

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA
FISCALIZACIÓN AMBIENTAL**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL
MUESTREO DE LIXIVIADOS EN
RELLENOS SANITARIOS OPERATIVOS**

INTEGRANTES:

ESPECIALIDAD Y CARRERA

BUENDÍA CISNEROS, Noelia Esttefani

Derecho

CALIZAYA TORRE, Karina Astrid

Ciencias – Ing. Ambiental

CASTILLO ROJAS, Roymel Martin

Ciencias – Ing. Ambiental

NEIRA ROJAS, Enrique Joel

Ciencias - Ing. Ambiental

VIDARTE MONTEZA, Juan Ronaldo

Economía

NOMBRE DEL ASESOR:

JULIO ANDRÉ GONZÁLEZ ROSSEL

Febrero de 2021

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. Justificación de la investigación | 3 |
| 2. Antecedentes y conceptos básicos | 4 |
| 2.1. Antecedentes | 4 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales | 4 |
| 2.1.2. Antecedentes latinoamericanos | 5 |
| 2.1.3. Antecedentes peruanos | 6 |
| 2.2. Conceptos básicos | 7 |
| 2.2.1. Modelo Conceptual | 7 |
| 2.2.2. Residuos Sólidos | 8 |
| 2.2.3. Relleno Sanitario | 8 |
| 2.2.4. Lixiviados | 8 |
| 2.2.5. Clasificación de Lixiviados | 8 |
| 2.2.6. Impacto Ambiental de los Lixiviados..... | 9 |
| 2.3. Delimitación de la investigación | 9 |
| 3. Preguntas, objetivos e hipótesis de la investigación | 10 |
| 4. Fuentes de información | 11 |
| a. Bases de datos públicas | 11 |
| b. Fuentes bibliográficas..... | 11 |
| c. Normas legales peruanas | 13 |
| d. Normas legales extranjeras..... | 13 |
| e. Perfil de actores clave a entrevistar | 15 |
| 5. Metodología de la investigación | 15 |
| 5.1. Recolección de la información | 16 |
| 5.2. Síntesis y comparación de la información..... | 16 |
| 5.2.1. Sistematización de la información..... | 16 |
| 5.2.2. Clasificación de las infraestructuras de disposición final..... | 16 |
| 5.3. Panel de expertos..... | 16 |
| 5.4. Análisis y síntesis de resultados de expertos | 17 |
| 5.5. Aplicación de la metodología..... | 17 |
| 6. Bibliografía | 17 |

1. Justificación de la investigación

La infiltración de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios constituyen un problema ambiental de escala global, pues podrían llegar a contaminar aguas subterráneas, superficiales y el suelo, tal y como se reporta en diversos estudios (Abd El-Salam & Abu-Zuid, 2015; Han et al., 2016; Mishra et al., 2018; Mukherjee et al., 2015). Los lixiviados actúan como líquidos tóxicos debido a su composición química la cual depende de los residuos sólidos del relleno sanitario, que en general se caracterizan por una alta carga orgánica (DBO5 y DQO) (Mishra et al., 2018). La contaminación a aguas subterráneas ocurre, principalmente y en mayor cantidad, dentro de los primeros 20 años de operación del relleno sanitario (Mishra et al., 2018). Esta contaminación a su vez afecta a los 1000 m de radio del relleno sanitario (Han et al., 2016); por ello, realizar el monitoreo de los lixiviados en rellenos sanitarios operativos es de suma importancia para establecer planes de manejo y control.

Montalvo & Quispe (2018) reportan contaminación de acuíferos y aguas superficiales en países de Sudamérica como México, Colombia y Argentina. Ocasionado por la infiltración de lixiviados de rellenos sanitarios y como resultado de una pobre gestión de estos, afectando la calidad de agua de la cual se abastece la población.

