y lodos activados

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración inicial N°1 (Co)	,425	10	,000	,598	10	0,000
Concentración final N°1 (Cf)	,485	10	,000	,444	10	,000

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019)

Se verifica en la tabla N°15 mediante la prueba de normalidad para la concentración de Co (antes del tratamiento) y Cf (después) de la muestra N°1 Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados, donde la significancia bilateral es menor a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos no provienen de una distribución normal.

Tabla N°16. Se muestra la prueba de Wilcoxon (2 muestras relacionadas) para el tratamiento con Biofiltro a base de poliestireno y lodos ¿activados de la muestra N°1.

Tabla N°16. Prueba de Wilcoxon para el tratamiento con Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados de la muestra N°1:

Estadísticos de pruebaa	
	Concentración final N°1 (Cf) Concentración inicial N°1 (Co)
Z	-2,805b
Sig. asintótica(bilateral)	,005
a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon	
b. Se basa en rangos positivos.	

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019)

Prueba de Hipótesis

Hi: La muestra N°1 del de un biofiltro percolador de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire de Villa El Salvador, tiene un nivel de eficiencia del 80%.

H₀: La muestra N°1 del de un biofiltro percolador de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire de Villa El Salvador, no tiene un nivel de eficiencia del 80%.

Regla de decisión

Sig. > 0.05, no rechaza la hipótesis nula (se acepta la H_a)

Resultado

Sig = 0,005, siendo menor a 0.05: Se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna

Decisión

Las concentraciones de benceno antes y después en la muestra N° 1 mediante el biofiltro de poliestireno y lodo activado no es eficiente en un 80% para reducir benceno en el aire bajo.

Prueba T- de Wilcoxon “muestras relacionadas”

Tabla N° 17. Se muestra los resultados obtenidos del análisis de normalidad correspondientes a la concentración de benceno en la corriente de aire bajo condiciones de laboratorio durante la muestra N°2 del biofiltro a base de poliestireno y lodos activados y los cálculos correspondientes de Kolmogórov-Smirnov y de Shapiro-Wilk.

Tabla N°17. Prueba de normalidad de la concentración de benceno (ppm) inicial y final-Muestra N°2 poliestireno y lodos activados

Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnova		Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración inicial N° 2 (Co)	,280	10	,861	10	,078
Concentración final N°2 (Cf)	,471	10	,484	10	,000

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Tabla N°17. Mediante la prueba de normalidad para la concentración de Co (antes del tratamiento) y Cf (después) de la muestra N°2 Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados, donde la significancia bilateral es menor a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos no provienen de una distribución normal.

El muestra la prueba de Wilcoxon (2 muestras relacionadas) para el tratamiento con Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados de la muestra N°2

Tabla N°18. Prueba de Wilcoxon para el tratamiento con Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados de la muestra N°2

Estadísticos de pruebaa	
	Concentración final N°2 (Cf) - Concentración inicial N° 2 (Co)
Z	-2,803b
Sig. asintótica(bilateral)	,005
a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon	
b. Se basa en rangos positivos.	

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019)

Prueba de Hipótesis

Hi: La muestra N°2 del de un biofiltro percolador de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire de Villa El Salvador, tiene un nivel de eficiencia del 80%.

H0: La muestra N°2 del de un biofiltro percolador de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire de Villa El Salvador, no tiene un nivel de eficiencia del 80%.

Regla de decisión

Sig. > 0.05, no rechaza la hipótesis nula (se acepta la Ha)

Resultado

Sig = 0,005, siendo menor a 0.05; Se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna

Decisión

Las concentraciones de benceno antes y después en la muestra N° 2 mediante el biofiltro de poliestireno y lodo activado no es eficiente en un 80% para reducir benceno en el aire bajo.

Prueba T- de Wilcoxon “muestras relacionadas”

Tabla N°19. Se muestra los resultados obtenidos del análisis de normalidad correspondientes a la concentración de benceno en la corriente de aire bajo condiciones de laboratorio durante la muestra N°2 del biofiltro a base de poliestireno y lodos activados y los cálculos correspondientes de Kolmogórov-Smirnov y de Shapiro-Wilk.

Tabla N°19. Prueba de normalidad de la concentración de benceno (ppm) inicial y final-Muestra N2 poliestireno y lodos activados

Pruebas de normalidad							
		Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración inicial	N°3 (Co)	,382	10	,000	,525	10	,000
Concentración final	N°3 (Cf)	,479	10	,000	,451	10	,000
a. Corrección de significación de Lilliefors							

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019)

Se verifica en la tabla N°19 mediante la prueba de normalidad para la concentración de Co (antes del tratamiento) y Cf (después) de la muestra N°3 Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados, donde la significancia bilateral es menor a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos no provienen de una distribución normal.

Tabla N°20. Se muestra la prueba de Wilcoxon (2 muestras relacionadas) para el tratamiento con Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados de la muestra N°3.

Tabla N°20. Prueba de Wilcoxon para el tratamiento con Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados de la muestra N°3

Estadísticos de pruebaa	
	Concentración final N°3 (Cf) - Concentración inicial N°3 (Co)
Z	-2,803b
Sig. asintótica(bilateral)	,005
a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon	
b. Se basa en rangos positivos.	

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Prueba de Hipótesis

Hi: La muestra N°3 del de un biofiltro percolador de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire de Villa El Salvador, tiene un nivel de eficiencia del 80%.

H0: La muestra N°3 del de un biofiltro percolador de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire de Villa El Salvador, no tiene un nivel de eficiencia del 80%.

Regla de decisión

Sig. > 0.05, no rechaza la hipótesis nula (se acepta la Ha)

Resultado

Sig. = 0,005, siendo menor a 0.05: Se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna.

Decisión

Las concentraciones de benceno antes y después en la muestra N° 3 mediante el biofiltro de poliestireno y lodo activado no es eficiente en un 80% para reducir benceno en el aire bajo.

Tabla N°21. En la siguiente tabla, se muestra la normalidad la cual comprende datos de la humedad (%) de los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno y lodo activado y los cálculos correspondientes de Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

Tabla N°21: Prueba de normalidad para la humedad (%) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno)

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Tratamiento 1: Biofiltro a base de poliestireno	0,151	10	0,200*	0,919	10	0,348
Tratamiento 2: Biofiltro a base de poliestireno	0,115	10	0,200*	0,966	10	0,853
Tratamiento 3: Biofiltro a base de poliestireno	0,125	10	0,200*	0,944	10	0,600
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019)

Se verifica en la tabla N°21, mediante la prueba de normalidad para la humedad (%) con el Tratamiento N°1, el Tratamiento N° 2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno), donde la significancia bilateral es de 0.348, 0,853 y 0.600 respectivamente, dichos valores son mayores a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos provienen de una distribución normal.

Tabla N°22. Se muestra la prueba de homogeneidad de varianza, la cual comprende datos de humedad (%), en los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno.

Tabla N°22: Prueba de homogeneidad de varianza para la humedad (%) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).

Estadístico de Levene	de gl1	gl2	Sig.
1,773	2	27	,189

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Prueba de igualdad de varianza de Levene

Prueba de hipótesis

H0: Si existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, Tratamiento N° 2 y Tratamiento N°3 (biofiltro percolador a base de poliestireno).

Hi: No existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, Tratamiento N° 2 y Tratamiento N°3 (biofiltro percolador a base de poliestireno).

Regla de decisión.

Sig. > 0.05, se acepta la hipótesis nula

Resultado.

