



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Eficiencia en un biofiltro percolador a base de poliuretano y compost para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio, 2018

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Ambiental

**AUTOR:**

Villalobos Vicente, Marcelo Octavio

**ASESOR:**

MSc. Cermeño Castromonte, Cecilia Libia

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LIMA- PERÚ**

2018

## **Página del Jurado**

## **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico a mi Madre Regina Juana Vicente Campos, por darme las fuerzas para seguir adelante y por enseñarme a nunca rendirme. A mi padre Marcelo Villalobos Sánchez y a mi abuela Luisa Campos Nolasco, que desde el cielo guían cada uno de mis pasos y me protegen, a mis hermanas y hermanos por apoyarme en todo momento, por su comprensión, sus consejos y por su cariño incondicional.

## **Agradecimiento**

A mi madre Regina Juana Vicente Campos por darme todo su apoyo durante mi etapa de formación universitaria y enseñarme a nunca rendirme a pesar de las distintas adversidades que se presentan en la vida, a mi tío Juan Vicente Campos por apoyarme y aconsejarme a seguir adelante con mis estudios, a mis hermanos y hermanas Verónica, Vanessa, César y José, que siempre me apoyaron y aconsejaron para bien, a mis abuelos Herlinda y Gregorio; a mis primos José y Sergio que son como mis hermanos, gracias por estar conmigo en todo este tiempo y aconsejarme para bien.

A mis maestros de la Universidad César Vallejo que durante todos estos ciclos de preparación y formación universitaria me brindaran su conocimiento y su apoyo constante, en especial a los docentes que me enseñaron a amar con pasión la carrera de Ingeniería Ambiental, un agradecimiento especial a la Docente Biol. Alicia Cañari, Miranda y a la Docente Q, F. Rosalvina De la cruz Ávila que me guiaron en esta última etapa con sus sabios conocimientos para poder realizar esta investigación, a la profesora Mg. Biol. Ana Paucar Retuerto que se convirtió en mi guía profesional y me demostró lo importante que es enfocarnos a buscar un desarrollo con un enfoque social.

Al Dr. Jave Nakayo quien fue mi asesor durante el proyecto de investigación y quien me impartió sus sabios conocimientos, y un especial agradecimiento a la Mg. Cecilia Cermeño quien se convirtió en mi asesora en el desarrollo de la investigación, infinitamente agradecido por su exigencia y su dedicación en su labor como docente, finalmente agradecer a mi centro de labores Alternativa: Centro de Investigación Social y Educación Popular a cargo de la Arq. Sonia Rodríguez Chávez por su comprensión y sus consejos para poder culminar con éxitos mi carrera y a todo el equipo del departamento de desarrollo territorial y medio ambiente: Jhonny Palomares, Mariella Medina y Simon Laflamme.

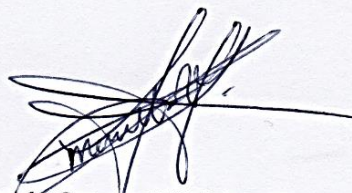
## Declaratoria de Autenticidad

Yo **Marcelo Octavio Villalobos Vicente** con DNI N° 47481672, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima 15 de diciembre del 2018



Marcelo Octavio Villalobos Vicente

DNI N° 47481672

## **Presentación**

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada: **EFICIENCIA EN UN BIOFILTRO PERCOLADOR A BASE DE POLIURETANO Y COMPOST PARA REDUCIR BENCENO EN EL AIRE BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO, 2018**, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Marcelo Octavio Villalobos Vicente

## Índice

Página del Jurado.....	ii
Dedicatoria .....	iii
Declaratoria de Autenticidad.....	iv
Agradecimiento .....	v
Presentación.....	vi
Índice.....	vii
Resumen .....	xiv
Abstract.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Realidad problemática .....	3
1.2 Trabajos previos .....	7
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	19
1.3.1 Componentes Orgánicos Volátiles (COV's).....	19
1.3.1.1 Clasificación de los Compuestos Orgánicos Volátiles .....	19
1.3.2 Fuentes de emisión atmosférica. ....	20
1.3.3 El benceno: propiedades físicas y químicas. ....	20
1.3.4 Toxicología del Benceno. ....	21
1.3.4.1 Toxicología del Benceno. ....	22
1.3.4.2 Efectos en el medio ambiente .....	23
1.3.5 Biotecnología.....	23
1.3.6 Tratamiento Biológicos .....	24
1.3.6.1 Biofiltro de lecho fijo.....	25
1.3.6.2 Biolavador .....	26
1.3.6.3 Biofiltro percolador .....	26
1.3.7 Propiedades físicas de los materiales de soporte. ....	27
1.3.7.1 Volumen aparente.....	28
1.3.7.2 Porosidad.....	28
1.3.8 Características Microbiológicas.....	29
1.3.8.1 Inóculo.....	29
1.3.8.2 pH.....	30
1.3.8.3 Temperatura.....	31
1.3.8.4 Nutrientes .....	31
1.3.8.5 Número aproximado de bacterias .....	31
1.3.9 Condiciones de operación del biofiltro .....	32
1.3.9.1 Temperatura.....	32
1.3.9.2 pH.....	32

1.3.9.3	Humedad .....	33
1.3.9.4	Presión .....	33
1.3.9.5	Flujo de gas .....	33
1.3.9.6	Tiempo de residencia del gas .....	33
1.3.10	Parámetros de rendimiento del biofiltro.....	34
1.3.10.1	Carga del contaminante .....	34
1.3.10.2	Capacidad de Eliminación (CE).....	34
1.3.10.3	Eficiencia de Eliminación (ER) .....	34
1.3.11	Diseño del biofiltro.....	35
1.4	Formulación del problema.....	37
1.4.1	Problema general .....	37
1.4.2	Problema específico.....	37
1.5	Justificación del estudio .....	37
1.5.1	Social.....	38
1.5.2	Ambiental .....	38
1.5.3	Económica.....	39
1.6	Hipótesis.....	39
1.6.1	Hipótesis general .....	39
1.6.2	Hipótesis específicas.....	39
1.7	Objetivos .....	40
1.7.1	Objetivo general .....	40
1.7.2	Objetivos específicos .....	40
II.	MÉTODO .....	41
2.1.	Diseño de la investigación .....	41
2.2.	Variable y definición operacional.....	43
2.3.	Población y muestra .....	44
2.3.1.	Población.....	44
2.3.2.	Muestra.....	44
2.3.3.	Muestreo.....	45
2.4.	Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	47
2.4.1.	Materiales y equipos utilizados en el experimento .....	47
2.4.2.	Descripción del procedimiento .....	48
2.4.3.	Técnica .....	54
2.4.4.	Instrumentos .....	54
2.4.5.	Validación y confiabilidad de instrumentos.....	55
2.5.	Método de Análisis.....	56
2.5.1.	Método de recojo de datos.....	56
2.5.2.	Método de procesamiento de datos.....	57



2.6. Método de procesamiento de datos.....	59
III. Resultados .....	60
3.1 Incubación y adaptación del inóculo.....	60
3.2 Proceso de inoculación .....	65
3.3 Operación del biofiltro y recolección de datos.....	65
IV. Discusión .....	88
V. CONCLUSIONES .....	91
VI. RECOMENDACIONES .....	93
Referencias Bibliográficas .....	94
ANEXOS .....	104

## Índice de Tablas

<b>Tabla N° 1.</b> Concentración de COV'S en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el ambiente durante 4 horas de exposición.....	5
<b>Tabla N° 2.</b> Límites Permisibles de exposición ocupacional TWA y STEL .....	6
<b>Tabla N° 3.</b> Clasificación de los COV's según la organización mundial de la salud .....	20
<b>Tabla N° 4.</b> Propiedades físicas y químicas del Benceno .....	21
<b>Tabla N° 5.</b> Actividades y usos industriales generadoras de Benceno .....	22
<b>Tabla N° 6.</b> Patrones en la Escala de McFarland para determinar el número aproximado de bacterias. ....	32
<b>Tabla N° 7.</b> Definición de parámetros de rendimiento para un biofiltro percolador .....	35
<b>Tabla N° 8.</b> Cálculos para el diseño de un Biofiltro .....	36
<b>Tabla N° 9.</b> Matriz de operacionalización de la variable independiente .....	43
<b>Tabla N° 10.</b> Matriz de operacionalización de la variable dependiente .....	44
<b>Tabla N° 11.</b> Puntos de ubicación de la unidad experimental .....	47
<b>Tabla N° 12.</b> Condiciones de operación para el biofiltro .....	53
<b>Tabla N° 13.</b> Técnica e instrumentos de recolección de datos .....	55
<b>Tabla N° 14.</b> Datos Generales de Especialistas .....	55
<b>Tabla N° 15.</b> Validación de Instrumentos .....	56
<b>Tabla N° 16.</b> Datos iniciales de incubación de la cepa de <i>Pseudomona aeruginosa</i> .....	60
<b>Tabla N° 17.</b> Resultados de pH y temperatura durante la adaptación del inóculo.....	61
<b>Tabla N° 18.</b> Resultados de absorbancia obtenidos en la preparación de la escala de McFarland .....	63
<b>Tabla N° 19.</b> Resultados de la curva de crecimiento bacteriano mediante la escala de McFarland .....	64
<b>Tabla N° 20.</b> Resultados de las propiedades físicas de los materiales de soporte .....	65
<b>Tabla N° 21.</b> Resultados de concentración de benceno en el Biofiltro a base de Poliuretano .....	66
<b>Tabla N° 22.</b> Resultados de CE y ER de benceno en el Biofiltro a base de Poliuretano. ....	66
<b>Tabla N° 23.</b> Resultados de condiciones de operación en el Biofiltro a base de Poliuretano. ....	67
<b>Tabla N° 24.</b> Resultados de concentración de benceno en el Biofiltro a base de Compost. ....	68
<b>Tabla N° 25.</b> Resultados de CE y ER en el Biofiltro a base de Compost.....	68
<b>Tabla N° 26.</b> Resultados de condiciones de operación en el Biofiltro a base de Compost.....	69
<b>Tabla N° 27.</b> Prueba de normalidad de la concentración de benceno (ppm) inicial y final- Tratamiento N°1 Biofiltro a base de poliuretano. ....	70
<b>Tabla N° 28.</b> Prueba de T-Student concentración de benceno inicial y final-Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano).....	71
<b>Tabla N° 29.</b> Prueba de normalidad de la concentración de benceno (ppm) inicial y final-	

Tratamiento N°2 Biofiltro a base de compost.....	72
<b>Tabla N° 30.</b> Prueba de T-Student concentración de benceno inicial y final-Tratamiento N°2 (Biofiltro a base de poliuretano).....	73
<b>Tabla N° 31.</b> Prueba de normalidad sobre la concentración final(Cf)-Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost). ....	74
<b>Tabla N° 32.</b> Prueba de T-Student concentración de (Cf)-Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost) .....	75
<b>Tabla N° 33.</b> Prueba de normalidad para la humedad (%) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost).....	77
<b>Tabla N° 34.</b> Prueba de T-student para la humedad (%) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost).....	78
<b>Tabla N° 35.</b> Prueba de normalidad para la temperatura (° C) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost).....	80
<b>Tabla N° 36.</b> Prueba de T-student para la temperatura (° C) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost).....	81
<b>Tabla N° 37.</b> Prueba de normalidad para el Potencial de hidrogeno (pH) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost). ....	83
<b>Tabla N° 38.</b> Prueba de T-student para el pH - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost) .....	84
<b>Tabla N° 39.</b> Prueba de normalidad para la presión (Bar) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost).....	86
<b>Tabla N° 40.</b> Prueba de U de Mann Whitney para la presión (Bar)- Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost) .....	86

## Índice de figuras

Figura N° 1. Aplicación de las distintas tecnologías de tratamiento de emisiones gaseosas.....	24
Figura N° 2. Sistema de biofiltración con lecho fijo con humidificador .....	25
Figura N° 3. Representación esquemática de un biolavador .....	26
Figura N° 4. Esquema de un biofiltro percolador .....	27
Figura N° 5. Mecanismo de la biofiltración .....	29
Figura N° 6. Nutrientes requeridos por los microorganismos.....	31
Figura N° 7. Incubación de la <i>Pseudomona aeruginosa</i> y Preparación de Inoculo .....	45
Figura N° 8. Adaptación del inoculo en los biorreactores y Recolección de datos para determinar las características microbiológicas .....	46
Figura N° 9. Diagrama de Puntos de muestreo en el sistema de Biofiltros Percoladores para la recolección de Datos .....	46
Figura N° 10. Diagrama del proceso de Incubación y Adaptación del inóculo .....	49
Figura N° 11. Diagrama de flujo del proceso de inoculación .....	52
Figura N° 12. Diagrama de Procesamiento y discusión de resultados .....	53
Figura N° 13. Comportamiento de la temperatura vs los días de adaptación del inoculo. ....	61
Figura N° 14. Comportamiento del pH vs los días de adaptación de 1500 ml del inoculo. ....	62
Figura N° 15. Curva Estándar de Patrones en la Escala de McFarland.....	63
Figura N° 16. Curva de crecimiento en $10^8$ UCF/ml vs Días de adaptación.....	64
Figura N° 17. Eficiencia de remoción tratamiento N°1 .....	67
Figura N° 18. Eficiencia de remoción tratamiento N°2 .....	69

## Índice de anexos

ANEXO N° 1. Matriz de consistencia.....	105
ANEXO N° 2. Ficha de Recolección de Datos y Condiciones de Operación del Biofiltro.....	106
ANEXO N° 3. Ficha de Recolección de Datos para la Adaptación del Inoculo .....	107
ANEXO N° 4. Diseño del Biofiltro Percolador a Escala de Laboratorio.....	108
ANEXO N° 5. Mapa de Ubicación de la Unidad Experimental .....	109
ANEXO N° 6. Proceso de incubación y preparación del inoculo de la cepa de la bacteria .....	110
ANEXO N° 7. Preparación de la solución patrón para la Escala de McFarland .....	111
ANEXO N° 8. Inoculación del material de soporte.....	112
ANEXO N° 9. Operación del Biofiltro y recolección de datos .....	113
ANEXO N° 10. Fichas de validación de instrumentos .....	114
ANEXO N° 11. Certificado de calibración de MiniRae-200.....	123
ANEXO N° 12. Informe de ensayo de laboratorio .....	125
ANEXO N° 13. Acta de aprobación de originalidad de tesis .....	128
ANEXO N° 14. Turnitin .....	129
ANEXO N° 15. Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV.....	130
ANEXO N° 16. Autorización de la versión final del trabajo de investigación .....	131

## Resumen

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo general evaluar la eficiencia de dos biofiltro a base de poliuretano (material de soporte sintético) y compost (material soporte orgánico), para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio, para ello dichos materiales de soporte fueron inoculados con una comunidad microbiana de *Pseudomona, aeruginosa*, que previamente fue adaptada a concentraciones de 0,5 ml de benceno cada dos días, durante un periodo de 20 días, con la finalidad de facilitar su acondicionamiento al contaminante, al mismo tiempo fue adherido solución nutritiva en base a micro y macronutrientes, y simultáneamente se diseñó un banco a escala de laboratorio para tratar un volumen de 0.006 m<sup>3</sup> de aire contaminado. Dicho sistema constó de dos torres de filtro de acrílico que funcionaron en forma paralela, y de manera continua durante 12 días de operación. Además, se realizaron las mediciones de la concentración del benceno cada dos días a la entrada y a la salida del sistema de biofiltros, mediante el equipo medidor de COV's Mini RAE 2000. La confiabilidad de la investigación fue aplicada, con un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo con un diseño de investigación experimental, en donde se realizó una pre y pos prueba, durante los 12 días de operación del sistema. En los resultados, se determinó que la eficiencia de remoción (ER) de la concentración de benceno en la corriente de aire mediante la aplicación del tratamiento N°1 (biofiltro a base de poliuretano), se alcanzó valores máximos de ER de 73.06, 64.00 y 36.61%; para concentraciones a la entrada de 45.36, 32.5 y 11.2 ppm respectivamente y la ER que se alcanzó aplicando el tratamiento N°2 (biofiltro a base de compost), se logró valores máximos de ER de 80.51, 63.13 y 70.09% para concentraciones a la entrada de 11.8, 10.9 y 8.80 ppm respectivamente. Se concluye que, en la presente investigación, el material con mayor eficiencia promedio para la remoción de benceno en un biofiltro de tipo percolador es el compost, ya que permite alcanzar remoción del contaminante en más del 50%, en comparación al 40% de ER promedio alcanzado por el biofiltro a base de poliuretano.

**Palabras claves:** Biofiltro Percolador, *Pseudomona Aeruginosa*, eficiencia de remoción y capacidad de remoción.

## Abstract

The present work's has as its general objective to evaluate the efficiency of two biofilters; based on polyurethane (synthetic support material) and compost (organic support material), to reduce benzene in air under laboratory conditions. Both materials were inoculated with a microbial colony of *Pseudomona aeruginosa* previously exposed to concentrations of 0,5 ml of benzene every other day, during 20 days, to allow acclimation to the contaminant. A micro- and macronutrients-based solution was applied simultaneously, while a laboratory-scaled bank setup allowed treatment of 0.006 m<sup>3</sup> of contaminated air. This setup was composed of two acrylic filter towers working in parallel and operating without interruption for 12 days. Benzene concentration was measured every two days at the entrance and exit of the biofilter system, using COV's Mini RAE 2000 measuring equipment. The present research is applied, with a quantitative approach, of an explanatory level with an experimental research design, where a pre and post test is carried out, during the 12 days of operation of the system. Results indicate that the benzene Removal Efficiency (RE) reached maximum values of 73.06, 64.00 and 36.61% under the polyerutane-based biofilter treatment (concentration inputs of 45.36, 32.5 and 11.2 ppm respectively), whereas RE maximum values were of 80.51, 63.13 and 70.09% under the compost-based biofilter treatment (concentration inputs of 11.8, 10.9 and 8.80 ppm respectively). In conclusion, the compost-based biofilter proved to be the most efficient percolating type of biofilter for removing benzene, as it yielded RE above 50%, compared to an average of 40% for the polyurethane-based biofilter.

**Keywords:** Percolating biofilter, *Pseudomona aeruginosa*, removal efficiency, removal capacity.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas en la actualidad, debido a los distintos factores de origen antropogénicos que se generan en los diversos procesos de las actividades industriales, las cuales emiten directamente sustancias contaminantes, dentro de los cuales encontramos a los gases tóxicos, que ocasionan un deterioro en la calidad del aire; conllevando a generar serios impactos en el ambiente, así como ocasionando enfermedades directas a la población.

Dentro de los contaminantes atmosféricos se encuentran el gaseoso y el material particulado, siendo los contaminantes gaseosos los que más pueden ocasionar graves problemas no solo de tipo ambiental, ya que son precursores del smog fotoquímico sino también ser causantes de afecciones a la salud por su alto grado de toxicidad, con consecuencias en el sistema nervioso y por su alto potencial cancerígeno, ya que pueden dañar a los riñones e hígado, si se está expuesto a altas concentraciones por un espacio de tiempo prolongado. (AGUDELO, 2015, p.15)

Los compuestos orgánicos volátiles (COV's), como el benceno, etilbenceno, tolueno y xileno, denominados BETEX por sus siglas, son compuestos que son emitidos directamente al ambiente por las distintas industrias químicas, además son componentes principales de los combustibles, asimismo se encuentran presentes en la industria de pintura como elementos constituyentes de los barnices, lacas y disolventes.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica al benceno como un compuesto cancerígeno, ya que la exposición directa y prolongada puede producir leucemia y cáncer al colón; el tolueno puede ocasionar irritación ocular, cansancio, náuseas hasta tener efectos cancerígenos; el xileno ocasiona vértigos, amnesia, sequedad en la piel y confusión (GONZÁLES, 2012, pp.107-108).

Como se expuso en el párrafo anterior dichos compuestos son altamente tóxicos por esta razón se deben de optar por tratamientos que permitan reducir y mitigar sus efectos antes de ser emitidos a la atmosfera.



La Biotecnología permite tratar problemas ambientales con la aplicación de microorganismos mejorados y/o controlados, es por ello que el tratamiento mediante la biofiltración para la reducción de compuestos contaminantes y olores es muy utilizada en procesos de descontaminación de aguas, pero cabe resaltar que esta nueva tecnología hoy en día ha ampliado su aplicación y se está apostando por ser utilizada para la reducción de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en el aire y viene siendo aplicada a nivel internacional en las industrias, ya que permite ahorrar costos vinculados a la energía, debido a que implica un proceso biológico, y que permite reducir y mitigar las emisiones directas a la atmósfera, ya que se ha obtenido reducciones eficaces de contaminantes gaseosos (PÉREZ, 2012, p. 16).

Sin embargo, el operar de los sistemas de biofiltración requiere de consideraciones importantes dentro de los mismos, ya que implica tener en cuenta las condiciones que se requieren generar para el sostenimiento y capacidad de biodegradar los COV's de los microorganismos, mediante su metabolización, es por ellos que se tiene que tener en cuenta factores importantes dentro del sistema como temperatura, presión, humedad y pH, así como depende en gran medida del tipo de material de soporte para mantener constante la capacidad de eliminación del contaminante (VALERO, 2016, p.3). En tal sentido, la presente investigación propone una nueva alternativa de solución para la reducción y mitigación de la concentración de Benceno en el aire mediante la aplicación de un biofiltro de tipo percolador a escala de laboratorio, es por ello, que mediante el planteamiento de hipótesis de investigación se logró alcanzar los objetivos en el desarrollo de proceso de experimentación.

Esta investigación consta de tres capítulos, donde el capítulo I, se plantea el problema de investigación, se realiza la teoría relacionada al tema de investigación, justificación, planteamiento de hipótesis y objetivos, continuando con el capítulo II, muestra una secuencia metodológica para la realización del mismo, mediante la operacionalización de las variables de estudio, así mismo se explica en detalle la secuencia del proceso de experimentación y las distintas técnicas realizadas para la toma de muestras y finalmente se concluye con el capítulo III, donde se realiza la discusión de los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones, acotando en las posibles errores que se cometieron y los cuales sirvan de experiencia para futuras investigaciones

## 1.1 Realidad problemática

La Organización Mundial de la Salud (OMS) organismo perteneciente a las Naciones Unidas, manifiesta que la calidad de aire:

[...] es un requisito básico de la salud y el bienestar humanos. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo. Según una evaluación de la OMS de la carga de enfermedad debida a la contaminación del aire, son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (producida por la quema de combustibles sólidos). Más de la mitad de esta carga de enfermedad recae en las poblaciones de los países en desarrollo. (2005, p.3).

El Ministerio del Ambiente (MINAM) sostiene que la contaminación ambiental es producida principalmente por el deterioro de la calidad del aire, este es un problema constante en ciudades como Lima por las distintas fuentes de emisión de contaminantes (fijos y móviles). Además, se indica que el parque automotor tiene una relación directa con el incremento de la contaminación en el aire, debido a que en los últimos años el aumento del parque automotor significó el incremento de la combustión de hidrocarburos que afectan directamente a la atmosfera. (2011, p. 24).

De igual manera, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) manifiesta que el mayor problema que afecta a Lima Metropolitana son las elevadas concentraciones de material particulado con diámetro menor a 10 micras, en el 2011, los estudios determinaron que en el distrito de Ate se superó los estándares de calidad ambiental (ECA) hasta en 48 veces en cuanto a los valores aceptables.

Asimismo, se registraron valores elevados de  $\text{NO}_2$  que guardan relación con el incremento del parque automotor, aunque no se supera los ECA's. Por último, se registraron valores menores de concentraciones para el  $\text{O}_3$  y el  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , esto debido a la posibilidad del uso de combustibles que cumplan con los estándares de seguridad ambiental. (2011, p.1).

COLMAN, *et al.* (2011) sostiene que los COV's son un grupo particular de contaminantes en el aire, debido a que estos compuestos generan afecciones a la salud de las personas, por

su alto nivel de toxicidad, ya que logran irritan las fosas nasales, generando alteraciones al sistema nervioso y al funcionamiento pulmonar, así como alergias. Incluso se les considera con alta potencialidad cancerígena como el benceno y el percloroetileno (p. 83).

RIVEROS (2017) menciona al respecto que en la industria de pinturas “[...] el total de emisiones de COV’s por la producción de pinturas en el año 2015 en una empresa local estudiada fue de 8801 Tn/Año siendo las pinturas alquídicas a base de solventes orgánicos las que generan mayor volumen de emisiones de COV’s (equivalente a casi 50% del total), seguidas de las lacas celulósicas que contribuyen con 32% de emisiones” (p. 2).

Uno de los principales problemas identificados en las distintas industrias (químicas, pinturas, estaciones de combustibles, acabados de muebles de madera e industria flexográfica), son los impactos negativos tanto ambientales como ocupacionales, que se producen en los ambientes laborales en espacios cerrados los cuales son considerados como fuentes fijas de emisión de contaminantes de tipo gaseoso.

Por ejemplo los disolventes orgánicos son empleados asiduamente en el recubrimiento decorativo de la madera: forman parte de la composición química de los productos aplicados, funcionan como diluyentes y son utilizados en las operaciones de limpieza de los utensilios de aplicación en ambientes cerrados. Los materiales utilizados durante el proceso de acabo en la industria de muebles de madera (lacas, barnices, disolventes, resinas, etc.) mantienen dentro de su composición COV’s como el benceno, que son emitidos directamente en los ambientes laborales que muchas veces son espacios cerrados y son emitidos hacia la atmosfera durante los procesos de acabado y en los cuales los trabajadores son expuestos durante las horas de trabajo a altas tasas de concentración de contaminantes de tipo gaseoso.

GALLEGOS (2010) en su estudio a nivel ocupacional en ambientes de trabajos de acabados de muebles en Colombia nos demuestra mediante datos representados en la Tabla N°1, que los trabajadores se encuentran expuestos a niveles de concentración de Benceno muy alto durante las distintas jornadas de trabajos alcanzando a nivel ambiental concentraciones de 15, 28 y hasta 63  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para periodos de exposición de 4 horas y a nivel alveolar concentraciones de 4, 25 y 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante el mismo periodo, claramente estas concentraciones superan los niveles recomendados en la normativa vigente.

**Tabla N° 1.** Concentración de COV'S en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el ambiente durante 4 horas de exposición

	Trabajador 8		Trabajador 9		Trabajador 12	
	Ambiental	Alveolar	Ambiental	Alveolar	Ambiental	Alveolar
2-Butanona	2024	340	206	37	112	18
Acetato de Etilo	1143	186	8891	1517	24445	4209
Acetato de Isopropilo	20	4	279	56	211	43
Isobutil Metil Cetona	118	21	301	54	561	97
Acetato de Isobutilo	8	1	2711	530	4265	832
Acetato de n-butilo	2112	347	32300	5195	51112	8043
Acetato de 1-metoxi-2-propilo	946	152	110	20	85	17
Acetato de 2-etoxietilo	0	0	98	20	45	9
Metil Ter-butyl Eter	16	2	956	205	926	199
Benceno	15	4	28	25	63	19
Tolueno	2257	1229	15257	7881	23799	12020
(m+p) Xileno	2451	1136	11864	5026	15330	6894
o-Xileno	4799	2989	22296	8071	25184	11928
Etilbenceno	789	324	4540	912	5710	919
Propilbenceno	124	25	15	3	17	3
Estireno	40	8	0	0	0	0
1,3,5-Trimetilbenceno	187	71	26	10	30	12
1,2,4-Trimetilbenceno	988	364	81	32	90	35

Fuente: adaptado de Gallegos (2010)

En el Perú en la actualidad solo se encuentra establecido dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para Aires (ECA- DS N°003-2017-MINAM), valores para COV's, como el benceno, los cuales establecen  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (media aritmética anual), el cual es uno de los principales componentes de los solventes, barnices, resinas y pinturas utilizadas en la industria de fabricación de pinturas y utilizados en el acabado de muebles de madera, así mismos también se componen de benceno, tolueno, etilbenceno y xileno los denominados BTEX, siendo emitidos directamente al ambiente sin tomar en cuenta medidas de mitigación y control.