En Perú, se ha demostrado la lixiviación de compuestos tóxicos para el ambiente y la salud a través de investigaciones como las de Correa et al., (2007) y Cobos & Costa, (2011). En dichas investigaciones se evidencia la presencia de lixiviados en rellenos sanitarios de la Amazonía peruana que actúan como tóxicos a la biota del suelo (Cobos & Costa, 2011) y que generan impactos debido a la ubicación de la infraestructura (Correa et al., 2007). Además, Ziegler-Rodríguez (2015) reportan la existencia de rellenos sanitarios sin membrana impermeable justificándose en la impermeabilidad del suelo; sin embargo, se evidencia la generación de lixiviados y percolación de los mismos a las capas inferiores del suelo principalmente por las altas precipitaciones de la selva peruana. Del mismo modo, Ninan Valer (2019) sugiere que, en las zonas de alta precipitación del país, los lixiviados aumentan debido a las lluvias y escorrentía, significando un alto riesgo para la salud del ecosistema y de las personas.

Actualmente, en la normativa peruana no se cuenta con una metodología o protocolo establecido para el muestreo de lixiviados de rellenos sanitarios. Es importante establecer esta metodología, de forma que estandarice el muestreo de los lixiviados de rellenos sanitarios, para identificar los elementos contaminantes y sus potenciales impactos, para posteriormente manejarlos y mitigarlos.

Asimismo, desde la perspectiva económica, la no existencia de un método de muestreo estandarizado puede conllevar a la duplicidad de costos de supervisión de lixiviados, haciendo ineficiente la labor del ente fiscalizador en rellenos sanitarios. Por otro lado, el costo de oportunidad de no monitorear de manera eficaz los lixiviados es de los más altos, puesto que estos podrían llegar a contaminar aguas subterráneas, superficiales y el suelo, tal y como destacan Abd El-Salam & Abu-Zuid (2015).

En el presente proyecto de investigación se propondrá una metodología adecuada al contexto nacional para el muestreo de lixiviados de rellenos sanitarios en etapa de operación del Perú. Esta propuesta metodológica pretende ser el inicio de la formulación efectiva de regulaciones ambientales para el manejo de los impactos ocasionados por lixiviados. Adicionalmente, el establecimiento de una metodología adecuada al contexto nacional ayudará en el proceso de fiscalización ambiental que realiza el OEFA.

2. Antecedentes y conceptos básicos

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Datta *et al.* (2017) se plantean tres objetivos: hacer un estudio sobre generación de lixiviados en rellenos sanitarios, determinar su composición estableciendo algunas características importantes de los mismos y determinar la concentración y grado de estabilización de lixiviados en rellenos sanitarios. Utilizan un método descriptivo en el que enfatizan que el lixiviado se produce durante el proceso de disposición final de los residuos. El tanque de retención de lixiviados en el relleno sanitario incluye drenaje, recolección y remoción con monitoreo continuo. Incluye métodos de tratamiento como: procesos de tratamiento biológico, físico y químico. Como resultado, enumeran los factores importantes que influyen en la calidad del lixiviado: la composición de los desechos, el tiempo transcurrido, la temperatura, la humedad y el oxígeno disponible. Para ellos, la calidad del lixiviado del mismo tipo de residuo puede ser diferente según la región climática en la que se ubica el relleno sanitario. Las prácticas operativas de los vertederos también influyen en la calidad del lixiviado. Asimismo, enumeran características importantes a tomar en cuenta al muestrearlos: color y olor, pH, BOD, COD, TDS (sólidos disueltos totales), sólidos en suspensión, cloruros y fósforo, nitrógeno y metales pesados. De esta investigación, resulta relevante para nuestro proyecto las características a tomar en cuenta al muestrear lixiviados, así como determinar las variaciones en los mismos según la región climática en la que se encuentran.

Chiemchaisri *et al.* (2018) recolectaron muestras de lixiviados y sedimentos de los desagües, estanques y pozos de desechos de tres rellenos sanitarios en la península de Indochina para investigar el nivel de contaminación de los parámetros bioquímicos, especialmente los metales pesados. Llevaron a cabo mediciones in situ y de laboratorio, junto con estudios del sitio para discutir los efectos de las características de la ubicación sobre las cualidades del lixiviado. Concluyeron que los cambios en las calidades de los lixiviados se deben principalmente a las condiciones del relleno sanitarios, tales como: la cobertura del suelo, el nivel de compactación de los residuos, el espesor de los desechos, el método de vertido y el almacenamiento de los lixiviados, y que estas condiciones conducen a diferentes niveles de dilución y reacción bioquímica del lixiviado. Las concentraciones de los parámetros fueron más altas en la estación seca que en la estación húmeda para todas las muestras de lixiviados frescos, pero no se observaron diferencias estacionales significativas en los grandes estanques de almacenamiento de lixiviados. La mayoría de los metales pesados se dividieron en sólidos suspendidos y no mostraban cambios significativos según la estación climatológica. Para el presente proyecto de investigación resulta relevante tener evidencia de que los cambios en las calidades de los lixiviados se deben principalmente a las condiciones del relleno sanitario.