Sig = 0.189, siendo mayor que 0.05: Se rechaza la hipótesis alterna, y se acepta la hipótesis nula

Decisión: Si existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, el tratamiento N° 2 y el tratamiento N° 3 (biofiltro percolador a base de poliestireno), en la humedad para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

Tabla N°23: En la siguiente tabla, se muestra la prueba ANOVA de un factor, la cual comprende datos de humedad (%), en los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno

Tabla N°23: Prueba ANOVA de un factor de varianza para la humedad (%) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamiento: Biofiltro a base de poliestireno	Entre grupos	24,200	2	12,100	0,173	0,842
	Dentro de grupos	1885,000	27	69,815		
	Total	1909,200	29			

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Prueba ANOVA para un factor

Prueba de hipótesis

Hi: Si existe una diferencia significativa entre las medias de los tres tratamientos del biofiltro a base de poliestireno.

Ho: No existe una diferencia significativa entre las medias de los tres tratamientos del biofiltro a base de poliestireno.

Regla de decisión.

Sig > 0.05, no rechaza Hi (Se acepta Ho)

Resultado.

Sig = 0.842, siendo mayor que 0.05: Se acepta la hipótesis nula, y se rechaza la hipótesis alterna

Decisión

Si existe una diferencia significativa entre las medias de los tres tratamientos del biofiltro a base de poliestireno, en la humedad para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

Tabla N°24: En la siguiente tabla, se muestra la normalidad la cual comprende datos de la temperatura (C°) de los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno y los cálculos correspondientes de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

Tabla N°24: Prueba de normalidad para la Temperatura (C°) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tratamiento 1: Biofiltro a base de poliestireno	0,178	9	0,200*	0,971	9	0,905
Tratamiento 2: Biofiltro a base de poliestireno	0,210	9	0,200*	0,962	9	0,817
Tratamiento 3: Biofiltro a base de poliestireno	0,208	9	0,200*	0,903	9	0,273
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Se verifica en la tabla N°24, mediante la prueba de normalidad para la temperatura (C°) con el Tratamiento N°1, el Tratamiento N°2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno), donde la significancia bilateral es de 0.905, 0,817 y 0.273 respectivamente, dichos valores son mayores a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos provienen de una distribución normal.

Tabla N°25. Se muestra la prueba de homogeneidad de varianza, la cual comprende datos de temperatura (C°), en los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno.

Tabla N°25 Prueba de homogeneidad de varianza para la Temperatura (C°) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno)

Estadístico de			
Levene	gl1	gl2	Sig.
2,043	2	27	0,149

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Prueba de igualdad de varianza de Levene

Prueba de hipótesis.

H0: Si existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, Tratamiento N° 2 y Tratamiento N°3 (biofiltro percolador a base de poliestireno).

Hi: No existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, Tratamiento N° 2 y Tratamiento N°3 (biofiltro percolador a base de poliestireno).

Regla de decisión.

Sig > 0.05, se acepta la hipótesis nula

Resultado.

Sig = 0.149, siendo mayor que 0.05: Se rechaza la hipótesis alterna, y se acepta la hipótesis nula

Decisión: Si existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, el tratamiento N° 2 y el tratamiento N° 3 (biofiltro percolador a base de poliestireno), en la temperatura para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

Tabla N°26: Se muestra la tabla de prueba ANOVA de un factor, la cual comprende datos de humedad (%), en los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno.

Tabla N°26: Prueba ANOVA de un factor de varianza para la Temperatura (C°) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).

ANOVA					
Tratamiento Biofiltro a base de poliestireno					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2,965	2	1,482	1,993	0,156
Dentro de grupos	20,077	27	0,744		
Total	23,042	29			

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Prueba ANOVA para un factor

Prueba de hipótesis

Hi: Si existe una diferencia significativa entre las medias de los tres tratamientos del biofiltro a base de poliestireno.

Ho: No existe una diferencia significativa entre las medias de los tres tratamientos del biofiltro a base de poliestireno

Regla de decisión

Sig. > 0.05, no rechaza Ho

Resultado

Sig. = 0.156, siendo mayor que 0.05: Se acepta la hipótesis nula, y se rechaza la hipótesis alterna

Decisión: Si existe una diferencia significativa entre las medias de los tres

tratamientos del biofiltro a base de poliestireno, en la temperatura para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

Tabla N°27: Se muestra la tabla de normalidad la cual comprende datos del pH de los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno, y los cálculos correspondientes de Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

Tabla N°27: Prueba de normalidad para la pH - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tratamiento 1: Biofiltro a base de poliestireno	0,305	10	,009	0,894	10	0,188
Tratamiento 2: Biofiltro a base de poliestireno	0,186	10	,200*	0,926	10	0,408
Tratamiento 3: Biofiltro a base de poliestireno	0,181	10	,200*	0,921	10	0,365

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Se verifica en la tabla N°27 mediante la prueba de normalidad para la pH con el Tratamiento N°1, el Tratamiento N° 2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno), donde la significancia bilateral es de 0.188, 0.408 y 0.365 respectivamente, dichos valores son mayores a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos provienen de una distribución normal.

Tabla N°28. Se muestra la tabla de prueba de homogeneidad de varianza, la cual comprende datos de PH, en los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno

Tabla N°28: Prueba de homogeneidad de varianza para la pH -Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).

Estadístico de	gl1	gl2	Sig.
Levene	2	25	0,264

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Prueba de igualdad de varianza de Levene

Prueba de hipótesis

H0: Si existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, Tratamiento N° 2 y Tratamiento N°3 (biofiltro percolador a base de poliestireno).

Hi: No existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, Tratamiento N° 2 y Tratamiento N°3 (biofiltro percolador a base de poliestireno).

Regla de decisión

Sig. > 0.05, se acepta la hipótesis nula

Resultado

Sig. = 0.264, siendo mayor que 0.05: Se rechaza la hipótesis alterna, y se acepta la hipótesis nula

Decisión: Si existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, el tratamiento N° 2 y el tratamiento N° 3 (biofiltro percolador a base de poliestireno), en la temperatura para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

Tabla N°29. Se muestra la tabla de prueba ANOVA de un factor, la cual comprende datos de PH, en los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno

Tabla N°29: Prueba ANOVA de un factor de varianza para la pH - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno)

ANOVA					
Tratamiento Biofiltro a base de poliestireno					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,652	2	,326	3,884	,034
Dentro de grupos	2,097	25	,084		
Total	2,749	27			

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Prueba ANOVA para un factor

Prueba de hipótesis

Hi: Si existe una diferencia significativa entre las medias de los tres tratamientos del biofiltro a base de poliestireno.

Ho: No existe una diferencia significativa entre las medias de los tres tratamientos del biofiltro a base de poliestireno.

Regla de decisión

$\text{Sig} < 0.05$, se rechaza H_0 (Se acepta H_1)

Resultado

$\text{Sig} = 0.034$, siendo menor que 0.05: Se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna

Decisión:

No existe una diferencia significativa entre las medias de los tres tratamientos del biofiltro a base de poliestireno, en el pH para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

Tabla N°30: Se muestra la tabla de normalidad la cual comprende datos de la presión (Bar) de los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno, y los cálculos correspondientes de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

Tabla N°30: Prueba de normalidad para la presión (Bar) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tratamiento 1: Biofiltro a base de poliestireno	0,176	10	0,200*	0,902	10	0,232
Tratamiento 2: Biofiltro a base de poliestireno	0,202	10	0,200*	0,849	10	0,057
Tratamiento 3: Biofiltro a base de poliestireno	0,186	10	0,200*	0,892	10	0,176

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Se verifica en la tabla N°30 mediante la prueba de normalidad para la presión (Bar) con el Tratamiento N°1, el Tratamiento N° 2 y Tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno), donde la significancia bilateral es de 0.232, 0.057 y 0.176 respectivamente, dichos valores son mayores a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos provienen de una distribución normal.

