



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario  
de Zapallal utilizando nanofiltros de grafeno con hierro, 2019”**

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

**Ingeniera Ambiental**

**AUTORA:**

Bach. Myriam Patricia Zevallos Cadillo (ORCID: 0000-0003-3141-0128)

**ASESOR:**

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

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**CALIDAD AMBIENTAL Y GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES**

LIMA - PERÚ

2019

## **DEDICATORIA**

Esta investigación va dedicada especialmente a mi hijo Arturo a mi madre doña Ricardina, porque siempre están a mi lado dándome mucha fortaleza, a mi padre José, a mis hermanos José Luis y Juan Antonio por alentarme a alcanzar mi meta, a mis adorables sobrinas Yamila y Antonella, a mi familia por el amor que les tengo vale la pena mejorar cada día y seguir adelante en futuros proyectos.

## AGRADECIMIENTO

Es muy importante para mí expresar en estas líneas mi especial agradecimiento y reconocimiento a aquellas personas que me han apoyado en alcanzar esta meta y confiaron en mí para servir a la sociedad.

Expreso por adelantado mis más sinceras muestras de AGRADECIMIENTO a todas las personas de una u otra manera han colaborado con el desarrollo de esta tesis, deseo agradecer especialmente a:

- La escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Cesar Vallejo, Lima Norte, a sus autoridades por el apoyo en el marco brindado para su desarrollo.
- Mi familia por su constante apoyo y colaboración.
- Mi hijo Arturo Loayza, por brindarme siempre mucha seguridad, confianza y mucho amor.
- A Bryan Hepworth, por su confianza y su apoyo en cada momento.
- A Daniel Davies, por su apoyo y facilidades para culminar mi meta.
- A la directora de la escuela de Ingeniería Ambiental la Ing. Verónica Tello Mendivil por sus consejos, apoyo, aporte intelectual y técnico.
- A mi asesor del proyecto de la tesis el Dr. Elmer Benites, quien fue pieza clave en la presente investigación y me brindó sus conocimientos y sus aportes y apoyo técnico.
- Finalmente deseo brindar un especial agradecimiento a mi asesor de la tesis el Ing. Jhonny Wilfredo Valverde Flores, por su insistencia en abordar este desafío, por su permanente contribución en cada etapa del trabajo, por su dedicación, su aporte intelectual, técnico y científico para cada uno de las etapas requeridas y planteadas.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b>	ii
<b>AGRADECIMIENTO</b>	iii
<b>PÁGINA DEL JURADO</b>	iv
<b>DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD</b>	v
<b>RESUMEN</b>	1
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>1.1 Realidad problemática</b>	3
<b>II. MÉTODO</b>	28
<b>2.1. Tipo y Diseño de investigación</b>	28
<b>2.2. Variables y Operacionalización</b>	29
<b>2.3. Población, muestra y muestreo</b>	30
<b>2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, Validez y confiabilidad</b>	30
<b>2.5. Métodos de análisis de datos</b>	38
<b>2.6. Aspectos éticos</b>	38
<b>III. RESULTADOS</b>	39
<b>IV. DISCUSIÓN</b>	47
<b>V. CONCLUSIONES</b>	49
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	50
<b>VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	51
<b>VIII. ANEXOS</b>	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de clasificación de residuos sólidos	14
Tabla 2. Composición de líquidos percolados de un relleno sanitario con desechos Orgánicos.	16
Tabla 3. Clasificación de los lixiviados de acuerdo a su edad.	18
Tabla 4. Composición y toxicidad evaluada a lixiviados de RS empleando Vibrio Fisheri	19
Tabla 5. Contaminantes con propiedades tóxicas encontrados en lixiviados.	19
Tabla 6. Metales pesados y los efectos negativos sobre la salud humana.	21
Tabla 7. Matriz de operacionalización	29
Tabla 8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	31
Tabla 9. Variación de Parámetros fisicoquímicos	39
Tabla 10. Prueba de normalidad de variación de parámetros fisicoquímicos.	40
Tabla 11. Prueba de T-Student para muestras emparejadas de parámetros fisicoquímicos	41
Tabla 12. Concentración de contaminantes según dosis brindada	43
Tabla 13. Prueba de Normalidad de concentración de contaminantes	43
Tabla 14. ANOVA de un factor de varianza	44
Tabla 15. HSD Tukey	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nanotubos de carbono: a) pared simple, b) pared múltiple	26
Figura 2. Mapa de ubicación del lixiviado de Zapallal	31
Figura 3. Grafeno en agua desionizada	32
Figura 4. Tricloruro de hierro en agitador magnético.	32
Figura 5. Filtrado de las nano partículas de hierro.	33
Figura 6. Dosis de 3 g de óxido de grafeno	33
Figura 7. Dosis de 3 g de óxido de grafeno más 0.25 g de NPS de Fe.	34
Figura 8. Dosis de 3 g de óxido de grafeno más 0.5 g de NPS de Fe	34
Figura 9. Dosis de 3 g de óxido de grafeno más 0.75 g de NPS de Fe	34
Figura 10. Dosis de 3 g de óxido de grafeno más 1 g de NPS de Fe	35
Figura 11. Muestra de lixiviado de residuos sólidos	35
Figura 12. Tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 1	36
Figura 13. Tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 2	36
Figura 14. Tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 3	37
Figura 15. Tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 4	37
Figura 16. Tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 5	38

## RESUMEN

El ser humano genera miles de kilos de desechos al año. En todas las ciudades del mundo cada vez se requieren más lugares en donde depositar los desechos. Además, se buscan las mejores técnicas posibles de manejo de los residuos para generar el menor impacto ambiental posible.

En el Perú, se ha venido avanzando sobre el manejo de los residuos y desechos sólidos. Con la finalidad de cubrir la cantidad de basura que los peruanos generan todos los días, se han venido creando diferentes rellenos sanitarios en cada región.

Esta investigación tiene como objetivo determinar la eficiencia del nanofiltro de grafeno con hierro para reducir concentración de contaminantes en lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal. El tipo de investigación es de enfoque cuantitativo y aplicativo. Asimismo, se tomó como población el volumen total de lixiviado de la prueba piloto, donde se utilizó como muestra 20 litros de lixiviados del relleno sanitario de Zapallal.

Se realizó la aplicación de cinco dosis las cuales fueron de 3 g. de óxido de grafeno, 3 g de óxido de grafeno y 0.25 g de NPs de Fe, 3 g de óxido de grafeno y 0.50 g de NPs de Fe, 3 g de óxido de grafeno y 0.75 g de NPs de Fe, y 3 g de óxido de grafeno y 1 g de NPs de Fe; sometiendo a evaluación la variación de las propiedades fisicoquímicas y metálicas. Los resultados obtenidos respecto a los parámetros fisicoquímicas del lixiviado, presentaron efectos significativos de variación. Asimismo, la dosis de 3 g. de óxido de grafeno en el nanofiltro, representa la dosis adecuada para el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, por obtener la mayor reducción de contaminantes (Pb, Ca, Aceites y grasas) con 1.119 mg/L, 31.094 mg/L y 5,26 mg/L respectivamente. En conclusión, la eficiencia del nanofiltro de grafeno con hierro para reducir concentración de contaminantes (Pb, Ca, Aceites y grasas), en el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal fue de 85,160%, 97.473% y 36.783% respectivamente, con una dosis de 3g óxido de grafeno.

**Palabras clave:** Eficiencia, nanofiltro, grafeno, hierro, lixiviados.

## **ABSTRACT**

The human being generates thousands of kilos of waste a year. In all cities of the world, more and more places are required to deposit waste. In addition, the best possible waste management techniques are sought to generate the least possible environmental impact.

In Peru, progress has been made on the management of waste and solid waste.

In order to cover the amount of garbage that Peruvians generate every day, different sanitary landfills have been created in each region.

This research aims to determine the efficiency of the iron graphene nanofilter to reduce the concentration of pollutants in leachates from the Zapallal landfill. The type of research is quantitative and applicative approach. Likewise, the total volume of leachate from the pilot test was taken as a population, where 20 liters of leachate from the Zapallal landfill was used as a sample.

The application of five doses was made, which were 3 g. of graphene oxide, 3 g of graphene oxide and 0.25 g of Fe NPs, 3 g of graphene oxide and 0.50 g of Fe NPs, 3 g of graphene oxide and 0.75 g of Fe NPs, and 3 g of graphene oxide and 1 g of Fe NPs; evaluating the variation of physicochemical and metallic properties. The results obtained with respect to the physicochemical parameters of the leachate, showed significant effects of variation. Also, the dose of 3 g. of graphene oxide contained in the nanofilter is the appropriate dose for the system of treatment of leachates from the sanitary landfill of Zapallal, for obtaining the greatest reduction of contaminants (Pb, Ca, Oils and fats) with 1,119 mg/L, 31,094 mg/L and 5.26 mg/L respectively.

In conclusion, the efficiency of graphene nanofilter with iron to reduce the concentration of contaminants (Pb, Ca, Oils and fats), in the leachate treatment system from the sanitary landfill of Zapallal was 85.160%, 97.473% and 36.783% respectively, with a dose of 3g graphene oxide.

**Keywords:** Efficiency, nanofilter, graphene, iron, leachate.



## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Realidad problemática**

En la actualidad uno de los problemas ambientales más grandes en el mundo y el Perú es la zona de disposición final de los residuos sólidos que poseen los rellenos sanitarios. Se debe al rápido incremento demográfico, generando un aumento en la producción elevada de residuos sólidos de gran cantidad de lixiviados.

En el Perú existen poca tecnificación en los tratamientos de residuos sólidos y necesita 256 rellenos sanitarios, según Fabiola Muñoz, la ministra del MINAM (2018), lo que nos hace ver que la necesidad es abismal, lamentablemente va ocasionando daños en la salud pública. Unos de los estudios realizados por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2018), en el Perú solo existen 32 rellenos sanitarios. Los departamentos con el más alto índice población como Arequipa, Piura, y Puno, carecen de un relleno sanitario. Según el estudio, suman un total de diez departamentos que están privados de este servicio por no contar con un relleno sanitario, a excepción de Cajamarca, Cusco, La Libertad y Ica.

Los lixiviados provenientes de los rellenos sanitarios contiene altos niveles de plomo, cadmio, arsénico y níquel. Los lixiviados y las emanaciones gaseosas, exponen a las personas que se ven expuestas a dioxinas y furanos, compuestos tóxicos, bioacumulables, que tienen efectos cancerígenos. Se puede afirmar que tienen relación con los lixiviados de los residuos dispuestos en forma irresponsable, ya sea en botaderos a cielo abierto o el relleno sanitario (Paranaense, 2014).

La disposición de los residuos sólidos urbanos (RSU) en vertederos, genera lixiviados con alto poder contaminante, provocando severos impactos ambientales sobre las fuentes de abastos de aguas superficiales y subterráneas. (Torres, 2015). Los residuos sólidos en los rellenos, comienzan a descomponerse mediante una serie de procesos químicos. Uno de los productos principales de la descomposición son los líquidos lixiviados, estos afectan a la salud de la población del entorno. Los líquidos lixiviados se forman mediante el percolado de líquidos, como el agua de lluvia, a través de sustancias en proceso de descomposición. El líquido disuelve algunas sustancias y arrastran partículas con otros compuestos químicos. Los ácidos orgánicos formados en ciertas etapas de la descomposición contenidos en el

lixiviado (como ácido acético, láctico o fórmico) disuelven los metales contenidos en los residuos, transportándolos con el lixiviado (Luna, 2008).

Las normas peruanas deben asegurar que el mantenimiento de los rellenos sanitarios (lixiviados) sea sanitaria, ambientalmente seguro y sostenible. El alcance es nacional y están obligados a su cumplimiento de las municipalidades distritales, provinciales y las empresas prestadoras de servicios de residuos sólidos (EPS-RS) u otra entidad que opere un relleno sanitario para la disposición final de residuos sólidos de ámbito de gestión municipal (OEFA, 2014). Los parámetros de estos lixiviados deberán estar dentro de los límites máximos permisibles (LMP) de acuerdo con el Decreto Supremo N° 121-2009- MINAM.

En algunos casos, los lixiviados arrastran de manera disuelta cantidades considerables de compuestos orgánicos volátiles, los cuales, se disuelven en el agua, pero salen fácilmente de la solución por tener una alta volatilidad. Muchos de estos compuestos son de interés ambiental porque además de ser volátiles son muy tóxicos.

La presencia de rellenos sanitarios provocan el líquido lixiviado al ambiente ocasionando más contaminación a los habitantes y nuestros recursos naturales, por eso se ha considerado algunos trabajos previos.

### **Trabajos Internacionales**

Según, GREENPEACE (2004), En su investigación que realizó, “Basta de basura”, indica que los residuos sólidos son sustancias químicas depositados en los rellenos sanitarios que provocan grandes problemas. Estos tóxicos pueden estar ocultos en el producto o en los residuos que parecen inofensivos u orgánicos. Esta investigación tiene como finalidad proporcionar la conducción apropiada y el beneficio requerido de los lixiviados en tiempo inmediato, teniendo como resultado el uso del agua para los beneficios convenientes del relleno en los caminos, áreas verdes, sanitarios, con la utilización de nuevas tecnologías aplicando nanopartículas de grafeno con Hierro.

ESPINOSA, María y LOPEZ, Matilde (2010), en su investigación, “Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales

de la ciudad de la Habana” plantea como objetivo analizar el comportamiento de los resultados obtenidos del monitoreo de lixiviados del vertedero de la Calle 100, realizado en los años 2004, 2007 y 2008. Efectuaron mediciones en campo y en laboratorio, donde evaluaron los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos tales como: temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, DBO<sub>5</sub>, DQO, SDT, SST y STV, metales pesados, Cr<sup>+6</sup>, CN<sup>-</sup> total, N-NH<sub>3</sub>, -NO N-NO<sub>3</sub>, N total, P total, aceites y grasas, fenoles, detergentes, alcalinidad, acidez, turbidez, empleando los métodos normalizados o validados. Comparó los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles promedios que establece la norma cubana NC 27:99, comprobó que los valores no se encontraban en medida de lo aceptable con la normatividad. Midieron el flujo empleando el método de aforo con flotadores, obteniendo como resultado que la carga orgánica vertida al río era de 66 a 73 ton DBO<sub>5</sub>/año. Los resultados que alcanzaron en su investigación comprueban el considerable efecto ambiental negativo que ejercen los lixiviados en el Vertedero de la Calle 100, atendiendo a la carga que se dispone y al estricto incumplimiento de la normatividad cubana establecida.

Según, MÉNDEZ, Roger et al. (2010), en su investigación “Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton”, los lixiviados son altamente tóxicos y variables debido al suelo altamente permeable de la península de Yucatán, México representando un peligro alto para la salud. Sus resultados de aplicar el proceso de Fenton consiste en tratar la carga contaminante con una combinación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y FeSO<sub>4</sub> en condiciones ácidas. Determinaron el tiempo óptimo de las reacciones, los valores óptimos de pH y dosis de reactivo Fenton, así como las dosis óptimas para el postratamiento coagulación – floculación. Las condiciones y dosis óptimas del proceso de oxidación fueron: tiempo de contacto de 20 minutos, un valor de pH igual a 4, concentraciones de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 600 mg/L y Fe<sup>2+</sup> de 1,000 mg/L. Los porcentajes de remoción promedio de materia orgánica, medida como DQO, fue de 78%, y medida como COT del 87%.

BUSTOS, María (2018). En su investigación titulada, “Uso del óxido de grafeno como floculante para el tratamiento en el lixiviado del relleno sanitario doña Juana”, se basa en el uso del óxido de grafeno como un posible floculante, debido a sus propiedades para la absorción de metales y su capacidad de remoción de materia orgánica expresada como DQO. Realizando tres pruebas de jarras: el primer test de jarras se ejecutó con el policloruro de

aluminio (PAC) y el polímero que se utiliza en el relleno sanitario Doña Juana; el segundo se efectuó con el óxido de grafeno y el polímero; y el tercero se realizó solo con el óxido de grafeno. Al final evaluó la variación de la DQO con una mezcla obtuvo mayor porcentaje de remoción y el rango de dosificación. Dando como resultado un porcentaje similar de remoción de DQO utilizando el PAC y el polímero juntos, así como utilizando el óxido de grafeno como floculante.

BLANDEZ, Juan (2017) en su investigación titulada, “Grafeno y materiales derivados como catalizadores pseudohomogéneos en reacciones orgánicas”, el objetivo se basa en las aplicaciones de grafeno en el campo de la catálisis heterogénea que ha sufrido un gran desarrollo desde 2010. Los datos experimentales obtenidos demuestran que el grafeno presenta actividades catalíticas intrínseca debido a la presencia de defectos en su estructura con o sin heteroátomos dopantes. El grafeno como material y su morfología monocapa o de pocas capas presenta una gran área superficial y una elevada capacidad de adsorción, requisitos para su empleo como soportes en el desarrollo de catalizadores heterogéneos de alta actividad basados en el empleo de nanopartículas metálicas.