Naveen *et al.* (2016) se plantean hacer una caracterización físico-química y biológica de los lixiviados de los rellenos sanitarios e intentan identificar las relaciones entre los parámetros clave junto con la comprensión de los diversos procesos para las transformaciones químicas en los mismos. Asimismo, buscan evaluar la calidad y el potencial de contaminación de los lixiviados. Para el logro del primer objetivo utilizan un análisis elemental y de mecanismos subyacentes junto con el análisis microbiano. Mientras que para el segundo usan el índice de contaminación por lixiviados (LPI). Su análisis muestra una edad intermedia del lixiviado (5-10 años) con niveles de nutrientes más altos de carbono y nitrógeno. Asimismo, revelan la precipitación química y la co-precipitación como los procesos vitales en los sistemas de

estanques de lixiviados que resultan en la acumulación de trazas de metales. Las comunidades bacterianas se correlacionan con factores específicos relevantes para los ambientes redox, lo que indica un gradiente en la naturaleza y abundancia de diversidad biótica con un cambio en el ambiente de lixiviados. Finalmente, el estudio ayuda a comprender el potencial de contaminación de los lixiviados y establece vínculos entre las comunidades microbianas y los parámetros físico-químicos para su manejo efectivo en rellenos sanitarios. Lo relevante para el presente proyecto de investigación es lo referente a los procesos imprescindibles en los sistemas de estanques de lixiviados que resultan en la acumulación de trazas de metales. Asimismo, la correlación encontrada entre ambientes bacterianos y comunidades redox. Y el uso del índice de contaminación por lixiviados (LPI) para evaluar la calidad y el potencial de contaminación de un lixiviado. Todo esto deberá ser considerado al momento de formular la metodología de muestreo de los lixiviados.

2.1.2. Antecedentes latinoamericanos

Andrade *et al.* (2016) enfatizan que la generación de lixiviados es uno de los principales inconvenientes de la disposición de residuos sólidos urbanos en el suelo debido a la gran carga de materia orgánica e inorgánica con potencial de contaminación del suelo y el agua. Su investigación tiene como objetivo evaluar las características físicas y químicas del lixiviado resultante del proceso evolutivo de degradación de los residuos depositados en una celda experimental. La celda (lisímetro) se construyó en forma cilíndrica, con un volumen interno de aproximadamente 0.565 m³, en el Centro Experimental de Saneamiento Hidráulico y Ambiental, ubicado en el Recinto de la UFMT. El lisímetro se llenó con residuos sólidos urbanos de 3 barrios de la ciudad de Cuiabá. El monitoreo de los parámetros físico-químicos se realizó de acuerdo con los Métodos Estándar para el Examen de Agua y Aguas Residuales. Encontraron que el comportamiento de la mayoría de los parámetros analizados fue compatible con los resultados obtenidos en la literatura técnica, por ejemplo, las concentraciones de DQO y sólidos volátiles, medidas en el lixiviado, indicaron una reducción considerable en la carga orgánica del residuo. Para el presente proyecto, esta investigación es relevante porque ilustra el uso del lisímetro para testear experimentalmente a un lixiviado.