Tabla N°31. Se muestra la tabla de prueba de homogeneidad de varianza, la cual comprende datos de la presión (Bar), en los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno

Tabla N°31: Prueba de homogeneidad de varianza para la presión (Bar) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno)

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
0,055	2	27	0,947

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Prueba de igualdad de varianza de Levene

Prueba de hipótesis

H0: Si existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, Tratamiento N° 2 y Tratamiento N°3 (biofiltro percolador a base de poliestireno).

Hi: No existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, Tratamiento N° 2 y Tratamiento N°3 (biofiltro percolador a base de poliestireno).

Regla de decisión

$\text{Sig} > 0.05$, se acepta la hipótesis nula

Resultado

$\text{Sig.} = 0.947$, siendo mayor que 0.05: Se rechaza la hipótesis alterna, y se acepta la hipótesis nula

Decisión: Si existe igualdad de varianza entre el tratamiento N° 1, el tratamiento N° 2 y el tratamiento N° 3 (biofiltro percolador a base de poliestireno), en la presión (Bar) para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio

Tabla N°32: En la siguiente tabla se muestra la tabla de prueba ANOVA de un factor, la cual comprende datos de presión (Bar), en los tratamientos con Biofiltro a base de poliestireno

Tabla N°32: Prueba ANOVA de un factor de varianza para la presión (Bar) - Tratamiento N°1, Tratamiento N°2 y tratamiento N°3 (Biofiltro a base de poliestireno).

ANOVA					
Tratamiento 1: Biofiltro a base de poliestireno					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	180500,000	2	90250,000	0,128	0,881
Dentro de grupos	19066250,000	27	706157,407		
Total	19246750,000	29			

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2019).

Prueba ANOVA para un factor.

Prueba de hipótesis

Hi: Si existe una diferencia significativa entre las medias de los tres tratamientos del biofiltro a base de poliestireno.

Ho: No existe una diferencia significativa entre las medias de los tres tratamientos del biofiltro a base de poliestireno.

Regla de decisión

Sig. > 0.05, no rechaza Hi (Se acepta Ho)

Resultado

Sig. = 0.881, siendo mayor que 0.05: Se acepta la hipótesis nula, y se rechaza la hipótesis alterna.

Decisión: Si existe una diferencia significativa entre las medias de los tres tratamientos del biofiltro a base de poliestireno, en la temperatura para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el trabajo de investigación, se aplicó un biofiltro percoladora a base de poliestireno con la finalidad de reducir el benceno, en una corriente de aire en Villa el Salvador a escala de laboratorio, como menciona AGUDELO, U. (2016), en las diversas investigaciones citadas en su investigación determinó que la eficiencia de remoción es mayor en los materiales orgánicos en comparación a los de origen sintético. Debido a que los materiales sintéticos requieren el adición constante de soluciones nutritivas, así como mayores días de operación en los sistemas de biofiltro para alcanzar una mayor ER y CE.

Durante el acondicionamiento de la muestra de lodo activado varía sus características físicas y químicas, para luego ser inoculados al material de soporte a base de poliestireno estas son como; el pH que alcanzo valores máximos de 7.93, 7.55 y 7.54; la temperatura registro valores máximos de 22.3, 22.6 y 21.9 °C influyeron directamente en el crecimiento del consorcio microbiano, además se facilitó el adición de la sustancia nutritiva como, micro y macronutrientes en los reactores, asimismo permitiendo estabilizar el medio en el cual se propagaron el consorcio bacteriano. ZHAI, J. [et al]. (2017). En su investigación, determino que los valores bajos en cuanto al pH pueden disminuir el crecimiento bacteriano de las muestras durante el acondicionamiento de una comunidad bacteriana, debido a que los valores recomendados, para el pH deben mantenerse en rangos entre 6 y 8 unidades, así como la temperatura debe oscilar entre valores de 18 y 30°C para bacterias aerobias mesófilas.

Luego de aplicar el tratamiento del Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire en Villa el Salvador, los tres biofiltros alcanzaron valores de ER en promedio de 15.04, 16.83 y 16.08% , durante los 10 días de operación del sistema, alcanzando valores mínimos de ER en los tres sistemas de: 7.11% (de 50.49 a 46.90 ppm en concentración), durante el quinto día de funcionamiento del sistema y valores máximos de ER de 57.08 % (de 44.50 a 19.10 ppm en concentración), durante la etapa final de operación del sistema. En donde

AGUDELO, U. (2016), determinó como resultados de ER para un sistema de biofiltro percolador a base de poliuretano valores de 83.33; 93.94, 93.10 y 72.96%, en la reducción de contaminante Tolueno en una corriente de aire a escala de laboratorio. Esta diferencia se debe a que el sistema evaluado por el investigador fue operado durante 89 días, en comparación a tan solo 10 días de operación en la presente investigación.

Los valores promedios de las condiciones de operación aplicadas en el tratamiento del Biofiltro a base de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire en Villa el salvador, alcanzó humedad en promedio de 68.20%, de temperatura 21.17°C, en pH 8.04 unidades y de presión 8,05 Bar, durante los 10 días de operación del sistema de tratamiento de los tres biofiltros.

V. CONCLUSIONES

- La eficiencia alcanzada por el biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para la reducción del benceno en una corriente de aires es menor al 20%, debido a que la eficiencia de remoción (ER) promedio que se alcanzó en los tres biofiltros durante los 10 días de operación del sistema fue de: 15.04%, 16.83% y 16.08% por lo cual se concluye que el poliestireno no resulta un buen material de soporte para la eliminación de benceno en el aire.
- Las características físicas y químicas que sufrieron variación durante el acondicionamiento de los lodos activados al contaminante benceno, con la finalidad de inocularlos al material de soporte (poliestireno) de los biofiltros fueron: la temperatura en +1.5°C y el pH +1.48, por lo cual, se concluye que dichas variaciones de los parámetros no resultaron significativos para generar un cambio en las características microbiológicas existentes en las muestras de lodos activados durante los 26 días de acondicionamiento.

- En los tres biofiltros percoladores a base de poliestireno y lodos activados, se determinó la característica física obteniendo una porosidad de 94%, influyendo directamente en el flujo del aire contaminado con benceno a tratar en el sistema, dicho valor fue tomado como referencia de las diversas fuentes de investigación.
- Se determinó que las condiciones óptimas del biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para la reducción de benceno en una corriente de aire en Villa el salvador, se evidencia directamente en la ER y CE, esto debido a que en los tres biofiltros tratados presentaron valores bajos en promedio en cuanto a la humedad de 65 y 62 % y sobre pasaron los valores de pH que se recomiendan, como resultados en promedio se obtuvieron valores máximos de 8.53 y 8.45 unidades, debido a estos valores obtenidos no se facilitaron las condiciones necesarias para el crecimiento del consorcio microbiano presente en la muestra de lodos activados y por ello no se mantuvo una ER constante.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, principalmente en futuras investigaciones aplicar dicho sistema de tratamiento de biofiltros a base de poliestireno y lodos activados, durante mucho más día de operación, con la finalidad de que la eficiencia de remoción evaluada sea de mayor precisión.
- Durante la etapa de acondicionamiento de la muestra lodos activado, se recomienda trabajar en ambientes adecuados y libres de contaminación externa para que favorezcan el crecimiento del consorcio microbiano presente en la muestra, asimismo el rango de temperatura se mantengan entre 15 a 40°C para que permita el crecimiento de las bacterias de tipo mesófilas y niveles de pH en valores de entre 6 a 8 unidades. Finalmente tener en cuenta la cantidad de dosis de

contaminante debe ser adicionado de manera adecuada y con precaución durante los días de acondicionamiento, también no debe sobrepasar el nivel de nutrientes esto ocasiona que los microorganismos mueran de sobre dosis a los nutrientes.