A nivel de la salud ocupacional la entidad encargada es la Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral (SUNAFIL), entidad circunscrita al Ministerio de Trabajo y

Promoción del Empleo, la cual regula el nivel de concentración de las sustancias químicas apto dentro de los ambientes laborales y que dichos límites se encuentran establecidos en Reglamento sobre valores límites permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo (DS- 05-2005-SA). Ver tabla N° 2.

**Tabla N° 2. Límites Permisibles de exposición ocupacional TWA y STEL**  
*Existentes en el Perú.*

AGENTE QUÍMICO	LÍMITES ADOPTADOS			
	TWA		STEL	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Acetato de n-butilo	150	713	200	950
Acetato de etilo	400	1441		
Alcohol isopropílico	200	491	400	983
Alcohol metílico	200	262	250	328
Tolueno	50	188		
Xileno (Mezcla de isómeros)	100	434	150	651
Octano	300	1401		
Naftaleno	10	52	15	79
Etilbenceno	100	434	125	543
Estireno (monómero)	20	85	40	170
Aguarrás	20	111		
Acetona	500	1187	750	1781
Benceno	0,5	1,6		

\*TWA: Concentración promedio ponderada en relación con el tiempo, por sus siglas en inglés.

\*STEL: Límite de exposición a corto plazo, por sus siglas en inglés.

Fuente: Adaptado de MINSAs (2005)

En otros países de Europa y Latinoamérica, tal como: Colombia, Ecuador, Chile y Brasil, existe dentro de su normativa de calidad ambiental valores límites establecidos para el control de los distintos COV's (Tolueno, Xileno, etc), sin embargo, en el Perú, actualmente no existen estudios que permitan corroborar datos acerca de la contaminación por compuestos orgánicos volátiles (COV's), ya que son pocos estudiados, solo existen inventarios a nivel industrial, enfocados a la industria minera, sin tener datos específicos en la industria de pinturas y solventes (RIVEROS, 2017, p.25-26).

Finalmente, es necesario investigar nuevas alternativas ambientalmente sostenibles que permitan un control de los contaminantes como el benceno para mitigar sus efectos, por ello nace la necesidad de plantear nuevos sistemas de control y mitigación de contaminantes gaseosos en ambientes laborales cerrados, mediante la biotecnología con el uso de biofiltros, para ello es necesario realizar estudios a escala que nos permitan contribuir al perfeccionamiento de la eficacia de los distintos materiales de soporte que se utilicen en dicho sistema para la reducción de COV's como el benceno entre otros.

## 1.2 Trabajos previos

**RENE, E. [et al]. (2015).** En el artículo científico “Start-up, performance and optimization of a compost biofilter treating gas-phase mixture of benzene and toluene” (Puesta en marcha, rendimiento y optimización de un biofiltro de compost que trata la mezcla en fase gaseosa de benceno y tolueno) se estableció como objetivo general medir la capacidad máxima de eliminación (CE), la eficiencia de remoción (ER) de un biofiltro de compost y la influencia que generó las variables de operación durante su funcionamiento, para ello el autor inoculó el compost con un consorcio microbiano mixto que se perfeccionó para tratar la mezcla gaseosa de COV's, por un período de 18 días. La ER alcanzada como resultado del benceno en la mezcla osciló entre 6.6–41% en comparación al benceno en concentraciones individuales y la eliminación de tolueno en la mezcla se vio aún más afectada según lo observado a partir de las reducciones en la ER, que oscilaron entre el 18.4% y el 76%; la CE fue de 91.2 g/m<sup>3</sup>h con una carga de entrada total de 150.2 g/m<sup>3</sup>h. El autor empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel de explicativo. Finalmente concluye que la influencia que genera la concentración y la velocidad de flujo sobre la ER y la CE se determinan mediante la variación de la concentración de entrada de benceno (0.12-0.95 g/m<sup>3</sup>), tolueno (0.14-1.48 g/m<sup>3</sup>) y velocidad de flujo de gas (0.024-0.072 m<sup>3</sup>/h).

**CHANG, S. [et al]. (2015).** En el artículo científico “Removal of VOCs emitted from p-xylene liquid storage tanks by a full-scale compost biofilter” (Eliminación de compuestos orgánicos volátiles emitidos por tanques de almacenamiento de p-xileno por un biofiltro de compost a gran escala), el objetivo general de la investigación fue determinar la ER de p-xileno en un biofiltro de compost a gran escala (SBC), por sus siglas en inglés, para ello se indica que se construyó tres tanques verticales análogos de p-xileno (p-X) de 7500 m<sup>3</sup> de

volumen total para el SBC. El autor señala como resultado que la ER promedio es de 95.4% por un periodo de 18 meses de operación del llenado de los tanques. Se empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Se concluye que el sistema es una alternativa de control prometedor para el tratamiento de vapores provenientes de líquidos orgánicos, debido de las ventajas en cuanto a su mantenimiento.

**NATARAJAN, R. [et al]. (2017).** En el artículo científico “Biodegradation of ethyl benzene and xylene contaminated air in an up flow mixed culture biofilter” (Biodegradación de etilbenceno y aire contaminado con xileno en un biofiltro de cultivo mixto de flujo ascendente), señalo como objetivo general determinar la CE de etilbenceno y xileno en un biofiltro debido al efecto de la altura del lecho; se realizó un biofiltro continuo para el tratamiento de la mezcla de gases, que contenía cultivo microbiano mixto para intervalos de velocidades de carga de entrada total de 25.0-408.0 g/m<sup>3</sup>h. Se obtuvo como resultado que la CE alcanzada para el etilbenceno y tolueno fue de 85.63 y 63.2 g/m<sup>3</sup>h respectivamente. En este estudio se especificó la eficiencia de eliminación debido al efecto de la altura del lecho y se definió que la contribución para la eliminación de la parte más baja es mayor que las secciones superiores a consecuencia de los diversos patrones de crecimiento de la biomasa. Se empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Finalmente, se comprobó que la liberación de calor durante la biodegradación es un proceso exotérmico y se observó una mejor formación de biopelícula en la parte baja y media de la columna del biofiltro.

**MEHDI AMIN, M. [et al]. (2017).** En su artículo científico “Biodegradation of n-hexane as single pollutant and in a mixture with BTEX in a scoria/compost-based biofilter” (Biodegradación de n- hexano como único contaminante y en una mezcla con BTEX en un biofiltro basado en scoria/compost), el objetivo general del estudio fue evaluar la CE máxima y eficiencia de remoción RE de n-hexano como único contaminante en una mezcla con benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX). Inicialmente, el biofiltro fue alimentado con n-hexano y se obtuvieron como resultado CE máx. de 10.7 y 8.1 g/m<sup>3</sup>h para tasas de carga de entrada (TCE) de 14.0 y 11.6 g/m<sup>3</sup>h 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 g/m<sup>3</sup>h para TCE de 119.1 g/m<sup>3</sup>h

(eficiencia de eliminación del 89%) en comparación con n-hexano en la fase de mezcla. Se empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. 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.

**MOHAMMAD, B. [et al]. (2017).** En su artículo científico “Performance of a thermophilic gas-phase biofilter treating high BTEX loads under steady- and transient-state operation” (Rendimiento de un biofiltro de fase gaseosa termófila que trata altas cargas de BTEX bajo operación de estado estable y transitorio), tuvo como objetivo determinar la CE y la ER de un biofiltro para tratar una mezcla de benceno en fase gaseosa, tolueno, etilbenceno, p-xileno, m-xileno y o-xileno (BTEX), el rendimiento de un biofiltro termófilo (50 °C), se evaluó el estado estable y transitorio. Después de la aclimatación, se obtuvo que las CE de BTEX en estado estacionario oscilaron entre 6 y 360 g/m<sup>3</sup>h, dependiendo de la tasa de carga total de BTEX aplicada (8-978 g/m<sup>3</sup>h). Se empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Se demostró que la biodegradación de BTEX depende de la capacidad de eliminación total del biofiltro. En condiciones de estado estacionario, se notaron mayores ER 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.

**CHENG, Y. [et al]. (2016).** En su artículo científico “Challenges and solutions for biofiltration of hydrophobic volatile organic compounds” (Retos y soluciones para la biofiltración de compuestos orgánicos volátiles hidrofóbicos), la investigación tuvo como objetivo general describir los distintos mecanismos de la eliminación mejorada de COV’s hidrófobos en biofiltros. Se revisaron los mecanismos y problemas relevantes para la eliminación biológica de COV’s hidrófobos, y luego se incluyeron soluciones que incluyen la adición de surfactantes, la aplicación de biocatalizadores fúngicos, la biofiltración con pretratamiento, biorreactores innovadores y la utilización de compuestos hidrófilos se discuten en detalle. El autor empleó la investigación cualitativa, de diseño no experimental y de nivel descriptivo. Finalmente, el autor propuso las futuras necesidades de investigación de los biofiltros. Además, este estudio proporciono nuevos conocimientos sobre la



eliminación hidrofóbica de COV's mediante infiltración.

**CHENG, Z. [et al]. (2016).** En su artículo científico “Treatment of gaseous toluene in three biofilters inoculated with fungi/bacteria: Microbial analysis, performance and starvation response” (Tratamiento de tolueno gaseoso en tres biofiltros inoculados con hongos/bacterias: análisis microbiano, rendimiento y respuesta a la inanición), el objetivo del estudio fue comparar la capacidad de biofiltración por parte de hongos y/o bacterias para la reducción de tolueno en estado estable y no estacionario. Se obtuvo como resultado que el biofiltro fúngico (F-BF) eliminó menos del 20%, los biofiltros bacterianos (B-BF) eliminaron 60% frente a los biofiltros bacterianos y fúngicos (F y B-BF) en 90%. De la misma manera, se demostró mediante el análisis microbiano que las comunidades más ricas estaban presentes en B-BF y F & B-BF, y que el género *Hypocreales* que *Trichoderma viridepertenece* se encontraba mejor representado en F & B-BF. El autor empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Finalmente, se demostró que los F & B-BF presentaron una mayor robustez después de periodos de incubación de 15 días. Se determinó que la combinación de bacterias y hongos resulte más eficaz en la biofiltración de COV's a comparación de sistemas individuales.

**CHENG, Z. [et al]. (2016),** en su artículo científico “A composite microbial agent containing bacterial and fungal species: Optimization of the preparation process, analysis of characteristics, and use in the purification for volatile organic compounds” (Un agente microbiano compuesto que contiene especies bacterianas y fúngicas: optimización del proceso de preparación, análisis de las características y uso en la purificación de compuestos orgánicos volátiles), el presente estudio tuvo por objetivo determinar la CE y RE de un agente microbiano compuesto para la purificación de COV's, para ello se elaboró un agente microbiano compuesto. Se determinó el rendimiento en la eliminación de los gases residuales mezclados (que contienen  $\alpha$ -pineno, acetato de n-butilo y o-xileno). La ER que se obtuvo como resultado durante las 24 horas iniciales y la respuesta a la inanición, la relación óptima de portadores seleccionados (carbón activado, salvado de trigo y serrín) fue de 1: 2: 1. Además en algunos casos, la CE del agente microbiano fue más del doble que la de la suspensión. Se empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Se concluyó que los resultados obtenidos demostraron la eficacia para el tratamiento de gases mezclados, favoreciendo la reducción de pasivos ambientales y una

mejor retención de la actividad microbiana.

**PETRAUSKAITE, E. [et al]. (2017)**, En su artículo científico “Experimental study of droplet biofilter packed with green sphagnum to clean air from volatile organic compounds” (Estudio experimental del biofiltro de gotitas lleno de *sphagnum* verde para limpiar el aire de compuestos orgánicos volátiles), el objetivo en la investigación fue determinar la ER de un biofiltro a escala de laboratorio lleno de carga de esfagno verde para eliminar el xileno como contaminante. Las mediciones que se obtuvieron como resultado se realizaron con el equipo miniRAE en dos etapas durante los primeros 20 y 40 días posteriores al funcionamiento del sistema. El autor empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Se concluyó que la ER que se alcanzó después de 40 días, bajo diferentes concentraciones de 998 mg/m<sup>3</sup>, 805 mg/m<sup>3</sup> y 533 mg/m<sup>3</sup> fue de 79.52%, 88.26% y 93.85%, respectivamente. Finalmente, los cambios de eficiencia dieron una visión clara de que el principal obstáculo en la eficiencia de la limpieza de xileno con biofiltro es principalmente el tiempo y en parte la concentración inicial del contaminante.

**VAIŠKŪNAITĖ. R Y ZAGORSKIS. A (2016)**. En su artículo científico “Modelling of a biofiltration process of volatile organic compound mixtures in a biofilter” (Modelado de un proceso de biofiltración de compuestos orgánicos volátiles mezclados en un biofiltro), 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 ER 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. El autor empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel descriptivo-explicativo. Finalmente, con los parámetros y los contaminantes a eliminar conocidos, se encontró la expresión matemática de la eficiencia del filtro, lo que permitió 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.

**ZHAI, J. [et al]. (2017).** En su artículo científico sobre “A comparative study of bacterial and fungal-bacterial steady-state stages of a biofilter in gaseous toluene removal: performance and microbial community” (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 indicó que el objetivo fue construir un biofiltro de alto rendimiento para la remoción de tolueno, comparar el rendimiento de degradación con el de un biofiltro tradicional, determinar la relación entre la comunidad microbiana y el rendimiento con diferentes parámetros operacionales. Los resultados demostraron que, en comparación con los biofiltros convencionales, la ER y la CE máx. del alto rendimiento, fúngico y bacteriano el biofiltro (F y B-BF) aumentó en un 19.6% y 18 g de tolueno/m<sup>3</sup>h, respectivamente. Se empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. En conclusión se determinó que los valores bajos de pH podrían inhibir adecuadamente el crecimiento bacteriano y progresivamente permitieron que los hongos predominen en la biopelícula, así como el análisis de los datos experimentales mostró que el género fúngico *Phialophora* y el género bacteriano *Alicyclobacillus* desempeñaron un papel clave en la degradación de tolueno y fenol, respectivamente.

**ANTUNEZ, J. [et al]. (2017).** En el artículo científico sobre “Biofiltration of volatile organic compounds of Brazilian gasoline” (Biofiltración de compuestos orgánicos volátiles de gasolina brasileña), el objetivo de la investigación fue determinar la eficiencia de remoción (ER) de biofiltros a escala de laboratorio. Utilizando como materiales de soporte compost con restos de neumáticos. El sistema de biofiltro 1 fue operado con un volumen total de 2.72 L (cuatro columnas) y el biofiltro 2 con 2.04 L (tres columnas) de volumen total. Ambos fueron operados en secuencia, con un flujo de aire de 450 mL entrando en cada uno. Los resultados obtenidos fueron los siguientes para la ER de diferentes concentraciones de vapor de gasolina en el aire: 1.3 g/m<sup>3</sup> durante 35 días, ER de 100%; 3 g/m<sup>3</sup> durante 52 días, ER del 90%; 4.5 g/m<sup>3</sup> durante 48 días, ER de 70-80% y 8 g/m<sup>3</sup> durante 28 días, ER de 70%. El autor empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Se concluyó que la biofiltración de vapores de gasolina C utilizando el soporte de compost con restos de llantas (2: 1) reveló ser una alternativa adecuada y una forma eficiente para reducir las concentraciones de vapores contaminantes del aire.

**MALAKAR, S. [et al]. (2018)**, en su artículo de investigación “Microbial biofilter for toluene removal: Performance evaluation, transient operation and theoretical prediction of elimination capacity” (Biofiltro microbiano para la eliminación de tolueno: evaluación del rendimiento, operación transitoria y predicción teórica de la capacidad de eliminación), estableció como objetivo general determinar la CE y la ER del tolueno mediante un biofiltro a escala de laboratorio, utilizando como material de soporte perlas cerámicas y compost; aclimatándolas durante 20 días. Para distintas concentraciones iniciales de tolueno (0.2-3.7 g/m<sup>3</sup>), se evaluó la CE máxima de 96 g/m<sup>3</sup>h a una tasa de carga de entrada de tolueno de 98.8 g/m<sup>3</sup>h y una ER alta del 97% para una operación continua de 22 días. Se empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Se determinó que la eliminación del tolueno resultó óptima en la sección de entrada del aire contaminado. Finalmente, el estudio también demostró la estabilidad del biofiltro durante la operación transitoria en el tratamiento del tolueno. Así mismo mediante el modelo matemático de Ottengraf se compararon los valores teóricos con los valores experimentales de CE. El espesor teórico promedio de la biopelícula fue 0.47 mm.

**MOHAMED, E. [et al]. (2016)**. En su artículo de investigación “Biofiltration technology for the removal of toluene from polluted air using *Streptomyces griseus*” (Tecnología de biofiltración para la eliminación de tolueno del aire contaminado con *Streptomyces griseus*) tuvo como objetivo investigar el rendimiento del sistema de biofiltración de *Streptomyces griseus* sp. inmovilizado en un material de soporte a base de carbón activado el cual permitió la adsorción y degradación del vapor de tolueno. Se demostró mediante los resultados el rendimiento del biofiltro en tres etapas de medición distintas, en la primera etapa de adsorción se alcanzó un rendimiento de 95% de eliminación de tolueno luego de 70 min, una fase de biotransformación lenta por células inmovilizadas. Por último, la eficiencia alcanzada disminuyó hasta 60%, luego de 500 min. Por último, en una fase de eliminación rápida se obtuvo 95% de eliminación luego de 500 min. En el estudio se determinó que la degradación del tolueno resultó 84% luego del segundo ciclo y aún era capaz de eliminar tolueno adicional. El autor empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Se concluyó que mediante los resultados obtenidos la viabilidad y reutilización del sistema de biofiltro, así como la amplia capacidad de absorción del carbón activado y su aplicación.

**SINGH, K [et al]. (2017).** En su artículo de investigación “Biofiltration of xylene using wood charcoal as the biofilter media under transient and high loading conditions” (Biofiltración de xileno utilizando carbón de leña como medio biofiltro en condiciones de carga transitoria y alta), se determinó como objetivo de estudio evaluar el rendimiento del carbón de leña como material de soporte para la filtración del xileno con altos contenido de carga y transitorio en el sistema. La biofiltración de xileno se investigó durante 150 días en una unidad a escala de laboratorio cargada con carbón de leña e inoculada con cultivo microbiano mixto a velocidades de carga de xileno de 12 a 553 g/m<sup>3</sup>h. Además durante el periodo de experimentación, se encontró que la ER oscilaba en un rango de 65-98.7% y la CE máxima alcanzo 405.7 g/m<sup>3</sup>h.. El autor empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Finalmente, se concluyó que el estudio ilustra una eliminación efectiva de xileno en fase vapor usando cultivo microbiano mixto el cual estaba dominado por Bacillus sp. apoyado en carbón de madera en un biofiltro a escala de laboratorio bajo condiciones transitorias y de alta carga.

**XUE, S. [et al]. (2018).** En el artículo de investigación “Effects of moisture content on the performance of a two-stage thermophilic biofilter and choice of irrigation rate” (Efectos del contenido de humedad en el rendimiento de un biofiltro termófilo de dos etapas y elección de la velocidad de riego) el objetivo del estudio fue demostrar la eficiencia de remoción (ER) de SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y COV Totales de los materiales de empaques al aumentar la humedad con la inyección de nutrientes para los mismos. Las concentraciones promedio de COV Totales, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> en la corriente de entrada fueron 164.33, 38.46 y 51.12 mg/m<sup>3</sup>, y en la corriente de salida fueron 44.54, 9.18 y 3.91 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente Se determinó, que el contenido de humedad del material de empaque incremento de 40 a 85%, debido a la variación de la velocidad de riego de 0.05 a 0.42 m<sup>3</sup>/h. Se demostró que cuando la tasa de riego fue de 0.3 m<sup>3</sup>/h, las eficiencias de remoción fueron de 88.71% para NH<sub>3</sub> y de 81.38% para COV Totales. Además, se determinó que tanto los recuentos microbianos como la diversidad aumentaron cuando aumentó la velocidad de riego. El autor empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Finalmente, se concluyó que este estudio proporciono un método efectivo para mantener la humedad óptima contenida para el retiro del gas de cola secado de fango a través de un reactor termófilo.

**HAJIZADEH, Y [et al]. (2018).** En el artículo “Biodeterioration of 1,1-dimethylhydrazine from air stream using a biofilter packed with compost-scoria-sugarcane bagasse” (Biodeterioro de 1, 1-dimetilhidrazina de la corriente de aire usando un biofiltro lleno de bagazo de compost-escoria-caña de azúcar), el objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia del material de empaque de una mezcla de bagazo de compost-escoria-caña, en un biofiltro a escala de laboratorio, durante un periodo de 128 días y a diferentes cargas de entrada (0.44-2.68 g/m<sup>3</sup>h ). La ER alcanzo el 88% y la CE alcanzo 0.72 g m<sup>3</sup>h. Se alcanzó el 60% ER del total, esto mantuvo relación con la sección 1 de biofiltro, donde el promedio de población bacteriana (6.74 log CFU/g) y la población de hongos (4.95 log CFU/g) resulto de mayor significancia que en otras secciones. El autor empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel descriptivo-explicativo. Se concluyó que la ER se incrementó significativamente por el aumento de altura efectiva del lecho vacío (EBRT), por sus siglas en inglés y la reducción de la concentración de 1,1-dimetil- hidrazina asimétrica (UDMH) en el gas de entrada. Debido a la alta solubilidad de UDMH en agua, además del tensioactivo no tuvo un efecto considerable sobre la mejora de la eficacia de eliminación.

**VERGARA-FERNÁNDEZ, A. [et al]. (2018).** En el artículo de investigación “Biofiltration 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” (Biofiltración de benzo [α] pireno, tolueno y formaldehído en el aire por un consorcio de *Rhodococcus erythropolis* y *Fusarium solani* : Efecto de las cargas de entrada, flujo de gas y temperatura) el objetivo de esta investigación fue evaluar la viabilidad de la eliminación simultánea de formaldehído, un COV soluble y ligeramente polar, tolueno, un COV hidrofóbico y volátil y benzo [α] pireno (BaP), un HAP representativo en un reactor de biofiltración inoculado con el hongos *Fusarium solani* y la bacteria *Rhodococcus erythropolis*. Se obtuvieron resultados en un rango extendido de cargas de entrada: 3.7 a 447.7, 9.0 a 273.1 y 6.9 a 247.4 g/m<sup>3</sup>h de tolueno, formaldehído y BaP, respectivamente. Se empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel descriptivo-explicativo. Se concluye, que resulta viable utilizar un consorcio de hongos y bacterias de *F. solani* y *R. erythropolis* en un sistema de biofiltración para el tratamiento de una corriente de aire contaminada con formaldehído, tolueno y BaP, y en la determinación de su rendimiento bajo una serie de condiciones experimentales.

**LUENGAS, A. [et al]. (2017).** En su artículo “Removal of traces of toluene and p-xylene in indoor air using biofiltration and a hybrid system (biofiltration + adsorption)” (Eliminación de trazas de tolueno y p-xileno en el aire interior mediante biofiltración y un sistema híbrido (biofiltración + adsorción), el objetivo fue comparar la eficiencia de remoción (ER) de tolueno y p-xileno, entre la tecnología de biofiltración y el sistema híbrido que combina biofiltración y adsorción (sobre carbón activado). Se trató para el tolueno y p-xileno niveles de concentración de 2-45 y 1-33 ppb, respectivamente a bajos tiempos de residencia de lecho vacío (EBRT), por sus siglas en inglés y concentraciones, la eficacia de remoción (ER) de tolueno alcanzó el 100% y p-xileno mostró una tendencia creciente en su eficiencia de remoción a lo largo del tiempo utilizando biofiltración. Se empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel descriptivo-explicativo. Finalmente, la evaluación de los subproductos y la generación de partículas por el biofiltro y el sistema híbrido se tuvieron en cuenta. La acetona y el ácido acético se identificaron como subproductos del biofiltro. Se registraron emisiones de partículas en el rango de 0.03 a 10  $\mu\text{m}$  para ambos sistemas.

**PÉREZ, M. (2017).** En su tesis de título “Aplicación de técnicas de biología molecular para la caracterización de la población microbiana en la degradación de compuestos orgánicos volátiles (COV) mediante biofiltros y biofiltros percoladores” sostuvo como objetivo analizar las comunidades bacterianas que se desarrollaron en biofiltros y biofiltros percoladores para el tratamiento de emisiones gaseosas de COV, y su relación con las condiciones de funcionamiento del proceso, para ello desarrolló biofiltros percoladores a escala de laboratorio para el tratamiento de contaminantes únicos como: isopropanol, estireno, 2-butoxietanol; y un sistema a escala industrial. Se trabajó con materiales de soporte a base de turba y fibra de coco, anillos de propileno y espuma de poliuretano, se inoculó dicho material con *Pseudomonas putida* y fangos activados de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR). Se demostró mediante los resultados de la investigación que el biofiltro de turba presentó la mayor capacidad de eliminación máxima CE máx. ( $81 \text{ g/m}^3\text{h}$  con carga volumétrica de  $173 \text{ g/m}^3\text{h}$  durante un tiempo de residencia de 60 s), en comparación a lo obtenido en el biofiltro de fibra de coco ( $39 \text{ g/m}^3\text{h}$  con carga volumétrica de  $89 \text{ g/m}^3\text{h}$  durante un tiempo de residencia de 90s) y en el biofiltro percolador ( $52 \text{ g/m}^3\text{h}$  con una carga volumétrica de  $116 \text{ g/m}^3\text{h}$  durante un tiempo de residencia de 45 s). El autor empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel descriptivo-

explicativo. Se concluyó, que las mejores opciones para cultivo microbiano resultaron los lodos activados para la inoculación de los biofiltros.

**AGUDELO, U. (2016)** En su tesis de título “Eliminación de vapores de xileno presentes en una corriente de gas en un biofiltro percolador”, sostuvo como objetivo evaluar la capacidad de eliminación (CE) de dos biofiltros percoladores (BTF1 y BTF2) a escala de laboratorio, trabajando de manera paralela; evalúa el efecto de la carga contaminante en la eficiencia de remoción (ER) en los diferentes materiales de soporte (anillos de plástico de polipropileno y espuma porosa de poliuretano). Los biofiltros percoladores mantuvieron una operación constante durante 24 horas diarias, trabajando bajo concentraciones de entrada de 0.43, 1.30, 3.04 y 5.64 g/m<sup>3</sup> de xileno con una tasa de flujo de gas de 0.26 m<sup>3</sup>/h durante un tiempo de residencia de 90 s. Finalmente, se obtuvo como resultados de ER para el BTF1 (83.33; 93.94, 93.10 y 72.96%) y para el BTF2 (83.33; 82.69; 75.64 Y 74.00 %); así como estudia los procesos de aclimatación de un consorcio microbiano procedentes de un lodo activado de una industria papelera, para ser empleado como un inóculo en BTF. Se empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel descriptivo-explicativo. En la investigación se demostró que la biotecnología con biofiltros sirve para trabajar con grandes volúmenes de aire y bajas concentraciones de contaminante.

**MELO, D. (2016).** En su tesis de título “Evaluación de los coeficientes globales de transferencia de masa en biofiltros percoladores para el tratamiento de corrientes gaseosas residuales contaminadas con xileno”, sostuvo como objetivo determinar experimental los coeficientes globales de transferencia de masa de xileno ( $K_{Lax}$  y  $K_{Gax}$ ) utilizando dos materiales de soporte distintos (anillos de plástico y espuma de poliuretano). Se elaboró un biofiltro a base de acrílico, el cual fue alimentado con concentraciones de xileno (5 g/m<sup>3</sup>) y operando durante diferentes tiempos de residencia (10, 20, 40 y 60 s). Se sostuvo mediante los resultados obtenidos que el tiempo de residencia de lecho al vacío (EBRT) mantiene influencia sobre los coeficientes, demostrándose que el oxígeno resulta rápidamente transferido a comparación con el xileno. El autor empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Se determinó que los coeficientes de transferencia de oxígeno para los distintos materiales de soporte, así como se determinó el coeficiente de transferencia de masa para el xileno. Finalmente se sostiene que se requiere una estimación precisa de los distintos coeficientes globales de transferencia de masa para un mejor diseño



de un Biofiltro percolador.