Gómez (2018) buscó en su trabajo identificar y caracterizar los impactos que tiene la generación de lixiviados en rellenos sanitarios sobre el recurso agua. Para ello utilizó métodos cualitativos y cuantitativos en tres etapas. Primero caracterizó los tipos de lixiviados que se generan en rellenos sanitarios. Luego, a través de la metodología Leopold de causa y efecto, identificó y evaluó los impactos ambientales que generan estos lixiviados sobre el recurso agua. Finalmente, definió las diversas acciones existentes para mitigar esos impactos. En la etapa de caracterización de los lixiviados, establece que la fracción líquida generada por la descomposición de los residuos sólidos de un relleno sanitario contiene contaminantes que se pueden clasificar en: materia orgánica diluida, macro inorgánicos, metales pesados y compuestos xenobióticos. Resalta también que diversos estudios demuestran que los lixiviados se podrían catalogar en tres rangos tomando como base el tiempo de degradación y la acción soportada por cada cárcava: jóvenes mayores a cinco años, intermedios entre cinco y diez años y viejos mayores a diez años. Asimismo, enumera los factores que determinan la cantidad de lixiviados generados en un relleno sanitario: factores internos, que están en función del tipo de desechos; y factores externos, que son ajenos a los residuos generados. Finalmente, y también como aporte a la presente investigación, enumera los parámetros básicos a monitorear en los lixiviados generados en rellenos sanitarios: DQO, DBO₅, relación DBO₅/DQO, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, metales pesados y nitrógeno total.

Malavé & Muñoz (2020) enfatizan que los lixiviados presentan gran contaminación de todo tipo, por ejemplo: contaminación por patógenos, descomposición de la materia orgánica, la contaminación por nutrientes y por sustancias tóxicas. Es así que se proponen monitorear los lixiviados generados en un relleno sanitario. Como variables independientes utilizan el tiempo (antigüedad) del relleno sanitario y los desechos que se disponen en el mismo. Para medir el nivel de lixiviados (variable dependiente) según el TULSMA consideran los parámetros DBO₅, DQO, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, pH, color, olor y metales pesados (plomo-mercurio). Los análisis físico-químicos se utilizaron para determinar el grado de contaminación que producen los lixiviados en el ambiente. Del análisis de laboratorio que realizaron concluyeron que los niveles de contaminación sobrepasan lo establecido por el TULSMA para descargas de aguas residuales en cuerpos de aguas dulces. Sin embargo, de la aplicación de la prueba estadística T-Student, para esas variables, se concluyó que las concentraciones eran no significativas. Los parámetros que se monitorearon en esta investigación servirán como insumo para el presente proyecto. De igual manera, la necesidad de verificar los resultados a través de pruebas de significancia estadística

2.1.3. Antecedentes peruanos

Pérez (2017) realizó un muestreo y análisis de lixiviados en el botadero de San José en Andahuaylas. El muestreo de lixiviados fue realizado de acuerdo al Protocolo de Toma de Muestras de Aguas Residuales de Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Amazonia de Colombia (2010), que menciona recomendaciones para el muestreo de lixiviados, parámetros y la preservación de las muestras. Se tomaron muestras simples de los puntos según lo recomendado por dicho documento. Los parámetros que se analizaron fueron pH, DBO₅, DQO, y metales pesados recomendados por la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 “Especificaciones de protección ambiental para la selección de sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*¹”. Esta investigación es de utilidad porque brinda parámetros de referencia para monitorear lixiviados, así como brinda el procedimiento para dicho monitoreo, lo cual también se puede tomar como referencia para los objetivos del presente trabajo.

Astorga (2018) en su trabajo de tesis menciona que la generación de lixiviados en un relleno sanitario está en función de condiciones climatológicas (precipitación, temperatura, humedad, evapotranspiración, radiación), propiedades del suelo, humedad de residuos y metodología de trabajo en el relleno, aunque los 2 factores más importantes son la precipitación y la humedad del residuo sólido. El trabajo menciona en su método experimental las técnicas de muestreo de los lixiviados, dicho muestreo se realizó acorde a la RM 273-2013-VIVIENDA, Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. La utilidad de esta investigación radica en que los lixiviados se pueden considerar como efluentes de plantas de tratamiento de agua residual para realizar una metodología de monitoreo y que se debe considerar la pluviometría de la zona y la humedad del residuo al momento de tener los resultados del muestreo.