CHÁVEZ, Wendy (2011). En su investigación titulada “Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, Méx.”, los lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Chihuahua representan un riesgo en la contaminación de aguas subterráneas y el suelo de los alrededores. Los métodos físico - químicos, así como tecnologías nuevas fue utilizados para el tratamiento de dichos lixiviados sin recurrir a la dilución. El lixiviado se llevó a un tren de tratamiento compuesto por cuatro etapas: a) Procesos de coagulación /floculación /sedimentación mediante un coagulante inorgánico; b) Adsorción con carbón activado; c) Oxidación química mediante el reactivo Fenton, y d) Membranas de ósmosis inversa. Los parámetros evaluados fueron: 92% de Demanda Química de Oxígeno (DQO), 68% de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), 63% de nitrógeno total, 46% de sólidos totales (ST) y 45% de sales disueltas totales (SDT).

Según, ROSALES. Aida (2014) En su investigación titulada, “Procesos de oxidación avanzada tipo fenton con y sin luz solar para el tratamiento de lixiviados pretratados de rellenos sanitarios”, evaluó el desempeño a nivel laboratorio de las etapas de oxidación avanzada tipo Fenton sometió a la prueba con luz solar y sin luz solar en el tratamiento de

los lixiviados pretratados originarios de los rellenos sanitarios. Empleó una solución de  $\text{Fe}^{2+}$  y otra de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) conocido como reactivo de Fenton, el cual genera radicales hidroxilos altamente reactivos (OH) que pueden oxidar diversos contaminantes orgánicos. Ambos sistemas oxidantes son lentos y necesitan la asistencia de energía, como la irradiación de luz solar y UV. Estos sistemas se denominan procesos foto-Fenton o tipo foto-Fenton. Se empleó como catalizador una escoria procedente de la industria del proceso de obtención de cobre.

REY, Ana (2010) en su investigación titulada, “Catalizadores de hierro soportado sobre carbón activo para la oxidación catalítica de fenol con peróxido de hidrógeno - Madrid”, evalúa la reacción de óxido de fenol con peróxido de hidrógeno y catalizadores de hierro soportado en carbón activo (Fe/AC). Empleó tres carbonos activos comerciales de estructura porosa diferente, y de composición química superficial, para abarcar una amplia variación en las propiedades afectando la estabilidad y actividad de catalizadores. Preparó distintos catalizadores de hierro soportado en carbón activo (Fe/CA) con los diversos soportes, trabajando con dos precursores de la fase activa, los cuales son nitrato de hierro y pentacarbonilo de hierro, en disolución acuosa y orgánica, respectivamente. Asimismo, analizó la temperatura de calcinación y el resultante final de hierro. La modificación de dichas variables con lo que respecta a la preparación de los catalizadores ha producido sistemas catalíticos con propiedades y comportamiento diferentes en la reacción del objeto de estudio, desde los enfoques de su actividad y de su estabilidad. Planteó distintos modelos de reacción para describir el comportamiento realizado del catalizador que se seleccionó para realizar el tratamiento de 100 mg/L de fenol. Por otro lado, para la velocidad de descomposición de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , consideró la descomposición que da lugar a agua y oxígeno, y la formación de radicales respecto al modelo planteado, resultando el sistema descrito según una cinética potencial de primer orden. También propuso un modelo mecanístico de tipo Eley- Rideal para realizar la eliminación y mineralización del fenol, que lleva a ejercer la adsorción del peróxido de hidrógeno sobre áreas activas del catalizador que dan lugar a la producción de radicales hidroxilos, los cuales atacan la materia orgánica que se encuentra disuelta. Los resultados generados en la parte experimental concibe el conocimiento de las posibles etapas elementales que surgen en el proceso global de oxidación de fenol.

FERNANDEZ, Matías (2015) en su investigación titulada, “Funcionalización covalente de nanotubos de carbono y grafeno para su aplicación en catálisis - Oviedo” integra los nanotubos de carbono y óxido de grafeno en sistemas catalíticos conocidos, como son los procesos de reducción de sustratos insaturados por medio de transferencia de hidrógeno catalizados por complejos de tipo carbono N-Heterocíclicos de iridio. Los nanotubos de carbono y grafito fueron oxidados para el desarrollo de grupos funcionales oxigenados que permitiesen la funcionalización de los nanomateriales con los complejos. Para la generación de catalizadores de óxido de grafeno diseñó una estrategia de funcionalización novedosa, consistente en la modificación selectiva con conectores orgánicos a través de los grupos hidroxilos superficiales. También se emplearon materiales en los que habían sido eliminados los grupos carboxilo mediante reducción térmica. Estos últimos materiales fueron los que presentaron mejor actividad catalítica, superior a los sistemas homogéneos y con buena ciclabilidad y estabilidad al aire.

GORDON, Franklin (2017) en su investigación titulada, “Aplicabilidad del compositores goethita/óxido de grafeno reducido para remover metales pesados de aguas contaminadas - Ecuador” estudió la absorción de  $Pb^{2+}$  en óxido de grafeno (GO) y en dos compositos goethita/óxido de grafeno reducido ( $\alpha$  - FeOOH/rGO) con diferentes relaciones de masa. El GO se sintetizó a partir de la mina de un lápiz siguiendo la metodología descrita por Marcano et al. (2010), mientras que los compositores  $\alpha$  - FeOOH/rGO fueron elaborados de acuerdo con el método propuestos por Xu et al. (2013). Los tres compuestos fueron caracterizados mediante microscopia electrónica de barrido (MEB), microscopia electrónica de barrido en modo transmisión (METB), espectroscopia Raman, difracción de rayos X (DRX), espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (IRTF) y dispersión dinámica de luz (DDL). El GO sintetizado en el presente estudio resultó ser 118 veces más barato en comparación al importado en Ecuador.

MOHAMED Mahmoud (2012), en su investigación “Tecnologías integradas basadas en el uso de carbón activado y radiación para la eliminación de contaminantes presentes en lixiviados de vertederos - Granada”. El trabajo presentado esta basó en el estudio de la eliminación de cinco contaminantes presentes en los lixiviados (ácido ftálico, bisfenol A, ácido difenólico, ácido 2,4 – diclorofenoxiacético y ácido 4 – cloro – 2 metilfenoxiacético), en fase acuosa, mediante las técnicas de adsorción sobre carbones. La concentración de la

materia orgánica disuelta se reduce durante el proceso radiolítico del ácido difenólico. Los resultados obtenidos con aguas naturales muestran que la eficiencia del proceso radiolítico se ve reducida por presentar elevada concentración de materia orgánica disuelta, así como con aguas caracterizadas por presentar una elevada concentración salina, ya que ambos factores actúan como inhibidores de radicales.

## **Trabajos Nacionales**

CHAMPI, Vilma (2014) en su investigación titulada “Evaluación de la contaminación por disposición final de residuos sólidos en los centros poblados de Pisac, Coya, Lama y Calca-región Cusco” evalúa la contaminación por disposición final de residuos sólidos en los centros poblados de Pisac, Coya, Lamay y Calca. Para la caracterización y categorización de botaderos; consideró el método de calificación y categorización de botaderos, de acuerdo a la guía técnica establecidos por el MINAM y MINSA. Los parámetros considerados en las evaluaciones físico - químicas del agua del río Vilcanota fueron: Temperatura, pH, OD, para lixiviados fueron temperatura y pH, los cuales se midieron en campo, los demás parámetros y la determinación de metales pesados (Plomo, Cadmio y Cromo) tanto en aguas, lixiviados y suelos se procesaron en laboratorio.

Jorge VARGAS (2017) en su investigación titulada, “Propuesta del mejoramiento y ampliación de la disposición final de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de cusco en la localidad de Jaquira, distrito de Santiago provincia de cusco – 2016” evalúa situacionalmente el botadero de Jaquira-Cusco, donde identificó diferentes problemas sobre: la disposición final de los residuos sólidos y tratamiento de los mismos; el espacio del botadero superaba su capacidad de almacenamiento.

HUARANCA, Yoselim y RUTTI, Gisela (2017) en su investigación titulada, “Efecto de la relación de  $[H_2O_2] / [Fe^{2+}]$  y el tiempo de tratamiento en la remoción de materia orgánica del lixiviado del relleno sanitario de Concepción por fotocatalisis homogénea” determinó el efecto que existe entre la relación de  $[H_2O_2] / [Fe^{2+}]$  y el tiempo empleado del tratamiento en la remoción de materia orgánica del lixiviado del Relleno Sanitario de Concepción por fotocatalisis homogénea, describir que tipo de características presenta los lixiviados y en qué

tiempo tomará el tratamiento para la remoción de materia orgánica de los lixiviados del relleno sanitario de Concepción.

MEDINA, Carlos (2016) en su investigación titulada “Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios”, optimizó el proceso Fenton en el tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario “Aguas de las Vírgenes”, Huancayo - Perú. Los parámetros evaluados fueron: DBO<sub>5</sub>, DQO, alcalinidad, dureza, pH, conductividad, sólidos totales, turbidez, Pb y Cd. Las muestras fueron tratadas en un sistema de jarras con agitación y para optimizar los valores de aplicación del proceso Fenton se utilizó el diseño Box – Behnken y la metodología de superficies de respuesta. El valor óptimo determinó en dos temporadas, en época de lluvia (pH = 3,19, FeSO<sub>4</sub> = 1645,55 mg/L y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 1096,55 mg/L) y en época de estiaje (pH = 3,26, FeSO<sub>4</sub> = 1788,61 mg/L y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 1180,83 mg/L). El indicador de biodegradabilidad obtenido fueron 0,568 y 0,329 en época de lluvia y estiaje, respectivamente, con una eliminación cercana al 42% de la DQO en ambas épocas de estudio. Llegando a concluir que el proceso Fenton es una alternativa eficaz para tratamiento de sustancias persistentes en lixiviados y puede ser aplicado como post – tratamiento para el tratamiento de los lixiviados de los rellenos sanitarios.

LLANCO OCHOA (2013), en la investigación titulada “Optimización de los procesos de manejo de residuos sólidos para la planta de tratamiento de residuos sólidos del distrito de Orcotuna” se orienta al reaprovechamiento mínimo de los residuos sólidos de la Planta Tratamiento de Residuos Sólidos del distrito de Orcotuna. Por lo que urge la necesidad de una optimización de sus procesos para ofrecer resultados de calidad acordes con las necesidades sociales y ambientales.

ANCHIRAICO, Yuri y VILCAHUAMAN, Michael (2010). En su investigación titulada, “Evaluación de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Ancón, mediante procesos de coagulación – floculación y sedimentación”, los lixiviados son efluentes de características contaminantes muy agresivas al medio ambiente. Por ello, los categoriza como un desecho de tipo industrial por las elevadas concentraciones que presenta y que por ende dificultan su tratamiento. Se realiza el tratamiento primario por coagulación floculación y clarificación, con el objetivo de reducir la concentración de sustancias recalcitrantes y materia orgánica elevada. El objetivo principal de la investigación fue determinar experimentalmente la



eficiencia y aplicación de los procesos de coagulación floculación y sedimentación en el tratamiento de lixiviados.

DÁVILA, Julio y GRANDA, Félix (2013). En su investigación titulada “Evaluación comparativa en una planta a escala piloto de lodos activados de aireación prolongada en el tratamiento de lixiviados de relleno sanitario municipal diluido con agua residual”, permite mejorar las metodologías utilizadas en el tratamiento de lixiviados, asimismo, determinar las ventajas y desventajas que genera la recirculación de lodo proveniente de la zona de sedimentación de la planta piloto, conociendo los resultados que contribuyen a una mejor eficiencia en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. En el Perú no se ha realizado a gran escala el tratamiento de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios, por la falta de investigación de campo, la carencia económica y el poco conocimiento en el manejo de residuos sólidos. Actualmente en nuestro país existen 9 rellenos sanitarios, 5 de ellos se encuentran en Lima y según la información encontrada, ninguno tiene un tratamiento de lixiviados, menciona que en lugares donde las condiciones no son favorables se debe priorizar su tratamiento. De esta manera, se minimizaría el impacto y evitaría la contaminación de aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos.

ALVA, Frank y ROMERO, Branda (2010). En su investigación titulada, “Influencia de los métodos fenton y fotofenton en la variación de la demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Cajamarca” evalúa la influencia de los métodos Fenton y foto - Fenton en la variación de la demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Cajamarca. Una solución de ion hierro (Fe) y otra de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) constituyen el reactivo Fenton, cuando se utilizan soluciones de ion férrico ( $Fe^{2+}$ ) se denomina reactivo tipo Fenton, en el cual se generan radical hidroxilo altamente reactivo (OH) que pueden oxidar diversos contaminantes orgánicos. Ambos sistemas oxidantes son lentos y necesitan la asistencia de energía, como la irradiación de luz solar y UV, estos sistemas se denominan procesos Foto - Fenton. El lixiviado crudo empleado fue colectado en el relleno sanitario de Cajamarca, Perú. El experimento lo realizó en tres etapas: fase de campo, fase de laboratorio y fase de gabinete. Luego se hicieron las comparaciones entre los lixiviados sin el tratamiento y con el tratamiento dando resultados aceptables en la disminución de la demanda química de oxígeno utilizando el método Fenton (aunque no

logró alcanzar los Límites Máximos Permisibles del MINAM) y una disminución de la demanda biológica de oxígeno y pH muy favorables con el método foto-Fenton, alcanzando concentraciones dentro del rango de límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

HOYOS, Hedvig (2016) en su investigación titulada “Eficiencia del reactor biológico en el tratamiento de lixiviados del botadero controlado San Juan de Tulumayo, San Ramón, Chanchamayo, 2016” se caracterizó y cuantificó el lixiviado generado en el botadero controlado de San Juan de Tulumayo, y la evaluación del sistema empleado para el tratamiento biológico a escala laboratorio. Para el análisis del resultado final planteó la determinación del diseño experimental obteniéndose una diferencia significativa a favor del tratamiento del biorreactor en el día 20. Los análisis físico-químicos analizados en el día 20 obtuvieron mejores resultados, evidenciados por la disminución de todos los parámetros, tales como pH, DBO5, DQO, P-Total, N-Total, COT, Aceites y Grasas, SST, Temperatura. El tratamiento fue óptimo para el tratamiento del lixiviado del botadero controlado San Juan de Tulumayo.

ROJAS, Marisol (2016) en su investigación titulada “Evaluación de la calidad fisicoquímica de las fuentes de agua vertidos con lixiviados del botadero de residuos sólidos y sus efectos en la salud pública de la población de la zona periférica del botadero de Cancharani – Puno”, realizado entre los meses de enero y junio del año 2015, en épocas seca y lluviosa. La metodología evaluó la calidad físico - química del agua, como son la temperatura mediante el método electrométrico, el pH mediante el método potenciométrico, los sólidos disueltos totales mediante el método de la conductimetría, el nitrógeno amoniacal y el fósforo total mediante el método colorimétrico y la demanda biológica y química de oxígeno mediante el método de digestión cerrada. Se concluye que la inadecuada disposición de los residuos sólidos en el botadero de Cancharani influye sobre la calidad físico - química del agua y los habitantes poseen una percepción negativa en la salud de la población de la zona de Cancharani – Puno.

RAVISHANKAR, Harish (2017) en su investigación titulada, “Síntesis de nuevos adsorbentes y membranas utilizando Óxido de Grafeno (OG) para eliminar los iones de plomo de las soluciones acuosas” aplicó el óxido de grafeno (OG) para el tratamiento del

plomo a través de tres tecnologías de tratamiento, como: adsorción, proceso de separación por membrana y MBR. Se sintetizó un nano-sorbente magnético basado en óxido de grafeno (OG). Esto se hizo mediante el ensamblaje de las nano-hojas OG sobre las nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetita) que se recubrieron en la superficie de las nano-perlas de poliestireno (denotadas como  $\text{PSFe}_3\text{O}_4\text{OG}$ ). Demostró que la aplicación del campo magnético externo separaba el ion de plomo unido a las nanotecnologías absorbente de la solución, que superaría los problemas de agregación y separación después de adsorción de metales pesados. Realizó con éxito estudios preliminares de extracción de plomo. Los resultados de los parámetros como el pH, la temperatura y el tiempo de contacto fueron optimizados para una eficacia efectiva de eliminación. Una remoción máxima de plomo del 84% se demostró y el mecanismo de adsorción se atribuyó a la electrostática de atracción seguida de quelación de iones de plomo en los grupos carboxilo e hidroxilo de OG. Esto confirmó el papel de OG en la eliminación de iones de plomo. También investigó y encontró que la reutilización del nano-sorbente era estable durante cuatro ciclos de adsorciones-desorción consecutivas. Las incrustaciones de membrana/bioincrustaciones son causadas debido a la naturaleza hidrófoba de la membrana. El OG fue explorado como un aditivo hidrofílico al preparar Membranas de microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF) de polisulfona OG combinada a través de un proceso de separación de fase no inducido por solvente. Se estudiaron membranas UF para detectar la eliminación de plomo mediante una configuración de filtración de flujo cruzado. Se estudiaron membranas MF para su aplicación en un sistema de MBR anaeróbico-anóxico-tóxico ( $\text{A}_2\text{O}$ ) para la eliminación de iones de plomo y otros nutrientes. Observó que el aumento en la concentración de OG mejoró la hidrofiliidad, Porosidad y flujo de las membranas. El análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB) reveló la presencia de poros circulares y estructura asimétrica de membranas con grandes huecos macro para membranas que tienen OG. El tamaño de poro para las membranas MF y UF estaba en el rango de 179- 250 nm y 18-24 nm, respectivamente. La membrana UF está compuesta por 15% PSf - 1% OG bajo. El flujo cruzado mostró un rechazo máximo de Pb del 98%. Se operó el sistema MBR con membranas de microfiltración PSF vírgenes y mezcladas con PSf. y monitoreado para tratamiento de nutrientes y plomo. El sistema demostró eliminación completa de DQO y amoníaco. La eliminación del fósforo alcanzó un máximo del 52%. Eliminación de plomo alcanzó un máximo del 98% con la mayoría de ella acumulada en el tanque anaeróbico debido a alta MLSS (~ 5 g / L). Los resultados indican un papel prometedor de OG en la eliminación de iones de plomo a través de nano-sorbente

y sistemas de membrana UF. En el sistema MBR, las membranas MF basadas en OG demostraron ensuciamiento, mitigación y operación más prolongada para el tratamiento del plomo. Concluye que la viabilidad de los sistemas de tratamiento debe evaluarse con aguas residuales reales para justificar su comercialización.