**VALERO, P. (2016).** En su tesis de título “Modelación del proceso de biofiltro percolador para el tratamiento de emisiones en aire de compuestos orgánicos volátiles de elevada solubilidad en agua”, estableció como objetivo determinar un modelo matemático que incluyó las herramientas que influyan en la operación de biofiltros percoladores para la depuración de COV con elevada solubilidad. Se estableció a escala de laboratorio el tratamiento de contaminante isopropanol, utilizándose dos biorreactores que fueron tratados a diferentes cargas de contaminantes, diferentes materiales de soporte (estructurado y anillos de polipropileno) y se sometieron a condiciones discontinuas de riego con nutrientes (16 h/d, 5 d/sem.). Se obtuvieron eficiencias de remoción (ER) de 90% a pesar de reanudar la alimentación luego de 10 días. Se determinó así mismo los coeficientes de globales de transferencia de masa para el isopropanol y el oxígeno. Se empleó la investigación cuantitativa, de diseño experimental y de nivel explicativo. Finalmente se desarrolló un modelo matemático teniendo en consideración las condiciones generadas en cuanto al riego, debido a que es el funcionamiento habitual a nivel industrial.

### **1.3 Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1 Componentes Orgánicos Volátiles (COV's)**

Se define como compuestos orgánicos volátiles (COV's) a cualquier sustancia que contenga como mínimo al carbono como elemento, así como hidrogeno, oxígeno, azufre, fosforo, silicio nitrógeno o algún alógeno, excepto los óxidos de carbono, carbonatos y bicarbonatos inorgánicos (CALVO, 2009, p. 157).

El Organización Internacional de Normalización (ISO), considera como compuesto orgánico volátil a “cualquier líquido y/o sólido orgánico que se evapora espontáneamente a la temperatura predominante y la presión de la atmósfera con la que está en contacto” (2014), es todo compuesto volátil que a temperatura y presión que a condiciones normales de temperatura se evapora.

Al respecto la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA), sostiene que “todo compuesto orgánico volátil se define como cualquier compuesto de carbono, excluyendo monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbónico, carburos metálicos o carbonatos, y carbonato de amonio, que participan en reacciones fotoquímicas atmosféricas” (2014)

##### **1.3.1.1 Clasificación de los Compuestos Orgánicos Volátiles**

Los compuestos orgánicos volátiles pueden ser clasificados tomando en cuenta que su punto de ebullición sea menor o igual a 250° C y con una presión atmosférica de 101 kPa. (UNEP, 2014, p.3). “La organización mundial de la salud (OMS), clasifica a los compuestos orgánicos volátiles (COV) en muy volátiles (VVOC), volátiles (VOC) y semivolátiles (SVOC)” (GUZMÁN, 2014, p.3). Ver tabla N°3 sobre la clasificación de los Cov's.

**Tabla N° 3.** Clasificación de los COV's según la organización mundial de la salud

Descripción	Abreviación (siglas en ingles)	Punto de ebullición °C	Ejemplos
Compuestos orgánicos muy volátiles	COVV	0 a 50-100	Propano, butano, cloruro de metilo
Compuestos orgánicos volátiles	COVV	50-100 a 240-260	Formaldehido, tolueno, benceno, xileno, etanol
Compuestos orgánicos semivolátiles	COSV	240-260 a 380-400	Pesticidas, retardantes de fuego

Fuente: GUZMÁN (2017)

### 1.3.2 Fuentes de emisión atmosférica.


Los compuestos orgánicos volátiles (COV's), son muy utilizados en distintas aplicaciones tanto industriales como domésticas, son empleadas como combustibles, refrigerantes, propelentes, agentes de atracción, disolventes, desengrasantes, aromatizantes, productos de síntesis, etc. (COMES, 2005, p.9)

Dentro de las distintas fuentes de emisión a la atmosfera podemos considerar a las fuentes naturales (originados por las emanaciones directas de la materia orgánica, así como las erupciones volcánicas de origen geológico) y a las fuentes antropogénicas (originados por las distintas fuentes fijas como actividades industriales de combustión, uso de disolventes, industrias plásticas, químicas, textil, etc.; y las distintas fuentes móviles como vehículos, vertidos y derrames, etc.).

### 1.3.3 El benceno: propiedades físicas y químicas.

El benceno es un compuesto químico, también es conocido como benzol, es una sustancia líquida incolora de olor dulce. El benceno es volátil, se evapora rápidamente en el ambiente y es medianamente soluble en el agua. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2017, párr. 7). Dichas propiedades físicas y químicas del benceno se detallan en la Tabla N° 4.

**Tabla N° 4. Propiedades físicas y químicas del Benceno**

Propiedades físicas y químicas	Benceno
Formula Molecular	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Estructura química	
Color/Forma	Líquido transparente e incoloro; primas romboédricos
Punto de Ebullición (°C)	80
Punto de Fusión (°C)	5,5
Peso molecular (g/mol)	78,11
Solubilidad en el agua	Ligeramente soluble
Densidad relativa (agua=1)	0,8765
Densidad de Vapor relativa (aire=1)	2,7
Presión de vapor/(KPa)	10
Límite de Inflamabilidad	1,3 ll

Fuente: Adaptado de Enciclopedia de Seguridad y salud en el Trabajo (2018)

#### 1.3.4 Toxicología del Benceno.

Se define toxicidad como la capacidad de producir algún efecto perjudicial o nocivo a un ser vivo, así como la vida, tanto animal como vegetal que pueda alterar su equilibrio dinámico. La toxicidad se evalúa en función de la cantidad existente de agentes químicos que puedan ser administrados o absorbidos, mediante vías de exposición, ya sea por inhalación, ingestión, inyección, etc; y por su suministro en el tiempo mediante dosis, por el tipo y la severidad de la lesión que pueden ocasionar, así como las implicaciones que causan a el organismo u organismos afectados. (REPETTO y REPETTO, 2009, p.21)

ROMERO, *et al* (2017, p.364), sostiene que el benceno es un compuesto de hidrocarburo aromático, que debido a sus propiedades fisicoquímicas como a su alta volatilidad permite evaporarse con mayor rapidez hacia la atmosfera, y su liposolubilidad permite gran afinidad

por los tejidos grasos, debido a su rápida absorción es causante de reacciones alérgicas a corto plazo, así como a lesiones neurológicas, de medula ósea y hepática durante exposiciones prolongadas.

**Tabla N° 5.** *Actividades y usos industriales generadoras de Benceno*

<b>Actividad y uso Industrial</b>
Fabricantes de ácido benzoico
Fabricación de ácido tereftálico
Fábrica de barnices
Fábrica de líquidos limpiadores
Fábrica de textiles sintéticos
Manipuladores de adhesivos
Manipuladores de disolventes
Manipuladores de lacas
Pinturas
Trabajos con cueros
Trabajo con gasolina para aviones

Fuente: Adaptado de MARTINEZ (2011)

#### **1.3.4.1 Toxicología del Benceno.**

El efecto más tóxico que puede ocasionar el benceno es en la sangre. El estar expuesto al benceno puede ocasionar daños a la medula ósea, manifestándose como una anemia, leucemia y trombocitopenia. El daño en el sistema nervioso central se ocasiona cuando la concentración en la sangre alcanza valores de 2.1 mg/L. Las personas solo pueden empezar a identificar al benceno en el aire, cuando este se presenta en concentraciones de 1.5 a 4.7 ppm y en medio líquido cuando alcanza concentraciones mayores a 2 ppm. (MARTINEZ, 2011, p. 7)

Existen varios factores que hay que tomar en cuenta para determinar si la exposición al benceno ocasiona efectos perjudiciales a la salud, para ello se tiene en cuenta la cantidad de benceno a la cual se está expuesta y el tiempo de exposición. El estar expuesto a

concentraciones mayores a  $6500 \text{ mg/m}^3$  en el aire, provoca efectos irreversibles a la salud, exposiciones breves de 5 a 10 minutos, a concentraciones elevadas de benceno en el aire (10.000 a 20.000 ppm) pueden ocasionar la muerte. El estar expuesto a concentraciones menores (700 a 3.000 ppm) producen síntomas como: mareos, vómitos, cefaleas, euforia, sueño y fatiga. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de enfermedades, 2007, párr. 20)

#### **1.3.4.2 Efectos en el medio ambiente**

Los principales problemas de la contaminación atmosférica que se presentan por la presencia de los COV's, se produce por la reacción que estos compuestos generan con los óxidos de nitrógeno (NOx) en presencia de luz solar. El ozono troposférico y otros contaminantes forman el llamado "smog" fotoquímico, que es el responsable de la niebla de color marrón presente en muchas ciudades. Esta niebla causa efectos adversos sobre la salud humana, los ecosistemas y causa baja visibilidad (LAFITA, 2016, p. 4). Los COV's, como el benceno son los principales precursores del "smog" fotoquímico, ya que en presencia de luz solar estos reaccionan con los óxidos de nitrógeno (NOx), generando una niebla causante de daños al ambiente, monumentos y la salud humana.

El benceno al encontrarse en el aire, reacciona con otras sustancias químicas y pueden degradarse en varios días, este puede transportarse al suelo mediante las lluvias, así como se degrada lentamente en el agua y el suelo. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de enfermedades, 2007, párr. 15)

#### **1.3.5 Biotecnología**

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

### 1.3.6 Tratamiento Biológicos

Los métodos de control utilizados mediante las tecnologías de control de emisiones de COV's de origen industrial en la actualidad, se pueden agrupar en tres tipos de tratamiento que pueden aplicarse de manera física, como la condensación, adsorción y absorción; de manera química mediante la aplicación de incineración o la fotocatalisis; y biológica mediante la aplicación de la biofiltración. (LAFITA, 2016, p. 9). Ver la Figura N°1 sobre la aplicación de las distintas tecnologías de tratamiento de emisión de gases.

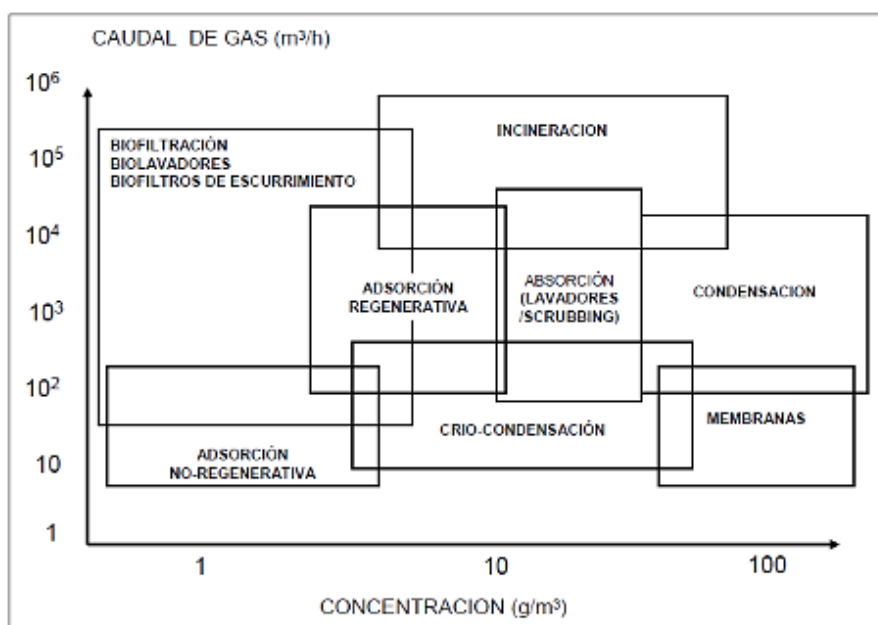
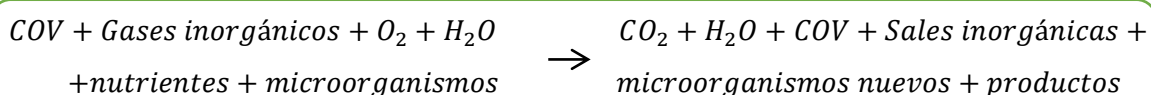


Figura N° 1. Aplicación de las distintas tecnologías de tratamiento de emisiones gaseosas.

Fuente: PÉREZ (2012)

Los aparatos donde se realizan los procesos de depuración de los contaminantes de tipo gaseoso mediante microorganismos, se caracterizan por el uso de un material de soporte en el cual se desarrollan las comunidades microbianas inmovilizadas en el lecho. En el dispositivo fluye la corriente de gas contaminante a través del material de soporte, en el cual se generará CO<sub>2</sub>, agua, biomasa y otros productos intermedios (metabolitos) (PÉREZ, 2012, p. 8)



Fuente: Adaptado de PÉREZ (2012)

Dónde:

COV: compuesto orgánico volátil

O<sub>2</sub>: oxígeno

H<sub>2</sub>O: agua

CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono

La tecnología de tratamiento biológico de gases que se emplean para la reducción de contaminantes en el aire, se dividen en tres tipos: Los biofiltros de lecho fijo, biolavadores y biofiltros percoladores. La mencionada clasificación tiene en consideración las condiciones de operación para el desarrollo de los microorganismos, así como los distintos patrones para la inyección de la fase líquida. (CÁRDENAS *et al*, 2003, p.40)

### 1.3.6.1 Biofiltro de lecho fijo

El Biofiltro de lecho fijo trata los compuestos gaseosos, a través de un reactor el cual contiene un material de soporte fijo con características de porosidad y condiciones de humedad, en el cual se desarrolla la película de microorganismos, el contaminante es transferido mediante una corriente gaseosa a través de la biopelícula húmeda, en donde se transforman en CO<sub>2</sub> Y H<sub>2</sub>O, los cuales serán arrastrados a la salida del dispositivo (VANERO *et al*, 2012, p.37). Este dispositivo cuenta con condiciones físicas de funcionamiento como la temperatura, presión y humedad los cuales juegan un papel importante para el desarrollo de los microorganismos, además depende mucho del tipo de contaminante gaseoso a tratar. Ver figura N° 2.

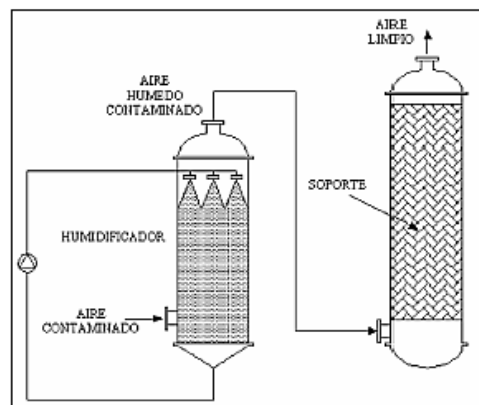


Figura N° 2. Sistema de biofiltración con lecho fijo con humidificador

Fuente: CERRÓN (2016)



### 1.3.6.2 Biolavador

Los biolavadores mantienen su funcionamiento mediante la degradación del contaminante en una primera etapa es absorbida en una fase líquida que se encuentra en un reactor de absorción llena de líquido. Este sistema opera al hacer fluir el gas en contracorriente por medio del líquido, posteriormente es adherido a un reactor que se encuentra con un material de soporte que sostiene la biopelícula, la cual es la encargada de biodegradar los contaminantes (CÁRDENAS, et al, 2003, p.43). Ver figura N°3.

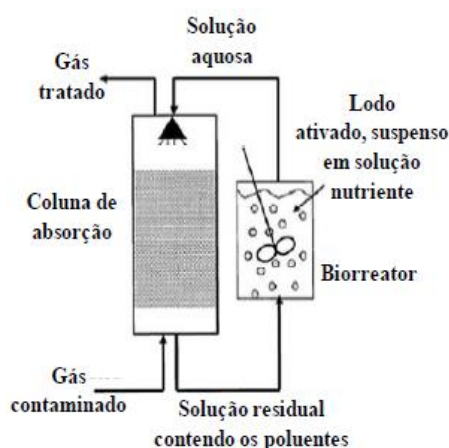
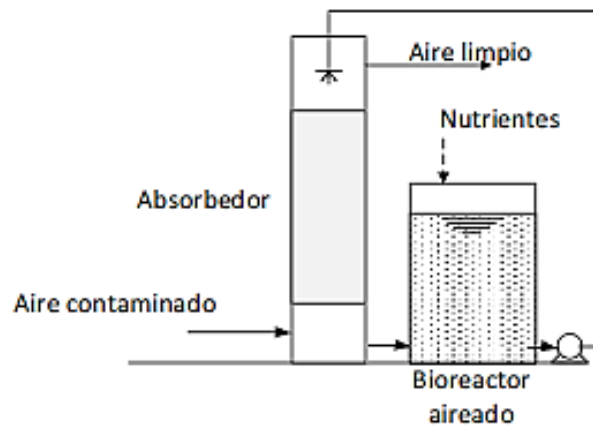


Figura N° 3. Representación esquemática de un biolavador

Fuente: CARLESSO (2015)

### 1.3.6.3 Biofiltro percolador

El Biofiltro percolador es un dispositivo que consta de un reactor el cual se encuentra empacado con un soporte sintético, natural o mineral en donde se desarrolla una biopelícula. Se alimenta de la corriente gaseosa con el contaminante a través del lecho, por la parte superior se alimenta con una corriente líquida, que se recircula al sistema, el cual aporta nutrientes esenciales a la biopelícula, ayuda a mantener las condiciones de humedad y pH, así como elimina productos de degradación. Los contaminantes son degradados a medida que atraviesan el lecho poroso gracias a la biomasa presente y que se alimenta de nutrientes y/o energía. (RAMÍREZ et al, 2011, p. 44). Ver figura N°4.



*Figura N° 4.* Esquema de un biofiltro percolador

Fuente: VALERO (2016)

### **1.3.7 Propiedades físicas de los materiales de soporte.**

La función principal del material de soporte es el de sostener la biopelícula, o biofilm permitiendo reservar nutrientes, agua y contaminantes que se adhieren en su superficie mediante sus mecanismos de adsorción, ya que la corriente de aire con el contaminante fluye a través de su sección transversal mediante sus poros, no permitiendo formación de canales y caídas de presión dentro del sistema. (GUTIÉRREZ, 2008, p.18). Así mismo AGUDELO en el 2015 sostiene que las características físicas y químicas del material de soporte permitirán una gran superficie física para el desarrollo de una biopelícula microbiana facilitando la distribución homogénea del gas mediante los poros del lecho, la capacidad de retención de humedad y nutrientes para el desarrollo microbiano (p. 21).

Los materiales de soporte mayormente utilizados son de origen orgánico como: el suelo, turba, fibra de coco, residuos agrícolas, etc; inorgánico, sintéticos como: la perlita, lavaroca, vermiculita, cerámicas, carbones activados y materiales poliméricos: espuma de poliuretano, polipropileno, etc. La ventaja de los materiales de soporte orgánicos es que contienen gran cantidad de nutrientes que permiten el sostener a los microorganismos a comparación de los materiales sintéticos por lo cual se recomienda adicionar nutrientes de manera intermitente. (GUTIÉRREZ, 2008, p.19)

### 1.3.7.1 Volumen aparente.

Es la porción del espacio que ocupa un cuerpo incluyendo la ocupada por la porosidad del mismo.

$$\rho_{ap} = \frac{W}{V_{ap}} \quad (1)$$

Dónde:

$\rho_{ap}$  = densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

W = Peso de la muestra (g)

V<sub>ap</sub> = Volumen aparente (cm<sup>3</sup>)

### 1.1.1.1. Volumen efectivo.

Es el volumen aparente menos el volumen que ocupa los poros del material.

$$\rho_{RE} = \frac{W}{V_{efectivo}} \quad (2)$$

Dónde:

$\rho_{RE}$  = densidad real (g/cm<sup>3</sup>)

W = Peso de la muestra (g)

V<sub>ef</sub> = Volumen efectivo (cm<sup>3</sup>)

$$= \text{Volumen}_{\text{Material-agua}} - \text{Volumen}_{\text{aguaconocido}}$$

### 1.3.7.2 Porosidad.

Según DESHUSSES y GABRIEL (como se citó en MELO, 2016, p. 20), la porosidad se define como la relación que existe entre el espacio vacío que se encuentra dentro de un cuerpo y el volumen total que ocupa. La característica principal que existe de la porosidad entre los materiales utilizados dentro de un biofiltro percolador se maneja en un rango entre 0.5 y 0.9. El balance entre la porosidad y el área de específica permitirá a pesar de los grandes flujos de gas una baja caída de presión.

$$\varepsilon = \frac{(\rho_{RE} - \rho_{ap}) \times 100}{\rho_{RE}} \quad (3)$$

Dónde:

$\varepsilon$  = porosidad

$\rho_{RE}$  = densidad real ( $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_{ap}$  = densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ )

### 1.3.8 Características Microbiológicas

Las características y condiciones microbiológicas como temperatura, pH y nutrientes necesarios para su desarrollo, permiten la degradación del contaminante a tratar, mediante la inoculación de los microorganismos a utilizar en el material de soporte. Además, la disolución de la materia orgánica por parte de los microorganismos permite la formación de biopelículas o biofilm, que se adhieren en el dicho material. La biopelícula es un conjunto microbiano formado por uno o varios microorganismos con características y estructuras específicas, el cual permite la biofiltración del gas contaminante (PÉREZ, 2012, p. 9). El agua forma una capa que envuelve a las biopelículas tal como se grafica en la siguiente figura. Ver figura N°5.

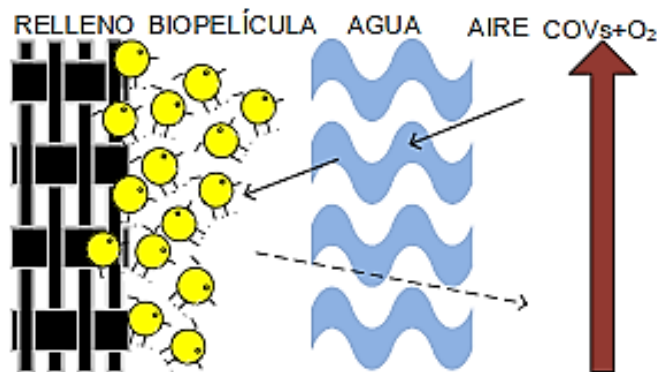


Figura N° 5. Mecanismo de la biofiltración

Fuente: VALERO (2016)

#### 1.3.8.1 Inóculo

El termino inóculo involucra a la microbiota, el termino microorganismo no cuenta con significado taxonómico preciso, pero se define como cualquier organismo de dimensiones microscópicas, los cuales se encuentran repartidos en diversos grupos taxonómicos, sin embargo, algunos cuentan con miembros demasiados grandes por lo cual no pueden ser

asignados en la categoría. Los principales grupos taxonómicos que comprenden los microorganismos en su totalidad son: las eubacterias, las arqueobacterias y los protistas. (STANIER et al, 1996, p. 44)

Por otro lado, MELO (2015, p. 22), sostiene que las “fuentes más habituales de inóculo son:

- Lodos activados de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Muestras de agua o suelo de los sitios o plantas de contacto con el contaminante de interés.
- Consorcios enriquecidos en el laboratorio con el contaminante de interés.
- Colonias puras adaptadas a degradar el contaminante de interés y obtenidas a partir de colecciones de colonias o aisladas de mezclas de consorcios.
- Muestras de biofiltros percoladores que tratan el mismo contaminante de interés o una corriente de gas parecida.”

Algunos de los microorganismos más característicos que se inocularon en las distintas investigaciones arrojan que los más predominantes en el caso de lodos activados resultaron las *Pseudomonas aruginosas* y *Pseudomonas putida*.

#### - *Pseudomonas aruginosas*

Son bacterias gran negativas que habitan suelos, marismas y ecosistemas marinos, pueden establecerse en tejidos de plantas y animales. En superficies húmedas forman biofilms (biopelículas) como rocas y el suelo. Son patógenos importantes para el ser humano, ya que son precursores de infecciones urinarias y neumonías. La *Pseudomona aruginosa* posee la mayor cantidad de genes implicados en el catabolismo transporte y salida de compuestos orgánicos, además posee cuatro sistemas de quimiotaxis. (STOVER, et al. 2000, p. 959-961)

#### 1.3.8.2 pH

La mayoría de bacterias aceleran su crecimiento de mejor manera en un pH cercano a la neutralidad entre 6,7-7.5 y existen muy pocas bacterias que puedan propagarse en pH ácido y por debajo de 4. (TORTORA, FUNKE y CASE, 2007, pp. 161)

### 1.3.8.3 Temperatura

La mayoría de los microorganismos se encuentran adaptados a temperaturas preferidas por los seres humanos. Existen ciertas bacterias que pueden sobrevivir a temperaturas extremas. Estas se clasifican en serófilas, debido a que soportan temperaturas frías, mesofilas, ya que están adaptadas a temperaturas moderadas y las termófilas tipo bacterias adaptadas a altas temperaturas. (TORTORA, FUNKE y CASE, 2007, pp. 160)

### 1.3.8.4 Nutrientes

Uno de los parámetros microbiológicos a tener en cuenta es el aporte de nutrientes, debido a que un mal aporte puede generar bajos rendimientos. Para la degradación de COV's, el mayor nutriente es el nitrógeno, así como elementos como: el fósforo, hierro, potasio, magnesio y otros elementos traza como micronutrientes, en muchos casos se recomienda utilizar fertilizantes agrícolas o efluentes decantadores a fin de evitar costes mayores para el mantenimiento del sistema (VALERO, 2016, pp.29-30). Ver figura N°6.

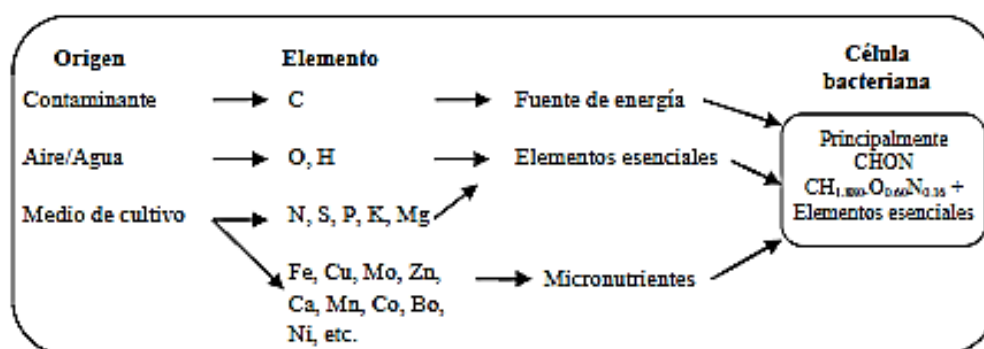


Figura N° 6. Nutrientes requeridos por los microorganismos

Fuente: AGUDELO (2017)

### 1.3.8.5 Número aproximado de bacterias

Para determinar una población microbiana se necesita calcular el número de células en una determinada muestra, para ello existen métodos indirectos de conteo, los cuales permiten identificar el número de microorganismos mediante la cuantificación de células (vías y muertas), uno de los más utilizados es mediante la medición de la turbiedad a través de patrones base como es el método de McFarland, el cual permite establecer un rango de número aproximado de bacterias presentes en una muestra según el grado de turbiedad y a través de la observancia con ayuda de patrones a base de  $BaCl_2$  y  $H_2SO_4$ . Ver Tabla N°6.

**Tabla N° 6.** Patrones en la Escala de McFarland para determinar el número aproximado de bacterias.

N°	BaCl <sub>2</sub> 0,048M (ml)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,36 M (ml)	Vf (ml)	10 <sup>8</sup> UFC/ml
0,5	0,05	9,95	10	1,5x10 <sup>8</sup>
1	0,1	9,9	10	3x10 <sup>8</sup>
2	0,2	9,8	10	6x10 <sup>8</sup>
3	0,3	9,7	10	9x10 <sup>8</sup>
4	0,4	9,6	10	12x10 <sup>8</sup>
5	0,5	9,5	10	15x10 <sup>8</sup>
6	0,6	9,4	10	18x10 <sup>8</sup>
7	0,7	9,3	10	21x10 <sup>8</sup>
8	0,8	9,2	10	24x10 <sup>8</sup>
9	0,9	9,1	10	27x10 <sup>8</sup>
10	1	9	10	30x10 <sup>8</sup>

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 1.3.9 Condiciones de operación del biofiltro

#### 1.3.9.1 Temperatura

Las condiciones de temperatura del gas y de cama son muy importantes para la operación de un biofiltro, ya que los microorganismos operan por lo general eficientemente entre rangos de 15 a 30°C. Para temperaturas menores de 15 ° C, el sistema empieza a disminuir la eficiencia de remoción de los contaminantes. Para valores mayores a 40°C, los tipos de microorganismo cambian de mesófilos a termófilos reduciendo su eficiencia de eliminación. Además, el índice de solubilidad y adsorción se reduce conforme la temperatura incrementa. El sistema de biofiltros admite calor para el mantenimiento de la cama, gracias al paso del gas y de la actividad metabólica microbiana. (MORENO, 2018. p. 15).