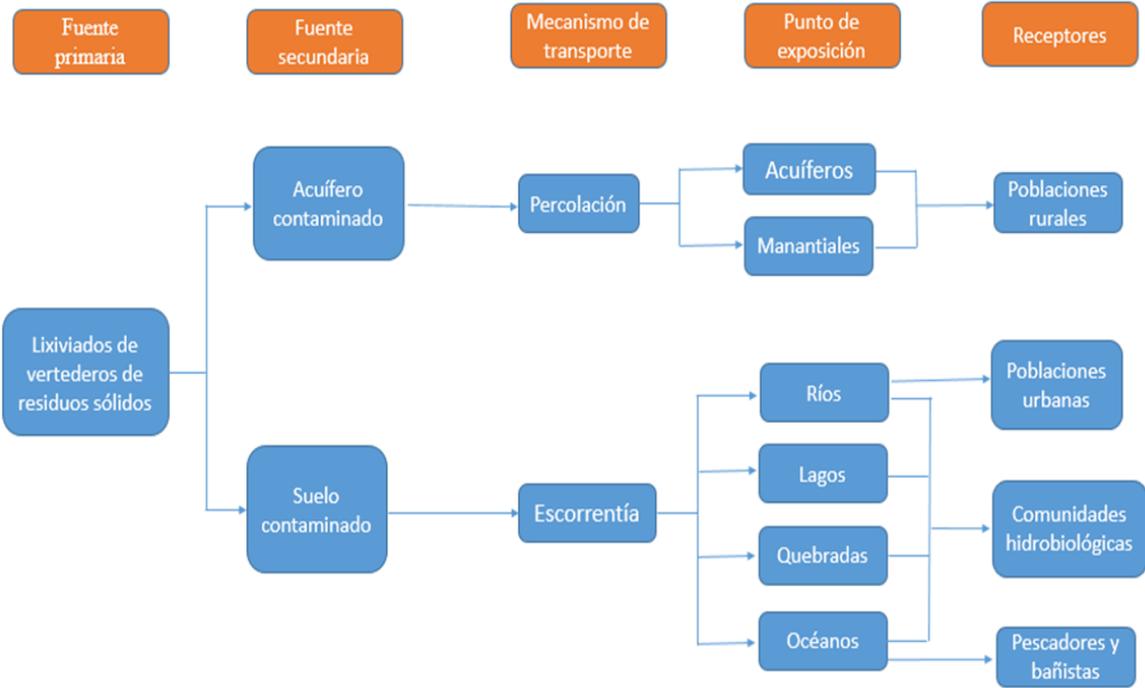
Sánchez (2019) en su investigación realizó una evaluación de los lixiviados generados en el botadero de Carhuashjirca en la quebrada de Veintojirca en Huaraz (Áncash) para lo cual recurrió a elaborar un plan de recolección de datos donde identificó el punto de muestreo y tomas de muestra de los lixiviados cuyos resultados lo comparó con la normativa de límites máximos permisibles para efluentes de infraestructuras de residuos sólidos. Para la recolección

de muestras se usó un cooler chico, 2 frascos de plástico y 2 ice packs. Las muestras del lixiviado fueron tomadas en dos épocas del año: estiaje y lluvia para poder observar su comportamiento. Sus resultados concluyeron que los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados estaban dentro de los límites máximos permisibles; pero los parámetros de metales totales, microbiológicos y bioquímicos sobrepasaban estos límites según la normativa ambiental vigente. Esta investigación es importante porque menciona que el monitoreo de los lixiviados se debe realizar en distintas épocas del año ya que los resultados del monitoreo dependen de la pluviometría, adicionalmente brinda los parámetros de referencia, el procedimiento y los equipos que se debe tener en cuenta.

2.2. Conceptos básicos

2.2.1. Modelo Conceptual

Figura 1
Modelo conceptual de lixiviados de rellenos sanitarios



Elaboración propia, 2021

El modelo conceptual muestra que los lixiviados de los rellenos sanitarios son la fuente de contaminación (fuente primaria) y que el suelo y los acuíferos son los focos de contaminación (fuente secundaria), además los lixiviados como contaminantes pueden transportarse por percolación y escorrentía para contaminar otros acuíferos, manantiales y cuerpos de agua superficiales, los cuales son puntos de exposición para las poblaciones rurales y urbanas, comunidades hidrobiológicas y pescadores y bañistas quienes son los principales afectados por el problema de los lixiviados.