### Bases teóricas

**Los Residuos Sólidos.** Son originados por los organismos vivos, como desechos de las funciones que éstos realizan, por los fenómenos naturales derivados de los ciclos y por la acción directa del hombre, donde se encuentra los residuos más peligrosos para el medio ambiente pues muchos de ellos tienen un efecto negativo y prolongado en el entorno, lo cual viene dado en muchos casos por la propia naturaleza fisicoquímica de los desechos. (Fernández y Sánchez, 2007). Los residuos sólidos se pueden clasificar de diversas formas y criterios, se detalla en la siguiente Tabla 1.

**Tabla 1.** *Criterios de clasificación de residuos sólidos*

Por su composición química	Orgánicos	Presentan origen biológico, teniendo como principal componente el agua. Asimismo, están formados por residuos y desechos de origen alimenticio, estiércol y/o animales pequeños muertos. Dichos productos putrescibles, originan malos olores durante su fermentación malo, presentando una gran atracción para los vectores.
	Inorgánicos	No pueden ser degradados naturalmente, o en algunos casos sufren una descomposición demasiado lenta. Estos residuos se originan a partir de minerales y productos sintéticos, como es el caso de plásticos, metales, vidrios, cartones, cristales, pilas, plastificados, etc.
Por su utilidad económica	Reciclables	Pueden ser reutilizados o empleados como materia prima, incorporándolos a procesos productivos.
	No reciclables	No pueden ser reutilizadas o empleadas como materia prima, excluyéndolas de procesos productivos.
Por su origen	Domiciliarios	Presentan procedencia de residencias, albergues, hoteles, como es el caso de residuos de cocina, embalajes, cartón, restos de jardín, cenizas, restos de alimentos, papel de todo tipo, plásticos de todo tipo, textiles, goma, cuero, madera, vidrios, aluminio, latas, cerámica, metales féreos y suciedad. Asimismo, los artículos de gran volumen como los electrodomésticos de consumo, productos de línea blanca, neumáticos, aceites y baterías.
	Comerciales	Son generados directamente por las actividades comerciales y el sector del servicio, donde se podría considerar los residuos de comida de restaurants, papel de todo tipo, cartón, madera, textiles, plásticos de todo tipo, goma, cuero, etc.
	Constructivos	Son de originados por las actividades de construcción, las excavaciones, remodelaciones u otro tipo de actividad de este rubro, los residuos de madera, acero, hormigón, suciedad, escombros.

Por el riesgo	Industriales	Son de origen industriales con mucha variación en dependencia al tipo de industria, pueden ser metalúrgicos, químicos, entre otros; y con diversas formas de existencia, como lodos, restos de minerales originales, cenizas y materiales de chatarra plásticos.
	Hospitalarios	Son aquellos residuos generados en centros de salud, que contienen vectores patógenos de complicado manejo y control. Donde se debe considerar su manejo y control desde la clasificación de los mismos, hasta la disposición final con adecuado manejo de los incineradores y el correcto traslado de los residuos seleccionados.
	Agrícolas	Por presentar variedades en su composición se clasifican como orgánicos o inorgánicos puesto que mayormente son de origen vegetal o animal, siendo el resultado de la actividad agrícola. En este grupo se incluyen los restos de fertilizantes inorgánicos que se utilizan para los cultivos.
	Peligrosos	Son combinaciones de residuos que representan una amenaza sustancial y potencial a la salud de todos los organismos vivos.
	Inertes	Son generados en nuestra ciudad, pueden ser denominados residuos de construcción y demolición. Son las tierras, escombros, etc., donde también
	No inertes	Presentan características de inflamabilidad corrosividad, reactividad y toxicidad.

1 | [Gómez y Sánchez, 2007.](#)

**Relleno Sanitario.** Es la infraestructura y/o instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos. Se ubican en la superficie o bajo tierra, y se basan en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental. Confinando y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final (Luna, 2008).

**Lixiviados de rellenos sanitarios.** Los lixiviados son líquidos (varios compuestos orgánicos e inorgánicos) que se genera por la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua pluvial a través de los estratos de residuos sólidos que se encuentran en las fases de composición (Luna, 2008). El lixiviado es considerado como el principal y gran contaminante generado en un relleno. Sin importar la naturaleza de los compuestos, estos plantean un problema potencial de contaminación para la tierra local y las aguas superficiales. Los lixiviados están compuestos de la siguiente manera:

- Los lixiviados del relleno sanitario traen consigo material que se encuentran disueltos, suspendidos, fijos o volátiles, conteniendo altas niveles de cargas orgánicas, presentando colores variados que van desde café-pardo-grisáceo en su momento de inicial o de frescura, y un color negro viscoso en su etapa de vejez.
- Se registraron concentraciones elevadas para el parámetro de DQO de hasta 60,000 mg/L.

- Los lixiviados presentan elevadas concentraciones para los parámetros de sales inorgánicas (cloruro de sodio y carbonatos) y de metales pesados.
- Según estudios precisan que el carbono orgánico en su forma coloidal tiene el potencial adecuado para adsorber altas concentraciones de metales, por tal motivo, actúan como transportadores de metales traza en los lixiviados. (Méndez, 2002). En la tabla 2 se presenta la “Composición de líquidos percolados de un relleno sanitario con desechos orgánicos”.

**Tabla 2.** *Composición de líquidos percolados de un relleno sanitario con desechos Orgánicos.*

Componentes	Rango (mg/L)
Cloruros	100 – 400
Cobre	0 – 9
Fierro	50 – 600
Flúor	0 – 1
Cadmio	0 – 17
Cromo (VI)	2
Plomo	2
Sodio	200 – 2000
Sulfatos	100 – 1500
Nitratos	5 – 40
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	300 – 10000
DBO	2000 – 30000
DQO	3000 – 45000
pH	5.3 – 8.5

**Fuente:** <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

Generación de lixiviados. Son las consecuencias de la digestión anaerobia con alta concentración de materia orgánica. Estos líquidos afectan la salud de las poblaciones que permanecen en los alrededores. Los lixiviados se forman a partir del percolado de líquidos (como, por ejemplo, agua de lluvia) que entran en contacto con sustancias en proceso de descomposición. El líquido fluye, disolviendo algunas sustancias que permanecen en estado de reposo y arrastra las partículas junto a otros compuestos químicos. Aquí los ácidos orgánicos son formados a través de la descomposición de contenido en el lixiviado (como ácido acético, láctico o fórmico) disolviendo los metales. Para la determinación de la generación de lixiviados, se debe considerar los factores climatológicos, las características de los residuos, las características del material de cobertura, las características del cerramiento final y el mantenimiento ejercido a largo plazo del relleno sanitario. El modelo utilizado para la generación de lixiviados debe considerar efectos de descomposición de la fracción orgánica de los residuos en el relleno. Se debe verificarse las capacidades de drenaje

que tiene el sistema, garantizando la evacuación del lixiviado producido (Earth, 1996; RAS, 2000).

**Cambios en el lixiviado durante el proceso de formación.** Son cambios que se producen durante el proceso de estabilización para evaluar la calidad del lixiviado. La fase de ajuste inicial, transición, formación de ácidos, fermentación metánica y maduración final es identificada y descrita en términos de parámetros físicos, químicos y biológicos que se reportan comúnmente en la literatura. La composición química de los lixiviados variará mucho según la antigüedad del relleno sanitario y la historia previa al momento del muestreo (Pineda, 2006).

La degradación de la materia orgánica biodegradable encontrada en un relleno sanitario se encuentra en diversas etapas. Los componentes que conforman los lixiviados sufren cambios biológicos, químicos y físicos, que modifican seguidamente la composición química de los lixiviados. La estabilización de estos residuos sólidos y lixiviados se realiza en forma paralela. Dicha estabilización se da en tres etapas:

**Primera etapa** presenta corta duración y es de tipo aerobio, por limitaciones en el contenido de oxígeno y alta demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), donde se registran incrementos de temperatura en los RS, los lixiviados generados disuelven altas concentraciones de sales, como es el caso de NaCl, entre otras, como indica, Kjeldsen (2002). Con la disminución y el agotamiento de oxígeno en los RS.

**Segunda etapa** de estabilización, donde microorganismos anaerobios facultativos producen cantidades considerables de ácidos grasos volátiles (AGV), tales como el acético, propiónico, butírico, etc., alcoholes,  $NH_3$  y  $CO_2$ . El pH de los lixiviados disminuye, presentando una variación entre 4 y 5, lo que favorece la solubilización de materiales inorgánicos que van incrementando la conductividad eléctrica en un lixiviado. Los AGV ayudan a mantener altas concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO) detectadas en los lixiviados, lo que nos menciona, Kjeldsen (2002).

**Tercera etapa**, los AGV y la materia orgánica se transforman en metano y  $CO_2$  generadas por bacterias metano-génicas anaerobias, las cuales trabajan a pH neutros que presentan una variación entre 6.6 y 7.3. Los AGV disminuyen drásticamente en el lixiviado produciendo el incremento en el pH, lo cual favorece la producción de metano. Cuando los pH se acercan a la neutralidad pocos materiales inorgánicos pueden solubilizarse, donde la conductividad disminuye. Estos materiales continúan el proceso de solubilización, pero a medida que pasa

el tiempo los lixiviados presentan mayor estabilidad y los cambios en su composición química son menos significativos, según Kjeldsen (2002).

Por edad y grado de estabilización, los lixiviados se clasifican en tres grupos:

- Lixiviados jóvenes, son menores de 5 años con valor de DBO<sub>5</sub>/DQO menor a 0.3.
- Lixiviados maduros, se encuentran en el rango de 5 a 10 años con valor de DBO<sub>5</sub>/DQO que se encuentra entre 0.1 y 0.3.
- Lixiviados viejos, son mayor de 10 años con valor de DBO<sub>5</sub>/DQO menor a 0.1

En la Tabla 3, se presentan de forma resumida las características de los lixiviados de acuerdo con su edad.

**Tabla 3.** Clasificación de los lixiviados de acuerdo a su edad.

Parámetro	Joven	Medio	Maduro/ Estabilizado
Edad (años)	< 5	5 - 10	> 1
pH	< 6.5	6.5-7.5	> 7.5
DQO (mg/L)	> 10 000	4000-10 000	< 4000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	> 7500	4000-800	< 800
DBO <sub>5</sub> /DQO	> 0.3	0.1-0.3	< 0.1
Compuestos Orgánicos	80% de ácidos grasos volátiles	5-3 % de ácidos grasos volátiles más húmicos y fúlvicos	< 5 % Ácidos húmicos y fúlvicos
NH <sub>3</sub> - N(mg/L)	< 400		> 400
Metales pesados (mg/L)	> 2	< 2	< 2
Biodegradabilidad (%)		> 30	

Fuente: Renou, 2008

La fracción orgánica presente en los lixiviados viejos son de tipo refractaria (no biodegradable) como es el caso de las sustancias húmicas. El carbón orgánico existente pasado la segunda fase anaerobia de degradación se obtiene generalmente por las sustancias que contienen alto peso molecular. La susceptibilidad de estas sustancias sin mínimas para una degradación microbiana (biológica) y se alojan en los lixiviados. Esta etapa permite la estabilización química del lixiviado, donde adquiere la denominación de viejo. Pese el transcurrir de décadas, los lixiviados estabilizados tienen la capacidad de mantenerse estables sin sufrir cambios significativos respecto a su composición química, conservando concentraciones elevadas de materia orgánica del orden de miles de mg/L., Kjeldsen (2002).

**Toxicidad de lixiviados.** El amoníaco es la principal causa de toxicidad aguda en los lixiviados de RS. Se basó en pruebas realizadas a 27 lixiviados de RS, donde el amoníaco y la alcalinidad son los factores que más contribuyen a la toxicidad observada, además de pH,



conductividad y las concentraciones de cloruros, cobre, zinc (TRIEBEL, 1982; Clément et al., 1997)

En la tabla 4, se muestran tres tipos de lixiviados de RS empleando la bacteria *Vibrio fisheri*. El lixiviado maduro 2 es el que presenta mayor toxicidad, debido al alto contenido de nitrógeno amoniacal y DQO (COTMAN, 2010)

**Tabla 4.** *Composición y toxicidad evaluada a lixiviados de RS empleando Vibrio Fisheri*

Lixiviado	Valor de DQO (mg/L)	NH3-N (mg/L)	% Inhibición
Mezcla	2455	597	64.2
Maduro 1	1396	388	57.7
Maduro 2	5025	1445	Muy tóxico

Fuente: Cotman, 2010

No se ha prestado mucha atención en los efectos crónicos, pero los diferentes efectos a largo plazo de mutagenicidad/genotoxicidad se han estudiado a detalle. Algunos autores sugieren que los compuestos orgánicos presentes en el lixiviado causan actividad mutagénica.

Los lixiviados de RS también pueden contener una gran variedad de compuestos orgánicos xenobióticos (COX) que pueden presentar toxicidad aguda o crónica, pero en gran parte su efecto sigue siendo desconocido. Esto puede ser debido al hecho de la toxicidad causada por la matriz tan compleja de contaminantes (ej. amoniacal, sales, entre otros) contenidos en la muestra que enmascaran el efecto tóxico de los COX. (Kjeldsen, et al., 2002, p. 297).

En el ambiente, algunos compuestos orgánicos se acumulan debido a sus propiedades recalcitrantes que evitan que estos sean transformados por procesos naturales.

En la Tabla 5, se muestran algunos compuestos detectados en lixiviados y que son considerados prioritarios por sus propiedades toxicológicas.

**Tabla 5.** *Contaminantes con propiedades tóxicas encontrados en lixiviados.*

Contaminante	Concentración ≤ (mg/L)	Contaminante	Concentración ≤(mg/L)
Ácido galactónico	200	Dimetil ftalato	200
Ácido gálico	4000	Dimetil fenol	200

Aftalato	200	Dinitrofenol	100
Benceno	0.61 – 3.8	Etil benceno	0.27 – 2.2
Bis (2-cloroetil) éter	27	Fenol	12.5 – 300
clorobenceno	4.62	Metil clorofenol	200
Cloruro de metileno	17	Metil dinitrofenol	100
2-clorofenol	200	Metilisobutilcetona	2
Dibromoetano	0.19	2,4 nitrofenol	200
Dicloroetano	0.18 - 34	Pirrogalol	1000
Diclorobenceno	0.52	Tricloroetano	0.49
Dicloroetileno	0.15 – 7.70	Tricloroetileno	0.15 -7.70
Di butil ftalato	200	Tetracloroetileno	0.59
Dietilhexilftalato	200	Tolueno	0.55 - 41
Dietil ftalato	200	Xileno	3.3

Fuente: *Monje, 2004.*

### **Factores que influyen en la calidad del lixiviado son:**

- **Clima.** Este factor afecta directamente las características del lixiviado. Cuando llueve una parte del agua se pierde en la escorrentía superficial, otra se evapotranspira y el resto se filtra a través de los residuos sólidos del relleno siendo contaminada con los componentes orgánicos e inorgánicos que allí se encuentren, esta última entra a formar parte del lixiviado y se ve manifestado con el aumento de caudal (Mendoza y López, 2004).
- **Geología general.** Este aspecto se refiere a las características del suelo que conforma el relleno sanitario, el tipo de rocas y si se encuentra en un lugar que presenta fallas geológicas, estos aspectos influyen en las características del lixiviado, de cómo puede perder gran parte del lixiviado por filtraciones debido al tipo de suelo en el que se encuentra el relleno sanitario. El estudio de este factor es importante ya que lo que se quiere evitar es la contaminación de las aguas subterráneas de la zona (Mendoza y López, 2004).
- **Topografía.** La topografía afecta las escorrentías del sitio y las cantidades de agua entrante y saliente del relleno. Los rellenos deben ser diseñados para limitar la generación del lixiviados, construyendo canales perimetrales interceptores de aguas lluvias y recubriendo con materiales que promuevan la escorrentía y reduzcan la infiltración (Pineda, p. 237, 1998)..
- **Hidrología.** La generación del lixiviado puede incrementar por la infiltración de grandes cantidades de precipitación, si el lugar donde se encuentra el relleno sanitario es una zona

de precipitación frecuente, el volumen de lixiviados aumentará considerablemente y se tendrá infiltraciones de acuerdo al tipo de suelo que se presenta. (Pineda, p. 237, 1998).