- Se recomienda utilizar implementos de seguridad como mascarillas con filtros de gases, con la finalidad de evitar el contacto con el vapor del gas benceno a ser tratado, ya que es altamente riesgoso y cancerígeno, además se recomienda aplicar el sistema en lugares ventilados. Así mismo, verificar las fugas que podrían existir dentro de los biofiltros percolador, antes y durante el proceso de investigación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUDELO Paz, Ubaldo. (2015), Eliminación de vapores de xileno presentes en una corriente de gas en un biofiltro percolador. Tesis (Magister en ingeniería). Colombia: Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, pp. 78.

ANTUNEZ, Joana. [et al]. Biofiltration of volatile organic compounds of Brazilian gasoline. Brazilian Archives of Biology and Technology. (57):119-125, 2014, February 2014 ISSN: 1516-8913

ARANA, A. (2010), Biofiltro edificio de tamices de la E.D.A.R de arazuri: Estudio y propuesta de mejoras.pg.45-56.

BAISAUTOVA, P. [et al]. (2011), The comparison with the physicochemical one, biological treatment (biofilters) is an effective, efficient, and environment-friendly.

CARLESSO, B. (2014), Uso de biofiltración y remoción de sulfatos de hidrogeno presente en biogás.

CERRÓN, Serpa, Victor. (2016), Determinación de la eficiencia de un

biofiltro para remover el sulfuro de hidrogeno (H₂S) contenido en el biogás generado por un reactor anaerobio tipo UASB. Tesis (Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Peruana Unión. pp. b149.

CHANG, Shenteng. [et al]. (2015). Removal of VOCs emitted from p-xylene liquid storage tanks by a full-scale compost biofilter. *Process Safety and Environmental Protection*, (93):218-226. ISSN: 0957-5820

CHENG. Yan, [et al]. (2016), Challenges and solutions for biofiltration of hydrophobic volatile organic compounds. *Biotechnology Advances*. (2016):1091-1102. ISSN: 0734-9750

DECRETO SUPREMO N° 003-2017-MINAM, 2017. [Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2018]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-003-2017-MINAM.pdf>

ESTRADA. José, [et al]. (2013), A comparative study of fungal and bacterial biofiltration treating a VOC mixture. *Journal of Hazardous Materials*. (250-251):190-197. ISSN: 0304-3894.

FILLOL, U. (2015), Eliminación de vapores de xileno presentes en una corriente de gas en un biofiltro percolador.

GALLEGO, Mercedes. (2010), Diferentes metodologías para la evaluación de riesgos originados por VOCs en ambientes laborales. Junta de Andalucía: Consejería del Empleo.

GOMEZ, C. (2006), Evaluación de compuestos orgánicos volátiles en emplazamientos urbanos, de fondo urbano e industriales de la capv. Recuperado:http://www.euskadi.eus/contenidos/evento/contaminacion_atmosferica/eu_jornada/adjuntos/2-4.pdf.

GÓNZALES, Gisela. [et al]. (2017), Riesgo de exposición a compuestos químicos en trabajadores de transformación de la madera. Hacia la

Promoción de la Salud. (17):105-117. ISSN: 0121-7577

HASSAN, A. [et al]. (2010), Removal of benzene under acidic conditions in a controlled trickle bed air biofilter ISSN: 1385 – 8947.pp 54

LAFITA López, Carlos. (2016), Degradación de disolventes orgánicos de uso industrial en un reactor anaerobio de lecho expandido. Tesis (Doctora en Ingeniería Química, Ambiental y de Procesos). España: Universidad de Valencia, Programa de Doctorado en Ingeniería Química, Ambiental y de Procesos. pp. 274

LAKHOUIT, A. [et al]. (2016), Two Novel Biofilters to Remove Volatile Organic Compounds Emitted by Landfill Sites.

LESON, G. [et al]. (2012), Biofiltration: An innovative air pollution control technology for VOC emissions.

MALAKAR, S. [et al]. (2017), Microbial biofilter for toluene removal: Performance evaluation, transient operation and theoretical prediction of elimination capacity.

MALAKAR, Srikumar. [et al]. (2018), Microbial biofilter for toluene removal: Performance evaluation, transient operation and theoretical prediction of elimination capacity. Sustainable Environment Research, (28):121-127. ISSN: 2468-2039

MELO, D. (2016), Evaluación de los coeficientes globales de transferencia de masa en biofiltros percoladores para el tratamiento de corrientes gaseosas residuales contaminadas con xileno.

MOHAMMAD, B. [et al]. (2017), Performance of a thermophilic gas-phase biofilter treating high BTEX loads under steady- and transient-state operation.

NATARAJAN, R. [et al]. (2017), Biodegradation of ethyl benzene and xylene contaminated air in an up flow mixed culture biofilter.

OMS. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, 2005 [Fecha de consulta: 12 de abril de 2018]. Actualización mundial.

PÉREZ García, Francisco. (2012), Diseño de un sistema biológico para la eliminación de acetona y estireno en aire procedente de una industria especializada en la fabricación de equipos en poliéstireno reforzado con fibra de vidrio. Tesis (Ingeniero Químico). España: Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias. pp. 198.

PETRAUSKAITEA, E. [et al]. (2017), Experimental study of droplet biofilter packed with green sphagnum to clean air from volatile organic compounds.

RENE, E. [et al]. (2011), Performance and optimization of a compost biofilter and treating gas-phase mixture of benzene and toluene” wherein a maximum elimination capacity (EC).

RENE, Eldon. [et al]. (2015). Start-up, performance and optimization of a compost biofilter treating gas-phase mixture of benzene and toluene. *Bioresource Technology*, (190):529-535, august 2017. ISSN: 0960-8524

SÁNCHEZ, y ALCÁNTARA. (2018), Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente. [en línea]. Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia.

SÁNCHEZ, M. (2015), Sistemas biológicos para el manejo ambiental: alternativas de control para contaminantes atmosféricos.

SENAMHI. Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana, 2011. [Fecha de consulta: 7 de octubre de 2018]. Disponible en: http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/E926CA7DFE

4EE59905257CCA00528B1E/\$FILE/1EvalCalidadAireLima2011.pdf

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME (UNEP). (2009), Realidades de Contaminantes, Contaminantes: Compuestos orgánicos volátiles (VOCs). [Fecha de consulta: 20 de abril, 2018]. Disponible en: http://www.unep.org/tnt-unep/toolkit_esp/pollutants/vocs.html

VAIŠKŪNAITĖ, R. (2016), Modelling of a biofiltration process of volatile organic compound mixtures in a biofilter.

VAIŠKŪNAITĖ, y ZAGORSKIS. (2016), Modelling of a biofiltration process of volatile organic compound mixtures in a biofilter. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. (30):1217-1222. ISSN: 1310-2818

VALERO, P. (2016), Modelación del proceso de biofiltro percolador para el tratamiento de emisiones en aire de compuestos orgánicos volátiles de elevada solubilidad en agua. Tesis (Doctora en Ingeniería Química, Ambiental y de Procesos). España: Universidad de Valencia, Programa de Doctorado en Ingeniería Química, Ambiental y de Procesos, pp. 329.

VERGARA-FERNÁNDEZ, Alberto. [et al]. (2018), Bio filtration of benzo[α]pyrene, toluene and formaldehyde in air by a consortium of *Rhodococcus erythropolis* and *Fusarium solani*: Effect of inlet loads, gas flow and temperature. *Chemical Engineering Journal*. (332):702-710.