2.2.2. Residuos Sólidos

De acuerdo a (Sánchez, 2018), los residuos sólidos son las sustancias, productos o subproductos que en estado sólido o semisólido de los que su generador debe disponer de acuerdo a la normatividad nacional porque causan daño a la salud humana y al ambiente. Pueden clasificarse en residuos municipales y no municipales, y su composición puede ser de naturaleza orgánica (materia orgánica) o de naturaleza inorgánica (papel, plásticos, vidrio, cartón, metales, textiles, cenizas, madera, etc).

2.2.3. Relleno Sanitario

Un relleno sanitario es una infraestructura de disposición de residuos sólidos que está diseñado, construido y operado para minimizar molestias y riesgos para la salud y seguridad de los habitantes, así como daños al ambiente, donde los residuos son compactados para reducir su volumen para luego ser cubiertos (Astorga, 2018).

2.2.4. Lixiviados

Los lixiviados son líquidos que se generan como consecuencia de la descomposición de la fracción orgánica y putrescible de los residuos y cuando el agua percola de forma intermitente a través de la masa de residuos que sufren descomposición. El proceso de formación del lixiviado está determinado por factores que contribuyen directamente a la disponibilidad del agua y aquellos que afectan en la distribución del lixiviado o humedad al interior del lugar de disposición. Por lo tanto, la calidad y cantidad del lixiviado están en función de las características geológicas de la ubicación del botadero, las condiciones meteorológicas, la superficie del lugar de disposición y el suelo subyacente, los procedimientos de operación y los tratamientos a los que se someten a los residuos (Pérez, 2017).

2.2.5. Clasificación de Lixiviados

Según (Astorga, 2018) los lixiviados de un relleno sanitario se clasifican en función a su edad en lixiviados Tipo I (jóvenes), II (Intermedio) y III (Viejos). Los lixiviados jóvenes tienen una alta concentración de materia orgánica biodegradable (DBO5), que disminuye conforme aumenta la edad del relleno, debido a la descomposición anaeróbica. Además, presentan demanda química de oxígeno (DQO) mayores a 1500mg/l. Poseen pH menores de 6.5 y N amoniacal menores a 400mg/l, los cuales aumentan conforme al tiempo, por otro lado, la concentración de metales es superior a 2mg/l y con el tiempo se reduce esta concentración. En el caso de lixiviados viejos presentan pH mayores a 7.5, DQO menores a 5000mg/l, N amoniacal mayores 400mg/l y metales pesados menores a 2mg/l (Astorga, 2018).

Tabla 1
Clasificación y caracterización de lixiviados

| Tipo de lixiviado | Joven | Intermedio | Viejo |
|--------------------------|--------------|-------------------|--------------|
|--------------------------|--------------|-------------------|--------------|

| | | | |
|--------------------------|--------|--------------|-------|
| Edad (años) | <5 | 5 – 10 | >10 |
| pH | <6,5 | 6,5 – 7,5 | >7,5 |
| DBO ₅ /DQO | >0,5 | 0,1 – 0,5 | <0,1 |
| DQO | >15000 | 5000 – 15000 | <5000 |
| N-NH ₃ (mg/l) | <400 | - | >400 |
| Metales pesados (mg/l) | >2 | <2 | <2 |

Fuente: Astorga, 2018

2.2.6. Impacto Ambiental de los Lixiviados

El impacto más significativo de los lixiviados en los vertederos son la contaminación de aguas superficiales (ríos, lagos, lagunas, quebradas, océanos) y subterráneas (pozos, manantiales), por lo que constituye un peligro para la vida silvestre y salud humana (Valderrama, 2018).

La contaminación de aguas superficiales ocurre por la escorrentía de lixiviados provenientes de los sitios de disposición final de residuos sin tratamiento, mientras que la contaminación de aguas subterráneas ocurre por percolación, escorrentía, migración directa de los lixiviados a través del suelo que se encuentra por debajo de la masa de residuos y el intercambio entre acuíferos. La contaminación de las aguas se manifiesta por la incorporación de materia orgánica y sustancias tóxicas (Valderrama, 2018).