- **Suelo.** El tipo de suelo tiene una gran influencia en la cantidad de agua percolada en el relleno y que escapa a través de las partes bajas. Si la permeabilidad de los suelos usados como material de cobertura aumenta, la velocidad de generación de lixiviados también aumenta. La cantidad de infiltración dependerá del material del suelo, los suelos arenosos permiten más infiltración y los suelos arcillosos menor infiltración (Pineda, p. 237, 1998).

**Efectos del lixiviado de residuos.** Los lixiviados son sustancias sumamente contaminantes que surgen debido a la descomposición de la materia orgánica presente en los residuos sólidos de los rellenos sanitarios. La producción del lixiviado conlleva un gran problema de contaminación debido a que en el momento del vertimiento al finalizar su tratamiento puede afectar el suelo, las condiciones freáticas y las fuentes hídricas; más aún cuando se presenta vertimiento directo causando así impactos negativos en la salud humana ya sea de forma directa o indirecta. En la Tabla 6, se muestra las incidencias de la presencia de los componentes que son tóxicos para la salud humana y su efecto.

**Tabla 6.** Metales pesados y los efectos negativos sobre la salud humana.

METALES	EFFECTOS
Mercurio	Depresión, diarreas, fatiga, catarros crónicos, irritabilidad, pérdida de memoria o amnesias, inflamación de las mucosas.
Cadmio	Lo transporta la sangre y se acumula en los riñones obstaculizando la filtración de tóxicos por este. También es capaz de dañar los pulmones de forma severa, afecta al sistema nervioso central (SNC), el sistema inmunitario y la integridad del ADN de las células, alta concentración provoca síntomas como diarreas, vómitos, dolores de estómago y debilidad en los huesos
Cromo	Anemias, problemas estomacales, daño en los riñones y en el hígado. sobre la piel causan dermatitis, sensibilización de la piel, es irritante de la piel y mucosas Afecciones generales: produce tos, bronquitis crónica, ulceraciones del tabique nasal y piel, dolores respiratorios y de cabeza, hemorragia nasal, dermatitis aguda
Plomo	Fatiga, dolores de cabeza, dolores óseos, dolores abdominales, trastornos del sueño, dolores musculares, impotencia, trastornos de conducta, y otros. Síntomas avanzados: anemia, cólicos intestinales, náuseas y vómitos, enfermedad renal, impotencia sexual, delirio, esterilidad, daños al feto, hipertensión arterial, estreñimiento agudo, afectación de los nervios, enfermedad ósea, problemas de cáncer.
Arsénico	Diarrea, pigmentación cutánea, prurito generalizado, lagrimeo, vitíligo, alopecia, hiperqueratosis y edema circunscriptos. Dermatitis y queratosis en las palmas y plantas son comunes. El hígado puede dilatarse y la

	obstrucción de los conductos biliares puede producir ictericia. Al avanzar la intoxicación puede desarrollarse una encefalopatía. La médula ósea sufre serios daños. La anemia aplásica es el trastorno hematopoyético más común
Níquel	La sobre exposición a corto plazo al níquel no se sabe pueda causar ningún problema de salud, pero la exposición a largo plazo puede causar pérdida de peso corporal, el daño del corazón y del hígado, y la irritación de piel disminuidos
Antimonio	La exposición a los altos niveles del antimonio por períodos del tiempo cortos causa náusea, vómitos, y diarrea. Hay poca información sobre los efectos de la exposición a largo plazo del antimonio, pero es un agente carcinógeno humano sospechado
Selenio	Pérdida del pelo y de las uñas, daño al tejido fino del riñón y del hígado, daño al tejido fino circulatorio, y un daño más severo al sistema nervioso.
Zinc	Náuseas, vómitos, diarreas, cólicos y fiebre, y en la mayor parte de los casos estos síntomas se dan tras consumos de 4-8 g de zinc. Los consumos de 2 g de sulfato de cinc provocan toxicidad aguda que provocan dolores de estómago y vómitos.

Fuente: Bustos, 2018.

### **La nanofiltración.**

Es un proceso que remueve moléculas de masas molares que oscila entre 200 y 500 um y con una presión atmosférica de 5 a 15 atm (Manahan, 2007).

### **Aplicaciones de la nanofiltración**

Para Ayala, Peñuela y Montoya (2006), la nanofiltración puede ser aplicada en diversos procesos e industrias, tales como:

- Industria de lácteos: elimina los nitratos y sólidos presentes en el suero, asimismo recupera la lactosa
- Industria de bebidas y alimentos: Desaliniza la gelatina así optimiza la claridad y color
- Industria farmacéutica: Purifica algunos componentes y productos empleados en esta industria
- Industria textil: desalina los tintes y recicla las aguas residuales generadas en el proceso de lavado.
- Agro industria: elimina los pesticidas de aguas subterráneas.

### **Membranas de nanofiltración**

Ribeiro, Bergamasco, Giménez y Müller (2007) señalan que “las membranas de nanofiltración es una técnica que permite seleccionar y filtrar determinados compuestos como los iones, elementos orgánicos, sales, etc., dentro de la clasificación de las membranas el tamaño de los poros que contiene son de  $< 0,002 \text{ mm}$ ” (p.3).

Chacón (2006), indica que “los procesos membranarios corresponden a técnicas de separación a partir de gradientes, pueden ser por presión o electrostático, disolviendo diversos elementos y agentes, los cuales pasan por una membrana porosa, alcanzando la separación deseada, incluso de tipo carga molecular”.

### **Nanopartículas magnéticas de Hierro.**

Las nanopartículas magnéticas de óxido de hierro son susceptibles a la oxidación por el aire durante la síntesis o al ser agregadas a un sistema acuoso perdiendo su propiedad magnética. El control del tamaño y la polidispersidad son muy importantes debido a que las propiedades de los nanocristales dependen fuertemente de la dimensión de las nanopartículas; sólo partículas de magnetita con un tamaño menor de 30 nanómetros exhiben Tecnología en Marcha, (Luciano-Carlos, F., García-Einschlag, M., González-Mártire, 2013).

El carácter magnético de la estructura del óxido de hierro varía de la hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), maghemita ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) y de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Las condiciones de síntesis tienen un efecto en la estructura final del óxido de hierro (Teja & Koh, 2009), siendo indispensable el uso de un emulsificante durante la síntesis en fase líquida para estabilizar la fase de magnetita. Este emulsificante provee alternativas para posibles modificaciones estructurales, además de estabilizar las nanopartículas de hierro con diámetros menores a los 20 nanómetros, dado que en este rango muestran comportamientos super-paramagnéticos a temperatura ambiente (Teja & Koh, 2009).

### **Nanopartículas de Grafeno.**

El grafeno presenta, excelentes propiedades electroquímicas entre las que se incluyen una amplia ventana de potencial, baja resistencia a la transferencia de carga y una excelente actividad electrocatalítica (Gao, 2015). Sin embargo, su aplicación sobre electrodos se ve afectada por la baja reactividad intrínseca, baja solubilidad y bajo rendimiento de producción

(pocas monocapas por área de sustrato), que es causada principalmente por la elevada energía de interacción entre las capas. La solución a este problema consiste en la dispersión de las capas mediante sonicación o el uso de formas químicamente modificadas como puede ser el óxido de grafeno.

Así el grafeno se puede definir como un hidrocarburo aromático policíclico infinitamente alternante de anillos de seis átomos de carbono, es decir, sería una molécula plana compuesta por átomos de carbono que forman un patrón de anillos hexagonales.

Según RODRIGUEZ (2016) El grafeno es el “material del futuro”. Algunas de las características más destacadas del grafeno son:

- Alta conductividad térmica.
- Alta conductividad eléctrica.
- Alta elasticidad (deformable).
- Alta dureza (resistencia a ser rayado).
- Alta resistencia. El grafeno es aproximadamente 200 veces más resistente que el acero, similar a la resistencia del diamante, pero es muchísimo más ligero.
- Es más flexible que la fibra de carbono, pero igual de ligero.
- La radiación ionizante no le afecta.
- Presenta un bajo efecto Joule (calentamiento al conducir electrones).
- Para una misma tarea el grafeno consume menos electricidad que el silicio.
- Es capaz de generar electricidad por exposición a la luz solar.
- El grafeno es un material prácticamente transparente.
- Es muy denso y no deja pasar al helio en forma gaseosa, sin embargo, si deja pasar al agua, la cual, encerrada en un recipiente de grafeno, muestra una velocidad de evaporación similar a la que muestra en un recipiente abierto.

El principal problema actual en la aplicación del grafeno es su producción. Actualmente las investigaciones en la producción del grafeno van por la exfoliación del grafito transfiriendo hojas de grafeno desde el grafito y por crecimiento epitaxial. Debido a los diferentes estudios que se han realizado del óxido de grafeno en las últimas décadas, se ha evidenciado que posee propiedades fisicoquímicas las cuales permiten limpiar líquidos contaminados con metales pesados o incluso de material radioactivo. El grafeno es una capa bidimensional de

átomos de carbono distribuidos en una estructura plana hexagonal en forma de panal de abejas (DREYER, 2010).

El proceso de adsorción es extensamente utilizado en el tratamiento de aguas debido a su habilidad para remover diferentes tipos de contaminantes para proveer agua de alta calidad y fácil operación. El material usado para la adsorción debe tener un área de superficie específica alta y estabilidad química. Comúnmente varios tipos de carbón se han desarrollado para remover contaminantes como por ejemplo el carbón activado, fibras de carbón activado y nanotubos de carbón. (Zhao, Ren, & Cheng, 2012).

El óxido de grafeno tiene la capacidad de descontaminar agua con colorantes (Fiallos & Gómez, 2015). Como se puede evidenciar según los estudios nombrados anteriormente el óxido de grafeno tiene un gran potencial para remover contaminantes de fuentes acuosas lo cual es de gran importancia para esta investigación.

### **Nanotecnología y su relación con el medio ambiente.**

La palabra nano que en griego significa enano- Esta fue adoptada por el lenguaje científico porque quiere controlar el mundo de lo pequeño, un mundo que se mide en nanómetros, medida que equivale a una milmillonésima parte de un metro o a una milésima parte del tamaño de un cabello humano.

Gracias a su gran área superficial y la reactividad de la superficie, los nanomateriales permiten retener una mayor tasa de contaminantes que los adsorbentes convencionales. Por otra parte, la fijación de nanomateriales a membranas poliméricas permite aumentar la permeabilidad de las membranas, mejorar su selectividad, y conseguir superficies más resistentes al ensuciamiento (Fouling y Scaling), reduciendo con ello el consumo de energía.

Además, son varios los nanomateriales que muestran altas capacidades de adsorción para retirar del agua metales pesados, aceites, disolventes orgánicos y contaminantes emergentes que en ocasiones escapan de los sistemas actuales de tratamiento.

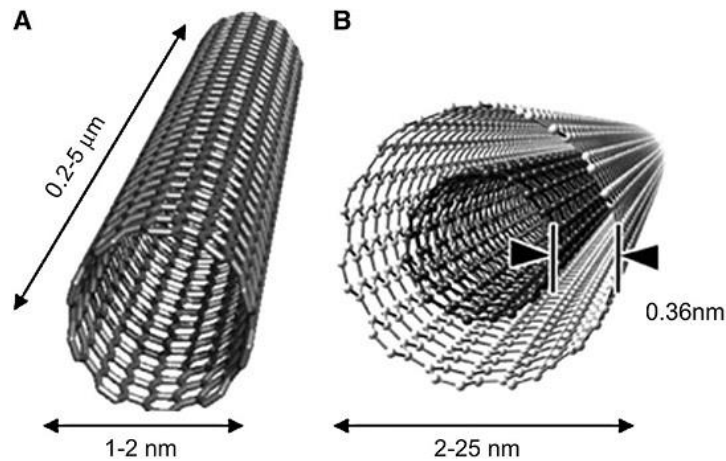


Figura 1. Nanotubos de carbono: a) pared simple, b) pared múltiple

Fuente: Dresselhaus et al, 2001

### Problema General

¿Cuál es la eficiencia del nanofiltro de grafeno con hierro para reducir concentración de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, 2019?

### Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la variación de los parámetros fisicoquímicos que genera el nanofiltro de grafeno con hierro en el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, 2019?
- b) ¿Cuál es la dosis adecuada de grafeno con hierro contenido en el nanofiltro para el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, 2019?

### Justificación del estudio

Esta investigación se justifica porque se comprobó que hay escasas investigaciones que abordan el tema relacionado a la aplicación de nanofiltración. Por ello, se espera incrementar nuevos conocimientos e informaciones en la materia de la nanofiltración.

Con esta investigación se espera evaluar que tan eficiente es el nanofiltro de grafeno con hierro para reducir la concentración de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviado proveniente del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo, 2019.

### Hipótesis



### **Hipótesis general**

El nanofiltro de grafeno con hierro es eficiente para reducir la concentración de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviado proveniente del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo, 2019.

### **Hipótesis específicas**

- Los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados provenientes del relleno sanitario de Zapallal varían con el sistema de tratamiento de nanofiltro de grafeno con hierro.
- La dosis de grafeno con hierro en los nanofiltros es adecuada para reducir concentraciones de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo, 2019.

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

Determinar la eficiencia del nanofiltro de grafeno con hierro para reducir concentración de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, a escala de laboratorio.

#### **Objetivos específicos**

- Determinar la variación de los parámetros fisicoquímicos que genera el nanofiltro de grafeno con hierro en el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, 2019.
- Determinar la dosis adecuada de grafeno con hierro contenido en el nanofiltro para el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, 2019.

## **II. MÉTODO**

### **2.1. Tipo y Diseño de investigación**

#### **Tipo de investigación**

Es una investigación aplicada.

#### **Nivel de investigación**

El nivel de investigación es descriptivo porque se obtendrá datos a partir de una muestra inicial y final y concluiremos de las mismas.

#### **Diseño de investigación**

Es una investigación experimental.

En la investigación se emplearon variables cuantitativas debido a que se expresará numéricamente.

#### **Variable Independiente**

Uso de Nanofiltro de grafeno con hierro

#### **Variable dependiente**

Tratamiento de los Lixiviados provenientes del relleno sanitario

## 2.2. Variables y Operacionalización

**Tabla 7. Matriz de operacionalización**

VARIABLES	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala / unidades	Escala de medición	
<b>Variable Dependiente</b> Tratamiento de los Lixiviados provenientes del relleno sanitario	Los lixiviados son líquidos (varios compuestos orgánicos e inorgánicos) que se generan por la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua pluvial a través de los estratos de residuos sólidos que se encuentran en las fases de composición. (Luna, 2008).	El tratamiento de los lixiviados provenientes del Relleno Sanitario se medirá con los siguientes parámetros: <ul style="list-style-type: none"><li>• Físicos</li><li>• Químicos</li></ul>	Parámetros físicos  Parámetros Químicos	T° Conductividad Turbidez SST pH OD DBO5 DQO Metales pesados (Pb <sup>+2</sup> , Ca <sup>+2</sup> ) Aceites y grasas	°C μS/cm NTU mg/L  mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L	Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo	
<b>Variable independiente</b> Uso de Nanofiltro de grafeno con hierro	Es una membrana que permite el paso de ciertos iones de sustancias orgánicas e inorgánicas de la solución en un líquido por difusión bajo diferenciales de presión.	El tratamiento de los lixiviados provenientes del Relleno Sanitario se medirá con los siguientes parámetros: <ul style="list-style-type: none"><li>• Características Físicas.</li><li>• Eficiencia del nanofiltro</li></ul>	Dosis de óxido de grafeno con nanopartículas de Hierro  Eficiencia del nanofiltro	D-1 D-2 D-3 D-4 D-5 % de eficiencia del nanofiltro	<b>3 g.</b> óxido de grafeno <b>3 g.</b> óxido de grafeno con <b>0.25g.</b> de NPS de Fe <b>3 g.</b> óxido de grafeno con <b>0.50 g.</b> de NPS de Fe <b>3 g.</b> óxido de grafeno con <b>0.75 g.</b> de NPS de Fe <b>3 g.</b> óxido de grafeno con <b>1 g.</b> de NPS de Fe %	g. g. g. g. g. %	Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo

### **2.3. Población, muestra y muestreo**

#### **Población**

La población que se consideró en la investigación fue el lixiviado procedente del relleno sanitario Zapallal.