VILLACRES Manzano, Eduardo. (2015), Análisis Toxicológico de Hidrocarburos Aplicado a la Salud Ocupacional. Tesis (Ingeniería Ciencias Químicas). Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, 171. pp.

XU, Yang. [et al]. (2016), The effect of injected ozone on the microbial metabolic characteristics in biofilters treating gaseous toluene. *Ecological Engineering*. (94):174-181, September, ISSN: 0925-8574.

XUE, Song [et al]. (2018), Effects of moisture content on the performance of

a two-stage thermophilic biofilter and choice of irrigation rate. *Process Safety and Environmental Protection*. (113):164-173. ISSN: 0957-5820.

ZHAI, J. [et al]. (2017), A comparative study of bacterial and fungal-bacterial steady-state stages of a biofilter in gaseous toluene removal: performance and microbial community. 174-230.

ANEXOS

ANEXO N°1: Matriz de consistencia

Problemas	Objtivos	Hipotesis	Variable	Definición Conceptual	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es la eficiencia de un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire, Villa El Salvador?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuáles son las características microbiológicas que varían durante el acondicionamiento de los lodos activados en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire, Villa El Salvador?</p> <p>¿Cuáles son las características y propiedades físicas del poliestireno que influyen en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar la eficiencia de un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire, Villa El Salvador.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar las características microbiológicas que varían durante el acondicionamiento de los lodos activados en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire, Villa El Salvador.</p> <p>Determinar las características y propiedades físicas del poliestireno que influyen en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>El uso de un biofiltro percolador de poliestireno y lodos activados para reducir benceno en el aire, Villa El Salvador, tiene un nivel de eficiencia del 80%.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>Las características microbiológicas sí varían durante el acondicionamiento de los lodos activados en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para reducir el benceno en el aire, Villa El Salvador.</p> <p>Las características y propiedades físicas del poliestireno influyen en un biofiltro percolador a base de poliestireno y lodos activados para</p>	<p>Independiente: Biofiltro Percolador a base de Poliestireno y lodos activados</p>	<p>El acoplamiento de la tecnología de tratamiento biológico (microorganismos) se encuentran inmovilizados en un lecho que normalmente es de material poliestireno. Para depurar el aire se realiza por una cámara de humificación para proporcionar la humedad necesaria y optima biodegradación, después pasa el gas por el lecho de microorganismos de forma que se obtiene una corriente de aire depurada a la salida del biofiltro (PÉREZ, 2012, p. 13).</p>	<p>La eficiencia del biofiltro percolador se mide a través de las propiedades físicas del material de soporte (poliestireno). Así mismo se considera las características microbiológicas de la bacteria.</p>	<p>Propiedades físicas del poliestireno</p> <p>condiciones de Operación del biofiltro percolador</p>	<p>Volumen aparente</p> <p>Volumen efectivo</p> <p>Cantidad</p> <p>Porosidad</p> <p>Cantidad</p> <p>Área Transversal</p> <p>Área total</p> <p>Altura del lecho</p> <p>Caudal</p> <p>pH</p> <p>Temperatura</p> <p>Tiempo de residencia del gas</p> <p>Presión</p>	<p>cm³</p> <p>cm³</p> <p>Kg</p> <p>% porcentaje</p> <p>Kg</p> <p>cm²</p> <p>Cm</p> <p>m³/h</p> <p>°C</p> <p>Unidad de pH</p> <p>°C</p> <p>Segundos</p> <p>Pa</p>

Validación de Instrumento de recojo de Información



SOLICITUD: Validación de instrumento de recojo de información.

Sr.:

Yo Katia Sucapuca Aguilar identificado con DNI N° 46398011 alumno(a) de la EAP de Ingeniera Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesina que vengo elaborando titulada: "EFICIENCIA DE UN BIOFILTRO PERCOLADOR A BASE DE POLIESTIRENO Y PSEUDOMONAS PARA REDUCIR BENCENO EN EL AIRE, PARQUE INDUSTRIAL DE VILLA SALVADOR 2018", solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Instrumento
- Ficha de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

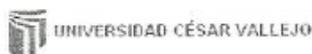
Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Lima, 12 de noviembre de 2018

NOMBRES Y APELLIDOS
FIRMA
46398011

Validación de instrumento: Docente: Julio Ordoñez



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Ordoñez Ballez Julio
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente
 1.3. Especialidad o línea de investigación:
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de recolección de datos y observación
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Susana Ballez, KATH

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										/			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										/			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										/			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										/			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										/			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										/			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										/			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										/			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										/			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										/			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

S
I

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

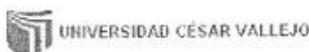
85 %

Lima, 29 de NOVIEMBRE del 2018

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 8540000 Telf. 520168...

Validación de Instrumento: Docente – Sigfredo Quintana Paetan



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Sigfredo Quintana Paetan
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente Ingeniería Ambiental
 1.3. Especialidad o línea de investigación:
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y OPERACIÓN
 1.5. Autor(A) de Instrumento: SUCARUP DOOLAR, KATHY

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												/	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												/	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												/	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												/	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												/	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												/	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												/	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												/	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

Si
—

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, 25 Noviembre del 2018

[Firma]
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 07491144 Telf.: 970914337

Validación de instrumento: Docente – Rosalbina De la Cruz Dávila



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: ROSALBINA DE LA CRUZ DAVILA
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE DE Ingeniería Ambiental
 1.3. Especialidad o línea de investigación:
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y OPERACIÓN
 1.5. Autor(A) de Instrumento: SUCAPURA AGUILAR, KATHA

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

si
-

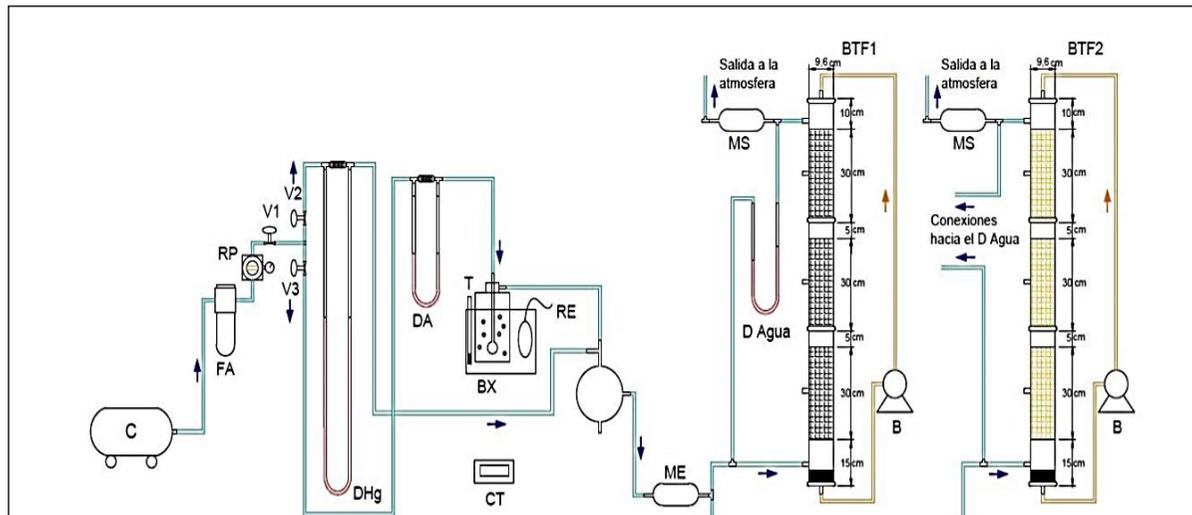
IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90 %