#### 1.3.9.2 pH

El pH es un factor importante para el funcionamiento del biofiltro, ya que permite el metabolismo de los microorganismos, debido a que se requiere un pH neutro entre rangos de 6 y 8 para ser capaces de consumir COV's. El pH requerido puede ser regulado a través de la adición de nutrientes en el sistema (ácidos y bases). Se sabe a través de las investigaciones que para un pH mayor de 8 la eficiencia de remoción para contaminantes

como el Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno; se reduce su ER y para valores de pH entre rangos de 5 y 8, incrementa su eficiencia de remoción (VALERO, 2016, p. 50)

### **1.3.9.3 Humedad**

El contenido de humedad dentro del sistema de biofiltro, permitirá el desarrollo de los microorganismos. Por lo general la humedad recomendada para el funcionamiento correcto se encuentra en un intervalo de 40 a 60%. Un bajo contenido de humedad reduce el espesor de la biopelícula, reduciendo la capacidad de metabolismo y por ende la eliminación del contaminante, en caso contrario al aumentar la humedad ocasiona que los vacíos se llenan de agua, no permitiendo el paso de oxígeno reduciendo la eliminación del contaminante y generando una mayor caída de presión del sistema. (MELO, 2015, p. 25)

### **1.3.9.4 Presión**

VALERO sostiene que la presión es un parámetro muy importante a tener en cuenta como condición primordial para el funcionamiento del biofiltro, debido a que su caída se ve influenciada directamente por la acumulación de biomasa reduciendo el rendimiento del sistema (2016, p. 48). De la misma manera ALONSO et al (Citado por MELO 2015, p.27) menciona que “Altas caídas de presión en el lecho son indicadoras de problemas de carácter físico en el biofiltro como acanalamientos, taponamiento, creación de zonas anaerobias y decrecimiento en la eficiencia de eliminación”, esta caída de presión se mantiene en un rango entre 1 y 10 hPa.

### **1.3.9.5 Flujo de gas**

MORENO en el año 2008 menciona que “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 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h, aunque los intervalos normalmente utilizados se encuentran entre 18 a 96 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h” (p. 16)

### **1.3.9.6 Tiempo de residencia del gas**

La velocidad de flujo se relaciona con el tiempo de residencia del gas dentro del biofiltro, pues si la velocidad de entrada del gas aumenta, el tiempo de residencia disminuye, lo que a



su vez permite que haya menos tiempo de contacto entre la fase gaseosa y la biopelícula reduciéndose así la capacidad de eliminación del sistema. (AGUDELO, 2015, p. 23)

### 1.3.10 Parámetros de rendimiento del biofiltro

#### 1.3.10.1 Carga del contaminante

La carga de contaminante se define como la cantidad de contaminante que se presenta y/o genera en un sistema por unidad de tiempo y volumen del material de soporte se expresa  $gC/m^3h$  (MORENO, 2008, p. 16), este parámetro es muy importante para el funcionamiento del sistema de biofiltro, debido a que si se trabaja a escala piloto o de laboratorio dependerá en gran medida si las bacterias tienen la capacidad de resistir a concentraciones adecuadas, para ello en los distintas investigaciones se recomienda acondicionar a distintas concentraciones a los microorganismos antes del funcionamiento del sistema.

#### 1.3.10.2 Capacidad de Eliminación (CE)

“Es la cantidad de contaminante que se remueve o degrada dentro del sistema, en un volumen (V) y un tiempo determinado, como lo muestra la ecuación, expresada en  $(g/m^3h)$ ” (SÁNCHEZ *et al*, 2015, párr. 6)

$$CE = Q \times (C_i - C_o) / V \quad (4)$$

Dónde:

Q: es el caudal ( $m^3h$ )

C<sub>i</sub>: Concentración a la entrada ( $gm^3$ )

C<sub>o</sub>: Concentración a la salida ( $gm^3$ )

V: Volumen del lecho al vacío ( $m^3$ )

#### 1.3.10.3 Eficiencia de Eliminación (ER)

SÁNCHEZ *et al* menciona en el 2015 que la eficiencia de eliminación “expresa el porcentaje removido del contaminante con respecto a las concentraciones inicial (C<sub>i</sub>) y final (C<sub>f</sub>)”. Expresada en porcentaje mediante la siguiente ecuación.

$$ER = (Ci - Co) / Ci \times 100 (\%) \quad (5)$$

Dónde:

Ci: Concentración a la entrada ( $gm^3$ )

Co: Concentración a la salida ( $gm^3$ )

V: Volumen del lecho al vacío ( $m^3$ )

**Tabla N° 7.** Definición de parámetros de rendimiento para un biofiltro percolador

Parámetro	Definición	Unidades
Carga Contaminante	$CC = Q \times CV$	$g C/m^3h$
Capacidad de eliminación	$CE = Q (Ci - Co) / V$	$g C/m^3h$
Eficiencia de eliminación	$ER = (Ci - Co) / Ci$	Dimensionales

Fuente: Adaptado de AGUDELO (2015)

### 1.3.11 Diseño del biofiltro

Para el diseño del biofiltro se consideran las distintas investigaciones realizadas para el dimensionamiento de las características principales, como el caudal del gas contaminante a tratar, el flujo con el cual trabaja el sistema y el tiempo de residencia del gas. Estas características principales permitirán desarrollar un correcto diseño, de la misma manera se consideran ciertos aspectos importantes que permiten el funcionamiento eficaz del sistema. (CERRÓN, 2016, p. 72). Ver Tabla N°8.

**Tabla N° 8. Cálculos para el diseño de un Biofiltro**

Fórmula	Cálculo	Recomendación
$A = \frac{Q}{V}$	<p><b>A= Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)</b>                      Q= Caudal de gas (m<sup>3</sup>/h)                      V= Velocidad de diseño de gas (m/s)</p>	<p>La velocidad de diseño debe mantenerse en un rango de 1-3 m/s con la finalidad de aumentar el tiempo de contacto entre el líquido y gas.</p>
$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$	<p><b>D= Diámetro de la columna</b>                      A= Área de la sección transversal perpendicular al flujo de gas (m<sup>2</sup>)</p>	
$\frac{L}{Dr}$	<p><b>L= Altura</b>                      Dr= Diámetro</p>	<p>La proporción entre la longitud y el diámetro puede variar entre 3-6, para equipos con contacto entre gas y líquido</p>
$Vb = \pi \cdot r^2 \cdot h$ $\frac{Vf \alpha}{Q}$	<p><b>EBRT= Tiempo de residencia del gas en el biofiltro (s)</b>                      Vf= Volumen del lecho filtrante(m<sup>3</sup>)                      Q= Caudal del gas (m<sup>3</sup>/h)                      α = Porosidad del material de soporte</p>	
	<p><b>Vb= Volumen del biofiltro (m<sup>3</sup>)</b>                      r = radio del reactor                      h = Altura total del reactor</p>	

Fuente: Adaptado de MARÍN (2016)

## **1.4 Formulación del problema**

### **1.4.1 Problema general**

- ¿Cuál es la eficiencia en un biofiltro percolador a base de poliuretano y compost para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio?

### **1.4.2 Problema específico**

- ¿Cuál será la característica microbiológica que varía durante el acondicionamiento de la *Pseudomona Aeruginosa* para un Biofiltro percolador en base de poliuretano y compost para la reducción de Benceno en el aire en condiciones de laboratorio?
- ¿Cuál será la característica en el diseño de un Biofiltro percolador en base de poliuretano y compost que influye en la reducción de Benceno en el aire en condiciones de laboratorio?
- ¿Cuáles son las características y propiedades fisicoquímicas del poliuretano y compost en un Biofiltro percolador que influyen en la reducción de Benceno en el aire en condiciones de laboratorio?
- ¿Cuál será la condición óptima de operación en un Biofiltro Percolador en base de poliuretano y compost para la reducción de Benceno en el aire en condiciones de laboratorio?

## **1.5 Justificación del estudio**

LAFITA sostiene que la técnica más adecuada para el control y mitigación de los COV's, deben cumplir con parámetros de eficiencia de remoción para la reducción de los contaminantes, así como el nivel de costo del tratamiento y los impactos que el sistema pueda generar deben ser económicamente viables. Es decir que cumpla de manera eficaz para la reducción de la concentración del contaminante aportando a la mejora del de la calidad del aire en el ambiente y resulte socioeconómicamente rentable para las industrias o actividades que pretendan aplicarlo (2016, p. 9)

En la presente investigación, se planteó como finalidad conocer la eficiencia de remoción (ER) de dos materiales de soporte, uno a base de poliuretano y otro a base de compost; implementados en el diseño de un biofiltro de tipo percolador a escala de laboratorio para reducir la concentración de benceno en una corriente de aire, para ello se desarrolló un sistema de reactor de flujo ascendente, el cual bajo a condiciones de operación específica de los distintos parámetros físicos como: la presión, temperatura, pH y humedad, permitió mantener a la comunidad microbiana que se encontró inmovilizada en los distintos materiales de soporte, facilitando dichas condiciones para la formación de biopelículas, o biofilm, las cuales permitieron la reducción del contaminante. Es así, que aplicando esta nueva tecnología se obtuvo la eficiencia de remoción (ER) de Benceno en la corriente de aire reduciendo de esta manera las emisiones generadas.

### **1.5.1 Social**

PÉREZ en el año 2012 menciona que “Los COV’s son todos liposolubles, de forma que se acumulan en los tejidos grasos. Los efectos dañinos de los COV’s dependen del tipo de compuesto en cuestión y de la concentración y tiempo de exposición al mismo.”(p, 4-5). La presente investigación aporato a mejorar las condiciones ambientales respecto a la calidad del aire, dentro de las cuales laboran muchas personas en las distintas industrias, así mismo se reducirá el riesgo de contraer enfermedades cancerígenas, producto de la inhalación del benceno, considerado altamente toxico y es precursor de alteraciones al sistema nervioso central, por ello, se buscó que la investigación sea un aportar a la sociedad, ya que no se cuenta con estudios que presenten nuevas alternativas de mitigación y control para la reducción de gases contaminantes.

### **1.5.2 Ambiental**

“Las emisiones de COV’s a la atmósfera producen efectos nocivos en la salud (enfermedades e hipersensibilidad); en cuanto a sus efectos sobre el ambiente se destaca su contribución a la formación del smog fotoquímico y gases efecto invernadero” (AGUDELO, 2015, p.11). En tal sentido, la aplicación de la biotecnología en la presente investigación, mediante el uso de dos biofiltros de tipo percolador, permitió determinar la eficiencia en la remoción de benceno en una corriente de aire, con la finalidad de reducir y mitigar los efectos

nocivos del benceno, enfocado a mejorar la calidad de aire en ambientes laborales. Es así, que los biofiltros resulta una tecnología viable, ya que permiten mediante el tratamiento biológico con microorganismos presentes en el ambiente y materiales de soporte orgánicos, que pueden ser utilizados a base de desechos y de origen sintético. Asimismo, permitiendo la adaptabilidad y flexibilidad en su control durante su operación.

### **1.5.3 Económica**

Los recursos económicos resultan factibles a comparación de los sistemas de tratamientos fisicoquímicos tradicionales, ya que son altamente costosos, debido a que, una vez desarrollado el sistema de biofiltración con la aclimatación respectiva de los microorganismos utilizados y empleando el material de soporte con mayor eficiencia de remoción de benceno. La aplicación de la biofiltración comprueba tener mayor viabilidad económica y rentable para su funcionamiento respectivo, por lo cual puede ser aplicada a diferentes escalas en los procesos industriales generadores de emisiones de gas contaminante benceno. De igual manera THALASSO y PINEDO mencionan al respecto que económicamente la biofiltración es una tecnología muy rentable, ya que permite alcanzar eficientemente la remoción de los gases contaminantes, para grandes flujos de aire con poca concentración de contaminante. El costo que genera la aplicación del tratamiento resulta de 3 a 10 veces inferior a las tecnologías físico-químico comúnmente aplicadas como la incineración, adsorción, etc. (2002, p. 327)

## **1.6 Hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis general**

- El biofiltro percolador en base a poliuretano es más eficiente en un 70% que el biofiltro percolador a base de compost para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

### **1.6.2 Hipótesis específicas**

- Las características microbiológicas varían durante el acondicionamiento de la *Pseudomona aeruginosa* para un Biofiltro percolador a base de poliuretano y compost

para la reducción de Benceno en una corriente de aire bajo condiciones de laboratorio.

- Las características y propiedades físicas del poliuretano y compost en un biofiltro percolador influyen en la reducción de Benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.
- Las características en el diseño de un Biofiltro percolador a base de poliuretano y compost influyen en la reducción de benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.
- Las condiciones óptimas de operación en un Biofiltro Percolador a base de poliuretano y compost para la reducción de benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio, es de temperatura (15-40°), pH (6-8), Humedad (40-60%), Tiempo de residencia (50-90 s) y presión (1000-10000 hPas).

## **1.7 Objetivos**

### **1.7.1 Objetivo general**

- Evaluar la eficiencia de un biofiltro percolador a base de poliuretano y la eficiencia en un biofiltro percolador a base de compost para la reducción de Benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

### **1.7.2 Objetivos específicos**

- Determinar las características microbiológicas que varían durante el acondicionamiento de la *Pseudomona Aeruginosa* para un Biofiltro percolador a base de poliuretano y compost para la reducción de Benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.
- Determinar las características y propiedades físicas del poliuretano y compost en un Biofiltro percolador que influyen en la reducción de Benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.
- Determinar la característica en el diseño de un Biofiltro percolador a base de poliuretano y compost que influyen en la reducción de benceno en el aire bajo condiciones de

laboratorio.

- Determinar la condición óptima de operación en un Biofiltro Percolador a base de poliuretano y compost para la reducción de benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

## II. MÉTODO

### 2.1. Diseño de la investigación

- **Tipo de investigación**

La investigación por su propósito es de tipo aplicada, debido a que el conocimiento es generado por parte de investigaciones anteriores y con enfoque cuantitativo. Una investigación cuantitativa es la que emplea una recopilación de diversos datos para contrastar una hipótesis, mediante el sustento en el cálculo numérico y bajo el análisis estadístico, con la finalidad de comprobar teorías y utilizar el razonamiento deductivo. (HERNÁNDEZ, *et al*, 2010)

- **Nivel de investigación**

De nivel explicativo, como sostiene HERNÁNDEZ, M (2017) “es aquella que tiene relación causal; no sólo persigue describir el problema, sino también pretende encontrar las causas de este”. En la presente investigación lo que se busca es encontrar como los parámetros físicos y microbiológicos influyen en la eficiencia de reducción del contaminante benceno tratado en un biofiltro percolador a escala de laboratorio.

- **Diseño de la investigación**

La presente investigación utilizó un diseño experimental, como sostiene HERNÁNDEZ, FERNANDEZ y BAPTISTA (2010, p.122) el diseño es experimental, debido a que se manipula la variable independiente, permitiendo producir cambios en la variable dependiente. En la investigación se manipuló la variable dependiente, representada por el biofiltro percolador a base de poliuretano y compost, las cuales sirvieron para evaluar



los efectos que se generaron sobre la variable dependiente para demostrar la eficiencia en la reducción del benceno en el aire generado a escala de laboratorio.

**O1 ---- X ----- O2**

Dónde:

O1: Medición de la concentración de benceno en el aire generado.

X: Aplicación del Biofiltro.

O2: Reducción del benceno en el aire.

## 2.2. Variable y definición operacional

**Tabla N° 9.** Matriz de operacionalización de la variable independiente

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
<b>Independiente:</b>  Biofiltro Percolador a base de Poliuretano y Compost	El Biofiltro percolador es un dispositivo que consta de un reactor el cual se encuentra empacado con un soporte sintético, natural y/o mineral en donde se desarrolla una biopelícula. Se alimenta de la corriente gaseosa con el contaminante a través del lecho, por la parte superior se alimenta con una corriente líquida, que se recircula al sistema, el cual aporta nutrientes esenciales a la biopelícula, ayuda a mantener las condiciones de humedad y pH, así como elimina productos de degradación. Los contaminantes son degradados a medida que atraviesan el lecho poroso gracias a la biomasa presente y que se alimenta de nutrientes y/o energía. (RAMÍREZ <i>et al</i> , 2011, p. 44)	El poliuretano y compost son materiales de soporte tipo sintético y orgánico, respectivamente que permitieron gracias a sus propiedades fisicoquímicas el desarrollo de los microorganismo formadores de biopelículas y también tomando en cuenta las características y condiciones de operación del Biofiltro para su adecuado funcionamiento.	Propiedades físicas del poliuretano	Volumen aparente	cm <sup>3</sup>
				Volumen efectivo	cm <sup>3</sup>
				Porosidad	% porcentaje
			Propiedades físicas y químicas del compost	Cantidad	Kg
				Volumen efectivo	cm <sup>3</sup>
				Volumen aparente	cm <sup>3</sup>
				Porosidad	% porcentaje
				Cantidad	Kg
			Características en el diseño de un biofiltro	Metales	mg/kg
				Área transversal	cm <sup>2</sup>
				Altura Total	cm
				Altura del lecho	cm
			Condiciones de operación del Biofiltro	Caudal	m <sup>3</sup> /h
				Tiempo de residencia del gas	Segundo
				Temperatura	°C
				pH	Unidad de pH
			Características microbiológicas	Humedad	% porcentaje
Presión	hPas				
Inoculo	L				
pH	Unidad de pH				
Temperatura	°C				
	N° Aprox. De Bacterias	10 <sup>6</sup> /ml			
	Nutrientes	ml			

Fuente: Elaboración propia (2018)

**Tabla N° 10. Matriz de operacionalización de la variable dependiente**

<b>Dependiente:</b>  Benceno en el aire	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 o Así mismo son emitidos por el uso de disolventes, pinturas y otros productos empleados y almacenados en la casa y el lugar de trabajo (VILLACRES, 2015,p.2015)	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 del contaminación	Cantidad del Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	ppm
			Parámetros de rendimiento en el Biofiltro.	Capacidad de eliminación	ug/m <sup>3</sup> h
				Eficiencia de remoción	% porcentaje

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 2.3. Población y muestra

#### 2.3.1. Población

La población establecida dentro del desarrollo de la investigación está determinada por el volumen de aire contaminado con benceno en las distintas industrias de pinturas, estaciones de combustibles e industrias químicas.

#### 2.3.2. Muestra

La muestra será no probabilística, ya que no se basa en el azar, sino en el criterio del investigador para elegir a los elementos pertenecientes a la muestra, debido a que el investigador puede decidir de manera arbitraria o consciente qué elementos seleccionará (MALLHORTA, 2008, p. 340)

La muestra que se tomaron en cuenta fueron los volúmenes de los biofiltros construidos a escala de laboratorio, cuyo volumen es de 0.0033 m<sup>3</sup> y 0.0033 m<sup>3</sup> para el biofiltro a base de poliuretano y el biofiltro a base de compost respectivamente, lo

que equivale a un volumen total de 0.006 m<sup>3</sup> de aire a tratar con concentraciones de benceno a la entrada, que se generaron dentro del sistema de biofiltros a escala de laboratorio, tomando como referencia los valores de límites permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo establecidos en el reglamento de la Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral (SUNAFIL) de 1.6 mg/m<sup>3</sup> para el benceno, equivalente a 0.5 ppm.

### 2.3.3. Muestreo

El muestreo es de orden completamente al azar, ya que las unidades se designaron de manera aleatoria a los tipos de tratamiento, conforme las pruebas o corridas experimentales se realizaron de manera estrictamente aleatoria, por lo cual se evitó cualquier tipo de sesgo que en favor de los tratamientos.

#### A. Técnicas de muestreo

##### - Muestreo para determinar las características microbiológicas

Durante la etapa de adaptación del inóculo se recolectaron las muestras de manera aleatoria simple de los reactores de adaptación, durante el proceso de aclimatación cada dos días con la finalidad de recabar muestras que sean representativas para analizar los parámetros físicos (pH y temperatura) y microbiológicos (Número aprox. de bacterias).

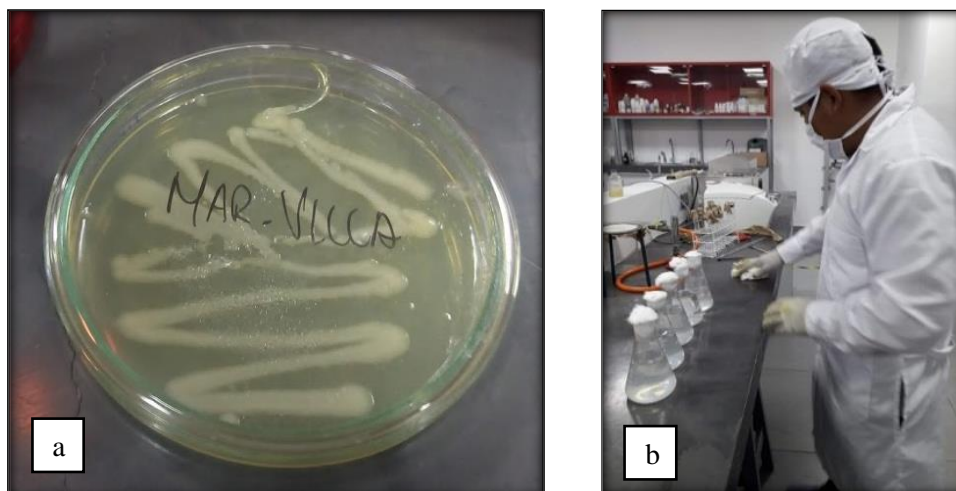


Figura N° 7. a) Incubación de la *Pseudomonas aeruginosa* y b) Preparación de Inoculo

Fuente: Elaboración propia (2018).

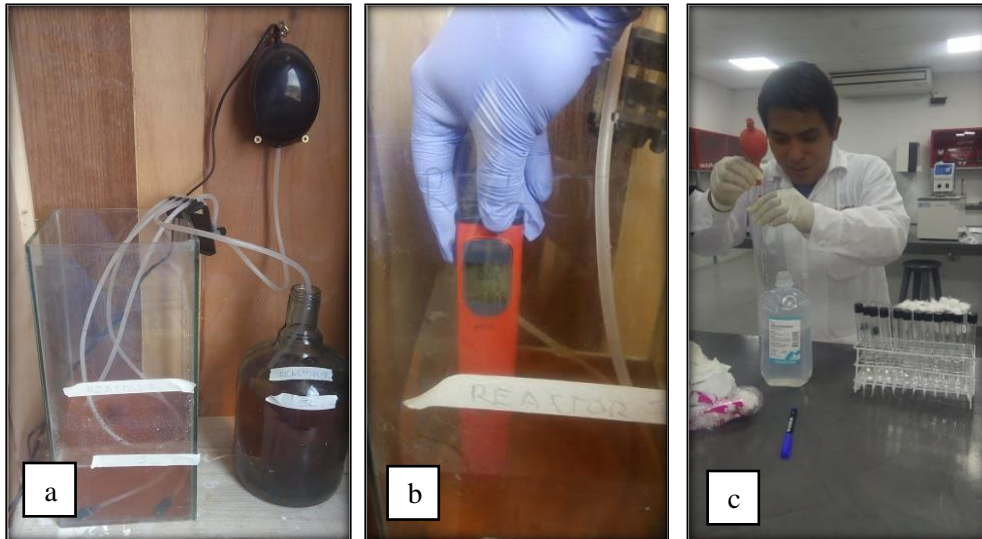


Figura N° 8. a) y b) Adaptación del inoculo en los biorreactores y c) Recolección de datos para determinar las características microbiológicas  
Fuente: Elaboración propia (2018)

- **Muestreo para determinar la concentración de benceno en el sistema**

Se muestreo los dos biofiltros percoladores a base de poliuretano y compost tanto a la entrada donde se generó el aire contaminado con benceno, como a la salida del mismo para determinar la eficiencia en la reducción del benceno en el sistema, con una frecuencia de cada dos días durante la mañana y la tarde con una réplica respectiva y utilizando un sensor automático (Mini-RAE 2000). Ver en la siguiente Figura N° 9 la ubicación de los puntos de muestreo del sistema a escala de laboratorio (B: bomba de recirculación; Com: Compresora de aire; M: punto de muestreo)

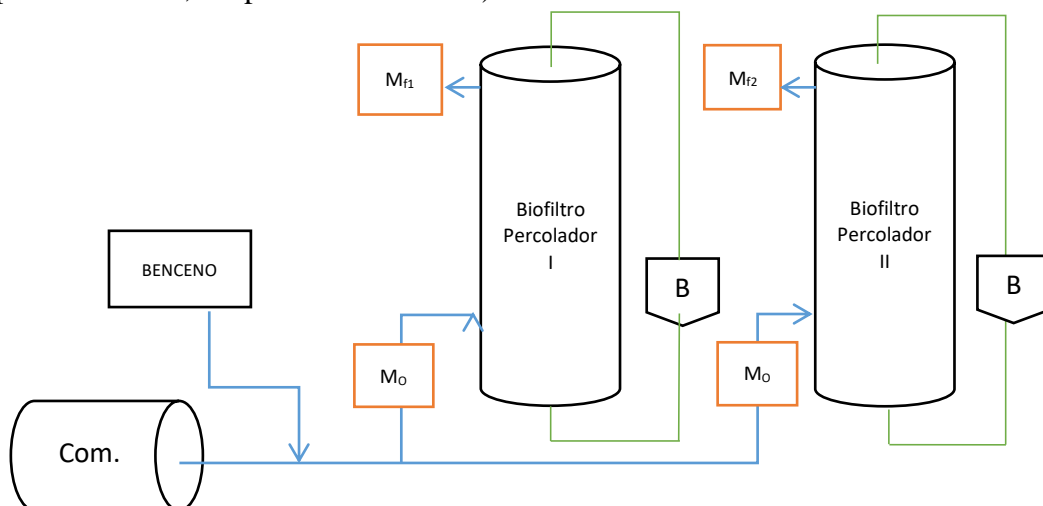


Figura N° 9. Diagrama de Puntos de muestreo en el sistema de Biofiltros Percoladores para la recolección de Datos  
Fuente: Elaboración propia, Adaptado de Agudelo (2015)

## B. Unidad Experimental

El volumen de los biofiltros diseñados a escala de laboratorio para tratar aire contaminado con benceno, 2018.

## C. Localización de la Unidad Experimental

La zona en donde se ubicó la unidad experimental fue en el distrito de Villa el Salvador, Lima, con las siguientes coordenadas UTM, WGS84 y Zona: 18 L:

**Tabla N° 11.** *Puntos de ubicación de la unidad experimental*

Este (X)	Norte (Y)
288211.23	8649146.91

Fuente: Elaboración propia (2018)

Para la elaboración del mapa de ubicación de la unidad experimental se utilizó el software ArcGis 10.3, con la finalidad de ubicar el punto de muestreo (Ver anexo N°5)

### 2.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

#### 2.4.1. Materiales y equipos utilizados en el experimento

##### **Para toma de muestras de aire:**

- Libreta de campo
- GPS
- Mini-RAE
- Cámara digital

##### **Para la adaptación del inóculo:**

- Agar Müller Hilton y Macconkey
- Balanza
- Matraz Erlenmeyer
- Probeta Graduada
- Tubos de Ensayos
- Agua destilada

- Varillas o baguetas de vidrio
- Placas Petri
- Espátula de Drigalsky
- Papel indicador de pH
- Autoclave
- Estufa
- Microscopio
- Espectrofotómetro
- Solución Salina al 0.085%
- Reactivos ( $\text{BaCl}_2$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Peachimetro
- Reactores de Vidrio

**Para la construcción y operación del sistema de Biofiltros:**

- Reactores de acrílico
- Regulador de Presión
- Válvula de agua
- Filtro de aire
- Termocúpla
- Controlador de Temperatura
- Resistencia Eléctrica
- Bomba de recirculación
- Compresor de aire
- Manguera 3/8
- Burbujeador
- Multiparámetro
- Sustancia nutritiva (Micro

**2.4.2. Descripción del procedimiento**

En la presente investigación se desarrolló una serie de etapas con la finalidad de lograr los objetivos propuestos para determinar la eficiencia del biofiltro percolador con material de soporte de poliuretano y compost en una corriente de aire. Es por ello que se tuvieron en consideración las siguientes etapas:

### a) Inoculación y Adaptación del inóculo

En esta etapa se realizó la selección del inóculo (microorganismos) con el cual se trabajó en las instalaciones del laboratorio de biotecnología de la UCV, luego durante 20 días se adaptó el inóculo a concentraciones de Benceno. Obsérvese la descripción del proceso en el siguiente diagrama de flujo. (Ver Figura N°10).