#### **Muestra**

- La muestra fue de 20 litros de lixiviados del relleno sanitario de Zapallal.

#### **Muestreo probabilístico**

Muestreo aleatorio simple.

### **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, Validez y confiabilidad**

- Las técnicas utilizadas en la investigación son las siguientes:
  - La observación.
  - Experimentación.
  - Análisis de documentos.
- Instrumentos
  - Guía de observación
  - Fichas diversas

**Tabla 8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Etapa	Fuente	Técnica	Instrumento	Resultado
Caracterización de lixiviados en relleno sanitario	Lixiviado de prueba piloto de Relleno sanitario	Experimentación	Ficha de caracterización de lixiviados y parámetros Físico, Químico y Microbiológico (Anexo 1)	parámetros de campo y otros medidos
Desarrollo del nanofiltro	Laboratorio	Experimentación	Ficha descriptiva de nanofiltro (Anexo 2)	muestra tomada
Análisis inicial de la muestra	Laboratorio	Análisis de documentos	Ficha de análisis inicial (Anexo 3)	lixiviados analizados
Tratamiento con nanofiltración	Laboratorio	Experimentación	Ficha de tratamiento de lixiviados (Anexo 4)	Cantidades empleadas
Análisis final después del tratamiento.	Laboratorio	Análisis de documentos	Ficha de análisis final (Anexo 5)	resultados analizados

A continuación, se detallan las etapas de la investigación:

### Etapa 1. Caracterización de lixiviados en relleno sanitario

En esta etapa se realizó la caracterización de los lixiviados presentes en el relleno sanitario

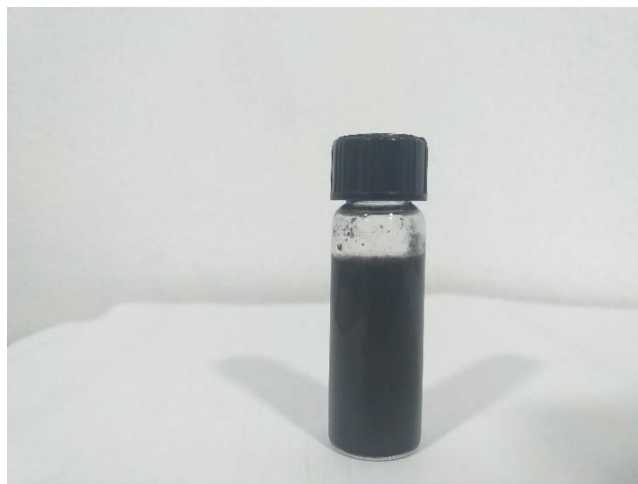


Figura 2. Mapa de ubicación del lixiviado de Zapallal

## Etapa 2. Desarrollo del nanofiltro

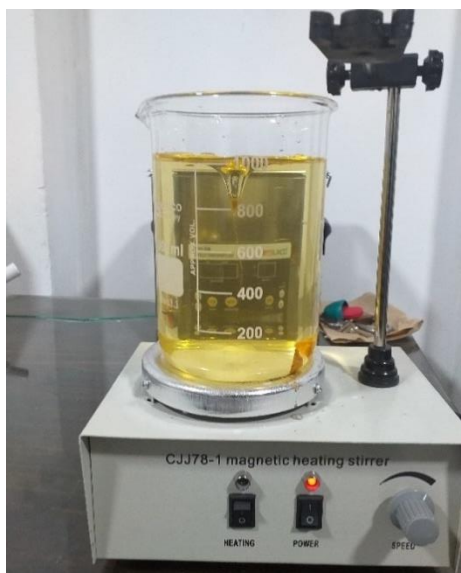
Para la fabricación de nanofiltro se realizó el siguiente procedimiento:

- Se fabricó el óxido de grafeno por el método de exfoliación química. Ver Figura 3.



*Figura 3.* Grafeno en agua desionizada

- Se fabricó la nanopartícula de hierro. Para ello, se disolvió 11 g de  $\text{FeCl}_3$  en 1 L de agua desionizada, luego se agregó 10 mL de HCl al 35% y 100 mL de NaOH obteniéndose una solución de color marrón oscuro. Luego se realizó la sonicación por 30 minutos, con 40 Hz y temperatura de 30 °C. El producto se procedió a secar obteniéndose nanopartículas de hierro.



*Figura 4.* Tricloruro de hierro en agitador magnético.



*Figura 5.* Filtrado de las nano partículas de hierro.

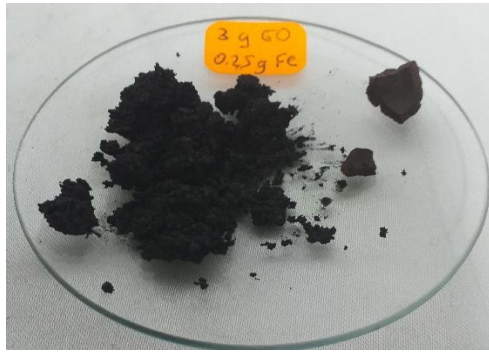
- Dosificación de los componentes del nanofiltro de grafeno y hierro. Posteriormente se realizó la dosificación de grafeno y nanopartículas de hierro, obteniendo los nanofiltros: Nanofiltro1, Nanofiltro2, Nanofiltro3, Nanofiltro4, y Nanofiltro5.

Nanofiltro 1: 3 g de óxido de grafeno. Ver figura siguiente.



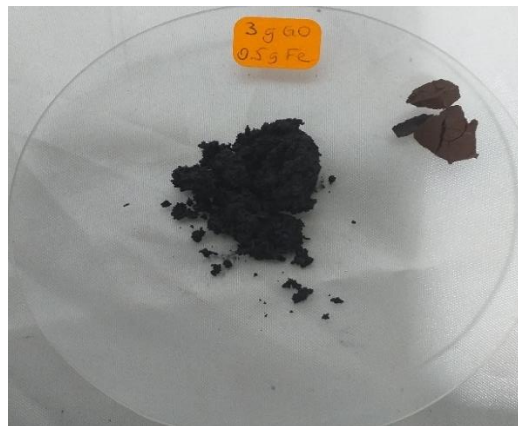
*Figura 6.* Dosis de 3 g de óxido de grafeno

Nanofiltro 2: 3 g de óxido de grafeno y 0.25 g de NPs de Fe. Ver figura siguiente



*Figura 7.* Dosis de 3 g de óxido de grafeno más 0.25 g de NPS de Fe.

Nanofiltro 3: 3 g de óxido de grafeno y 0.5 g de NPs de Fe. Ver figura siguiente.



*Figura 8.* Dosis de 3 g de óxido de grafeno más 0.5 g de NPS de Fe

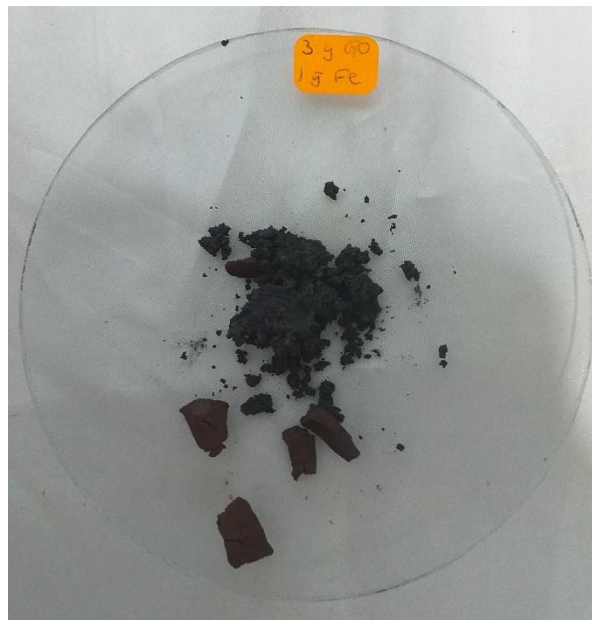
Nanofiltro 4: 3 g de óxido de grafeno y 0.75 g de NPs de Fe. Ver figura siguiente.



*Figura 9.* Dosis de 3 g de óxido de grafeno más 0.75 g de NPS de Fe



Nanofiltro 5: 3 g de óxido de grafeno y 1 g de NPs de Fe. Ver figura siguiente



*Figura 10.* Dosis de 3 g de óxido de grafeno más 1 g de NPS de Fe

### **Etapa 3. Análisis inicial de la muestra**



*Figura 11.* Muestra de lixiviado de residuos sólidos

#### **Etapa 4. Tratamiento con nanofiltración**

En esta etapa se realizó el tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 1. Ver figura siguiente.



*Figura 12. Tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 1*

Se procedió a realizar el tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 2. Ver figura siguiente.



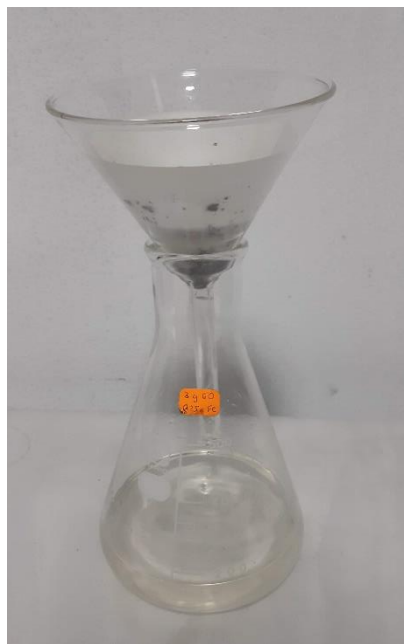
*Figura 13. Tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 2*

Se procedió a realizar el tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 3. Ver figura siguiente.



*Figura 14. Tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 3*

Se procedió a realizar el tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 4. Ver figura siguiente.



*Figura 15. Tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 4*

Se procedió a realizar el tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 5. Ver figura siguiente.



*Figura 16.* Tratamiento del lixiviado con el nanofiltro 5

## **2.5. Métodos de análisis de datos**

El tratamiento por este método consiste en la reducción de la concentración de los parámetros contaminantes en el lixiviado. La investigación se realiza a través de la recopilación de datos por medio de la observación y el análisis de los parámetros de campo, y otros. Los resultados serán analizados mediante la estadística descriptiva. Además, se utilizará el programa SPSS versión 23 y Excel para procesar la información, creando una base de datos para luego ser analizados mediante la estadística inferencial para la prueba de hipótesis con el software SPSS V 23.

## **2.6. Aspectos éticos**

En el presente trabajo de investigación no se tergiversó algún dato a favor de la presente investigación.

Con respecto a los análisis de los parámetros de campo, de la variable en estudio y demás, éstos son certificados por el laboratorio.

### III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos, serán presentados de acuerdo a los objetivos planteados:

1. **Determinar la variación de los parámetros fisicoquímicos que genera el nanofiltro de grafeno con hierro en el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, 2019.**

**Tabla 9.** Variación de Parámetros fisicoquímicos

PARÁMETRO	DOSIS	ANTES DEL TRATAMIENTO	DESPUÉS DEL TRATAMIENTO	VARIACIÓN ( $\Delta$ )
TEMPERATURA (C°)	D-1	19,80	21,10	1,30
	D-2	19,80	22,20	2,40
	D-3	19,80	21,30	1,50
	D-4	19,80	20,90	1,10
	D-5	19,80	21,10	1,30
TURBIDEZ (UNT)	D-1	250,00	35,27	214,73
	D-2	250,00	45,40	204,60
	D-3	250,00	56,90	193,10
	D-4	250,00	59,90	190,10
	D-5	250,00	58,81	191,19
CONDUCTIVIDAD ( $\mu$ s/cm)	D-1	1012,00	1116,00	104,00
	D-2	1012,00	1320,00	308,00
	D-3	1012,00	1250,00	238,00
	D-4	1012,00	1341,00	329,00
	D-5	1012,00	1250,00	238,00
SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS (mg/L)	D-1	802,00	270,00	532,00
	D-2	802,00	280,00	522,00
	D-3	802,00	347,00	455,00
	D-4	802,00	290,00	512,00
	D-5	802,00	307,00	495,00
pH (Unidad pH)	D-1	3,82	7,50	3,68
	D-2	3,82	7,71	3,89
	D-3	3,82	7,65	3,83
	D-4	3,82	7,62	3,80
	D-5	3,82	7,41	3,59
OD (mg/L)	D-1	8,70	5,07	3,63
	D-2	8,70	7,30	1,40
	D-3	8,70	7,90	0,80
	D-4	8,70	8,10	0,60
	D-5	8,70	8,50	0,20
DBO (mg/L)	D-1	1128,00	397,50	730,50
	D-2	1128,00	620,00	508,00
	D-3	1128,00	415,50	712,50
	D-4	1128,00	429,70	698,30
	D-5	1128,00	409,00	719,00
DQO (mg/L)	D-1	1478,00	1019,00	459,00
	D-2	1478,00	1259,00	219,00
	D-3	1478,00	1120,00	358,00
	D-4	1478,00	1129,00	349,00
	D-5	1478,00	1071,00	407,00
Pb (mg/L)	D-1	1,314	0,195	1,119
	D-2	1,314	1,130	0,184
	D-3	1,314	1,019	0,295
	D-4	1,314	1,090	0,224
	D-5	1,314	1,001	0,313
Ca (mg/L)	D-1	31,90	0,806	31,094
	D-2	31,90	2,450	29,450
	D-3	31,90	2,015	29,885
	D-4	31,90	2,010	29,890
	D-5	31,90	1,909	29,991
Aceites y grasas (mg/L)	D-1	14,30	9,04	5,26
	D-2	14,30	11,65	2,65
	D-3	14,30	10,09	4,21
	D-4	14,30	9,93	4,37
	D-5	14,30	9,75	4,55

En la Tabla 9, se presenta los resultados obtenidos en relación a los parámetros de: temperatura, turbidez, conductividad, sólidos totales suspendidos, potencial hidrógeno, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, plomo, calcio, aceites y grasas, según la aplicación de cinco dosis de grafeno con hierro. Dichas dosis mencionadas fueron de D-1, D-2, D-3, D-4 y D-5, que contenían 3 g de óxido de grafeno, 3 g de óxido de grafeno más 0.25 g de NPS de Fe, 3 g de óxido de grafeno más 0.5 g de NPS de Fe, 3 g de óxido de grafeno más 0.75 g de NPS de Fe, 3 g de óxido de grafeno más 1 g de NPS de Fe respectivamente.

**Tabla 10.** Prueba de normalidad de variación de parámetros fisicoquímicos.

VARIACIÓN DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VARIACIÓN_TURBIDEZ	,302	5	,154	,848	5	,187
VARIACIÓN_TEMPERATURA	,316	5	,116	,794	5	,073
VARIACIÓN_CONDUCTIVIDAD	,276	5	,200*	,894	5	,377
VARIACIÓN_SST	,215	5	,200*	,912	5	,478
VARIACIÓN_pH	,236	5	,200*	,946	5	,708
VARIACIÓN_OD	,278	5	,200*	,828	5	,134
VARIACIÓN_DBO5	,404	5	,008	,671	5	,055
VARIACIÓN_DQO	,258	5	,200*	,941	5	,671
VARIACIÓN_Pb	,415	5	,005	,678	5	,060
VARIACIÓN_Ca	,346	5	,050	,831	5	,141
VARIACIÓN_ACEITES_GRASAS	,301	5	,158	,898	5	,397

La Tabla 10, muestra los valores obtenidos en la Prueba de Normalidad para los parámetros fisicoquímicos respecto a su variación, obtenida después de la aplicación de una dosis de grafeno con hierro contenida en un nanofiltro.

**Hipótesis: probaremos**

Ho: Los datos obtenidos de la variación de parámetros fisicoquímicos sigue una distribución normal.

Ha: Los datos obtenidos de la variación de parámetros fisicoquímicos no sigue una distribución normal.

**Estadística y región crítica de la prueba:**

Si p-valor <  $\alpha$ : rechaza Ho

Si p-valor >  $\alpha$ : no rechaza Ho

Se obtuvo **p-valores** de: 0.187, 0.073, 0.377, 0.478, 0.708, 0.134, 0.55, 0.671, 0.060, 0.141, 0.397 y  **$\alpha$**  de: 0.05

### Decisión

Como los **p-Valores** son mayores que  $\alpha$ , entonces **H<sub>0</sub>** no se rechaza, la conclusión es que los datos de variación de parámetros fisicoquímicos obedecen a un comportamiento de distribución normal. Donde se toman los valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas (< 50). Asimismo, se puede precisar que los datos se encuentran dentro de un rango de 95% de confiabilidad.