Lima, 23 de agosto del 2018

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

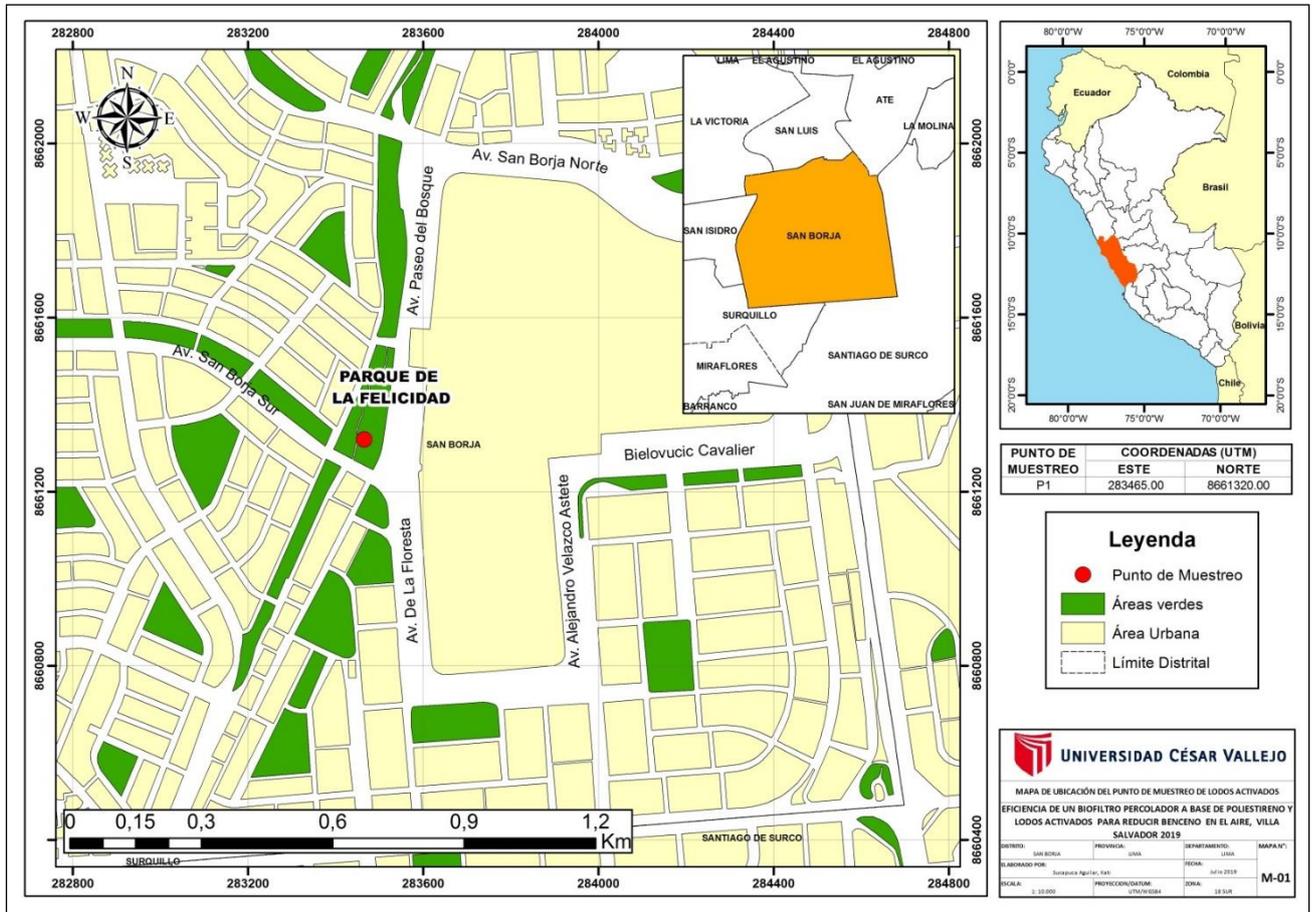
DNI No. 065 068 31 Telf.: 75 020 12 05
ROSALBINA DE LA CRUZ DAVILA.
 C.A.F. SOGO



DATOS DEL EQUIPO DE SISTEMA DEL BIOFILTRO PERCOLADOR			
C	Compresor	MS	Muestreador de Salida
FA	Filtro de Aire	D Agua	Diferencial de agua
RP	Regulador de presión	BTF1	Biofiltro Percolador 1
V	Valvula de agua	BTF2	Biofiltro Percolador 2
T	Termocupla	B	Bomba de Recirculacion
BX	Burbujeador de Benceno	ME	Muestreador de Entrada
RE	Resistencia Electrica	CT	Controlador de Temperatura

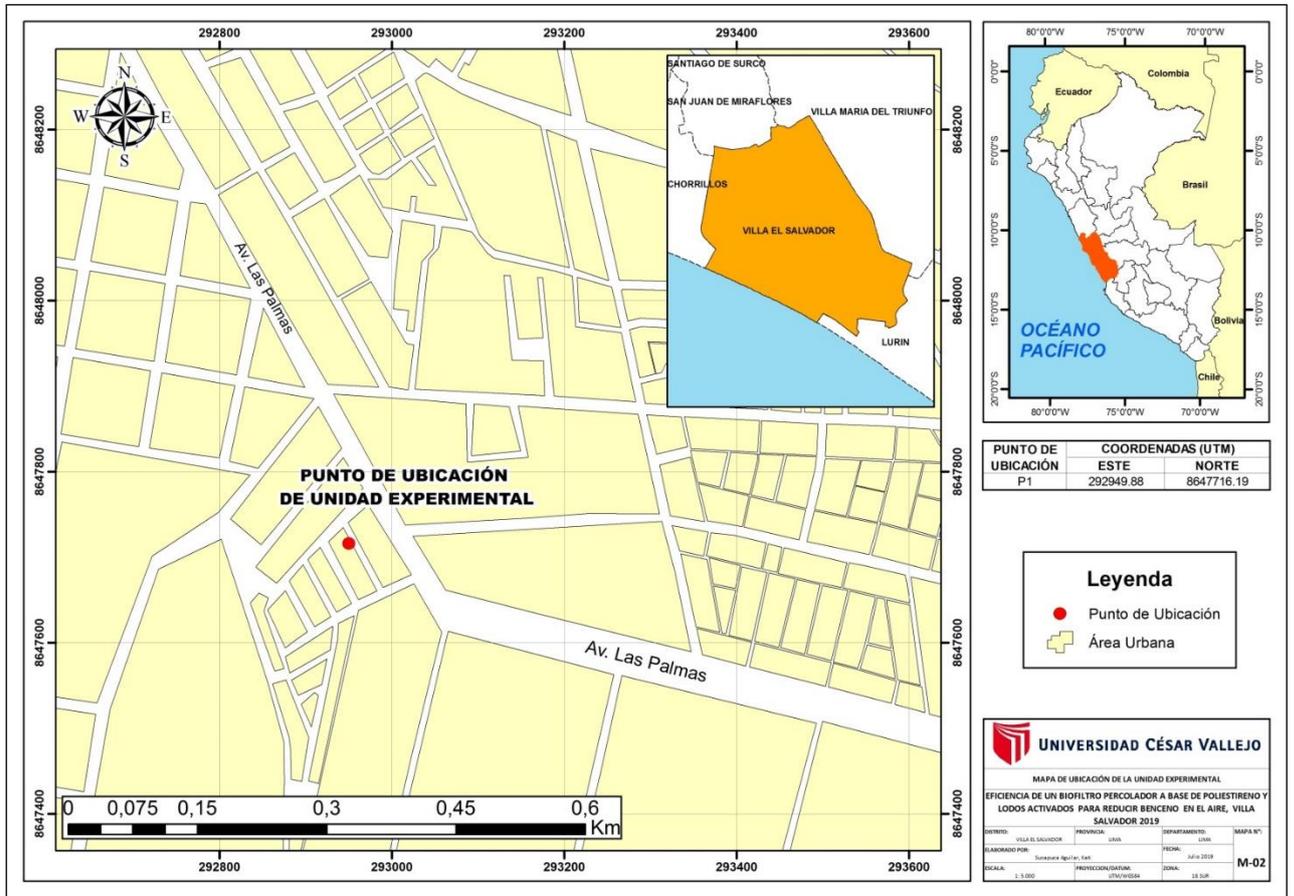
Fuente. Adaptado de AGUDELO (2015)