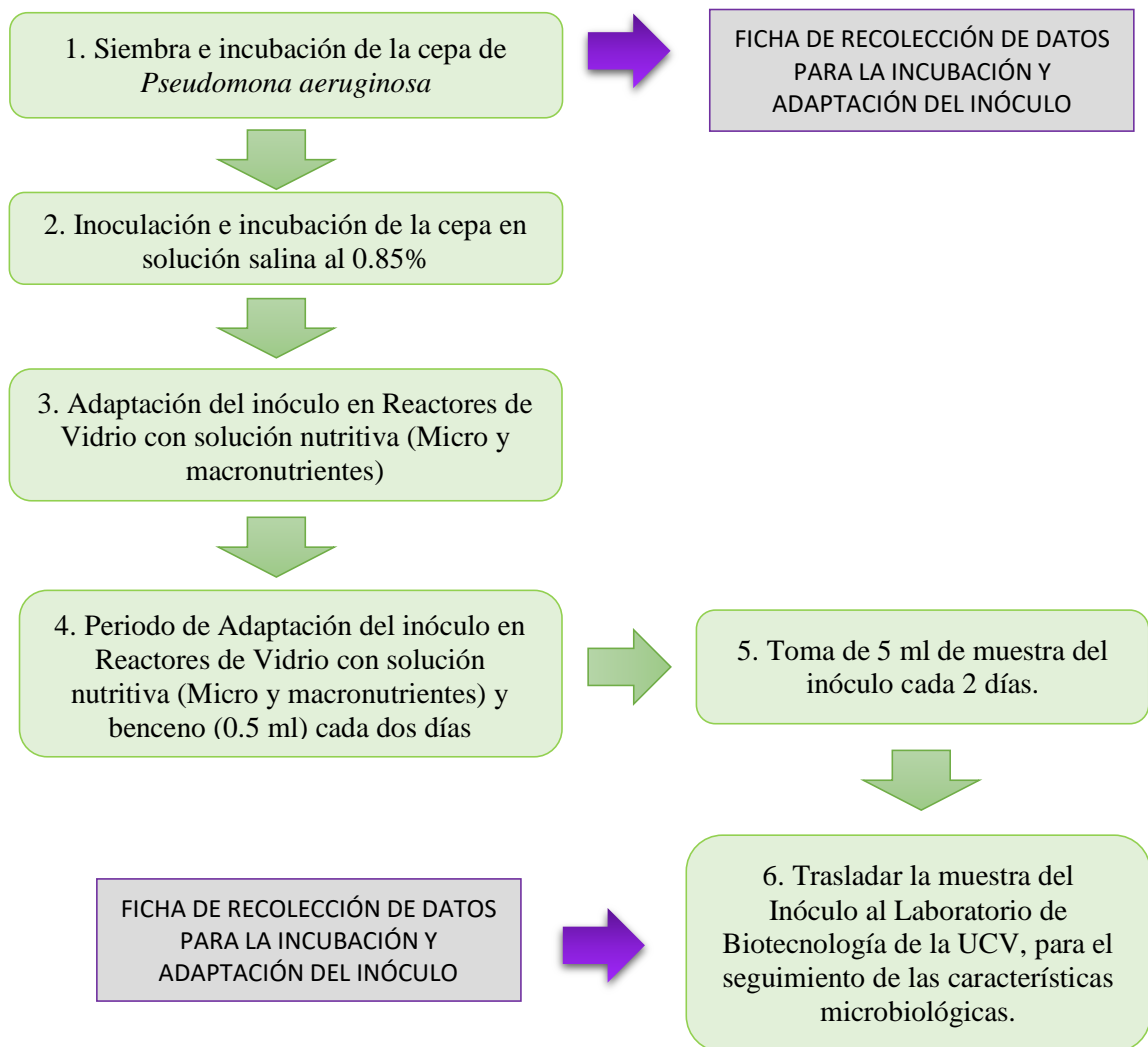


Figura N° 10. Diagrama del proceso de Incubación y Adaptación del inóculo  
Fuente: Elaboración propia (2018)

### b) Construcción de la unidad experimental

La construcción del sistema (Reactores a base de acrílico) consto de una planta de generación y tratamiento biológico a escala de laboratorio, en la primera etapa se dimensiono los biofiltros para la construcción de la unidad experimental. Ver Anexo N°6



(Plano del diseño de un Biofiltro percolador a Escala de laboratorio).

### Características en el diseño del Biofiltro Percolador

#### Área Transversal (A)

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

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

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

Donde:

Q= Caudal de gas

V= Velocidad de diseño de gas

#### Diámetro de la Columna (D)

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

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.00325}{\pi}} = 0.064 \text{ m}^2$$

#### Altura Promedio (L)

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

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

$$L = 0.32 \times 3$$

$$L = 0.96$$

#### Volumen del biofiltro (Vb)

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

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

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

### Tiempo de Residencia del gas (EBRT)

- Para el compost.

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

$$EBRT = \frac{0.003346 \text{ m}^3 \times 46.66}{11.7 \text{ m}^3/\text{h}} = 0.013 \text{ h}$$

$$EBRT = 47.8 \text{ s}$$

- Para el poliuretano.

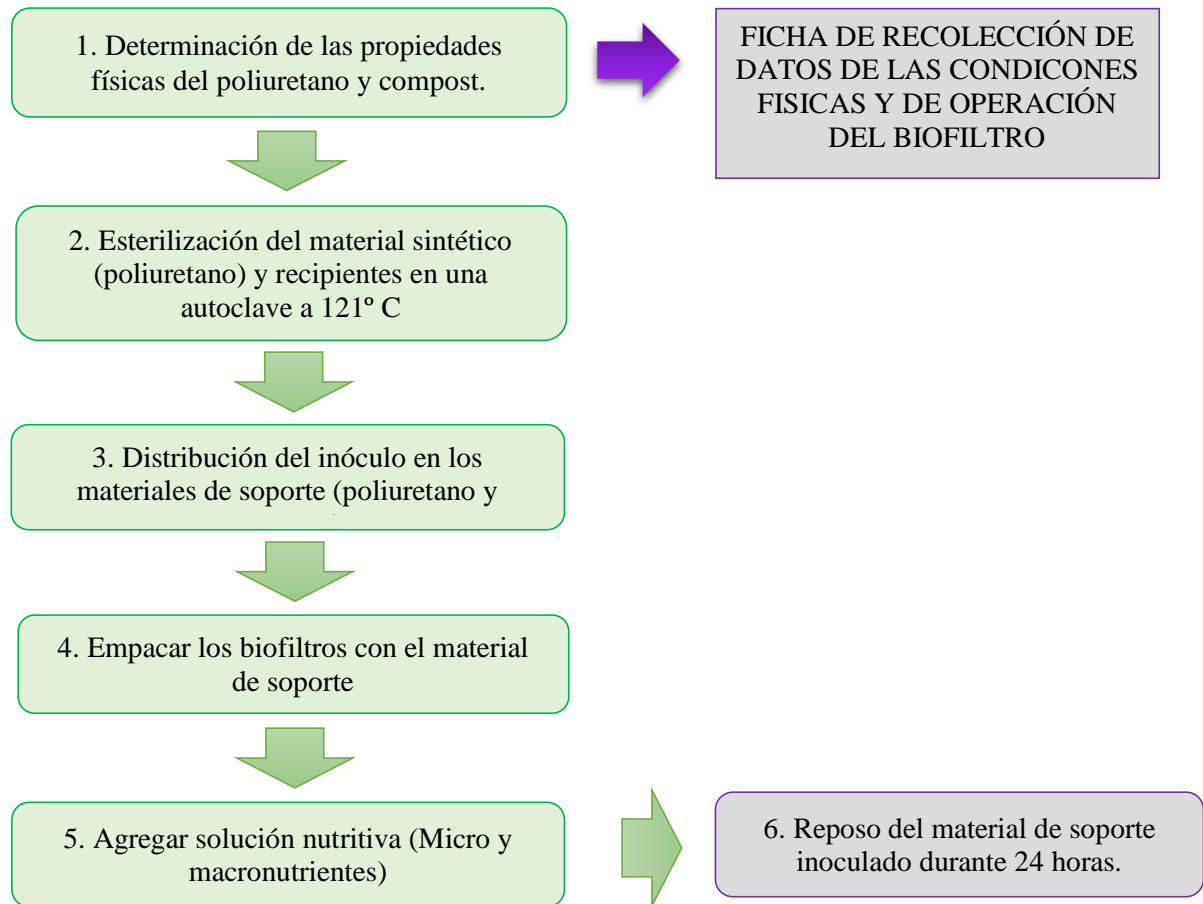
$$EBRT = \frac{Vfx\alpha}{Q}$$

$$EBRT = \frac{0.003346 \text{ m}^3 \times 81}{11.7 \text{ m}^3/\text{h}} = 0.023 \text{ h}$$

$$EBRT = 83.16 \text{ s}$$

### c) Proceso de inoculación

Durante este procedimiento se aplicó la ficha de recolección de datos las propiedades físicas y de operación del biofiltro. Obsérvese la descripción del proceso en el siguiente diagrama de flujo (Ver la Figura N°11).



*Figura N° 11.* Diagrama de flujo del proceso de inoculación  
Fuente: Elaboración propia, 2018

### d) Operación del Biofiltro Percolador y recolección de datos

La operación y funcionamiento se llevó a cabo en Villa el Salvador en un área debidamente acondicionada, para ello las condiciones de operación del Biofiltro percolador fueron en estado estacionarias, ingreso una corriente de aire por la parte inferior y por la parte superior se inyectó un líquido con solución nutritiva de manera intermitente. Obsérvese la descripción de las condiciones de operación tomadas en cuenta (Ver Tabla N°12).

**Tabla N° 12.** *Condiciones de operación para el biofiltro*

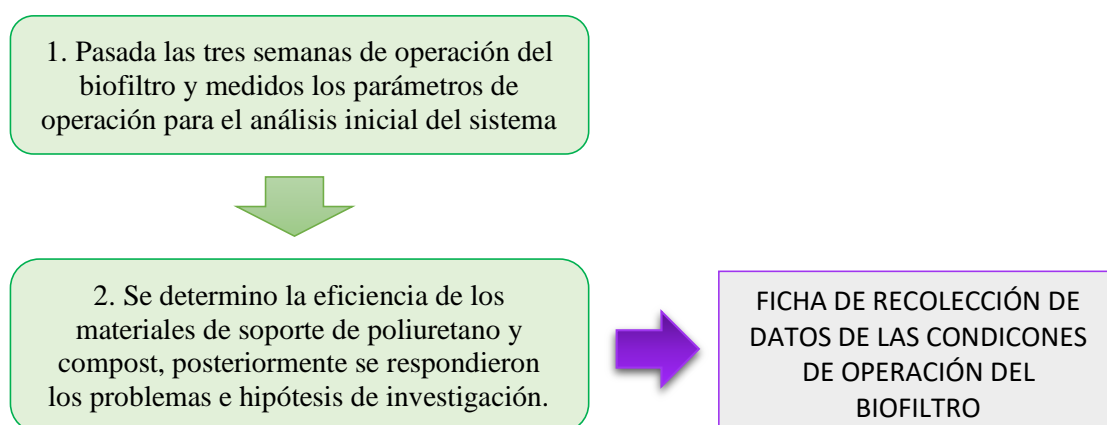
Parámetro	Valor
Temperatura (°C)	18-30
Tiempo de Residencia del gas (EBRT) s	30-90
Humedad %	40-60
pH	6-8
Caída presión (hPa) = 0.001bar	1-10

Fuente: Elaboración propia, 2018

La operación se realizó durante 12 días. En este punto se tomaron las muestras en la entrada y salida del biofiltro percolador con frecuencia de una vez por semana, por la mañana y por la tarde, para ello se utilizó un fotoionizador (Mini-RAE 2000) como medidor de la concentración de Benceno y se recolectaron los datos en la ficha de las condiciones de operación del biofiltro

#### e) **Procesamiento y discusión de la información**

Se realizó la comparación de las muestras iniciales y finales en la reducción de benceno para determinar la eficiencia de los biofiltros a base de poliuretano y compost en el aire y se procedió al análisis de los datos. (Ver figura N°12)



*Figura N° 12.* Diagrama de Procesamiento y discusión de resultados

Fuente: Elaboración propia, 2018

### 2.4.3. Técnica

#### Observación

Es un proceso empírico básico, en donde tanto las mediciones como el experimento necesitan de la observación, el objeto de esta es un hecho actual y su producto es un dato el cual expresará algunos rasgos del resultado (BUNGE, 2004, p.591). Debido a que los datos recopilados fueron obtenidos directamente del muestreo ejecutado para un posterior análisis de los resultados.

### 2.4.4. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron en el desarrollo de la investigación y que se adjuntaron en los ANEXOS 1, 2 y 3 son:

- **Ficha de recolección de datos para la adaptación del inóculo:** se registra el tipo de género y especie de los microorganismos, medio de cultivo, temperatura de incubación, tipo de COV y concentración del contaminante a adecuar.
- **Ficha de recolección de datos y condiciones de operación del Biofiltro:** Se registraron los tipos de material de soporte, el día y fecha, concentraciones del afluente y efluente, capacidad de eliminación (EC), eficiencia de remoción (ER); condiciones de operación del Biofiltro (Temperatura, presión, Humedad, tiempo de residencia del gas, flujo del gal pH).

**Tabla N° 13.** 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
Adaptación del inóculo	Laboratorio de microbiología de la UCV	Observación	Ficha de recolección de datos para la adaptación y proceso de inoculación de microorganismos	Reporte de los parámetros microbiológicos del inóculo
Proceso de inoculación				
Operación del biofiltro Percolador	Villa el salvador	Observación	Ficha de recolección de datos y condiciones de operación del biofiltro	Reporte de análisis de los parámetros físicos de las condiciones de operación

Fuente: Elaboración propia (2018)

#### 2.4.5. Validación y confiabilidad de instrumentos

La validación de los tres instrumentos fue revisadas y aprobadas por cuatro expertos en el tema (dos especialistas ambientales, un ingeniero agrónomo y una química farmacéutica), pertenecientes a la plana docente de la Universidad César vallejo.

**Tabla N° 14.** Datos Generales de Especialistas

DATOS GENERALES DE ESPECIALISTAS		CIP
Dr. Valverde Flores Jhonny Wilfredo	Especialista Ambiental	79862
Dr. Jiménez Calderón César Eduardo	Ingeniero Agrónomo	42355
Dr. Ordoñez Gálvez Juan Julio	Especialista Ambiental	89972
QF. De La Cruz Ávila Rosalbina	Químico Farmacéutico	89972

Fuente: Elaboración propia (2018)

**Tabla N° 15.** Validación de Instrumentos

<b>Especialista</b>	<b>Porcentaje de valorización</b>
Dr. Valverde Flores Jhonny Wilfredo	95%
Dr. Jiménez Calderón César Eduardo	85 %
Dr. Ordoñez Gálvez Juan Julio	85%
QF. De La Cruz Ávila Rosalbina	90%

Fuente: Elaboración propia (2018)

**Confiabilidad:** La confiabilidad se define como la probabilidad de éxito dentro de un sistema, el cual depende de la confiabilidad o éxito de sus distintos componentes (Niebel y Freivalds, 2009). La confiabilidad de los instrumentos de medición en la presente investigación, se determinaron por el método de consistencia interna Alfa de Cronbach, para lo cual se utilizó el software SPSS Versión 24.

**Tabla N°16.** Estadística de fiabilidad de los instrumentos

<b>Ficha</b>	<b>Alfa de Cronbach</b>	<b>N° de elementos</b>
Ficha de recolección de dato para la adaptación del inoculo	0.97	10
Ficha de recolección de datos y condiciones de operación	0.97	10

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPP Versión 24 (2018)

## 2.5. Método de Análisis

### 2.5.1. Método de recojo de datos

Las muestras de concentración de contaminante en el aire dentro del sistema de tratamiento de biofiltro percolador a base de poliuretano y compost, fueron tomadas en los distintos puntos de medición de cada reactor antes de entrar al sistema, como a la salida del mismo, las mediciones fueron tomadas mediante el equipo medidor de COV's mini-RAE 2000, equipo debidamente calibrado y certificado por la empresa IMVENSAC, con el cual a través de las mediciones se obtuvo la eficiencia de ambos

tratamientos para reducir la concentración de benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

Además, se utilizaron programas para el procesamiento de los datos obtenidos durante la experimentación para un mejor análisis de los resultados. Los programas utilizados fueron:

- **SPSS Versión 24:** Este programa permitió el procesamiento de los datos de manera estadística, así como permitió relacionar las variables establecidas en la investigación.
- **Microsoft Excel:** El programa permitió realizar los distintos formatos, cronogramas, cuadros comparativos; permitió el procesamiento de los datos recolectados durante el muestreo como los datos obtenidos en el laboratorio para su posterior procesamiento mediante el SPSS.
- **AutoCAD:** este programa permitió diseñar a escala de laboratorio el sistema de biofiltro con las dimensiones requeridas para su elaboración.

### 2.5.2. Método de procesamiento de datos

El método de análisis que se utilizó en el desarrollo de la investigación fue la estadística aplicada, con un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo con un diseño de investigación experimental, en donde se realizó una pre y pos prueba,

Para dicho procesamiento estadístico, se empleó el programa Microsoft Excel, el cual permitió desarrollar cuadros y graficas de barra para interpretar los resultados por el uso de un biofiltro percolador a base de poliuretano y compost para la reducción de benceno en una corriente de aire.

En la presente investigación para contrastar hipótesis, se utilizó la prueba de hipótesis “T-Student”, donde se tuvieron dos grupos experimentales, con dos muestras independientes, las muestras fueron analizadas antes y después de la aplicación del tratamiento, para ello se aplicó el siguiente tipo de “T-student”.



### Muestras relacionadas “antes y después”

Para determinar si existe una diferencia significativa entre las medias de los resultados de los parámetros antes y después de cada tratamiento, se evaluó en cumplimiento de los siguientes supuestos:

- **Normalidad**

Se comprueba con Kolmogorov-Smirlov, para muestras mayores a 30 y Shapiro-Wilk para muestras menores a 30.

**Criterio para determinar la normalidad:**

P-valor  $\leq \alpha$ , los datos provienen de una distribución normal

P-valor  $> \alpha$ , los datos no provienen de una distribución normal

Donde  $\alpha = 0.05$

**Criterio para toma de decisión:**

P-valor  $\leq \alpha$ , se rechaza la  $H_0$  (Se acepta la  $H_a$ )

P-valor  $> \alpha$ , no se rechaza la  $H_0$  (Se acepta la  $H_0$ )

### Muestras independientes

Para determinar si existe una diferencia significativa entre las medias de los resultados de los parámetros antes y después de cada tratamiento, se evaluó en cumplimiento de los siguientes supuestos:

- **Normalidad**

Se comprueba con Kolmogorov-Smirlov, para muestras mayores a 30 y Shapiro-Wilk para muestras menores a 30.

**Criterio para determinar la normalidad:**

P-valor  $\leq \alpha$ , los datos provienen de una distribución normal

P-valor  $> \alpha$ , los datos no provienen de una distribución normal

Donde  $\alpha = 0.05$

**Criterio para toma de decisión:**

P-valor  $\leq \alpha$ , se rechaza la  $H_0$  (Se acepta la  $H_a$ )

P-valor  $> \alpha$ , no se rechaza la  $H_0$  (Se acepta la  $H_0$ )

- **Igualdad de varianza:**

Criterio para determinar la varianza

P-valor  $\leq \alpha$ , acepta la Ho (las varianzas son iguales)

P-valor  $> \alpha$ , acepta la Ha (existe diferencia significativa entre las varianzas)

**Criterio para la toma de decisión:**

P-valor  $\leq \alpha$ , acepta la Ho (se acepta la Ha)

P-valor  $> \alpha$ , acepta la Ha (se acepta la Ho)

## **2.6. Método de procesamiento de datos**

Los análisis que se requirió para la investigación, se realizaron mediante mediciones con equipos debidamente calibrados y certificado; y por los equipos que se cuentan en los laboratorios de la Universidad César Vallejo, por lo cual el investigador se comprometió a respetar la veracidad de los resultados de acuerdo a los lineamientos establecidos por la institución, así como el código de ética durante las distintas etapas del proceso de experimentación del presente proyecto

### III. Resultados

En el presente capítulo se detalla los resultados obtenidos en las distintas etapas del tratamiento aplicado en el desarrollo de la investigación, durante el periodo de incubación y adaptación del inóculo, para ello se midieron los parámetros microbiológicos, así como los parámetros físicos de los materiales de soportes (poliuretano y compost), finalmente se detalla los resultados de la última etapa de la experimentación obtenidos durante el funcionamiento del sistema de biofiltro percoladores.

#### 3.1 Incubación y adaptación del inóculo

##### Resultados iniciales:

Los resultados iniciales fueron obtenidos y medidos durante el periodo de incubación de la cepa de *Pseudomonas aeruginosa* (Ver Tabla N°16), en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo. Dentro de los cuales se obtuvieron:

**Tabla N° 16.** Datos iniciales de incubación de la cepa de *Pseudomonas aeruginosa*

Código	Género	Especie	Medio de Cultivo	T°
ATCC-27853	<i>Pseudomonas</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Agar Müller Hilton	37°
ATCC-27854	<i>Pseudomonas</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Agar Müller Hilton	37°
ATCC-27855	<i>Pseudomonas</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Solución Salina al 0,85%	37°
ATCC-27856	<i>Pseudomonas</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Agar Müller Hilton	37°
ATCC-27857	<i>Pseudomonas</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Solución Salina al 0,85%	37°

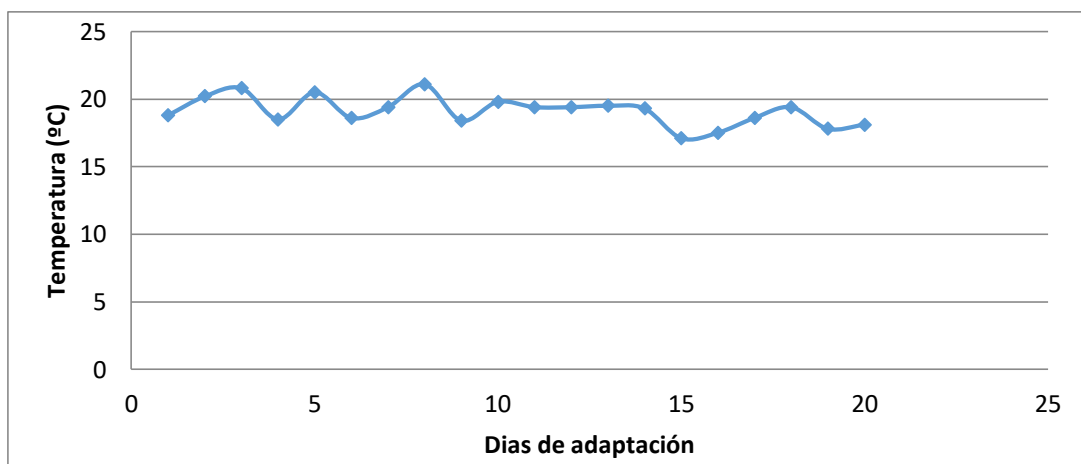
Fuente: Resultados obtenidos en el laboratorio de biotecnología de la Universidad César Vallejo (2018)

Durante el periodo de incubación de la bacteria se tomaron en cuenta los medios de cultivos óptimos para su desarrollo, así como las temperaturas optimas de crecimiento en la incubadora, para ello se desarrollaron varias siembras con la finalidad de poder lograr el crecimiento adecuado de la bacteria y esta pueda ser inoculada en solución salina durante 24 horas para poder pasar a la siguiente etapa de adaptación con el contaminante (Benceno). Ver Tabla N°17.

**Tabla N° 17.** Resultados de pH y temperatura durante la adaptación del inóculo.

Medición	Fecha	Hora	T°	pH
1	Fecha:29/09/2018	21:00	18.8	7.70
2	Fecha: 30/10/2018	10:00	20.2	7.84
3	Fecha: 01/10/2018	11:15	20.8	7.60
4	Fecha:02/10/2018	20:15	18.5	7.35
5	Fecha:03/10/2018	8:30	20.5	6.77
6	Fecha:04/10/2018	12:00	18.6	7.10
7	Fecha:05/09/2018	21:00	19.4	6.92
8	Fecha: 06/10/2018	10:00	21.1	6.93
9	Fecha:07/10/2018	11:15	18.4	6.94
10	Fecha:08/10/2018	20:15	19.8	7.00
11	Fecha:09/10/2018	8:30	19.4	6.92
12	Fecha:10/10/2018	12:00	19.4	7.35
13	Fecha:11/10/2018	20:00	19.5	7.60
14	Fecha:12/10/2018	20:30	19.3	7.08
15	Fecha:13/10/2018	18:00	17.1	7.71
16	Fecha:14/10/2018	18:50	17.5	7.86
17	Fecha:15/10/2018	21:00	18.6	7.50
18	Fecha:16/10/2018	21:30	19.4	7.80
19	Fecha:17/10/2018	21:40	17.8	7.77
20	Fecha:18/10/2018	21:50	18.1	7.56

Fuente: Resultados obtenidos en el laboratorio de biotecnología de la Universidad César Vallejo (2018)



*Figura N° 13.* Comportamiento de la temperatura vs los días de adaptación de 1500 ml del inóculo.

Fuente: Elaboración propia (2018)

La figura N°13, representa el comportamiento de la temperatura en el reactor con los 1500 ml de inóculo de *Pseudomona Aeruginosa* en solución salina al 0.85 %, con adición cada dos días de sustancia nutritiva (micro y macronutrientes). En el gráfico se observa que la temperatura varía entre en +3 °C durante los primeros diez días y durante los siguientes 10 días se observa que la temperatura se mantiene constante en un rango de +0.52°C, por lo cual se observa que se encuentra en el rango permisible para el crecimiento de la bacteria *Pseudomona aeruginosa*, ya que se mantuvo constante.

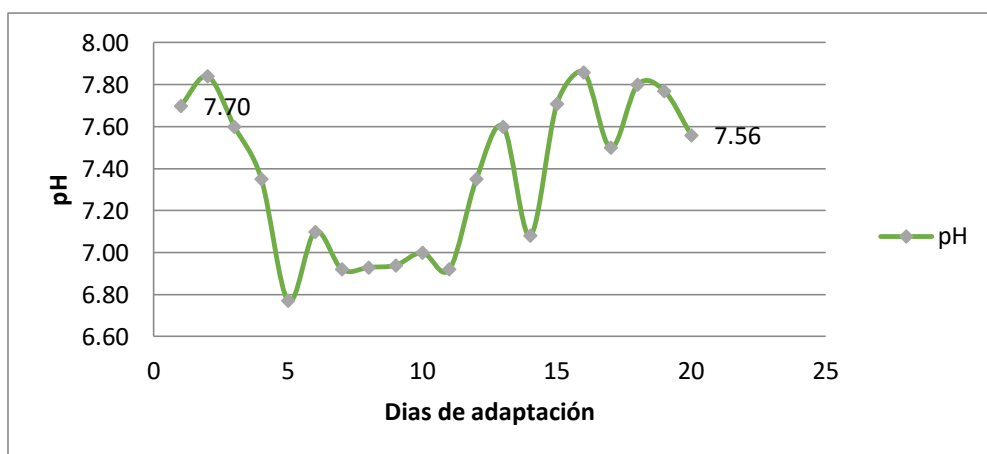


Figura N° 14. Comportamiento del pH vs los días de adaptación de 1500 ml del inóculo.