**Tabla 11.** Prueba de T-Student para muestras emparejadas de parámetros fisicoquímicos

VARIACIÓN DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza				
				Inferior	Superior			
Turbidez_Inicial - Turbidez_Final	198,86600	10,52655	4,70762	185,79556	211,93644	42,243	4	,000
Temperatura Inicial - Temperatura Final	-1,52000	,51186	,22891	-2,15556	-,88444	-6,640	4	,003
Conductividad_Inicial - Conductividad_Final	-243,40000	88,02159	39,36445	-352,69324	-134,10676	-6,183	4	,003
SST_Inicial - SST_Final	503,20000	30,21093	13,51074	465,68818	540,71182	37,244	4	,000
pH_Inicial - pH_Final	-3,75800	,12112	,05417	-3,90839	-3,60761	-69,379	4	,000
OD_Inicial - OD_Final	1,32600	1,35882	,60768	-,36119	3,01319	2,182	4	,045
DBO_Inicial - DBO_Final	673,66000	93,33463	41,74052	557,76975	789,55025	16,139	4	,000
DQO_Inicial - DQO_Final	358,40000	89,44719	40,00200	247,33664	469,46336	8,960	4	,001
Pb_Inicial - Pb_Final	,427000	,390366	,174577	-,057703	,911703	2,446	4	,041
Ca_Inicial - Ca_Final	30,062000	,613499	,274365	29,300241	30,823759	109,569	4	,000
Aceites y Grasas_Inicial – Aceites y Grasas_Final	4,20800	,95881	,42879	3,01748	5,39852	9,814	4	,001

En la **Tabla 11**, se observa la prueba estadística de T-Student para muestras emparejadas de parámetros fisicoquímicos, donde se pudo obtener P-valores inferiores a 0.05, indicando que hay diferencias significativas de medias de la variación de los parámetros fisicoquímicos.

## PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1

### Hipótesis: probaremos

H<sub>0</sub>: Los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados provenientes del relleno sanitario de Zapallal no varían con el sistema de tratamiento de nanofiltro de grafeno con hierro.

Ha: Los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados provenientes del relleno sanitario de Zapallal varían con el sistema de tratamiento de nanofiltro de grafeno con hierro.

***Estadística y región crítica de la prueba:***

*Si  $p$ -valor  $< \alpha$ : rechazar  $H_0$*

*Si  $p$ -valor  $> \alpha$ : No rechazar  $H_0$*

*Los  $p$ -valores fueron: 0.000, 0.003, 0.003, 0.000, 0.000, 0.045, 0.000, 0.001, 0.041, 0.000, 0.001 y  $\alpha$ :0.05*

***Contrastación De Hipótesis Específica 1***

Conforme a los resultados obtenidos a través del IBM SPSS Statistics 23 podemos indicar que con un nivel de confianza de 95% se rechaza la hipótesis nula, puesto que el  $p$ -valor es menor que  $\alpha$ , concluyéndose que los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados provenientes del relleno sanitario de Zapallal varían con el sistema de tratamiento de nanofiltro de grafeno con hierro.



**2. Determinar la dosis adecuada de grafeno con hierro contenido en el nanofiltro para el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, 2019.**

DOSIS	CONTAMINANTE	UNIDAD	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	REDUCCIÓN	EFICIENCIA %
D-1	Pb	mg/L	1,314	0,195	1,119	85,160
	Ca	mg/L	31,90	0,806	31,094	97,473
D-2	Aceites y Grasas	mg/L	14,30	9,04	5,26	36,783
	Pb	mg/L	1,314	1,130	0,184	14,003
D-3	Ca	mg/L	31,90	2,450	29,450	92,320
	Aceites y Grasas	mg/L	14,30	11,65	2,65	18,531
D-4	Pb	mg/L	1,314	1,019	0,295	22,451
	Ca	mg/L	31,90	2,015	29,885	93,683
D-5	Aceites y Grasas	mg/L	14,30	10,09	4,21	29,441
	Pb	mg/L	1,314	1,090	0,224	17,047
D-4	Ca	mg/L	31,90	2,010	29,890	93,700
	Aceites y Grasas	mg/L	14,30	9,93	4,37	30,560
D-5	Pb	mg/L	1,314	1,001	0,313	23,820
	Ca	mg/L	31,90	1,909	29,991	94,016
	Aceites y Grasas	mg/L	14,30	9,75	4,55	31,818

**Tabla 12.** Concentración de contaminantes según dosis brindada

En la Tabla 12, muestra los valores obtenidos de la concentración inicial y final de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo, donde se puede calcular la reducción y la eficiencia de las dosis contenidas en los nanofiltros empleados para dichos tratamientos.

**Tabla 13.** Prueba de Normalidad de concentración de contaminantes

	DOSIS	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CONCENTRACIÓN	D-1	,313	3	.	,895	3	,369
	D-2	,367	3	.	,793	3	,098
	D-3	,353	3	.	,823	3	,170
	D-4	,324	3	.	,877	3	,317
	D-5	,348	3	.	,834	3	,199

La Tabla 13, muestra los valores obtenidos en la Prueba de Normalidad de concentración de contaminantes según dosis de grafeno con hierro contenida en un nanofiltro.

**Hipótesis: probaremos**

Ho: Los datos obtenidos de la concentración de contaminantes sigue una distribución normal.

Ha: Los datos obtenidos de la concentración de contaminantes no sigue una distribución normal.

**Estadística y región crítica de la prueba:**

Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechaza Ho

Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : no rechaza Ho

Se obtuvo **p-valores** de: 0.369, 0.098, 0.170, 0.317, 0.199 y  **$\alpha$**  de: 0.05

**Decisión**

Como los **p-Valores** son mayores que  **$\alpha$** , entonces **Ho** no se rechaza, la conclusión es que los datos obtenidos de la concentración de contaminantes siguen una distribución normal. Donde se toman los valores estadísticos de significancia de Shapiro-Wilk por ser muestras pequeñas (< 50). Asimismo, se puede precisar que los datos se encuentran dentro de un rango de 95% de confiabilidad.

**Tabla 14.** ANOVA de un factor de varianza

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1785,456	4	446,364	,292	,044
Dentro de grupos	15309,655	10	1530,966		
Total	17095,111	14			

La Tabla 14, muestra la prueba estadística Anova de un factor para determinar la diferencia significativa de medias de las concentraciones de contaminantes, que están basados en el análisis de la varianza de acuerdo con las dosis usadas en los nanofiltros para el sistema de tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo.

**Tabla 15. HSD Tukey**

DOSIS	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	
D-2	3		41,6180
D-4	3		47,1023
D-3	3		48,5250
D-5	3		49,8847
D-1	3		73,1387
Sig.			,044

En la Tabla 15, se evidencia que la dosis D-1, que contiene 3 g de óxido de grafeno, es la dosis que presenta mayor eficiencia para la reducción de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviados, representando la dosis adecuada para el nanofiltro.

## **PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2**

### ***Hipótesis: probaremos***

Ho: La dosis de grafeno con hierro en los nanofiltros no es adecuada para reducir concentraciones de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo, 2019.

Ha: La dosis de grafeno con hierro en los nanofiltros es adecuada para reducir concentraciones de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo, 2019.

### ***Estadística y región crítica de la prueba:***

*Si  $p\text{-valor} < \alpha$ : rechazar Ho*

*Si  $p\text{-valor} > \alpha$ : No rechazar Ho*

*El  $p\text{-valores}$  fueron: 0.044 y  $\alpha$ :0.05*

### **Contrastación De Hipótesis Específica2**

De acuerdo a los resultados obtenidos a través del IBM SPSS Statistics 23 podemos indicar que con un nivel de confianza de 95% se rechaza la hipótesis nula, puesto que el p-valor es menor que  $\alpha$ , concluyéndose que la dosis de grafeno con hierro en los nanofiltros es adecuada para reducir concentraciones de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo, 2019.

## **PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL**

### ***Hipótesis: probaremos***

Ho: El nanofiltro de grafeno con hierro no es eficiente para reducir la concentración de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviado proveniente del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo, 2019.

Ha: El nanofiltro de grafeno con hierro es eficiente para reducir la concentración de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviado proveniente del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo, 2019.

### ***Estadística y región crítica de la prueba:***

*Si  $p$ -valor  $< \alpha$ : rechazar  $H_0$*

*Si  $p$ -valor  $> \alpha$ : No rechazar  $H_0$*

*El  $p$ -valores fueron: 0.000, 0.003, 0.003, 0.000, 0.000, 0.045, 0.000, 0.001, 0.041, 0.000, 0.001 y 0,044,  $\alpha$ :0.05*

### **Contrastación De Hipótesis General**

De acuerdo a los resultados obtenidos a través del IBM SPSS Statistics 23 podemos indicar que con un nivel de confianza de 95% se rechaza la hipótesis nula, puesto que los  $p$ -valores fueron menores que  $\alpha$ , se concluye que el nanofiltro de grafeno con hierro es eficiente para reducir la concentración de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviado proveniente del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo, 2019

#### **IV. DISCUSIÓN**

La finalidad de esta investigación fue determinar la eficiencia del nanofiltro de grafeno con hierro para reducir concentración de contaminantes en el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, a escala de laboratorio, logrando reducir satisfactoriamente las concentraciones de Plomo, Calcio, aceites y grasas.

Para afirmar lo dicho en el párrafo anterior, se realizó diversas pruebas donde se aplicó cinco dosis de óxido de grafeno con nanopartículas de hierro. Dichas dosis mencionadas fueron de 3 g. de óxido de grafeno, 3 g de óxido de grafeno y 0.25 g de NPs de Fe , 3 g de óxido de grafeno y 0.50 g de NPs de Fe, 3 g de óxido de grafeno y 0.75 g de NPs de Fe, y 3 g de óxido de grafeno y 1 g de NPs de Fe; evaluando la variación de las propiedades fisicoquímicas y metálicas.

Entre las pruebas realizadas se determinó el porcentaje de eficiencia del óxido de grafeno con nanopartículas de hierro para la reducción de contaminantes presentes en los lixiviados proveniente del relleno sanitario de Zapallal-Carabayllo, obteniendo como resultado que la eficiencia de la dosis D-1, fue de 85.160% para reducción de plomo, al comparar este resultado con 84% que es resultado de sintetizar nuevos adsorbentes y membranas utilizando Óxido de Grafeno (OG) para eliminar los iones de plomo de las soluciones acuosas por Harish Ravishankar, 2017, se demuestra que se obtiene un mayor porcentaje de eficiencia para reducción de plomo con la aplicación de una dosis adecuada de 3g de óxido de grafeno.

Con respecto a las pruebas fisicoquímicas se evaluó la variación de dichos parámetros del lixiviado tratado por medio de un nanofiltro a base de óxido de grafeno con nanopartículas de hierro, donde se obtuvo que la temperatura tiende a aumentar presentando una variación en un rango de 1,10°C a 2,40°C según la dosis empleada. En las pruebas de variación de turbidez tiende a disminuir, puesto que tuvo una variación en un rango de 190,10 UNT a 214,73 UNT según la dosis de óxido de grafeno y nanopartículas de hierro, tomando en cuenta que el nivel de turbidez inicial de los lixiviados. Con respecto a las pruebas de variación de conductividad se obtuvieron valores que tienden a aumentar, evidenciados en rangos de variación de 104 us/cm a 329 us/cm de acuerdo a las dosis aplicadas. En las pruebas de variación de sólidos totales suspendidos tiende a disminuir, presentando rangos de variación de 455 mg/L a 530 mg/L, teniendo en consideración los sólidos totales suspendidos iniciales y finales se puede mencionar que presentaron valores que no se

encuentran dentro del límite máximo permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad. Para las pruebas de variación de pH se tuvo valores que tienden a aumentar, teniendo rangos de variación de 3,59 unidades de pH a 3,89 unidades de pH, de acuerdo a las dosis utilizadas, teniendo en cuenta que el pH inicial del lixiviado arrojó valores no aceptados en el límite máximo permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad y después del tratamiento se obtuvieron valores dentro del rango de aceptación por el pH inicial del lixiviado arrojó valores aceptados en el límite máximo permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad, precisados en valores de rangos de 7,41 unidades de pH a 7,71 unidades de pH. Respecto a las pruebas de variación de oxígeno disuelto se obtuvo resultados que tienden a disminuir de 0,20 mg/L a 3,63 mg/L, conforme a las dosis aplicadas. Para pruebas de variación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), presentó valores con tendencia a disminuir con rangos de 508 mg/L a 730,5 mg/L de acuerdo a la dosis empleada, teniendo en consideración que la demanda bioquímica de oxígeno inicial y final, no se encuentran dentro del límite máximo permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad. En las pruebas de variación de demanda química de oxígeno (DQO), presentó valores que tienden a disminuir de 219 mg/L a 259 mg/L según la dosis empleada, se debe tener en cuenta que los valores obtenidos en la demanda química de oxígeno inicial y final no se encuentra en los valores de aceptación del límite máximo permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad.

Para la determinación de la dosis de óxido de grafeno con nanopartículas de hierro, contenidas en el nanofiltro, se evaluó de acuerdo a los valores obtenidos de la concentración de contaminantes presentes en el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal después de los tratamientos sometidos, donde se obtuvo la mayor reducción de contaminantes (Pb, Ca, Aceites y grasas) con 1.119 mg/L, 31.094 mg/L y 5,26 mg/L respectivamente, evidenciada después del tratamiento con la obtención de concentraciones de 0,195 mg/L, 0,806 mg/L y 9,04 mg/L. encontrándose dentro de lo establecido la concentración de plomo en el D.S 009-2009 MINAM - LMP para para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad de 0.5 mg/L.

## V. CONCLUSIONES

Se concluye que la eficiencia del nanofiltro de grafeno con hierro para reducir concentración de contaminantes (Pb, Ca, Aceites y grasas), en el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal fue de 85,160%, 97.473% y 36.783% respectivamente, con una dosis de 3g óxido de grafeno.

- La variación de los parámetros fisicoquímicos que genera el nanofiltro de grafeno con hierro en el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, con dosis D-1 (3 g. de óxido de grafeno), D-2 (3 g de óxido de grafeno y 0.25 g de NPs de Fe) , D-3 (3 g de óxido de grafeno y 0.50 g de NPs de Fe), D-4 (3 g de óxido de grafeno y 0.75 g de NPs de Fe) y D-5(3 g de óxido de grafeno y 1 g de NPs de Fe) en los valores de Temperatura fueron 1.30 °C, 2.40°C, 1.50°C, 1.10°C y 1.30°C respectivamente. Asimismo, los valores de Turbidez fueron 214.73 UNT, 204.60 UNT, 193.10 UNT, 190.10 UNT y 191.19 UNT respectivamente. Con lo que respecta a Conductividad se obtuvo valores de 104 us/cm, 308 us/cm, 238 us/cm, 329 us/cm y 238 us/cm respectivamente. En los valores de Sólidos totales se obtuvo 532 mg/L, 522 mg/L, 455 mg/L, 512 mg/L y 495 mg/L respectivamente. En el caso de pH los valores fueron 3.68, 3.89, 3.83, 3.80 y 3.59 respectivamente. Para el Oxígeno Disuelto se obtuvo valores de 3.63, 1.40, 0.80, 0.60 y 0.20 respectivamente. De igual modo, en DBO5 se obtuvo valores de 730,5 mg/L, 508 mg/L, 712.5 mg/L, 698.3 mg/L y 719 mg/L respectivamente. También, en DQO se obtuvo valores de 459 mg/L, 219 mg/L, 358 mg/L, 349 mg/L y 407 mg/L respectivamente. Donde se concluye que el nanofiltro de grafeno con hierro si tienen efectos significativos de variación sobre los parámetros fisicoquímicos del lixiviado procedente del relleno sanitario de Zapallal.
- La dosis de 3 g. de óxido de grafeno contenida en el nanofiltro es la dosis adecuada para el sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal, por obtener la mayor reducción de contaminantes (Pb, Ca, Aceites y grasas) con 1.119 mg/L, 31.094 mg/L y 5,26 mg/L respectivamente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Recomendar utilizar los nanofiltros de óxido de grafeno con nanopartículas de hierro en otras dosis y su aplicación a gran escala en futuras investigaciones.
- Esta investigación se limitó a realizar la elaboración de un nanofiltro, se recomienda evaluar la aplicación en diversos prototipos.
- Plantear investigaciones económicas con la aplicación de este sistema de tratamiento de lixiviados para conocer la viabilidad de estos tipos de materiales utilizados.
- Estudiar la potencialidad del grafeno y del hierro para reducir concentraciones de otros metales o contaminantes, presentes en otro medio.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVA, Frank y ROMERO, Branda. Influencia de los métodos fenton y fotofenton en la variación de la demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Cajamarca. La Libertad, Perú. 2018.

AMERICAN Chemical Society. Selective ion penetration of graphene oxide membranes. Sun, P, y otros. Manchester, 2012. 7(5): pp. 428-437.

ANCHIRAICO, Albert y VILCAHUAMAN, Michael. Evaluación de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Ancón, mediante procesos de coagulación – floculación y sedimentación. Lima, 2010.

AYALA, Miguel. PEÑUELA, Gustavo. MONTOYA, José. Procesos de membranas para el tratamiento de agua residual industrial con altas cargas del colorante amarillo ácido, Medellín. 2006.