ANEXO N°5: Mapa de ubicación del Punto de Muestreo de Lodos Activados



Fuente: Elaboración propia, mediante ArcGis 10.3 (2019)

ANEXO N°6: Mapa de ubicación de la Unidad Experimental



Fuente: Elaboración propia, mediante ArcGis 10.3 (2019)

ANEXO N° 7: Resultados de la investigación

ENSAYO N°01 -KS- 2019
LABORATORIO DE QUIMICA - UCV
INFORME DE RESULTADOS- MUESTREO DE AGUA

Direccion: parque la feicidad - San Borja
Tipo de ensayo: Análisis Físicoquímicos
Matriz: Agua Residual
Descripcion de la muestra: Lodos activados de aguas residuales
Muestra tomado por: Katia sucapuca Aguilar
Fecha de ingreso de la muestra: 07/05/2019
Lugar donde se realizo el ensayo: Laboratorio de Química - UCV.

Ph						
Estacion	Tipo de resultado	Coordenadas		Altitud	Unidad de medida	Resultados
M-1	Muestra	Oeste:	76°59'23"	38.967585	PH	8.03
		Sur:	12°06'08"			

Temperatura						
Estacion	Tipo de resultado	Coordenadas		Altitud	Unidad de medida	Resultados
M-1	Muestra	Oeste:	76°59'23"	38.967585	°C	22.2
		Sur:	12°06'08"			

Alcalinidad						
Estacion	Tipo de resultado	Coordenadas		Altitud	Unidad de medida	Resultados
M-1	Muestra	Oeste:	76°59'23"	38.967585	mg/l	500
		Sur:	12°06'08"			

Acidez						
Estacion	Tipo de resultado	Coordenadas		Altitud	Unidad de medida	Resultados
M-1	Muestra	Oeste:	76°59'23"	38.967585	mg/l	1000
		Sur:	12°06'08"			

Humedad						
Estacion	Tipo de resultado	Coordenadas		Altitud	Unidad de medida	Resultados
M-1	Muestra	Oeste:	76°59'23"	38.967585	%	71.4
		Sur:	12°06'08"			

Cenizas						
Estacion	Tipo de resultado	Coordenadas		Altitud	Unidad de medida	Resultados
M-1	Muestra	Oeste:	76°59'23"	38.967585	%	1.51
		Sur:	12°06'08"			

Demanda Bioquímica de Oxigeno						
Estacion	Tipo de resultado	Coordenadas		Altitud	Unidad de medida	Resultados
M-1	Muestra	Oeste:	76°59'23"	38.967585	mg/l	325.15
		Sur:	12°06'08"			

Demanda Química de Oxígeno						
Estacion	Tipo de resultado	Coordenadas		Altitud	Unidad de medida	Resultados
M-1	Muestra	Oeste:	76°59'23"	38.967585	mg/l	493.15
		Sur:	12°06'08"			

Metodología de Análisis:

APHA-AWWA-WEF (2012)5210B
 Estándar Methods for the examination of water and wastewater. AWWA-1992
 SMEWW-APHA-AWWA 2510 B. (2017)
 SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method.
 APHA-AWWA-WEF (2012) 5210 B
 APHA-AWWA-WEF (2012) 5220 B
 SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012. Solids. Total Suspended
 Solids Dried at 103-105°C.

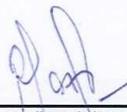
Equipo utilizado:

Código Interno:

Multiparámetro Hanna Edge
 6053633
 espectrofotometro
 6009512
 Mufla
 6009565
 Estufa DAIHAN SCIENTIFIC
 6007386
 Equipo de filtración con bomba al vacío
 06-53628



Hitler Román Pérez
 TÉCNICO EN LABORATORIO DE CALIDAD
 AMBIENTAL



QFB. Rosalbina de la Cruz Davila
 JEFE DE PRACTICAS

Ensayo N° 002 – KS - 2019
 LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA – UCV
 INFORME DE RESULTADOS - MUESTREO DE AGUA

Dirección: Parque la felicidad - San Borja
Tipo de Ensayos: Análisis microbiológico,
Matriz: Agua Residual
Descripción de la Muestra: Lodos activados de aguas residuales
Muestra tomada por: Katia Sucapuca Aguilar
Fecha de ingreso de muestra: 07/05/2019
Lugar donde se realizó el ensayo: Laboratorio de Biotecnología – UCV.

Coliformes Totales (NMP/100mL)

Estación	Tipo de Resultado	Coordenada	Altitud	Unidad de Medida	Resultado
M-1	Muestra	Oeste: 76°59'23" Sur:12°06'08"	38.967585	NMP/100mL	4.8 x 10 ⁵

Coliformes fecales (NMP/100mL)

Estación	Tipo de Resultado	Coordenada	Altitud	Unidad de Medida	Resultado
M-1	Muestra	Oeste: 76°59'23" Sur:12°06'08"	38.967585	NMP/100mL	2.3 x 10 ³

Salmonella

Estación	Tipo de Resultado	Coordenada	Altitud	Unidad de Medida	Resultado
M-1	Muestra	Oeste: 76°59'23" Sur:12°06'08"	38.967585	NMP/100mL	5.8 x 10 ⁴

Pseudomonas sp.

Estación	Tipo de Resultado	Coordenada	Altitud	Unidad de Medida	Resultado
M-1	Muestra	Oeste: 76°59'23" Sur:12°06'08"	38.967585	NMP/100mL	1.8 x 10 ⁴

Metodología de Análisis: Numeración Coliformes Fecales: SM Part 9221 E / 9221 C; 22nd Ed.
 Enumeration of Fecal Coliforms by NMP method Standard Fecal Coliform Procedure.
Equipo Utilizado: Incubadora
Código interno:


 Hitler Román Pérez
 TECNICO EN LABORATORIO DE CALIDAD


 QFB. Rosalbina de la Cruz Davila
 JEFE DE PRACTICAS



Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CALIBRATION CERTIFICATE LMI- PG062-2019

Fecha de emisión: 15/06/2019
Issue date

1.- SOLICITANTE : INVESTIGACIONES ECONÓMICAS EN MINERÍA, ENERGÍA E HIDROCARBUROS S.A.C.

Applicant

Dirección : CAL. LUIS ROMERO NRO. 1050 URB. ROMA, LIMA-LIMA-CERCADO DE LIMA

Address

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: DETECTOR DE GAS POR FOTONIZACIÓN

Measuring Instrument

PHOTONIZACIÓN GAS DETECTOR

Marca : RAE SYSTEMS
Brand

Serie : 110-005446
Serial

Alcance : C4H8-ISOBUTENO(VOC)
Scope

Modelo : MHRAE 2000
Model

Procedencia : USA
Made in

3.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN Calibrado el día 15/06/2019 en el Laboratorio de INVEM S.A.C.