2.3. Delimitación de la investigación

En el proyecto de investigación que se está desarrollando se busca proponer una metodología de muestreo de lixiviados a partir de la revisión bibliográfica existente utilizando datos numéricos como evidencia, por ello el enfoque de investigación es mixto (Hernández *et al.*, 2014). El diseño de la investigación es descriptivo, puesto que el establecimiento de una metodología de muestreo de lixiviados se realizará a partir de la descripción y caracterización del mismo.

Las variables a describir son:

- Lixiviados: líquidos que se generan como consecuencia de la descomposición de la fracción orgánica y putrescible de los residuos y cuando el agua percola de forma intermitente a través de la masa de residuos que sufren descomposición (Pérez, 2017).
- Método de muestreo de lixiviados: es la variable a establecer a partir de la revisión y análisis de las distintas opciones existentes y de la consideración de las condiciones en las que se aplicará.

Si bien se espera que determinadas condiciones como: los elementos encontrados en los lixiviados según zona climatológica del relleno sanitario, las características del relleno (si tiene membrana impermeable o no), etc., influyan en el método de muestreo a proponer; se hace complicado el establecimiento de variables dependiente e independientes, puesto que el método de muestreo no puede tomar valores dado que el objetivo del proyecto es el establecimiento del mismo, y no su relación con los lixiviados.

3. Preguntas, objetivos e hipótesis de la investigación

Tabla 2

Pregunta, objetivo e hipótesis general de la investigación

| PREGUNTA GENERAL | OBJETIVO GENERAL | HIPÓTESIS GENERAL |
|--|---|---|
| ¿Cuál es la metodología que se adapta mejor para el muestreo de lixiviados en rellenos sanitarios operativos del Perú? | Proponer una metodología de muestreo de lixiviados en rellenos sanitarios operativos que permita mejorar la eficacia de la fiscalización ambiental. | Una metodología estandarizada permitirá mejorar el proceso de fiscalización ambiental a los rellenos sanitarios operativos. |

Tabla 3

Preguntas y objetivos específicos de la investigación

| PREGUNTAS ESPECÍFICAS | OBJETIVOS ESPECÍFICOS |
|--|---|
| ¿Qué metodologías internacionales de monitoreo de lixiviados en rellenos sanitarios que pueden ser aplicables al contexto nacional? | Analizar las distintas metodologías internacionales de monitoreo de lixiviados en rellenos sanitarios, para poder identificar los recursos metodológicos aplicables al contexto nacional. |
| ¿Cuáles son los parámetros que deberían monitorearse para asegurar la calidad de lixiviados en rellenos sanitarios? | Determinar los parámetros prioritarios a monitorear que aseguren la calidad de lixiviados en zonas pluviométricas altas del Perú. |
| ¿Qué tipo de materiales y equipos son necesarios para el muestreo de lixiviados en rellenos sanitarios? | Establecer los materiales y equipos necesarios para el muestreo de lixiviados en los rellenos sanitarios |
| ¿De qué manera se categorizan los rellenos sanitarios de acuerdo a sus características climatológicas y edad de la infraestructura en el Perú? | Realizar el mapeo y categorización de los rellenos sanitarios en el Perú de acuerdo a sus características climatológicas y edad de la infraestructura |
| ¿Cuáles son las consideraciones que deben tenerse en cuenta al momento de aplicar la metodología en campo? | Ensayar una primera versión de la metodología con el fin de identificar consideraciones técnicas en campo |

4. Fuentes de información

a. Bases de datos públicas

Tabla 4
Bases de datos públicas

| Base de datos públicos | Que se espera obtener |
|---|---|
| SINIA https://sinia.minam.gob.pe/informacion/tematicas?tematica=08 | Obtener estadísticas y normativas relacionados a infraestructuras de residuos sólidos en el Perú. |
| SENAMHI https://www.senamhi.gob.pe/?p=solicitud-servicio | Obtener la zonificación de regiones en base a la pluviometría. |
| MINAM - Lista actualizada de rellenos sanitarios a nivel nacional 2019 https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/listado-de-rellenos-sanitarios-a-nivel-nacional/ | Determinar los rellenos sanitarios a los que será pertinente aplicar la metodología. |
| PIFA https://publico.oefa.gob.pe/Portalpifa/Intervenciones.do | Obtener los instrumentos de gestión ambiental en el subsector de residuos sólidos en rellenos sanitarios del país. |
| RCA SENACE https://www.senace.gob.pe/registros-de-certificaciones-ambientales/ | Obtener información de instrumentos de gestión ambiental (EIA-d) relacionado a los impactos de lixiviados en rellenos sanitarios. |