BLANCO, Matías. Funcionalización covalente de nanotubos de carbono y grafeno para su aplicación en catálisis. Oviedo, España. 2015.

BLANDEZ, Juan. Grafeno y materiales derivados como catalizadores pseudohomogéneos en reacciones orgánicas. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España. 2017.

BUSTOS, María. Uso del óxido de grafeno como floculante para el tratamiento en el lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. 2018.

CHACÓN, Alejandro. Tecnologías de membranas en la agroindustria láctea. Rev. Agronomía Mesoamericana, Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica. 2006

CHAMPI, Vilma y VILLALVA, Milagros. Evaluación de la contaminación por disposición final de residuos sólidos en los centros poblados de Pisac, Coya, Lama y Calca. Región Cusco. Cusco, Perú. 2014.

CHAVEZ, Wendy. Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Ambiental. Centro de investigación en materiales avanzados, México. 2011.

COLLAZOS. Residuos Sólidos. Santa Fe de Bogotá. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 1998.

COTMAN. Comparison of different physico-chemical methods for the removal of toxicants from landfill leachate. Mater, Hazard. 2010. pp. 298-305.

DAVILA, Julio y GRANDA Félix. Evaluación comparativa en una planta a escala piloto de lodos activados de aireación prolongada en el tratamiento de lixiviado de relleno sanitario municipal diluido con agua residual. Lima. 2013.

DRESSELHAUS G, Dresselhaus M, Avouris P. Carbon nanotubes: Synthesis, structure, properties and applications. Springer-Verlag 2001, Berlin

DREYER, Daniel, [*et al*]. The chemistry of graphene oxide. The Royal Society of Chemistry. 2010. pp. 36,37-39.

EARTH, F. Citizen's Guide to Municipal Landfills. Global Alliance for Incinerator Alternatives. United State. 1996.

EPA. Terminology Services. Vocabulary Catalog List Detail - Environmental Issues Terms & Acronyms [en línea]. United State. Guide to Environmental Issues: Glossary of Terms & Acronyms, 2015. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2018]. Disponible en: [http://ofmpub.epa.gov/sor\\_internet/registry/termreg/searchand retrieve/glossariesan](http://ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchand retrieve/glossariesan)

ESPINOSA, María y LOPEZ, Matilde. Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales de la ciudad de la Habana. México. 2010. pp. 313-325.

ISSN: 0188-4999.

FERNANDEZ, A. y SANCHEZ, Mayra. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. La Habana: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). La Habana. 2007.

FIALLOS, Coello. y GOMEZ, Vacacela. Removal of acridine orange from water by graphene oxide. Italy. 2015. 1646(70): pp. 38, 978, 7354, 1285, 9.

GAO,W.; Majunder, M.; Alemany, L.B.; Narayanan, T.N.; Ibarra, M.A.; Prandhan, B. K.; Ajayan, P.M. Appl. Mater. Interfaces, 2015

GORDON, Franklin. Aplicabilidad del composito goethita/óxido de grafeno reducido para remover metales pesados de aguas contaminadas. Quito-Ecuador: Tesis Ingeniería Civil y Ambiental (ICA). Ecuador. 2017.

GREENPEACE. Resumen de los impactos ambientales y sobre la salud de los rellenos sanitarios. Argentina: Campaña Contra la Contaminación, 2004.

[https://www.estudiosecologistas.org/web/Curso/Curso%20Ecuador/Rellenos%20Sanitarios/Impactos\\_Ambientales\\_Rellenos\\_GreenPeace.pdf](https://www.estudiosecologistas.org/web/Curso/Curso%20Ecuador/Rellenos%20Sanitarios/Impactos_Ambientales_Rellenos_GreenPeace.pdf)

HARO, Diego. Posible aplicación del Óxido de Grafeno para la remoción de Plomo (PB): aplicando la teoría del funcional de la densidad (DFT). Riobamba, Ecuador. 2015.

HOYOS, Hedvig. Eficiencia del reactor biológico en el tratamiento de lixiviados del botadero controlado San Juan de Tulumayo, San Ramón, Chanchamayo. Perú: Universidad Cesar Vallejo. Chanchamayo, Perú. 2016.

HUARANCA, Yoselim y RUTTI, Gisela. Efecto de la relación de  $[H_2O_2] / [Fe^{2+}]$  y el tiempo de tratamiento en la remoción de materia orgánica del lixiviado del relleno sanitario de concepción por fotocatalisis homogénea. Huancayo, Perú. 2017.

KJELDSEN, S.B. et al. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate for the Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2010, 32(3). pp. 297-336.

LOPEZ, Antonio y PAGANO, M. Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate. *Chemosphere*. Roma, Italy, 2004.

LUCIANO-Carlos, F., García-Einschlag, M., González-Mártire, D. Applications of Magnetite Nanoparticles for Heavy Metal Removal from Wastewater. In F. S. García Einschlag, (Ed.), *Waste Water - Treatment Technologies and Recent Analytical Developments*. 2013. doi:10.5772/3443.

LUNA, M. Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios. Sincelejo, 2008.

LLANCO OCHOA, Reyna. Optimización de los procesos de manejo de residuos sólidos para la planta de tratamiento de residuos sólidos del distrito de Orcotuna. Junin. Perú, 2013.

MANAHAN, Stanley. *Introducción a la química ambiental*. México: Editorial

Reverté, 2007.

MEDINA. REVISTA de la Sociedad Química del Perú. Fenton process optimization in the treatment of landfill leachates lixiviated por Medina. Lima, Perú. 82 (4): 454-466. Diciembre 2016.

ISSN: 1810-634X.

MÉNDEZ, Roger, [et al.]. Influencia del material de cubierta en la composición de los lixivios de un relleno sanitario. México. 2002. 6(1): 7-12.

Méndez, Roger et al. Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixivios por México. REVISTA internacional de contaminación ambiental. México., 25(1): 133-145. ISSN: 0188-4999.

MENDEZ NOVELO, Roger Iván; GARCIA REYES, Refugio Bernardo; CASTILLO BORGES, Elba René and SAURI RIANCHO, María Rosa. Tratamiento de lixivios por oxidación Fenton . Ing. Investig. [online]. 2010, vol.30, n.1, pp.80-85. ISSN 0120-5609

MENDOZA, Patricia. y LOPEZ, Valentina. Estudio de la Calidad del Lixiviado del Relleno Sanitario la Esmeralda y su Respuesta Bajo Tratamiento en Filtro Anaerobio Iloto de Flujo Ascendente. Colombia, 2004.

MINAM. Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. Perú, 2011. pp. 87.

MOHAMED. Tecnologías integradas basadas en el uso de carbón activado y radiación para la eliminación de contaminantes presentes en lixivios de vertederos. España: Universidad de Granada, 2012.

MONJE, Ignacio. Ozonación de lixiviados estabilizados de rellenos sanitarios para transformar materia orgánica recalcitrante soluble. Facultad de Ingeniería, México: UNAM, 2004.

OEFA. Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial. Organismo de evaluación y fiscalización ambiental. Perú: informe 2013-2014. Índice de cumplimiento de los municipios provinciales a nivel nacional, Perú. 2014. pp. 100.

OPS/OMS. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, Centro Panamericano de ingeniería sanitaria y ciencia del ambiente - Lima, Perú. 2001.

PINEDA. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos. Bogotá, Colombia: Panamericana formas e impresos, 1998. pp. 237-238.

RAVISHANKAR, Harish. Síntesis de nuevos adsorbentes y membranas utilizando Óxido de Grafeno (OG) para eliminar los iones de plomo de las soluciones acuosas". Vellore Institute of Technology University (VIT), India. (2017).

(<https://pdfs.semanticscholar.org/4b15/d51c60e5e07f3b6f3d0cb23d9b75f7ca16b6.pdf>)

RENOU, [et al.]. Review and opportunity. Journal of hazardous material. Journal of Hazardous Materials. Landfill leachate treatment. 2008. 150(4): 468-493.

REY, Ana. Catalizadores de hierro soportado sobre carbón activo para la oxidación catalítica de fenol con peróxido de hidrógeno. Madrid. 2010.

RIBEIRO, Rosa. BERGAMASCO, Rosângela. GIMENES, Marcelino. MÜLLER, Carmen. Preparación de Membranas para Producción de Agua Potable. La Serena 2007.

RODRÍGUEZ Villalón Alba. Grafeno: síntesis, propiedades y aplicaciones biomédicas. Universidad Complutense, España. 2016.

ROJAS, Marisol. Evaluación de la calidad físico química de las fuentes de agua vertidos con lixiviados del botadero de residuos sólidos y sus efectos en la salud pública de la población de la zona periférica del botadero de Cancharani - Puno. Puno, Perú. 2016.

ROSALES, Aida. Procesos de oxidación avanzada tipo Fenton con y sin luz solar para el tratamiento de lixiviados pretratados de rellenos sanitarios. Tesis para Maestría en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 2014.

SISTEMAS de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios. Sincelejo. 2008.

TEJA, A.S., & Koh, P.Y. Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles. Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials. 2009. 55(1-2), 22-45. doi:10.1016/j.pcrysgrow.2008.08.003.

TORRES, Matilde, PELLON, Alexis y ESPINOZA, María. Propuesta para tratamiento de lixiviados en un vertedero de residuos sólidos urbanos. La Habana, Cuba. 2015. 36(1): pp. 2-16. ISSN 1680-0338

TRIEBEL W. Lehr und Handbuch der Abwassertechnik. (Wastewater Techniques: Textbook and Manual), 3rd edn, Verlag von Wilhelm Ernst, Berlin, Germany. 1982.

VARGAS, Jorge. 2016. Propuesta del mejoramiento y ampliación de la disposición final de los residuos sólidos urbanos de la Ciudad de Cusco en la localidad de Jaqira, Distrito de Santiago Provincia de Cusco - 2016. Cusco, Perú. 2016.


ZHAO, Jinping; REN, Wencai y CHENG, Hui-Ming. Graphene sponge for efficient and repeatable adsorption and desorption of water contaminations. *Journal of Materials Chemistry*. 2012.

ISSN: 1665-529X.



VIII. ANEXOS

Anexo 1. Ficha N°1 - Ficha de Caracterización de lixiviados y parámetros Físico, Químico y Microbiológico

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		<b>TITULO: Ficha de caracterización de lixiviados y parámetros Físico, Químico y Microbiológico</b>					Formato									
							Ficha									
							Fecha									
<b>Datos del responsable</b>				<b>Datos del Laboratorio</b>												
Nombre y Apellido:				Nombre del Laboratorio												
Teléfono:				Ubicación:												
Correo:				Teléfono:												
Fase	Fecha y Hora	Metales (mg/L)		No metales (mg/L)			Parámetros Físico, Químico y Microbiológico del agua residual									
		Cd		N	P	As	SS T	pH	T	Turbidez	Aceites y grasa	DBO5	DQO	Coliformes Totales	Coliformes fecales	
		Cr														
		Pb														
		Ni														
		Zn														
		Hg														
Otras Observaciones:																

Fuente: Elaboración Propia, 2019

## Anexo 2. Validación de Instrumento de Ficha N°1



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres: Valverde Flores, Johnny  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DTE - UCV Lima Norte  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Nanotecnología  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha N°1  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Myriam Patricia Zevallos Cadilla

#### 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 :

90 %

Lima, 03 de Diciembre del 2018

Johnny Valverde Flores  
 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE  
 DNI No. 18120253 Telf.: 949585932

### Anexo 3. Ficha N°2 - Ficha descriptiva del nanofiltro

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>	<b>TÍTULO: Ficha de caracterización de lixiviados</b>	Formato	
		Ficha	
		Fecha	
<b>1. Identificación visual del equipo</b>			
<b>2. Características</b>			
<b>Definición</b>			
<b>Tipo de membrana</b>			
<b>Material de fabricación</b>			
<b>3. Especificaciones del producto</b>			
<b>Código</b>			
<b>Superficie activa</b>			
<b>Temperatura</b>			
<b>Presión</b>			
<b>Caudal</b>			
<b>Rechazo de lixiviados</b>			
<b>Recuperación</b>			
Otras Observaciones:			

Fuente: Elaboración Propia, 2019

**Anexo 4. Ficha N°3 - Ficha de análisis inicial de la muestra**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>INTERVALO</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>NORMAL</b>
Ph				
Temperatura	°C			
Aceites y Grasas	mg/L			
SST	mg/L			
DB05	mg/L			
DQO	mg/L			
Coliformes Totales	NMP/100ml			
<b>Metales pesados</b>				
Cd	mg/L			
Cr	mg/L			
Pb	mg/L			
Ni	mg/L			
Zn	mg/L			
Hg	mg/L			
<b>No Metales</b>				
N	mg/L			
p	mg/L			
As	mg/L			

Fuente: Elaboración Propia, 2019

## Anexo 5. Validación de Instrumento de Ficha N°3



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Tello Menpivil Verónica  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Coordinador de EP de Ing. Ambiental  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Desarrollo de Recursos Humanos  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha N°3  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Myriam Patricia Zevallos Cadillo

#### 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 :


90 %

Lima, 03 Diciembre del 2018

*[Firma]*  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 0844956 Telf.: 999389912

**Anexo 6. Ficha N°4 - Ficha de tratamiento de lixiviados**

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>		<b>Ficha de tratamiento de lixiviados</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Tratamiento 1 (10 g de grafeno)</b>	<b>Tratamiento 2 (2.5 mg NP de hierro/10 g de grafeno)</b>	<b>Tratamiento 3 (5 mg hierro/10 g de grafeno)</b>	<b>Tratamiento 4 (10 mg hierro)</b>
Ph					
Temperatura	°C				
Aceites y Grasas	mg/L				
SST	mg/L				
DB05	mg/L				
DQO	mg/L				
Coliformes Totales	NMP/100 ml				

Fuente: Elaboración Propia, 2019

## Anexo 7. Validación de Instrumento de Ficha N°4



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

1.1. Apellidos y Nombres: Paute Miro Elena  
 1.2. Cargo e institución donde labora: UCV DTC  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Psicología - Docencia Docentes Académicos  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha N°4  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Myriam Patricia Zorillo Cadillo

**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 :**

90 %

Lima, ..... del 2018

*[Firma]*  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

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

**Anexo 8. Ficha N°5 - Ficha de análisis final de la muestra**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>INTERVALO</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>NORMAL</b>
Ph				
Temperatura	°C			
Aceites y Grasas	mg/L			
SST	mg/L			
DB05	mg/L			
DQO	mg/L			
Coliformes Totales	NMP/100ml			
<b>Metales pesados</b>				
Cd	mg/L			
Cr	mg/L			
Pb	mg/L			
Ni	mg/L			
Zn	mg/L			
Hg	mg/L			
<b>No Metales</b>				
N	mg/L			
p	mg/L			
As	mg/L			

Fuente: Elaboración Propia, 2019



### Anexo 9. Ficha N°6 - de seguridad del óxido de grafeno

<b>Identificación del producto</b>	Reduce el óxido de grafeno
<b>Familia química</b>	Grafito sintético
<b>Nombre del producto</b>	Solución de óxido de grafeno
<b>Uso de la sustancia / preparado</b>	Investigación experimental
<b>Identificación del fabricante / proveedor</b>	Nanotechnology Laboratories S.A.S NanoTech Labs.Cra. 14 N° 49-55 Apto. 301Bogotá, D.C., Colombia Móvil 3143445586E-mail. marodriguezp7@gmail.com

Fuente: Nano Tech Labs 2016

### Anexo 10. Obtencion de la Materia prima “Grafito” para obtener el

## “Grafeno”



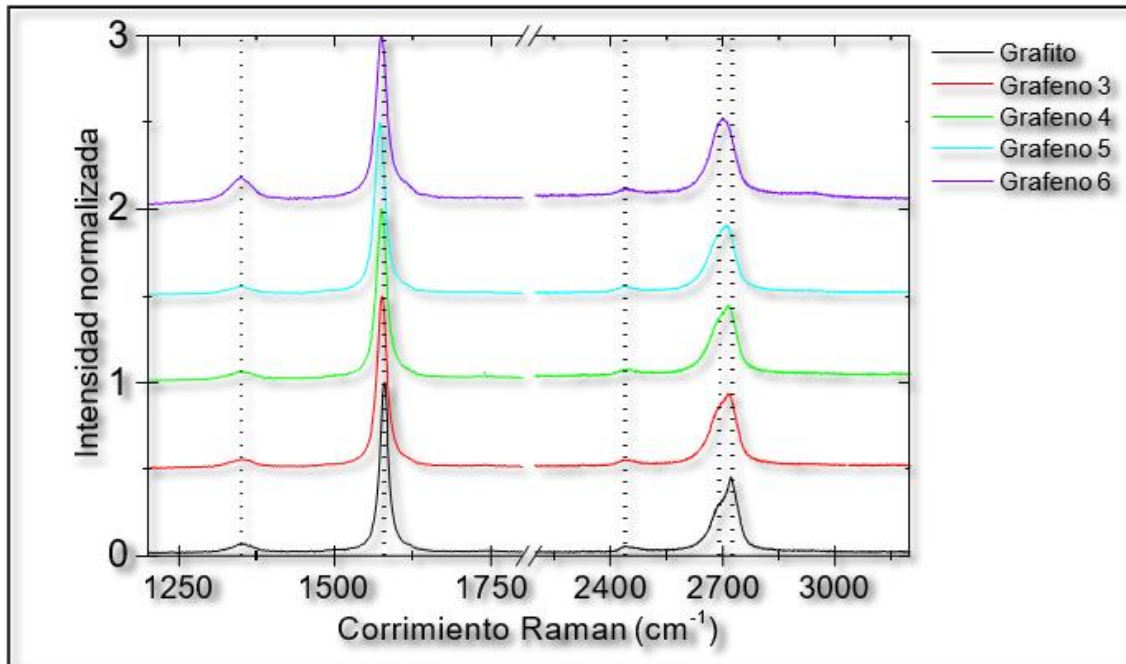
**Anexo 11. Entrada del Relleno Sanitario de Zapallal**