Date and place of calibration

Calibrated on 15/06/2019 in the INVEM S.A.C. Laboratory

4.- MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Calibration method

Método de comparación directa según el procedimiento QI-012" Para la calibración de detectores de gas de uno o más componentes" del Centro Español de Metrología.

Direct comparison method according to QI-012" For the calibration of gas detectors of one or more components" of the Spanish Centre of Metrology.

5.- INSTRUMENTOS / EQUIPOS DE MEDICIÓN Y TRAZABILIDAD

Instruments / Measuring equipment and traceability

Se utilizó un material de referencia (CRM) con N° de lote 206715 y un termohigrómetro con Certificado N° QH- 1812-2016.

Was used Certified reference material (CRM) With Lot N° 206715 and a Thermo-hygrometer with Calibration Certificate N° QH-1812-2016.

6.- RESULTADOS

Results

Los resultados se muestran en la página 02 del presente documento

The results are shown on page 02 of this document

7.- CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Calibration conditions

Temperatura Ambiente
Environment temperature

Humedad Relativa
Relative humidity

Presión Atmosférica
Atmospheric pressure

INICIAL Initial 22,5 °C
FINAL Final 22,5 °C

64,8 %
64,8 %

1000 mbar
1000 mbar

8.- OBSERVACIONES

Observations

La periodicidad de la calibración está en función del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

The frequency of calibration depends on the use, care and maintenance of the measuring instruments.

Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

The results should not be used as a certification of conformity with product standards or how Quality System Certificate of Entity that produce it.



Pág. 1 de 2

Calle Luis Romero N° 1050 – Urb. Roma – Cercado de Lima
Central Telefónica: (01) 686 1292
E-mail: invemsac@invemsac.com.pe
www.invemsac.com.pe



Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CALIBRATION CERTIFICATE

LMI - PG063-2019

Fecha de emisión: 15/04/2019
Issue date

9.- RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN CALIBRATION RESULTS

1er Punto de calibración

N°	TIPO DE GAS GAS TYPE	CONVENCIONALMENTE VERDADERA(ppm) CONVENTIONALLY TRUE	MEDIDA ENCONTRADA (ppm) FOUND MEASURE (ppm)	CORRECCION(ppm) CORRECTION(ppm)	INCERTIDUMBRES(ppm) UNCERTAINTY (ppm)
1	C4H8	0.0	0.0	0.0	2

2er Punto de calibración

N°	TIPO DE GAS GAS TYPE	CONVENCIONALMENTE VERDADERA(ppm) CONVENTIONALLY TRUE	MEDIDA ENCONTRADA (ppm) FOUND MEASURE (ppm)	CORRECCION(ppm) CORRECTION(ppm)	INCERTIDUMBRES(ppm) UNCERTAINTY (ppm)
1	C4H8	100.0	103.1	-3.1	2



FIN DEL DOCUMENTO
END OF DOCUMENT

Pág. 2 de 2

Calle Luis Romero N° 1050 – Urb. Roma – Cercado de Lima
Central Telefónica: (01) 688 1292
E-mail: invemsac@invemsac.com.pe
www.invemsac.com.pe

Instrument Quality Certificate

Instrument: HI5521
Serial No: F0106342

Factory Calibration: 5/19/2016
Software version: 1.0

Description: pH/Conductivity Bench Meter

Hanna Instruments certifies that this Instrument has been produced, calibrated and tested to meet all applicable Hanna Procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally acceptable national physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO9001.

Standard Materials: EC/TDS: SRM 2201, SRM 2202 [NIST]
 pH: 185h, 186h, 187e, 189c, 191d, 2193a [NIST]
Reference Devices: NIST Certified Thermometer set, Water Bath, SIM TP8427
Supplied with probes: HI 76312, HI1131B, HI7662
Tests performed using reference devices

Temperature (simulated) **Passed**

Ref. Temp [°C]	0.0	25°C	50°C	100°C
Tolerance [°C]	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1
Reading Ch1 [°C]	0.0	25.0	50.0	100.0
Reading Ch2 [°C]	0.0	25.1	50.1	100.0

mV (simulated) **Passed**

Ref [mV]	-1800	-1000	-177.5	0	177.5	1000	1800
Tolerance [mV]			±0.2				
Reading Ch1 [mV]	-1799.9	-1000.1	-177.6	0	177.4	999.9	1799.8

EC (simulated) **Passed**

Ref EC	10.00µS	1.000mS	10.00mS	100.0mS	500.0mS
Tolerance	±0.04	±0.004	±0.04	±0.4	±4
Reading Ch2:	9.97	0.998	9.93	100	499

Tests performed using supplied probes, according to specifications

Temperature **Passed**

Ref. Temp [°C]	5.2	24.1	55.7
Tolerance [°C]	±0.2	±0.2	±0.2
Reading Ch1 [°C]	5.0	24.2	55.8
Reading Ch2 [°C]	4.9	24.2	55.8

EC @ 25° **Passed**

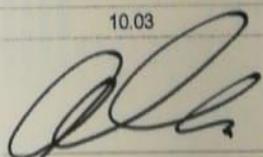
Ref EC [µS/cm]	0.00	1413	12880
Tolerance [µS/cm]		± 1% of reading	
Reading [µS/cm]	0	1414	12880

PH @ 25°C **Passed**

Ref pH	4.01	7.01	10.01
Tolerance [pH]		± 0.05 pH	
Reading Ch1 [pH]	3.99	7.02	10.03

*All references are periodically checked and are used only if certified.
 Quality control and testing have been met.*

Inspector: Luz Zapata
Date: 5/24/2016

Approval: 
 Production Manager

Electrode Quality Certificate

Electrode: HI11310	Parameter: pH/Temperature	SN: 036734	Firmware: 1.04	Recommended for: HI2020
-----------------------	------------------------------	---------------	-------------------	----------------------------

Description: Digital, glass body, double junction, pH/temperature electrode

Hanna Instruments certifies that this electrode has been produced, calibrated and tested to meet all applicable Hanna procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally acceptable national physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO 9001.

Standard Reference Materials:	pH:	185h, 186g, 187e, 189c, 191d, 2193a [NIST]
External/Internal reference devices*:	°C:	NT0-031 [NIST Certified Thermometers Set]
	KΩ/MΩ:	SN#148047ADH [Megohmmeter]

Tests performed using reference devices:

mV (@ 25 °C):	Offset (7.01 pH) [mV]:	0.0	
	Tolerance [mV]:	± 5	
	Reading [mV]:	-3.0	PASSED
	Slope (4.01 pH) [mV]:	177.5	
	Tolerance [mV]:	170.4 - 177.5	
mV response time (4.01 pH → 7.01 pH)***:	Reading [mV]**:	175.7	PASSED
	Standard time [s]:	< 1	PASSED
Temperature:	Tolerance [s]:	+ 1	
	Ref. Temp. [°C]:	5.0 25.0 50.0	
	Tolerance [°C]:	± 0.4 ± 0.4 ± 0.4	
	Readings [°C]:	5.0 25.0 50.1	PASSED
Temperature response time (25 °C → 50 °C)***:	Standard time [s]:	< 45	
	Tolerance [s]:	+ 10	
	Reading [s]:	25	PASSED
Glass impedance (@ 25 °C):	Tolerance [MΩ]:	100 - 300	PASSED
Reference impedance (@ 25 °C):	Maximum value [KΩ]:	10	PASSED

**) All references are periodically checked and are used only if are inside certification interval; NP = not performed.*

****) Offset compensated.*

****) Evaluated for 90 % of step.*

Quality control and testing criteria have been met.

Date: 2016-09-23 Inspector: Jarca Vestița / Engineer

(Name / Title of Signatory)

Signature: _____