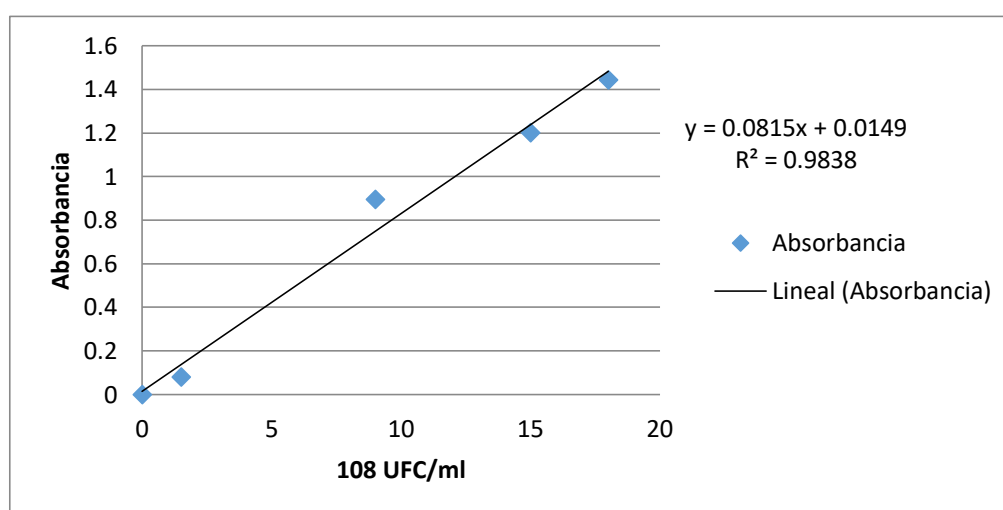
Fuente: Elaboración propia (2018)

La figura N°14, representa el comportamiento del pH en el reactor con los 1500 ml de inóculo de *Pseudomona Aeruginosa* en solución salina al 0.85 %, con adición cada dos días de sustancia nutritiva (micro y macronutrientes). En el gráfico se observa que el pH varío en +1.4 unidades durante los días de adaptación, por lo tanto, se puede afirmar que el pH se mantuvo constante. Asimismo, durante los primeros 5 días se observa que el pH aumenta su grado de acidez hasta 6.77, posteriormente el pH se mantiene ligeramente neutro, durante los siguientes 6 días manteniéndose en un rango entre 6.8 y 7.2, finalmente durante los 9 días restantes, el pH aumenta ligeramente su basicidad entre rangos de 7 a 8. Asimismo, se aprecia que los picos altos y bajos de pH durante los días de adaptación son influenciados directamente por la temperatura, al aumentar la temperatura a 20.2°C respecto del valor inicial (18.8 °C), el pH aumenta su basicidad de 7.84 a 7.70 y para los picos más bajos de pH, respecto del inicio fue de 6.92 para una temperatura alcanzada de 19.4 1°C.

**Tabla N° 18.** Resultados de absorbancia obtenidos en la preparación de la escala de McFarland

N°	10 <sup>8</sup> UFC/ml	Absorbancia
0	0	0
0,5	1,5	0,080
3	9	0,895
5	15	1,202
6	18	1,443

Fuente: Elaboración propia (2018)



*Figura N° 15.* Curva Estándar de Patrones en la Escala de McFarland (Absorbancia vs 10<sup>8</sup> UFC/ml)

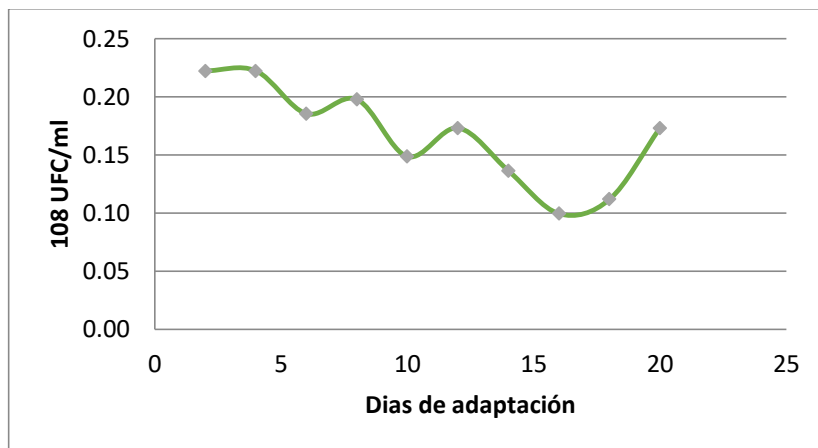
Fuente: Elaboración propia (2018)

La Figura N°15, se representó la curva de crecimiento bacteriano mediante la medición de la absorbancia de las soluciones patrones de la escala de McFarland la cual permitió el conteo indirecto del número más probable de bacterias en una muestra, para ello se preparó las soluciones patrones a distintas concentraciones a base de BaCl<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. En el gráfico se observa que la curva patrón está representada por la ecuación de la recta  $y = 0.0815x + 0.0149$ , la cual permitirá representar los resultados del seguimiento sobre el crecimiento bacteriano del inóculo que fue medido cada 48 horas en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo. Ver resultados en la Tabla N°18.

**Tabla N° 19.** Resultados de la curva de crecimiento bacteriano mediante la escala de McFarland

Muestra	Absorbancia	10 <sup>8</sup> UFC/ml
1	0,033	0,22
2	0,033	0,22
3	0,030	0,19
4	0,031	0,20
5	0,027	0,15
6	0,029	0,17
7	0,026	0,14
8	0,023	0,10
9	0,024	0,11
10	0,029	0,17

Fuente: Elaboración propia (2018)



*Figura N° 16.* Curva de crecimiento en 10<sup>8</sup>UCF/ml vs Días de adaptación  
Fuente: Elaboración propia (2018)

La Figura N°16, se representó el crecimiento bacteriano mediante la ecuación de la recta  $y = 0.0815x + 0,0149$ , la cual permitió calcular el número de bacterias en las muestras tomadas del inóculo cada dos días durante el periodo de adaptación iniciando con un número de bacterias de  $0.22 \times 10^8$  UFC/ml, observándose que el crecimiento se encontró en decaimiento hasta la muestra numero 8 donde alcanzo el más bajo crecimiento con  $0.10 \times 10^8$  UFC/ml, para posteriormente ascender a un ligero crecimiento de  $0.11 \times 10^8$  UFC/ml.

### 3.2 Proceso de inoculación

Los resultados obtenidos para determinar las propiedades físicas de los materiales de soporte se determinaron en el laboratorio de suelos y edafología de la Universidad Cesar Vallejo para ello se determinaron el volumen aparente, volumen real o efectivo y la porosidad del poliuretano y compost. Ver Tabla N°20.

**Tabla N° 20.** Resultados de las propiedades físicas de los materiales de soporte

Material de soporte del Biofiltro	Volumen Aparente (cm <sup>3</sup> )	Volumen Efectivo (cm <sup>3</sup> )	Porosidad %	Humedad %	Cantidad (Kg)
Poliuretano	0.34	2,7	81.00	-	0.2
Compost	0.65	1,22	46.66	40.1	4

Fuente: Resultados obtenidos en el laboratorio de suelo y edafología de la Universidad César Vallejo (2018)

Es importante conocer las características físicas del material de soporte, ya que el nivel de porosidad permitirá un mayor flujo de la corriente de aire a tratar y el nivel de humedad permite la mejor adhesión del inóculo y por ende mayor fijación de las biopelículas. Los materiales de soporte como el poliuretano fueron esterilizados en la estufa durante un periodo de 20 minutos a 121°C y fueron puestas en un recipiente esterilizado con alcohol de 90°, posteriormente fueron trasladados para ser inoculado, finalmente dichos materiales con el compost fueron inoculados durante un periodo de 72 horas, para asegurar la fijación de la biomasa.

### 3.3 Operación del biofiltro y recolección de datos

En la tabla N° 21, 22, y 23, se observan los resultados obtenidos durante la operación del biofiltro a base de poliuretano y compost fueron tomadas con el equipo detector de COV's miniRAE 2000, equipo debidamente certificado y calibrado por la empresa INVEMSAC, los datos fueron tomados en un periodo de 12 días de operación de ambos biofiltros de funcionamiento paralelo y continuo durante 24 horas de operación, con paradas cada 8 horas para su revisión.



**Tabla N° 21.** Resultados de concentración de benceno en el Biofiltro a base de Poliuretano

<b>TRATAMIENTO N° 1: Biofiltro a base Poliuretano</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Concentración inicial (C<sub>o</sub>) de benceno</b>	<b>Concentración final (C<sub>f</sub>) de benceno</b>
		<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
<b>Prueba</b>	<b>1</b>	15.20	11.50
	<b>2</b>	8.60	5.90
	<b>3</b>	45.36	12.22
	<b>4</b>	32.50	11.70
	<b>5</b>	11.20	7.10
	<b>6</b>	12.70	8.40
<b>Promedio</b>		<b>20.93</b>	<b>9.47</b>

Fuente: Resultados obtenidos durante la operación de la unidad experimental (2018)

**Tabla N° 22.** Resultados de CE y ER de benceno en el Biofiltro a base de Poliuretano.

<b>TRATAMIENTO N° 1: Biofiltro a base Poliuretano</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Capacidad de Eliminación (CE) para el benceno (ppm/h)</b>	<b>Eficiencia de remoción (ER) para el benceno (%)</b>
		<b>Prueba</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	34.30		31.40
<b>3</b>	369.67		73.06
<b>4</b>	231.90		64.00
<b>5</b>	45.70		36.61
<b>6</b>	47.94		33.86
<b>Promedio</b>		<b>128.64</b>	<b>43.88</b>

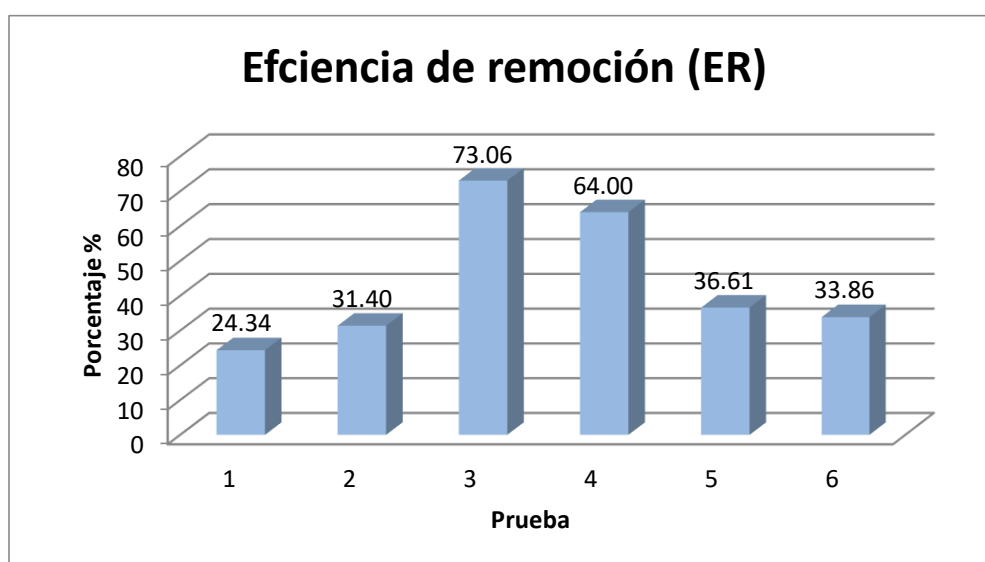
Fuente: Resultados obtenidos durante la operación de la unidad experimental (2018)

**Tabla N° 23.** Resultados de condiciones de operación en el Biofiltro a base de Poliuretano.

TRATAMIENTO N° 1: Biofiltro a base Poliuretano					
Condiciones de operación		Humedad (%)	Temperatura (C°)	pH	Presión (hPas)
Prueba	1	95.00	18.50	7.88	8500
	2	81.00	20.40	8.27	8500
	3	79.00	21.60	8.34	8500
	4	71.00	22.82	7.85	8500
	5	76.00	21.00	8.22	10000
	6	79.00	20.10	8.00	12000
<b>Promedio</b>		<b>80.17</b>	<b>20.74</b>	<b>8.09</b>	<b>7833.33</b>

Fuente: Resultados obtenidos durante la operación de la unidad experimental, 2018

A continuación, en la Figura N°17, se observa la eficiencia de remoción de benceno en la corriente de aire durante los 12 días de operación, alcanzando valores máximos de 73.06 y 64.00 %, así como valores mínimos de 24.34 y 34.40 % durante los primeros dos días de operación del sistema, para el biofiltro a base de poliuretano bajo condiciones promedio de humedad de 80.17%, temperatura de 20.74 °C, pH de 8.09 y presión de 7833.33 hPas.



*Figura N° 17.* Eficiencia de remoción tratamiento N°1

Fuente: Elaboración propia (2018)

**Tabla N° 24.** Resultados de concentración de benceno en el Biofiltro a base de Compost.

<b>TRATAMIENTO N° 2: Biofiltro a base de Compost</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Concentración inicial (C<sub>o</sub>) de benceno</b>	<b>Concentración final (C<sub>f</sub>) de benceno</b>
		<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
<b>Prueba</b>	<b>1</b>	16.00	11.00
	<b>2</b>	8.80	3.60
	<b>3</b>	11.21	6.90
	<b>4</b>	7.60	2.80
	<b>5</b>	11.80	2.30
	<b>6</b>	10.90	3.26
<b>Promedio</b>		<b>11.05</b>	<b>4.98</b>

Fuente: Resultados obtenidos durante la operación de la unidad experimental (2018)

**Tabla N° 25.** Resultados de CE y ER en el Biofiltro a base de Compost.

<b>TRATAMIENTO N° 2: Biofiltro a base de Compost</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Capacidad de Eliminación (CE)</b>	<b>Eficiencia de remoción (ER)</b>
		<b>para el benceno (ug/m<sup>3</sup>h)</b>	<b>para el benceno (ppm)</b>
<b>Prueba</b>	<b>1</b>	31.45	31.25
	<b>2</b>	59.48	59,09
	<b>3</b>	49.30	38,45
	<b>4</b>	53.95	63,16
	<b>5</b>	105.92	80.51
	<b>6</b>	85.18	70.09
<b>Promedio</b>		<b>106.62</b>	<b>57.09</b>

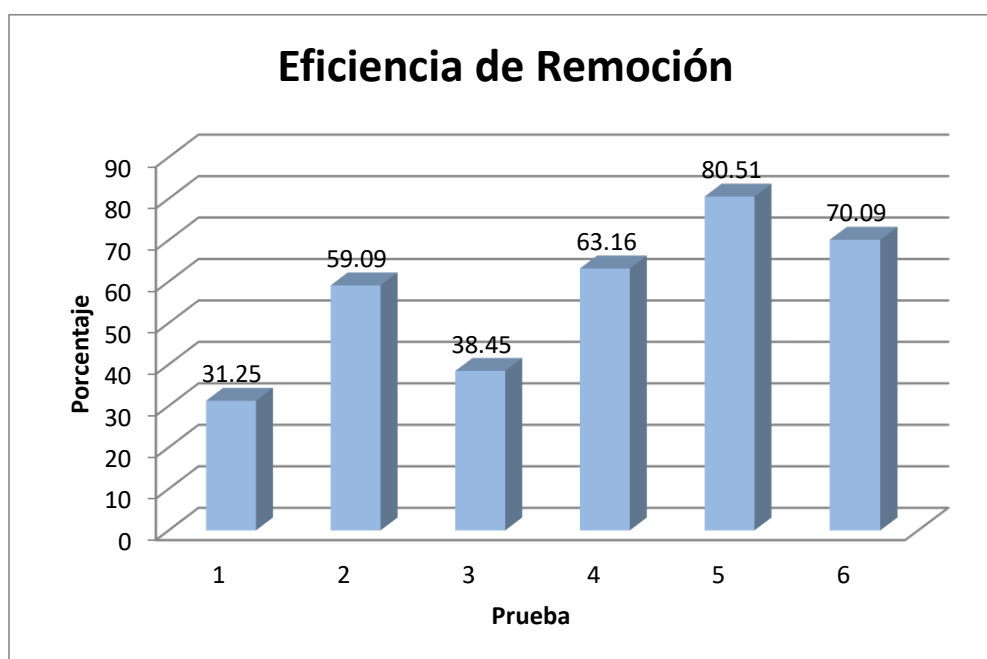
Fuente: Resultados obtenidos durante la operación de la unidad experimental (2018)

**Tabla N° 26.** Resultados de condiciones de operación en el Biofiltro a base de Compost.

TRATAMIENTO N° 2: Biofiltro a base de Compost					
Condiciones de operación		Humedad (%)	Temperatura (C°)	pH	Presión (hPas)
<b>Prueba</b>	<b>1</b>	94,00	21,20	7,19	8500
	<b>2</b>	84,00	19,90	7,40	8500
	<b>3</b>	89,00	20,80	7,30	8500
	<b>4</b>	84,00	21,00	8,00	8500
	<b>5</b>	86,00	21,40	7,93	10000
	<b>6</b>	83,00	19,40	7,94	12000
<b>Promedio</b>		<b>86,67</b>	<b>20,62</b>	<b>7,63</b>	<b>7833.33</b>

Fuente: Resultados obtenidos durante la operación de la unidad experimental (2018)

A continuación, en la Figura N°18, se observa la eficiencia de remoción de benceno en la corriente de aire durante 12 días, alcanzo valores máximos de 80.51 y 70.09 % durante los días finales de operación y alcanzo valores mínimos de 21.25 y 38.45 % durante el inicio del sistema, para el biofiltro a base de compost bajo condiciones promedio de humedad de 86.67%, temperatura de 20.62 °C, pH de 7.63 y presión de 7833.33 hPas



*Figura N° 18.* Eficiencia de remoción tratamiento N°2

Fuente: Elaboración propia (2018)

## Contraste de hipótesis

### Hipótesis general

**Hi:** El biofiltro percolador a base de poliuretano es eficiente en un 70% para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

**Ho:** El biofiltro percolador a base de poliuretano no es eficiente en un 70% para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

### T-Student muestras relacionadas

En la tabla N° 27, 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 el tratamiento N°1 del biofiltro a base de poliuretano y los cálculos correspondientes de Kolmogorov-Samirnov y de Shapiro-Wilk.

**Tabla N° 27.** Prueba de normalidad de la concentración de benceno (ppm) inicial y final-Tratamiento N°1 Biofiltro a base de poliuretano.

Pruebas de normalidad							
Concentraciones de Benceno	Parámetro de Concentración	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	Concentración Inicial (Co)	0,318	6	0,057	0,826	6	0,099
Concentración final (Cf)	0,275	6	0,176	0,876	6	0,251	

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

Se verifica en la tabla N°27 mediante la prueba de normalidad para la concentración de Co (antes del tratamiento) y Cf (después) del tratamiento N°1 Biofiltro a base de poliuretano, donde la significancia bilateral es de **0.099** y **0.251** respectivamente, dichos valores son mayores a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos provienen de una **distribución normal**.

- En la Tabla N°28, se muestra la prueba T-Student (muestras relacionadas), la cual comprende datos de la concentración de benceno en la corriente de aire durante el tratamiento N°1.

**Tabla N° 28.** Prueba de T-Student concentración de benceno inicial y final-Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano)

Prueba de muestras emparejadas								
	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Concentración Inicial (Co) - Concentración final (Cf)	11,45667	12,64633	5,16284	-1,81484	24,72818	2,219	5	0,077

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

**a) Prueba de Hipótesis**

**Hi:** El tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de poliuretano) es eficiente en un 70% para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

**H0:** El tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de poliuretano) no es eficiente en un 70% para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

**b) Regla de decisión**

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

**c) Resultado**

Sig = 0,077, siendo mayor a 0.05

No rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula

#### d) Decisión

No existe una diferencia significativa en las medias de las concentraciones antes y después de aplicado el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de poliuretano). Por lo cual se concluye que no es eficiente en un 70% para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

En la tabla N° 29, 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 el tratamiento N°2 del biofiltro a base de compost y los cálculos correspondientes de Kolmogorov-Samirnov y de Shapiro-Wilk.

**Tabla N° 29.** Prueba de normalidad de la concentración de benceno (ppm) inicial y final-Tratamiento N°2 Biofiltro a base de compost.

Pruebas de normalidad							
	Parámetro de Concentración	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentraciones de Benceno	Concentración Inicial (Co)	0,232	6	,200*	0,934	6	0,615
	Concentración final (Cf)	0,325	6	,046	0,809	6	0,071

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

Se verifica en la tabla N° 29, mediante la prueba de normalidad para la concentración de Co (antes del tratamiento) y Cf (después) del tratamiento N°1 Biofiltro a base de compost, donde la significancia bilateral es de **0.0615** y **0.071** respectivamente, dichos valores son mayores a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos provienen de una **distribución normal**.

- En la tabla N° 30, se muestra la tabla de prueba de T-Student (muestras relacionadas), la cual comprende datos de la concentración de benceno en la corriente de aire durante el tratamiento N°1.

**Tabla N° 30. Prueba de T-Student concentración de benceno inicial y final-  
Tratamiento N°2 (Biofiltro a base de poliuretán)**

Prueba de muestras emparejadas								
Concentración Inicial (Co) - Concentración final (Cf)	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
	6,07500	2,04166	0,83351	3,93241	8,21759	7,288	5	0,001

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

**a) Prueba de Hipótesis**

**Hi:** El tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de compost) es eficiente en un 80% para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

**H0:** El tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de compost) no es eficiente en un 80% para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

**b) Regla de decisión**

Sig < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (se acepta la Ho)

**c) Resultado**

Sig = 0,001, siendo menor que 0.05

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna

**d) Decisión**

Hay una diferencia significativa en las medias de las muestras antes y después del tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de compost), por lo cual se concluye que si tiene efectos significativos de eficiencia en un 80% para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.



## T-Student para muestras independientes

**Hi:** Existe una diferencia significativa entre la media de los resultados del tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y la media de los resultados del tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano)

**Ho:** No existe una diferencia significativa entre la media de los resultados del tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y la media de los resultados del tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**Tabla N° 31.** Prueba de normalidad sobre la concentración final (Cf)-Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost).

Pruebas de normalidad							
	Tipo de tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración final (Cf)	Biofiltro a base de poliuretano	0,275	6	0,176	0,876	6	0,251
	Biofiltro a base de compost	0,275	6	0,176	0,876	6	0,251

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

Se verifica en la tabla N°31 mediante la prueba de normalidad para la concentración final (Cf) con el Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliurteano) y la concentración final (Cf) con el Tratamiento N° 2 (Biofiltro a base de compost), donde la significancia bilateral es de **0.251** y **0.251** respectivamente, dichos valores son mayores a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos provienen de una **distribución normal**.

- En la tabla N°32, se muestra la prueba de T-Student (muestras independientes), la cual comprende datos de la concentración final (Cf) de benceno, en los tratamientos con Biofiltro a base de poliuretano y compost.

**Tabla N° 32.** Prueba de T-Student concentración de (Cf)-Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost)

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Concentración final (Cf)	Se asumen varianzas iguales	0,000	1,000	0,000	10	1,000	0,00000	1,55270	-3,4596	3,45962
	No se asumen varianzas iguales			0,000	10,000	1,000	0,00000	1,55270	-3,4596	3,45962

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

### Prueba de igualdad de varianza de Levene

#### a) Prueba de hipótesis

**Hi:** Si existe igualdad de varianza en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**Ho:** No existe igualdad de varianza en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

#### b) Regla de decisión

$Sig > 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula

#### c) Resultado

$Sig = 1.00$ , siendo mayor que 0.05

Se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna

**d) Decisión**

Si existe igualdad de varianza en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano), para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

**Prueba T-student “muestras independientes”**

**a) Prueba de hipótesis**

**Hi:** Si existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**Ho:** No existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**b) Regla de decisión**

$\text{Sig} > 0.05$ , no rechaza  $H_0$  (Se acepta  $H_0$ )

**c) Resultado**

$\text{Sig} = 1.00$ , siendo mayor que 0.05

Se rechaza la hipótesis alterna, y se acepta la hipótesis nula

**d) Decisión**

No existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano), para la reducción de la concentración de benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

- En la tabla N°33, se muestra la tabla de normalidad la cual comprende datos de la humedad (%) de los tratamientos con Biofiltro a base de poliuretano y compost, y los cálculos correspondientes de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

**Tabla N° 33.** Prueba de normalidad para la humedad (%) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost).

Pruebas de normalidad							
Humedad (%)	Tipo de tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	Biofiltro a base de poliuretano	0,295	6	0,119	0,872	6	0,236
Biofiltro a base de compost	0,238	6	0,200	0,857	6	0,180	

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

Se verifica en la tabla N°33, mediante la prueba de normalidad para la humedad (%) con el Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliurteano) y la humedad (%) con el Tratamiento N° 2 (Biofiltro a base de compost), donde la significancia bilateral es de **0.236** y **0.180** respectivamente, dichos valores son mayores a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos provienen de una **distribución normal**.

- En la siguiente tabla N°34, se muestra prueba T-Student (muestras independientes), la cual comprende datos de humedad (%), en los tratamientos con Biofiltro a base de poliuretano y compost

**Tabla N° 34. Prueba de T-student para la humedad (%) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost)**

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Humedad (%)	Se asumen varianzas iguales	0,644	0,441	-1.75	10	0.110	-6.5000	3.70660	-14.759	1.75882
	No se asumen varianzas iguales			-1.75	7.507	0.120	-6.5000	3.70660	-15.146	2.14607

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

### Prueba de igualdad de varianza de Levene

#### a) Prueba de hipótesis

**Hi:** Si existe igualdad de varianza en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**Ho:** No existe igualdad de varianza en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

#### b) Regla de decisión

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

#### c) Resultado

$\text{Sig} = 0.441$ , siendo mayor que 0.05

Se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna

**d) Decisión**

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

**Prueba T-student “muestras independientes”**

**a) Prueba de hipótesis**

**Hi:** Si existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**Ho:** No existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**b) Regla de decisión**

$\text{Sig} > 0.05$ , no rechaza  $H_0$  (Se acepta  $H_0$ )

**c) Resultado**

$\text{Sig} = 1.759$ , siendo mayor que 0.05

Se acepta la hipótesis nula, y se rechaza la hipótesis alterna

**d) Decisión**

No existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano), en la humedad para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

- En la tabla N°35, se muestra la tabla de normalidad la cual comprende datos de la temperatura (°C) de los tratamientos con Biofiltro a base de poliuretano y compost, y los cálculos correspondientes de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

**Tabla N° 35.** Prueba de normalidad para la temperatura (° C) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost).

Pruebas de normalidad							
Temperatura (°C)	Tipo de tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
		Biofiltro a base de poliuretano	0,165	6	0,200	0,990	6
	Biofiltro a base de compost	0,291	6	0,124	0,828	6	0,102

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

Se verifica en la tabla N°35 mediante la prueba de normalidad para la temperatura (°C) con el Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliurteano) y la temperatura (°C) con el Tratamiento N° 2 (Biofiltro a base de compost), donde la significancia bilateral es de **0.990** y **0.102** respectivamente, dichos valores son mayores a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos provienen de una **distribución normal**.