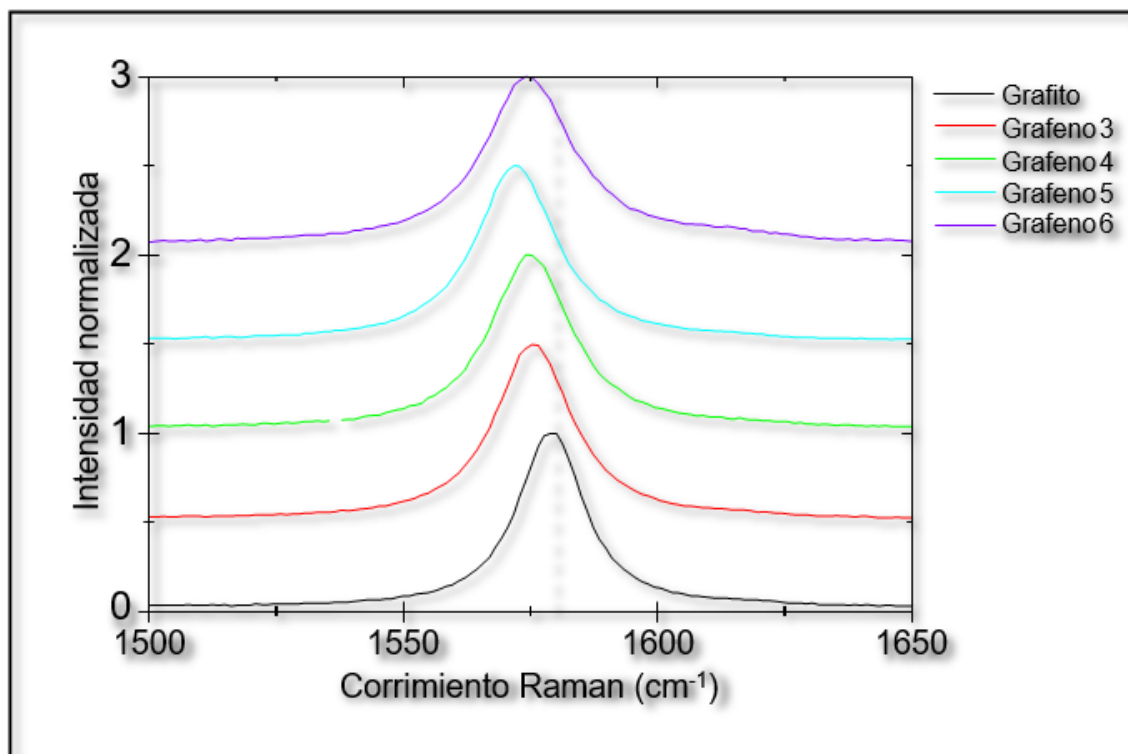
**Anexo 12. Realidad del Relleno Sanitario de Zapallal.**



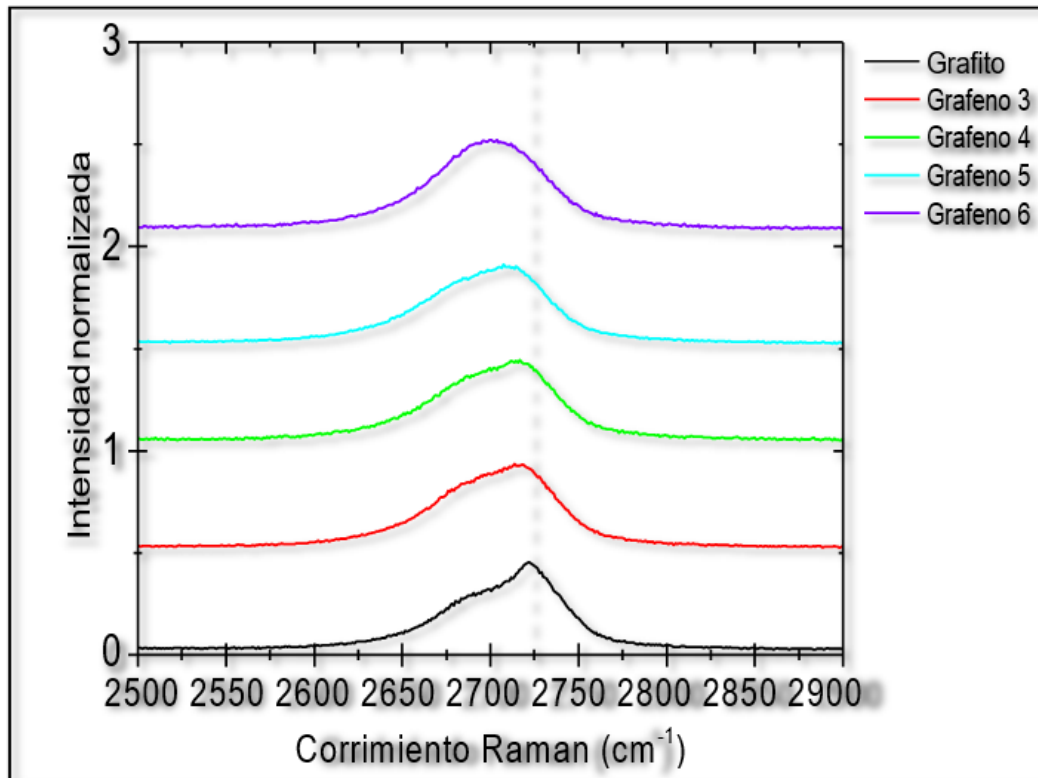
**Anexo 13. Los espectros de Raman de las muestras de grafito y grafeno del Centro de caracterización de materiales PUCP.**



**Anexo 14. Espectro Raman en la banda D de las muestras de grafito y grafeno del Centro de caracterización de materiales PUCP.**



**Anexo 15. Espectro Raman en la banda G de las muestras de grafito y grafeno del Centro de caracterización de materiales PUCP**



## Anexo 16. Informe de parámetros físicoquímicos iniciales



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA  
CON REGISTRO N° LE-056



### INFORME DE ENSAYO N° 192904 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : MYRIAM ZEVALLOS CADILLO  
Dirección :  
Solicitado Por : MYRIAM ZEVALLOS CADILLO  
Referencia : Cotización N° 1720-19R01  
Proyecto : Reservado por el Cliente  
Procedencia : Lima  
Muestreo Realizado Por :  
Cantidad de Muestra : 1  
Producto : Lixiviado  
Fecha de Recepción : 21/06/2019  
Fecha de Ensayo : 21/06/2019 al 03/07/2019  
Fecha de Emisión : 04/07/2019

La muestra fue recepcionada en buenas condiciones

#### I. Resultados

Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	Resultados
<b>Parámetro Físicoquímicos</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	0,2	0,5	14,3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0,5	2,0	1128
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1,6	5,0	1478
Conductividad	µs/cm	---	1,0 <sup>(*)</sup>	1012
Turbiedad	NTU	0,05	0,25	250
Alcalinidad	mg/L	1,41	5,00	823
Cloruro	mg/L	0,21	1,00	405
Dureza Total	mg/L	1,50	5,00	965
Oxígeno Disuelto (Winkler) *	mg/L	0,50	2,00	8,7
Sólidos Totales Suspendedos	mg/L	1	6	802
Potencial hidrógeno	Und. pH	Und. pH	---	3,82
Temperatura	°C	°C	---	19,8

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, <sup>(\*)</sup> = Resolución cuantificable.

\* = No Aplica

(\*) = Ensayo no acreditado por ENVIROTEST, pero acreditado ante INACAL por el subcontratista competente.

(\*) = Ensayo subcontratado.

\*: Los métodos indicados no han sido acreditados por los entes INACAL-DA e IAS

\*SM: Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 23rd. Ed.

2017 \*EPA: U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis.

\*ISO: International Organization for Standardization

\*NMX: Norma Mexicana.

\*Hach: Water Analysis

Handbook \*NTP: Norma

Técnica Peruana \*ETL:

Método Validado

\*IQ: Instructivo de Laboratorio

## Anexo 17. Informe de parámetros iniciales de metales totales



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA  
CON REGISTRO N° LE-056



### INFORME DE ENSAYO N° 192904 CON VALOR OFICIAL

#### II. Resultados (ICP-AES)

Tipo Ensayo		Unidad	L.D.M.	Resultados
<b>Metales Totales (ICP-AES)</b>				
Ag	Plata	mg/L	0,0014	0,1300
Al	Aluminio	mg/L	0,0077	9,671
As	Arsénico	mg/L	0,001	1,02
B	Boro	mg/L	0,0012	0,4252
Ba	Bario	mg/L	0,0004	0,9862
Be	Berilio	mg/L	0,0002	<0,0002
Ca	Calcio	mg/L	0,0035	31,9
Cd	Cadmio	mg/L	0,00005	0,0946
Ce	Ceño	mg/L	0,0096	<0,0096
Co	Cobalto	mg/L	0,0007	<0,0007
Cr	Cromo	mg/L	0,0023	<0,0023
Cu	Cobre	mg/L	0,0005	2,26
Fe	Hierro	mg/L	0,0052	6,90
K	Potasio	mg/L	0,0463	0,19
Li	Litio	mg/L	0,0006	<0,0006
Mg	Magnesio	mg/L	0,0107	8,56
Mn	Manganeso	mg/L	0,0004	0,223
Mo	Molibdeno	mg/L	0,0018	<0,0018
Na	Sodio	mg/L	0,0074	108,4
Ni	Niquel	mg/L	0,0015	<0,0015
P	Fósforo	mg/L	0,0237	<0,0237
Pb	Plomo	mg/L	0,0004	1,314
Sb	Antimonio	mg/L	0,0015	<0,0015
Se	Selenio	mg/L	0,001	<0,001
Si	Silicio	mg/L	0,0051	0,60
Sn	Estaño	mg/L	0,0026	0,3825
Sr	Estroncio	mg/L	0,0002	1,689
Ti	Titanio	mg/L	0,0021	0,1189
Tl	Talio	mg/L	0,0002	<0,0002
V	Vanadio	mg/L	0,0005	0,1438
Zn	Zinc	mg/L	0,0009	0,31

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo.

## Anexo 18. Informe de parámetros fisicoquímicos finales



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA  
CON REGISTRO N° LE-056



### INFORME DE ENSAYO N° 190607 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : MYRIAM ZEVALLOS CADILLO  
Dirección :  
Solicitado Por : MYRIAM ZEVALLOS CADILLO  
Referencia : Cotización N° 2237-19R02  
Proyecto : Reservado por el Cliente  
Procedencia : Lima  
Muestreo Realizado Por :  
Cantidad de Muestra : 5  
Producto : Lixiviado  
Fecha de Recepción : 06/07/2019  
Fecha de Ensayo : 06/07/2019 al 13/07/2019  
Fecha de Emisión : 15/07/2019

La muestra fue recepcionada en buenas condiciones

#### I Resultados

Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M	L.C.M	190607-01	190607-01	190607-01	190607-01	190607-01
				Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Parámetro Fisicoquímicos								
Acéites y Grasas	mg/L	0,2	0,5	9,04	11,65	10,09	9,93	9,75
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0,5	2,0	397,90	620,00	415,50	429,70	409,00
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1,6	5,0	1019,00	1259,00	1120,00	1129,00	1071,00
Conductividad	µs/cm	---	1,0 <sup>16</sup>	1116,00	1320,00	1250,00	1341,00	1250,00
Turbiedad	NTU	0,05	0,25	35,27	45,40	56,90	59,29	58,81
Alcalinidad	mg/L	1,41	5,00	453,00	623,00	663,00	520,00	493,00
Cloruro	mg/L	0,21	1,00	241,00	350,00	310,00	270,00	283,00
Dureza Total	mg/L	1,50	5,00	197,00	358,00	309,00	258,00	292,00
Oxígeno Disuelto (Winkler) *	mg/L	0,50	2,00	5,07	7,30	7,90	8,10	8,50
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	1	6	270,00	280,00	347,00	290,00	307,00
Potencial hidrógeno	Und. pH	Und. pH	---	7,50	7,71	7,85	7,62	7,41
Temperatura	°C	°C	---	21,10	20,20	21,30	20,90	21,10

Legenda: L.C.M = Límite de cuantificación del método, L.D.M = Límite de detección del método, <sup>16</sup> = Resolución cuantificable.

16: No Aplica

\*: Ensayo no acreditado por ENVIROTEST, pero acreditado ante INACAL por el subcontratista competente.

16: Ensayo subcontratado.

\*: Los métodos indicados no han sido acreditados por los entes INACAL-DA e IAS

\*SM: Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 23rd, Ed.

2017 "EPA": U.S. Environmental Protection Agency, Methods for Chemical Analysis.

"ISO" International Organization for Standardization

"NMV" Norma Mexicana.

"Hach" Water Analysis

Handbook "NTP": Norma

Técnica Peruana "ETL"

Método Validado

"IQ" Instrucción de Laboratorio



## Anexo 19. Informe de parámetros finales de metales totales



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA  
CON REGISTRO N° LE-056



### INFORME DE ENSAYO N° 190607 CON VALOR OFICIAL

#### II. Resultados (ICP-AES)

Código de Laboratorio		190607-01	190607-01	190607-01	190607-01	190607-01		
Código de Cliente		M1	M2	M3	M4	M5		
Fecha de Muestreo		6/07/2019	6/07/2019	6/07/2019	6/07/2019	6/07/2019		
Hora de Muestreo (h)								
Tipo de Producto		Lixiviado	Lixiviado	Lixiviado	Lixiviado	Lixiviado		
Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M.	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados		
<b>Metales Totales (ICP-AES)</b>								
Ag	Plata	mg/L	0,0014	<0,0014	<0,0014	<0,0014		
Al	Aluminio	mg/L	0,0077	1,250	5,045	3,542	3,250	2,125
As	Arsénico	mg/L	0,001	0,017	0,095	0,072	0,95	0,932
B	Boro	mg/L	0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012
Ba	Bario	mg/L	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Be	Berilio	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Ca	Calcio	mg/L	0,0035	0,806	2,450	2,015	2,010	1,909
Cd	Cadmio	mg/L	0,00005	0,00101	0,0445	0,0058	0,0030	0,00152
Ce	Cerio	mg/L	0,0098	<0,0098	<0,0098	<0,0098	<0,0098	<0,0098
Co	Cobalto	mg/L	0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Cr	Cromo	mg/L	0,0023	<0,0023	<0,0023	<0,0023	<0,0023	<0,0023
Cu	Cobre	mg/L	0,0005	0,950	1,059	1,094	1,240	1,001
Fe	Hierro	mg/L	0,0052	0,956	1,891	3,150	2,103	1,823
K	Potasio	mg/L	0,0463	<0,0463	<0,0463	<0,0463	<0,0463	<0,0463
Li	Litio	mg/L	0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Mg	Magnesio	mg/L	0,0107	8,55	0,592	2,95	1,578	1,025
Mn	Manganeso	mg/L	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Mo	Molibdeno	mg/L	0,0018	<0,0018	<0,0018	<0,0018	<0,0018	<0,0018
Na	Sodio	mg/L	0,0074	1,012	10,158	7,012	6,427	4,236
Ni	Niquel	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015
P	Fósforo	mg/L	0,0237	<0,0237	<0,0237	<0,0237	<0,0237	<0,0237
Pb	Plomo	mg/L	0,0004	0,195	1,130	1,019	1,090	1,001
Sb	Antimonio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Se	Selenio	mg/L	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Si	Silicio	mg/L	0,0051	<0,0051	<0,0051	<0,0051	<0,0051	<0,0051
Sn	Estañio	mg/L	0,0026	<0,0026	<0,0026	<0,0026	<0,0026	<0,0026
Sr	Estroncio	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Ti	Titanio	mg/L	0,0021	<0,0021	<0,0021	<0,0021	<0,0021	<0,0021
Tl	Talio	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
V	Vanadio	mg/L	0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Zn	Zinc	mg/L	0,0009	0,002	0,201	0,160	0,029	0,031

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo.

## Anexo 20. Tamaño de nanopartículas de Hierro.