- En la siguiente tabla N° 36, se muestra prueba T-Student (muestras independientes), la cual comprende datos de la temperatura (°C), en los tratamientos con Biofiltro a base de poliuretano y compost

**Tabla N° 36. Prueba de T-student para la temperatura (° C) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost)**

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Temperatura (°C)	Se asumen varianzas iguales	0.477	0.506	0.334	10	0.745	0.23833	0.71280	-1.3499	1.82655
	No se asumen varianzas iguales			0.334	8.616	0.746	0.23833	0.71280	-1.3852	1.86183

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

### Prueba de igualdad de varianza de Levene

#### a) Prueba de hipótesis

**Hi:** Si existe igualdad de varianza en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**Ho:** No existe igualdad de varianza en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

#### b) Regla de decisión

$Sig > 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula

#### c) Resultado

$Sig = 0.506$ , siendo mayor que 0.05

Se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna



**d) Decisión**

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

**Prueba T-student “muestras independientes”**

**a) Prueba de hipótesis**

**Hi:** Si existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**Ho:** No existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**b) Regla de decisión**

$\text{Sig} > 0.05$ , no rechaza  $H_0$  (Se acepta  $H_0$ )

**c) Resultado**

$\text{Sig} = 1.826$ , siendo mayor que 0.05

Se acepta la hipótesis nula, y se rechaza la hipótesis alterna

**d) Decisión**

No existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano), en la temperatura para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

- A continuación, se muestra la tabla N°37 de normalidad la cual comprende datos de la Potencial de Hidrogeno (pH) de los tratamientos con Biofiltro a base de

poliuretano y compost, y los cálculos correspondientes de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

**Tabla N° 37.** Prueba de normalidad para el Potencial de hidrogeno (pH) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost).

Pruebas de normalidad							
	Tipo de tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Potencial de hidrogeno (pH)	Biofiltro a base de poliuretano	0,226	6	0,200	0,890	6	0,316
	Biofiltro a base de compost	0,295	6	0,112	0,823	6	0,094

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

Se verifica en la tabla N°37, mediante la prueba de normalidad para el pH con el Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliurteano) y el pH con el Tratamiento N° 2 (Biofiltro a base de compost), donde la significancia bilateral es de **0.316** y **0.094** respectivamente, dichos valores son mayores a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos provienen de una **distribución normal**.

- En la tabla N°38, se muestra prueba T-Student (muestras independientes), la cual comprende datos de pH, en los tratamientos con Biofiltro a base de poliuretano y compost

**Tabla N° 38. Prueba de T-student para el pH - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost)**

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
pH	Se asumen varianzas iguales	14.405	0.004	2.695	10	0.023	0.46667	0.17319	0.08077	0.85256
	No se asumen varianzas iguales			2.695	7.951	0.027	0.46667	0.17319	0.06686	0.86648

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

### Prueba de igualdad de varianza de Levene

#### a) Prueba de hipótesis

**Hi:** Si existe igualdad de varianza en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**Ho:** No existe igualdad de varianza en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

#### b) Regla de decisión

$Sig < 0.05$ , se acepta la hipótesis nula

#### c) Resultado

$Sig = 0.04$ , siendo menor que 0.05

Se rechaza la hipótesis alterna, y se acepta la hipótesis nula

**d) Decisión**

No existe igualdad de varianza en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano), en el pH para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

**Prueba T-student “muestras independientes”**

**a) Prueba de hipótesis**

**Hi:** Si existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**Ho:** No existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**b) Regla de decisión**

$\text{Sig} > 0.05$ , no rechaza  $H_0$  (Se acepta  $H_0$ )

**c) Resultado**

$\text{Sig} = 0.852$ , siendo mayor que 0.05

Se acepta la hipótesis nula, y se rechaza la hipótesis alterna

**d) Decisión**

No existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano), en el pH para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

- A continuación, se muestra la tabla N°39 de normalidad la cual comprende datos de la presión (Bar) de los tratamientos con Biofiltro a base de poliuretano y

compost, y los cálculos correspondientes de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

**Tabla N° 39.** Prueba de normalidad para la presión (Bar) - Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost).

Pruebas de normalidad							
Presión (Bar)	Tipo de tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
		Biofiltro a base de poliuretano	0,357	6	0,016	0,787	6
	Biofiltro a base de compost	0,386	6	0,006	0,691	6	0,005

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

Se verifica en la tabla N°39, mediante la prueba de normalidad para el pH con el Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliurteano) y el pH con el Tratamiento N° 2 (Biofiltro a base de compost), donde la significancia bilateral es de **0.045** y **0.005** respectivamente, dichos valores son menores a 0.05, por lo tanto, se verifica que los datos **no provienen de una distribución normal.**

- En la siguiente tabla N°40, se muestra la prueba U de Mann Whitney (muestras independientes), mediante una prueba no paramétrica la cual comprende datos de presión (Bar), en los tratamientos con Biofiltro a base de poliuretano y compost

**Tabla N° 40.** Prueba de U de Mann Whitney para la presión (Bar)- Tratamiento N°1 (Biofiltro a base de poliuretano) y tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost)

Estadísticos de prueba	
	Presión
U de Mann-Whitney	16,000
W de Wilcoxon	37,000
Z	-,359
Sig. asintótica (bilateral)	,720
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,818 <sup>b</sup>

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 24 (2018)

## **Prueba U de Mann Whitney “muestras independientes”**

### **a) Prueba de hipótesis**

**Hi:** Si existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

**Ho:** No existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano).

### **b) Regla de decisión**

Sig Asintótica  $> 0.05$ , no rechaza  $H_0$  (Se acepta  $H_0$ )

### **c) Resultado**

Sig Asintótica = 0.720, siendo mayor que 0.05

Se acepta la hipótesis nula, y se rechaza la hipótesis alterna

### **d) Decisión**

No existe una diferencia significativa en el tratamiento N° 1 (biofiltro percolador a base de compost) y el tratamiento N° 2 (biofiltro percolador a base de poliuretano), en el pH para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.

#### IV. Discusión

En la presente investigación luego de obtener los resultados, se determinó que el tratamiento aplicado con el biofiltro a base de poliuretano es menos eficiente para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio en comparación al biofiltro a base de compost, como menciona AGUDELO, U. (2016), entre los distintos antecedentes de la investigación citada se demuestra que la eficiencia es mayor para los materiales de soporte orgánicos en comparación a los materiales inorgánicos por contener alta cantidad de nutrientes dentro de su composición comparado a los materiales sintéticos que no poseen y depende de las soluciones nutritivas que se les adiciona para poder mantener la carga microbiana, asimismo la ER es máxima conforme el sistema mantenga muchos más días de operación de los biofiltros.

Las características microbiológicas, que variaron durante el acondicionamiento de la *Pseudomona aeruginosa* al contaminante, para su posterior inoculación en los distintos materiales de soporte de los biofiltros son: el pH que alcanzo valores máximos de 7.84, 7.86 y 7.80; la temperatura registro valores máximos de 21.1; 20.5 y 20.8 °C influyeron directamente en el crecimiento de las bacterias, para ello se facilitó los micro y macronutrientes en los reactores para estabilizar el medio en el cual se propagaron las bacterias, de esta forma se obtuvo un crecimiento promedio de los microorganismos de  $0.17 \times 10^8$  UFC/ml, durante los veinte días. ZHAI, J. [et al]. (2017). determinó que los valores bajos de pH podrían inhibir el crecimiento bacteriano durante el acondicionamiento de una comunidad bacteriana, ya que los rangos de valores recomendados para el pH oscilan entre 6 y 8, así como los niveles de temperatura oscilan entre valores de 18 y 30°C para bacterias aerobias mesófilas.

Luego de aplicar la ER al tratamiento N° 1 (Biofiltro a base de poliuretano), para reducir benceno en el aire, este alcanzó en promedio 43.88% durante los días de aplicación del tratamiento, de esta forma alcanzando valores mínimos de ER de 24% (de 15.2 a 11.5 ppm en concentración), durante el arranque del sistema y valores máximos de ER de 73.06 % (de 45.36 a 12.22 ppm en concentración), durante la etapa intermedia del tratamiento. En donde AGUDELO, U. (2016) obtuvo como resultados de ER para un biofiltro percolador a base de poliuretano valores de 83.33; 93.94, 93.10 y 72.96%, para

la reducción de Tolueno en una corriente de aire a escala de laboratorio. Esta diferencia es debido a mayores días de operación por el antecedente 89 días, en comparación a tan solo 12 aplicados en la presente investigación.

La ER luego de aplicar el tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost), para reducir benceno en el aire, alcanzó en promedio 57.09%, durante los 12 días de aplicación del tratamiento, alcanzando valores mínimos de ER de 31.25% (de 16 a 11 ppm en concentración) durante el arranque del sistema y valores máximos de ER de 80.51 % (de 11.80 a 2.30 ppm en concentración), mientras en la etapa final del tratamiento la cual confirma la investigación de SINGH, K [et al]. (2017). que durante un periodo prolongado de 150 días de operación, encontró que la ER oscilaba en un rango de 65-98.7% en un biofiltro para reducir xileno utilizando carbón de leña como material de soporte orgánico. Asimismo, HAJIZADEH, Y [et al]. (2018), alcanzó el 60% ER del total con compost de escoria de caña azúcar para el biodeterioro de 1, 1-dimetilhidrazina durante un periodo prolongado de 128 días de operación del sistema de biofiltro.

Los valores sobre la CE, luego de aplicar el tratamiento N° 1(Biofiltro a base de poliuretano), para reducir benceno en el aire, se alcanzó en promedio 128.64 mg/m<sup>3</sup>h durante los días de aplicación del tratamiento, alcanzando valores máximos 369.67 y 231.91 mg/m<sup>3</sup>h (equivalentes a 0.36 y 0.23 g/m<sup>3</sup>h respectivamente), durante la etapa intermedia valores mínimos de CE de 34.40 y 42.31 mg/m<sup>3</sup>h (equivalentes a 0.034 y 0.042 g/m<sup>3</sup>h respectivamente), durante el inicio del tratamiento. Como sostuvo AGUDELO, U. (2016) al demostrar CE máximas de 157.35 y 154.97 g/m<sup>3</sup>h en el biofiltro percolador a base de poliuretano para reducir tolueno en una corriente de aire. En el tratamiento ejecutado en la investigación se puede apreciar valores menores de la CE, debido a que el tiempo de ejecución fue solo de 12 días en comparación al tiempo ejecutado por el antecedente, equivalente a 89 días.

Los valores sobre CE, luego de aplicar el tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost), para reducir benceno en el aire, alcanzó en promedio 106.61 mg/m<sup>3</sup>h durante los días de aplicación del tratamiento, alcanzando valores máximos de CE de 285.86 y 105.92 mg/m<sup>3</sup>h, durante los 12 días de operación y valores mínimos de CE de 49.30 y 53.95 mg/m<sup>3</sup>h, durante la etapa intermedia del tratamiento. Demostrando el planteamiento de MEHDI AMIN, M. [et al]. (2017), sobre la CE en un biofiltro basado en escoria y



compost., el cual alcanzó valores de 110.6 g/m<sup>3</sup>h, como se sostiene los materiales de soporte de origen orgánico por sus características físicas y químicas permiten una mejor adecuación y adhesión de las biopelículas, las cuales permiten poder alcanzar mejores CE en el biofiltro.

Los valores sobre las condiciones de operación al aplicar el tratamiento N° 1 (Biofiltro a base de poliuretano), para reducir benceno en el aire, alcanzó en promedio 80.17 % de humedad, 20.74 °C de temperatura, 8.09 en pH y 7833.33 hPas de presión durante los días de aplicación del tratamiento. Los valores sobre las condiciones de operación al aplicar el tratamiento N° 2 (Biofiltro a base de compost), para reducir benceno en el aire, alcanzó en promedio 86.67 % de humedad, 20.62 ° C de temperatura, 7.63 en pH y 7833.33 bar de presión durante los días de aplicación del tratamiento, confirmando lo planteado por XUE, S. [et al]. (2018). En el que determinó que el contenido de humedad del material de empaque incremento de 40 a 85%, la ER.

## V. CONCLUSIONES

- La eficiencia en un biofiltro percolador a base de poliuretano para reducir benceno en el aire es menor al 70%, debido a que la eficiencia promedio que se alcanzó durante los 12 días de aplicación del sistema fue de 43.88%, mientras que la eficiencia de remoción promedio alcanzada en un biofiltro percolador a base de compost para reducir benceno fue de 57.09%. concluyendo así que el material con mayor ER es el compost.
- Las características microbiológicas, que variaron durante el acondicionamiento de la *Pseudomona aeruginosa* al contaminante para su posterior inoculación en los distintos materiales de soporte de los biofiltros son: la temperatura en +3.52 °C. y el pH en +1.4, por lo tanto, se concluye que las variaciones de los valores obtenidos no resultaron significativas para un cambio drástico en las condiciones, por lo tanto, no hubo una disminución de los microorganismos durante los veinte días de acondicionamiento.
- Se determinó que los materiales de soporte utilizados en los biofiltros, en términos de ER y CE, las características y propiedades físicas del poliuretano y compost, en cuanto a la porosidad con valores de 81.00 y 46.66 % respectivamente, influyeron directamente en la reducción de benceno en el aire, debido a que dichos valores de porosidad fueron los recomendados en las diversas teorías, asimismo lo que facilitó la aclimatación de los microorganismos en el medio fue la cantidad de nutrientes presentes en el compost, así como sus características y capacidad de retención de humedad, y finalmente la adición intermitente de solución nutritiva dentro de los sistemas.
- Las características del diseño del Biofiltro percolador a base de poliuretano y compost, empleado en la presente investigación a partir del caudal de la corriente de aire de 11.7 m<sup>3</sup>/h, permitió efectuar los cálculos citados en el ítem 2.4.2, inciso b, por lo cual se obtuvo un volumen por biofiltro de  $V_b = 0.0033 \text{ m}^3$  con un volumen total de 0.0067 m<sup>3</sup> de volumen de aire tratado para tiempos de retención por sus siglas en inglés (EBRT) de 47.8 s y 83.16 s, para el biofiltro a base de poliuretano y compost respectivamente.

- Las condición óptima de operación en un biofiltro percolador a base de poliuretano y compost para la reducción de benceno, se evidenciaron en la ER y CE, debido a que el tratamiento N°1 (Biofiltro a base poliuretano), presento valores bajos de 71% y 76 %, en cuanto a la humedad y sobre pasaron los valores del pH recomendado con resultados de 8.34, 8.27 y 8.22, por lo cual no se facilitó el medio de crecimiento microbiano para mantener constante la ER, en comparación a los valores promedios obtenidos durante el tratamiento N°2 (Biofiltro a base de compost), en cuanto a humedad de 86.76% y el pH se mantuvo dentro del rango recomendado de 7.63, dichos resultados permitieron alcanzar mayor ER y CE, debido a que influyen directamente en la capacidad de degradación de los contaminantes.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, para futuras investigaciones emplear muchos más días de operación del sistema de los biofiltros percoladores, con el propósito de poder evaluar con mayor precisión la eficiencia de remoción del contaminante.
- Durante la etapa de adecuación de los microorganismos se recomienda trabajar en ambientes favorables para el crecimiento de las bacterias, controlando la temperatura en rangos de 15 a 40 °, niveles de pH con valores entre 6 a 8, se recomienda adicionar dosis pequeñas de contaminante de manera paulatina, asimismo evitar a su vez la contaminación de la mismas, así como la del investigador.
- Realizar estudios en áreas potenciales de contaminación a fin de recabar información para posteriores investigaciones, y que permitan reforzar, así como mejorar el diseño de las unidades experimentales para su futura aplicación.
- Verificar durante la etapa de operación de los biofiltros que los reactores empleados y recipientes no cuenten con orificios que facilite la fuga del gas contaminantes, de igual manera se recomienda utilizar los materiales adecuados de protección como mascarillas con filtro de gases, guantes y guardapolvos, debido a que los COV's como el benceno son potencialmente cancerígenos.
- Es importante recomendar poder realizar análisis específicos de la concentración de los contaminantes gaseosos a tratar, mediante cromatografía de gases para obtener datos más exactos y precisos sobre las concentraciones, tanto iniciales como finales durante el tratamiento, de esta manera poder evaluar mejor las eficiencias de remoción y capacidad de eliminación ya que la presente investigación se obtuvieron datos generales utilizando un medidor de COV's mini-RAE 2000.

## Referencias Bibliográficas

Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de enfermedades. Resumen de Salud Pública: Benceno. [En línea], Agosto 2017. [Fecha de consulta: 23 de setiembre de 2018]. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_ph3.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph3.pdf).

AGUDELO Paz, Ubaldo. 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, 2015.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

BARAHONA, Liseth. [et al]. (2017). Producción más limpia aplicada al proceso de ensamble y acabado en la fabricación de muebles de madera de la localidad de Engativá en Bogotá. [en línea]. Colombia: Universidad Libre [Fecha de consulta: 15 de abril de 2018].

Disponible en:  
<http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11257/Proyecto%20de%20Grado.pdf?sequence=1>

BUNGE, Mario. La investigación científica. 3.a ed. México. Siglo xxi editores, s.a. de c.v. 2004. 591 pp.

ISBN: 9682322251

CALVO, Jordi. Pinturas y Recubrimientos: Introducción a su tecnología. España: Editorial Díaz de Santos, 2009. 355 pp.

ISBN: 9788479788334

CARDENAS, Beatriz. [et al]. Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas. México: Instituto Nacional de Ecología, 2003.61 p.

ISBN: 9688174998

CASTILLO, Francisco. [et al]. *Biotecnología Ambiental*. Madrid: Editorial Tébar, 2005, 577. p.

ISBN: 9788473602112

CERRÓN, Serpa, Victor. Determinación de la eficiencia de un biofiltro para remover el sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S) contenido en el biogás generado por un reactor anaerobio tipo UASB. Tesis (Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Peruana Unión, 2016. pp.b149.

CARLESSO, Brumo. Uso de un biofiltro para la remoción de sulfato de hidrogeno presente en el biogás. Tesis (Magister en Ingeniería de Procesos). Brasil: Universidad Federal de Santa María, 2014, pp. 110.

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, june 2015.

ISSN: 0957-5820

CHENG, Zhuowei. [et al]. A composite microbial agent containing bacterial and fungal species: Optimization of the preparation process, analysis of characteristics, and use in the purification for volatile organic compounds. *Bioresource Technology*. (218):751-760, october 2016.

ISSN: 0960-8524

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

ISSN: 0734-9750

COLMAN, Lerner. [et al]. (2013). Contaminación del aire por Compuestos Orgánicos Volátiles y material particulado en la Plata y Ensenada. [en línea]. Argentina: Universidad Nacional de la Plata. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2018].

Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/38212/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/38212/Documento_completo.pdf?sequence=1)

COMES, Francisco. Compuestos Orgánicos Volátiles: concepto químico, fuentes de emisión y repercusión sobre el medio ambiente. Asociación de química y medio ambiente del sector químico de la comunidad de Valencia, 2005. . [Fecha de consulta: 22 de mayo, 2018].

Disponible en [http://www.pymesonline.com/uploads/tx\\_icticontent/R02026\\_compuestos.pdf](http://www.pymesonline.com/uploads/tx_icticontent/R02026_compuestos.pdf)

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). Parque industrial del distrito Villa el Salvador: una iniciativa para el desarrollo económico local en el Perú, 2000. [Fecha de consulta: 20 de abril, 2018].

Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/31498>

Decreto Supremo 003-2017-MINAM, Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 7 de junio de 2018.

DEVINNY. J. DESHESES, M y WEBSTER, T “Biofiltration for air pollution control”, Boca Raton, FL : Lewis Publishers/CRC Press. 1999. pp 81-110.

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (DIGESA). Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos, 2005. [Fecha de consulta: 28 de mayo, 2018].

Disponible en [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf).

DORADO, A. [et al]. (2009). Evaluation of Mass Transfer Coefficients in Biotrickling Filters: Experimental Determination and Comparison to Correlations. Chem. Ing. Technology, [en línea]. November 2009. [Fecha de consulta: 28 de mayo del 2018].

Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ceat.200900275>

Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo. [en línea]. s.f. [Fecha de consulta: 28 de setiembre del 2018]. Disponible en: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo4/104\\_07.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo4/104_07.pdf)

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

ISSN: 0304-3894

GALLEGO, Mercedes. Diferentes metodologías para la evaluación de riesgos originados por VOCs en ambientes laborales. Junta de Andalucía: Consejería del Empleo, 2010. [Fecha de consulta: 22 de mayo, 2018].

Disponible en [http://www.juntadeandalucia.es/empleo/recursos/dg\\_prl/prevexpo/2010/documentos/comunicaciones/dia\\_19/salas/sala\\_f/2010\\_05\\_19-f18h45mercedes\\_gallego\\_fernandez-rosa\\_montero\\_simo.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/empleo/recursos/dg_prl/prevexpo/2010/documentos/comunicaciones/dia_19/salas/sala_f/2010_05_19-f18h45mercedes_gallego_fernandez-rosa_montero_simo.pdf)

GÓNZALES, Gisela. [et al]. 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

GUZMÁN, Vanessa. Recubrimiento fotocatalíticos sobre sustratos poliméricos para la degradación de compuestos orgánicos volátiles a baja temperatura. Tesis (Doctor en Ciencias de Materiales). México: Centro de Investigación en Materiales Avanzados, 2014, pp 110.

HAJIZADEH, Yaghoub. [et al] Biodeterioration of 1,1-dimethylhydrazine from air stream using a biofilter packed with compost-scoria-sugarcane bagasse. *Atmospheric Pollution Research*. (9):37-46, january 2018.

ISSN: 1309-1042

HERNANDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTIASTA, Pilar. Metodología de la investigación [en línea]. 5. a ed. México: McGraw-Hill Companies, Inc, 2010.

Disponible en: [https://www.esup.edu.pe/descargas/dep\\_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf](https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf)

ISBN: 978-607-15-0291-9

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION (ISO). ISO 4618: Paints and varnishes - Terms and definitions, 2014. [Fecha de consulta: 20 de abril, 2018].



Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:4618:ed-2:v1:en>

KLEINHEINZ, G y LONGOLF, B. Un estudio a largo plazo de un biofiltro basado en roca de lava para el tratamiento de sulfuro de hidrógeno, amoníaco y compuestos orgánicos volátiles (VOC) en una planta de tratamiento de aguas residuales. *Nature Environment and Pollution Technology*. (15):1279-1284, diciembre 2016.

ISSN: 0972-6268

LAFITA López, Carlos. 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, 2016. pp. 274

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

LUENGAS, Angela. [et al]. Removal of traces of toluene and p-xylene in indoor air using biofiltration and a hybrid system (biofiltration + adsorption). *Environmental Science and Pollution Research*. (24):10674-10684, abril 2017.

ISSN: 0944-1344

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

ISSN: 2468-2039

MALHORTA, Naresh. Investigación de Mercados. 5. a ed. México. Pearson Educación. 2008. 340 pp.

ISBN: 9789702611851

MARTINEZ, Angeles y CUEVAS María. Producción de BTEX en Mexico: Uso, toxicología y análisis [en línea], Marzo 2011. [fecha de consulta: 20 de setiembre de

2018 ]. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/05/mtcd.pdf>.

MEHDI AMIN, Mohammad. [et al]. Biodegradation of n-hexane as single pollutant and in a mixture with BTEX in a scoria/compost-based biofilter. *Process Safety and Environmental Protection*. (107):508-5017, april 2017.

ISSN: 0957-5820

MELO Cruz, Daniel. Evaluación de los coeficientes globales de transferencia de masa en biofiltros percoladores para el tratamiento de corrientes gaseosas residuales contaminadas con xileno. Tesis (Magister en ingeniería sanitaria y ambiental). Colombia: Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería – EIDENAR, 2016. pp. 92.

MINAM. Informe Nacional de Calidad del Aire, 2013-2014. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2018]

Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>

MOHAMED, EF. [et al]. (2016). Biofiltration technology for the removal of toluene from polluted air using *Streptomyces griseus*. *Environmental Technology (Reino Unido)*, (37):1197-1207, may 2016.

ISSN: 09593330

MOHAMMAD, Balsam T. [et al]. Performance of a thermophilic gas-phase biofilter treating high BTEX loads under steady- and transient-state operation. *International Biodeterioration & Biodegradation*. (119):289-298, april 2017.

ISSN: 0964-8305

MORENO Gutiérrez, Abril. Efecto de la carga másica y altura del medio filtrante sobre la remoción de H<sub>2</sub>S mediante biofiltración. Tesis (Maestría en Ingeniería Ambiental-Agua). México: Universidad Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado, 2008, pp. 95.

NATARAJAN, Rajamohan. [et al]. Biodegradation of ethyl benzene and xylene contaminated air in an up flow mixed culture biofilter. *International Biodeterioration &*

*Biodegradation*, (119):309-3015, april 2017.

ISSN: 0964-8305

NELSON, KE, et al. Completa la secuencia del genoma y el análisis comparativo de la *Pseudomonas putida* KT2440 metabólicamente versátil. *Microbiología ambiental*. 12 (4):799-808, diciembre de 2002.

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.

Disponible en: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/AQG\\_spanish.pdf](http://www.who.int/phe/health_topics/AQG_spanish.pdf)

PÉREZ García, Francisco. 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, 2012. pp. 198.

PÉREZ Gil, María del Carmen. Aplicación de técnicas de biología molecular para la caracterización de la población microbiana en la degradación de compuestos orgánicos volátiles (COV) mediante biofiltros y biofiltros percoladores. Tesis (Doctora en Ingeniería Química, Ambiental y de Procesos). España: Universidad de Valencia, Programa de Doctorado en Ingeniería Química, Ambiental y de Procesos, 2015. pp. 217.

PETRAUSKAITE. Erika, [et al]. "Experimental study of droplet biofilter packed with green sphagnum to clean air from volatile organic compounds. *Energy Procedia*. (128):373-378, september 2017.

ISSN: 1876-6102

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

REPETTO, Manuel y REPETTO, Guillermo. Toxicología Fundamental. 4. a ed. España.

Diaz Santos.2009. 545 pp.

ISBN: 9788479788988

RIVEROS Alcedo, Renato. Compuestos orgánicos volátiles (cova) en la industria de pinturas y sus disolventes en Perú–Análisis de caso y estrategias de gestión ambiental y salud ocupacional. Tesis (Doctor en Desarrollo Ambiental).Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Posgrado, 2017. pp. 106

ROMERO, Gabriela. [et al]. Evaluación de la exposición a benceno en trabajadores de diferentes áreas laborales, 2017. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2018].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/817/81753881011.pdf>

SÁNCHEZ, Daniela. [et al]. Operación de un sistema de biofiltración de metano para la mitigación de emisiones de efecto invernadero a la atmósfera. 2º Congreso Nacional de AMICA, 2015 [Fecha de consulta: 20 de mayo, 2018].

Disponible en: <http://www.amica.com.mx/issn/archivos/167.pdf>.

SÁNCHEZ, José y ALCÁNTARA, Andrés. Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente. [en línea]. Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia [Fecha de consulta: 20 de abril de 2018].

Disponible en: <http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/605/622/>

SENAMHI. Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana, 2011. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2018].

Disponible en:

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/E926CA7DFE4EE59905257CCA00528B1E/\\$FILE/1EvalCalidadAireLima2011.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/E926CA7DFE4EE59905257CCA00528B1E/$FILE/1EvalCalidadAireLima2011.pdf)

SINGH, Kiran. [et al]. Biofiltration of xylene using wood charcoal as the biofilter media under transient and high loading conditions. *Bioresource Technology* (242):351-358, october 2017.

ISSN: 0960-8524

STANIER, Roger. [et al]. Microbiología. 2ª. ed. España: Editorial Reverté, 1996. 707. p.

STOVER, C. K. [et al]. Completa la secuencia del genoma de *Pseudomonas aeruginosa* PAO1, un patógeno oportunista. *Nature*, 2000, (406):6799, p. 959.

ISSN: 14764687

THALASSO, Frederic y PINEDA, Raúl. Biofiltración: tratamiento biológico de aire contaminado, 2002. [Fecha de consulta: 28 de abril, 2018].

Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/228594656\\_Biofiltracion\\_tratamiento\\_biologico\\_de\\_aire\\_contaminado](https://www.researchgate.net/publication/228594656_Biofiltracion_tratamiento_biologico_de_aire_contaminado).

TORTORA, Gerardo, FUNK, Berdel y CASE, Cristine. Introducción a la microbiología. 9ª. ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana S.A, 2007. p.559.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME (UNEP). Realidades de Contaminantes, Contaminantes: Compuestos orgánicos volátiles (VOCs), 2009. [Fecha de consulta: 20 de abril, 2018].

Disponible en: [http://www.unep.org/tnt-unep/toolkit\\_esp/pollutants/vocs.html](http://www.unep.org/tnt-unep/toolkit_esp/pollutants/vocs.html)

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

ISSN: 1310-2818

VALERO Tornero, Pau. 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, 2016. pp. 329.

VANERO, María. [et al]. Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica. *Información tecnológica*. [en línea]. 23(2):31-40. 2012.

Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642012000200005](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642012000200005)ISSN: 071807464

VERGARA-FERNÁNDEZ, Alberto. [et al]. Biofiltration of benzo[ $\alpha$ ]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, january 2018.  
ISSN: 1385-8947

VILLACRES Manzano, Eduardo. 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, 2015. 171. pp.  
XUE, Song [et al]. 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, january 2018.  
ISSN: 0957-5820

ZHAI, Jian. [et al]. A comparative study of bacterial and fungal-bacterial steady-state stages of a biofilter in gaseous toluene removal: performance and microbial community. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. (92):2853-2861, april 2017  
ISSN: 02682575

## **ANEXOS**

## ANEXO N° 1. Matriz de consistencia

Problemas	Objtivos	Hipotesis	Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
<p><b>Problema Especifico</b></p> <p>•¿Cuál es la eficiencia en un biofiltro percolador a base de poliuretano y compost para reducir benceno en una corriente de aire?</p> <p><b>Problema Especifico</b></p> <p>• ¿Cuál será la característica microbiológica que varía durante el acondicionamiento de la Pseudomona Aeruginosa para un Biofiltro percolador en base de poliuretano y compost para la reducción de Benceno en el aire en condiciones de laboratorio?</p> <p>• ¿Cuál será la característica en el diseño de un Biofiltro percolador en base de poliuretano y compost que influye en la reducción de Benceno en el aire en condiciones de laboratorio?</p> <p>• ¿Cuáles son las características y propiedades fisicoquímicas del poliuretano y compost en un Biofiltro percolador que influyen en la reducción de Benceno en el aire en condiciones de laboratorio?</p> <p>• ¿Cuál será la condición óptima de operación en un Biofiltro Percolador en base de poliuretano y compost para la reducción de Benceno en el aire en condiciones de laboratorio?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>- Evaluar la eficiencia de un biofiltro percolador a base de poliuretano y la eficiencia en un biofiltro percolador a base de compost para la reducción de Benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.</p> <p><b>Objetivo Especifico</b></p> <p>• Determinar las características microbiológicas que varían durante el acondicionamiento de la Pseudomona Aeruginosa para un Biofiltro percolador a base de poliuretano y compost para la reducción de Benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.</p> <p>• Determinar las características y propiedades físicas del poliuretano y compost en un Biofiltro percolador que influyen en la reducción de Benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.</p> <p>• Determinar la característica en el diseño de un Biofiltro percolador a base de poliuretano y compost que influyen en la reducción de benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.</p> <p>• - Determinar la condición óptima de operación en un Biofiltro Percolador a base de poliuretano y compost para la reducción de benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>• El biofiltro percolador en base a poliuretano es más eficiente en un 70% que el biofiltro percolador a base de compost para reducir benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio.</p> <p><b>Hipótesis Especifico</b></p> <p>• Las características microbiológicas varían durante el acondicionamiento de la Pseudomona aeruginosa para un Biofiltro percolador a base de poliuretano y compost para la reducción de Benceno en una corriente de aire bajo condiciones de laboratorio.</p> <p>• Las características en el diseño de un Biofiltro percolador a base de poliuretano y compost influyen en la reducción de benceno en el aire.</p> <p>• Las características en el diseño de un Biofiltro percolador a base de poliuretano y compost influyen en la reducción de benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio..</p> <p>• - Las condiciones óptimas de operación en un Biofiltro Percolador a base de poliuretano y compost para la reducción de benceno en el aire bajo condiciones de laboratorio, es de temperatura (15-40°), pH (6-8), Humedad (40-60%), Tiempo de residencia (50-90 s) y presión (1000-10000 hPas).</p>	<p><b>Independiente:</b></p> <p>Biofiltro Percolador a base de Poliuretano y Compost</p>	<p>El Biofiltro percolador es un dispositivo que consta de un reactor el cual se encuentra empacado con un soporte sintético, natural y/o mineral en donde se desarrolla una biopelícula. Se alimenta de la corriente gaseosa con el contaminante a través del lecho, por la parte superior se alimenta con una corriente líquida, que se recircula al sistema, el cual aporta nutrientes esenciales a la biopelícula, ayuda a mantener las condiciones de humedad y pH, así como elimina productos de degradación. Los contaminantes son degradados a medida que atraviesan el lecho poroso gracias a la biomasa presente y que se alimenta de nutrientes y/o energía. (Ramírez et al, 2011, p. 44)</p>	<p>El poliuretano y compost son materiales de soporte tipo sintético y orgánico, respectivamente que permitieron gracias a sus propiedades fisicoquímicas el desarrollo de los microorganismos formadores de biopelículas y también tomando en cuenta las características y condiciones de operación del Biofiltro para su adecuado funcionamiento.</p>	Propiedades físicas de Poliuretano	Volumen aparente Volumen efectivo Cantidad Porosidad	cm <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> Kg % porcentaje
						Propiedades físicas del compost	Volumen aparente Volumen efectivo Cantidad Porosidad Metales	cm <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> Kg % porcentaje mg/kg
						Características en el diseño de un biofiltro	Área transversal Altura Total Altura del lecho Caudal	cm <sup>2</sup> cm cm m <sup>3</sup> /h
						Condiciones de operación del Biofiltro	Temperatura pH Humedad Tiempo de residencia del gas Flujo del gas Presión	°C Unidad de pH % porcentaje minutos - Pa
						Características microbiológicas	Inoculo pH Temperatura N° Aprox. De Bacterias Nutrientes	L Unidad de pH °C 10 <sup>6</sup> /ml ml
						Carga del contaminación	Cantidad del Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	ppm
						Parámetros de rendimiento en el Biofiltro.	Capacidad de eliminación CE= Q x (Ci - Co) / V Eficiencia de remoción R = (Ci - Co) / Ci x 100 (%)	µg/m <sup>3</sup> h % porcentaje

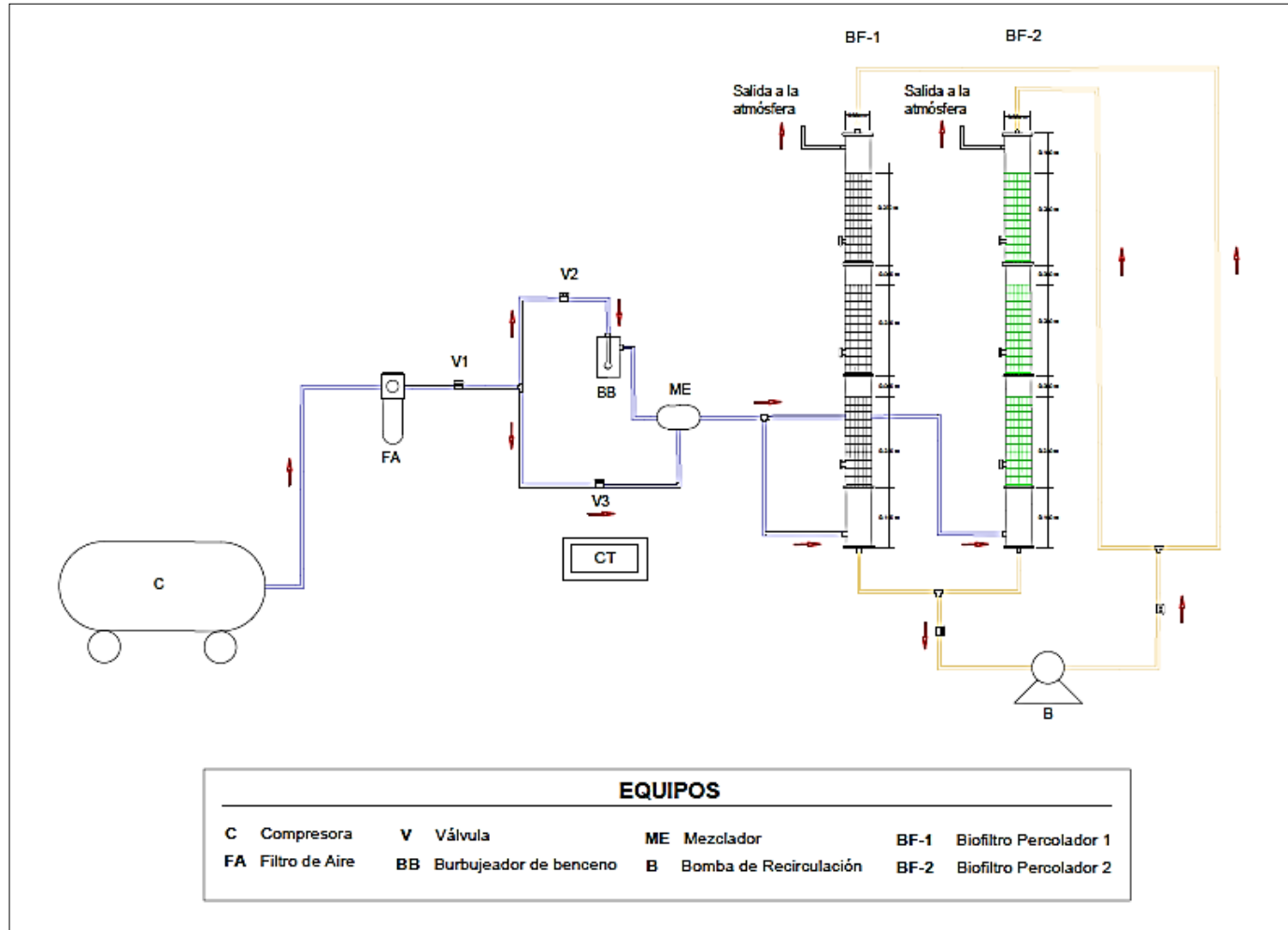
Fuente: Elaboración Propia, adaptado (2018)





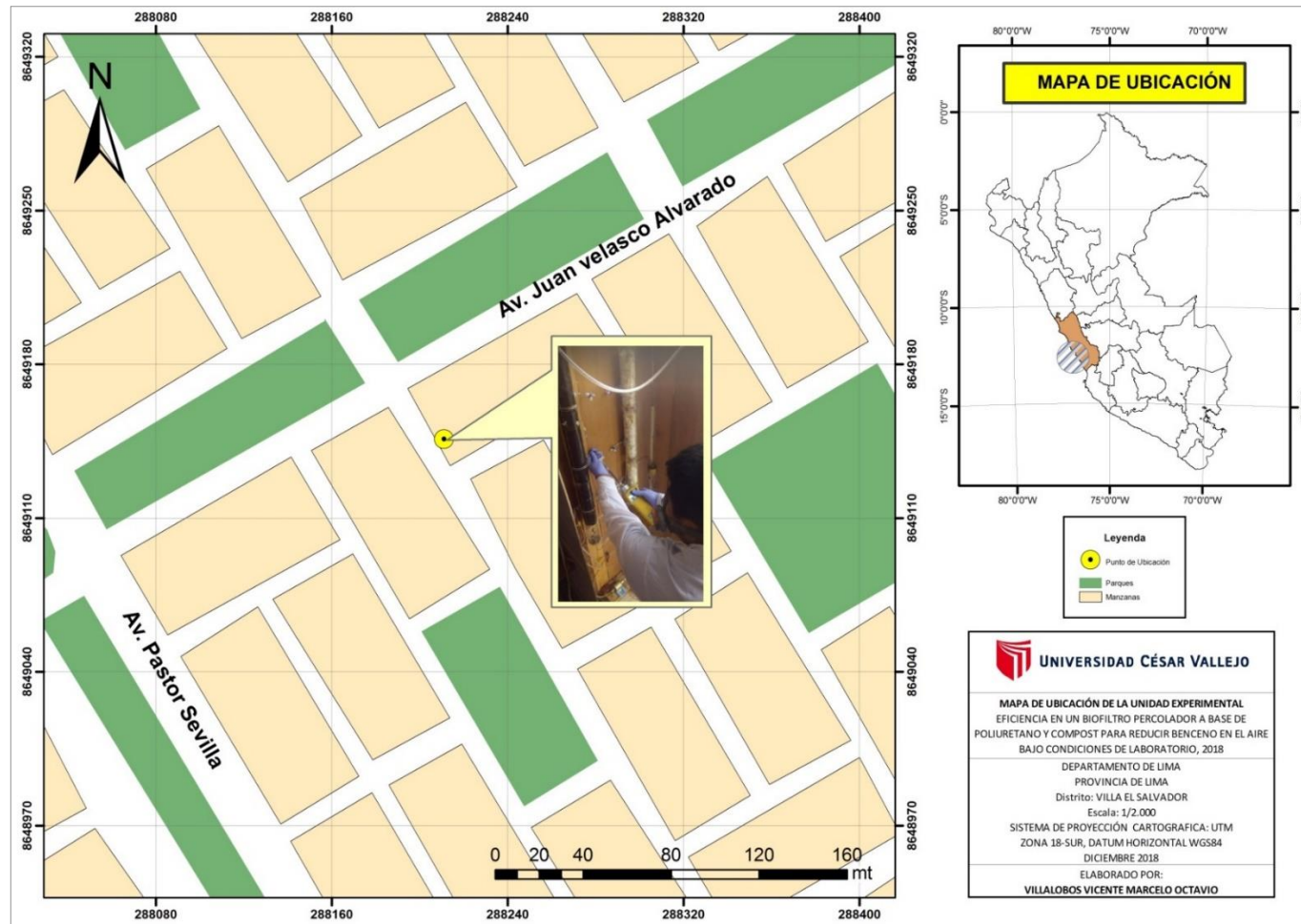


### ANEXO N° 4. Diseño del Biofiltro Percolador a Escala de Laboratorio



Fuente: Elaboración propia, mediante AutoCAD (2018)

## ANEXO N° 5. Mapa de Ubicación de la Unidad Experimental



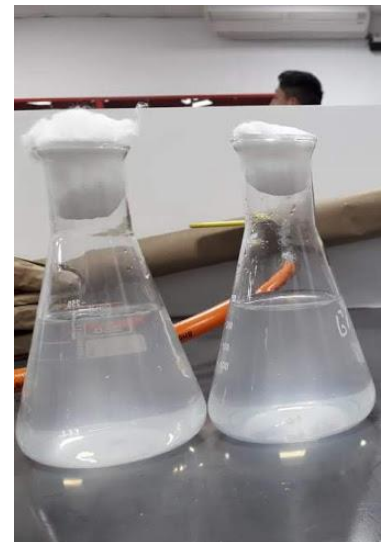
Fuente: Elaboración propia, mediante ArcGis 10.3 (2018)

## ANEXO N° 6. Proceso de incubación y preparación del inóculo de la cepa de la bacteria *Pseudomona aeruginosa*

Cultivación en medio de Agar Muller-Hillton a temperatura de 37° C para su óptimo crecimiento durante un periodo de 48 horas.



Preparación del inóculo de la bacteria *Pseudomona Aeruginosa* en solución salina a al 0.85%, incubada a temperatura óptima de crecimiento 37°C, durante un periodo de 24 horas.



## ANEXO N° 7. Preparación de la solución patrón para la Escala de McFarland

Preparación de la solución patrón ( $\text{BaCl}_2$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) para determinar el crecimiento microbiano mediante la medición de la absorbancia de dichos patrones a diferentes concentraciones se obtiene como resultado la curva de crecimiento para determinar en  $10^8$  UFC/ml.



Toma de los datos de las características microbiológicas del inculo en los reactores de adecuación, así como determinación de las propiedades físicas de los materiales de soporte





## ANEXO N° 8. Inoculación del material de soporte

Esterilización del material de soporte a base de poliuretano en la estufa durante un periodo de 20 minutos, a 121° C y colocación del material sobre recipientes debidamente esterilizados con alcohol de 90°.

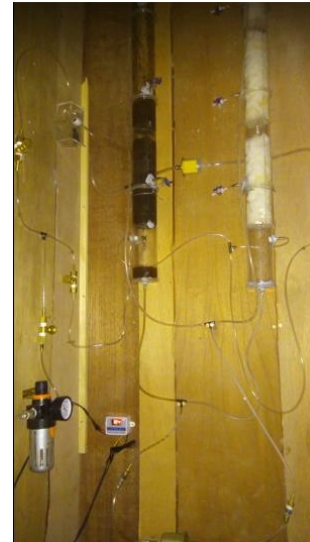
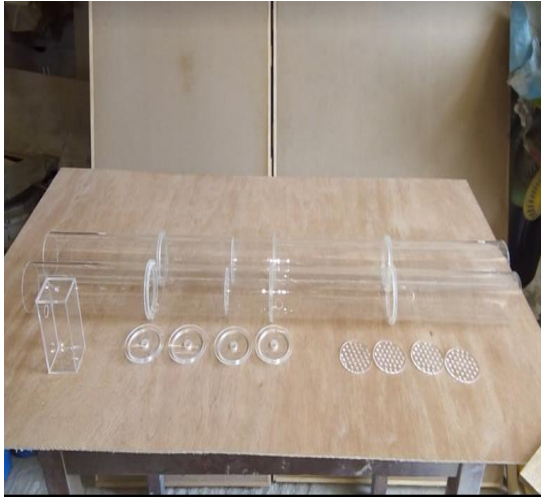


Los materiales de soporte como el poliuretano y compost fueron debidamente inoculados en recipientes esterilizados con alcohol para evitar cualquier tipo de contaminación, así mismo se dejaron en reposo durante 72 horas, adicionándole solución nutritiva para mejorar la fijación de la biomasa.



## ANEXO N° 9. Operación del Biofiltro y recolección de datos

Construcción de la unidad experimental, los reactores fueron diseñados en base a los parámetros establecidos de operación, el material en el cual fue fabricado dichos biofiltros es el acrílico, con las medidas específicas determinadas durante el dimensionamiento.



La toma de datos se realizó cada 8 horas en cada biofiltro para determinar la concentración de benceno mediante el equipo medidor de gases miniRAE2000, además se tomaron datos sobre las condiciones de operación, como la temperatura, humedad, pH y presión del sistema





## ANEXO N° 10. Fichas de validación de instrumentos



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

1.1. Apellidos y Nombres: Johnny VALVERDE Flores  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente  
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN  
 1.4. Autor(A) de Instrumento: VILLACOBOS VICENTE MARCELO OCTAVIO

**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	Está 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

x

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :**

95 %

Lima, 08 de Junio del 2018

Johnny Valverde Flores  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

18120253 949585952  
DNI No..... Telf.:.....

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Jhonny VALVERDE Flores  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE  
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA ADAPTACIÓN DEL INSTRUMENTO  
 1.4. Autor(A) de Instrumento: VILLALOBOS VICENTE MARCELO OCTAVIO

#### 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

X

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %
------

Lima, 08 de Junio del 2018

Jhonny Valverde P  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

18170253      979385952  
DNI No. .... Telf: .....

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Johnny Valverde Flores  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE  
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA ADAPTACIÓN DEL INSTRUMENTO  
 1.4. Autor(A) de Instrumento: VILLALOBOS VICENTE MARCELO OCTAVIO

#### 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

X

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, 08 de Junio del 2018

*Johnny Valverde*  
 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE  
 DNI No. 18170253 Telf.: 949585952

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres: JIMÉNEZ CALDERÓN CÉSAR  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente  
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA DE RECOPILACION DE DATOS PARA LA ADAPTACION DEL INIA  
 1.4. Autor(A) de Instrumento: Villalobos Vicente Marcelo OCTAVIO

#### 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 :

85 %

Lima, 07 Junio del 2018

*Eduardo Jiménez Calderón*  
 Dr. César Eduardo Jiménez Calderón  
 CIP. 42355

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No..... Telf:.....



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: -Jimenez Calderón César  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente  
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA ADAPTACIÓN DEL INÍCI  
 1.4. Autor(A) de Instrumento: Villalobos Vicente Marcelo OCTAVIO

#### 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 <sub>i</sub>

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

85	%
----	---

Lima, 07 Junio del 2018

  
 Dr. César Eduardo Jiménez Calderón  
 CIP. 42355

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No..... Telf:.....

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: DE LA PUZ Ascila Rosalbins  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE  
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y CONDICIONES DE INVESTIGACIÓN  
 1.4. Autor(A) de Instrumento: VILLALBA VICENTE MARCELO OCANA

**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

✓

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :**

90 %

Lima, 06 junio del 2018

[Firma]  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 26506932 Telf.: 551.6698  
C.A.F.: 5060 990201205



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: De la Cruz Acuña Rosalbino  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente  
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA ADAPTACIÓN DEL INSCULO  
 1.4. Autor(A) de Instrumento: Vicentinos Vicente Marcelo Oravito

#### 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

✓

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90 %

Lima, 06 junio del 2018

Rosalbino  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 86506832 Telf.: 951 66 99  
C.B.F.: 5060 990201205

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: ORLANDO SALAS, Juan Julián  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE  
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y GRADUACIÓN DE ORGANIZACIÓN  
 1.4. Autor(A) de Instrumento: VILLALOBOS VICENTE MARCELO OCTAVIO

#### 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  
 NO

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

85 %

Lima, 06 de 09 del 2018

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 05000000 Telf. 9281648

REP: 88872



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: Ordoñez Salazar Juan Juku  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente  
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Figura de Recolección de Datos para la Aprobación Recién  
 1.4. Autor(A) de Instrumento: Villalobos Vicente Marcelo Octavio

**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

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :**

SI

**85 %**

Lima, 06/06 del 2018

[Firma]  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 88112345 Telf.: 98112345

REP: 88972

## ANEXO N° 11. Certificado de calibración de MiniRae-200



**INVEMSAC**  
*Salud Ocupacional y Ambiental*

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
CALIBRATION CERTIFICATE  
INVEM-AM0059-180618



Fecha de emisión: 18/06/2018  
Issue date

- 1.- **SOLICITANTE** : INVESTIGACIONES ECONOMICAS EN MINERIA, ENERGIA 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 FOSFORILACION  
Measuring instrument : PHOSPHORINATION GAS DETECTOR
 

Marca / Brand	: RAE SYSTEMS	Serie / Serial	: 110-011794	Alcance: C4H8-SC04U1EHD (VOC) / Scope
Modelo / Model	: MBRAE 2000	Procedencia / Made in	: USA	
  
- 3.- **FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN** : Calibrado el día 18/06/2018 en el Laboratorio de INVEM S.A.C.  
Date and place of calibration : Calibrated day 18/06/2018 in the INVEM S.A.C. laboratory.
  
- 4.- **MÉTODO DE CALIBRACIÓN**  
Calibration method  
Método de comparación directa según el procedimiento GU-012 "Para la calibración de detectores de gas de uno o más componentes" del Centro Español de Metrología.  
  
Direct comparison method according to GU-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 (MCR) 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	48.3 %	1000 mbar
FINAL / Final	22.5 °C	48.3 %	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 as a 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) 596-3994  
E-mail: [invevsac@invevsac.com.pe](mailto:invevsac@invevsac.com.pe)  
[www.invevsac.com.pe](http://www.invevsac.com.pe)



**INVEMSA**  
Salud Ocupacional y Ambiental

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
CALIBRATION CERTIFICATE  
INVEM-AM0059-180618



Fecha de emisión: 18/06/2018  
Issue date:

**1.- RESULTADOS DE CALIBRACIÓN**  
CALIBRATION RESULTS

1er Punto de calibración

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

3do Punto de calibración

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

  
Bach. Alex Cancian Bedón  
Ingeniería Física  
Jefe del Área de Metrología  
e Instrumentación

  
M.C. José Luis Quecuyano C.  
Responsable del Área de Metrología

RN DEL DOCUMENTO  
END OF DOCUMENT

Pág. 2 de 2



Calle Luis Romero N° 1050 - Urb. Roma - Cercado de Lima  
Central Telefónica: (01) 598-3994  
E-mail: [invemsac@invemsac.com.pe](mailto:invemsac@invemsac.com.pe)  
[www.invemsac.com.pe](http://www.invemsac.com.pe)



## ANEXO N° 12. Informe de ensayo de laboratorio



### INFORME DE ENSAYO N°: IE-18-3221

#### I. DATOS DEL SERVICIO

1. RAZÓN SOCIAL : MARCELO VILLALOBOS VICENTE  
2. DIRECCIÓN : NO INDICA  
3. PROYECTO : ANÁLISIS COMPOST  
4. PROCEDENCIA : NO INDICA  
5. SOLICITANTE : MARCELO VILLALOBOS VICENTE  
6. ORDEN DE SERVICIO N° : OS-18-1289  
7. PLAN DE MONITOREO : NO APLICA  
8. MUESTREO POR : EL CLIENTE  
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2018-09-19

#### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1. MATRIZ : COMPOST  
2. NÚMERO DE MUESTRAS : 1  
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2018-09-07  
4. PERÍODO DE ENSAYO : 2018-09-07 al 2018-09-19

#### III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÉCNICA
Metales Totales	EPA Method 3051A Rev.1 0.2783 February 2007 / EPA Method 6020A Rev.1, January 1996	ICP-MS

  
Marco A. Valencia Huerta  
Ing. Químico  
Gerente General  
N° CIP: 152207

\*EPA\* : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

Prolongación Zaramilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

Página 1 de 3

**IV. RESULTADOS**

ITEM			1
CÓDIGO DE LABORATORIO			M-0425
CÓDIGO DEL CLIENTE			SU-01
DESCRIPCIÓN			ANÁLISIS REALIZADO EN COMPOST
MATRIZ			COMPOST
INSTRUCTIVO DE MUESTREO			NO APLICA
MUESTREO	FECHA		2018-06-07
	HORA		10:50
ENSAYO	UNIDAD	L.D.	RESULTADOS
<b>Metales totales</b>			
Aluminio	mg/kg	0.2783	0.2563
Antimonio	mg/kg	0.0105	<0.0105
Arsénico	mg/kg	0.0154	<0.0154
Bario	mg/kg	0.0236	<0.0236
Berilio	mg/kg	0.0161	<0.0161
Boro	mg/kg	0.0379	<0.0379
Cadmio	mg/kg	0.0308	<0.0308
Calcio	mg/kg	0.9412	0.9741
Cobalto	mg/kg	0.0189	<0.0189
Cobre	mg/kg	0.0165	<0.0165
Cromo	mg/kg	0.0198	<0.0198
Estaño	mg/kg	0.1189	<0.1189
Estroncio	mg/kg	0.0607	<0.0607
Hierro	mg/kg	0.4553	<0.4553
Litio	mg/kg	0.0146	<0.0146
Magnesio	mg/kg	0.3061	0.3671

\*L.D.\* Límite de Detección

(a) Los métodos indicados han sido tercerizado(s) a un laboratorio acreditado.

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, 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.

## IV. RESULTADOS

ITEM			1
CÓDIGO DE LABORATORIO:		M-8425	
CÓDIGO DEL CLIENTE:		SU-01	
DESCRIPCIÓN		ANÁLISIS REALIZADO EN COMPOST	
MATRIZ		COMPOST	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA	
MUESTREO	FECHA:	2018-06-07	
	HORA:	10:50	
ENSAYO	UNIDAD	L.D.	RESULTADOS
<b>Metales totales</b>			
Manganeso	mg/kg	0.0214	0.0258
Mercurio	mg/kg	0.0159	<0.0159
Molibdeno	mg/kg	0.0168	<0.0168
Niquel	mg/kg	0.0219	<0.0219
Ptata	mg/kg	0.0135	<0.0135
Plomo	mg/kg	0.0141	<0.0141
Potasio	mg/kg	1.0191	2.0450
Selenio	mg/kg	0.0421	<0.0421
Silicio	mg/kg	0.3901	<0.03901
Sodio	mg/kg	1.0191	1.9412
Talio	mg/kg	0.0140	<0.0140
Titanio	mg/kg	0.0511	<0.0511
Vanadio	mg/kg	0.0205	<0.0205
Zinc	mg/kg	0.0456	<0.0456

\*L.D.\* Límite de Detección

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, 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.

" FIN DEL DOCUMENTO "