Fuente: Elaboración propia, 2021

b. Fuentes bibliográficas

Tabla 5
Fuentes bibliográficas

| Fuentes bibliográficas | Que se espera obtener |
|------------------------|-----------------------|
|------------------------|-----------------------|

| | |
|---|--|
| <p>Proyecto de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en zona metropolitana de la provincia de Mendoza, 2017, Argentina</p> <p>https://ciudaddemendoza.gob.ar/wp-content/uploads/2019/11/ANEXO-24-17-Plan-de-Monitoreo.pdf</p> | <p>Parámetros generales a monitorear y frecuencia de monitoreo de lixiviados de rellenos sanitarios para zonas cuyas condiciones se asemejen a la ciudad de Mendoza (Argentina).</p> |
| <p>Proyecto de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en zona metropolitana de la provincia de Mendoza, 2017, Argentina</p> <p>https://ciudaddemendoza.gob.ar/wp-content/uploads/2019/11/ANEXO-24-17-Plan-de-Monitoreo.pdf</p> | <p>Metodología básica, materiales y equipos para monitorear pH, temperatura y conductividad eléctrica en lixiviados.</p> |
| <p>Plan de cierre y recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos municipales en el botadero de San José - Andahuaylas (Pérez, 2017)</p> <p>http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4173/perez-ccahuana-roger-antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y</p> | <p>Técnica para el muestreo de lixiviados, parámetros a monitorear y preservación de muestras.</p> |
| <p>Afectaciones ambientales de los lixiviados generados en los rellenos sanitarios sobre el recurso agua (Gómez, 2018)</p> <p>http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173184.pdf</p> | <p>Parámetros generales que se deben monitorear en el vertimiento de lixiviados en un relleno sanitario.</p> |
| <p>Monitoreo de la contaminación de lixiviados generados en el relleno sanitario de la empresa pública Emasa del Cantón, Santa Elena-Ecuador (Malavé, 2020)</p> <p>https://publicacionescd.ulead.edu.ec/index.php/allpa/article/view/63/138</p> | <p>Metodología y materiales para la toma de muestras, parámetros a monitorear y elaboración de plan de monitoreo.</p> |
| <p>Instrumentos de Gestión Ambiental de Rellenos Sanitarios (obtenidos a solicitud)</p> | <p>Conocer el estado actual del manejo de lixiviados en los rellenos sanitarios del Perú</p> |

Fuente: Elaboración propia

c. Normas legales peruanas

Tabla 6
Normas legales peruanas

| Normas legales peruanas | Qué se espera obtener |
|--|---|
| (Decreto Supremo N° - 2009 – MINAM) https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/311078/lmp_de_efluentes_de_residuos.pdf | Menciona los LMP para la descarga de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos. Asimismo, se norma en cuanto al protocolo de monitoreo, puntos de monitoreo y frecuencia de monitoreo. |
| (Reglamento para rellenos sanitarios-Digesa) http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Relleno_sanitario.pdf | Establece como parte del control sanitario un sistema de monitoreo de lixiviados, establece la frecuencia de monitoreo de acuerdo al tipo de infraestructura y los parámetros mínimos de monitoreo. |

Fuente: Elaboración propia

d. Normas legales extranjeras

Tabla 7
Normas legales extranjeras

| Normas legales extranjeras | Que se espera obtener |
|---|---|
| Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial (2003) - Mexico https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf | Normativa que obliga a elaborar un programa de monitoreo de lixiviado de relleno sanitario, asimismo conocer los parámetros a monitorear en dicho programa. |

Decreto Legislativo 1784 por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo (2017) - Colombia

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=84140>

Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente (2003) - Ecuador

<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>

Protocolo de Toma de Muestras de Aguas Residuales de Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Amazonia de Colombia (2010)

https://www.corpoamazonia.gov.co/files/Protocolo_para_Toma_de_Muestras_de_Aguas_Residuales.pdf

Manual de monitoreo de rellenos sanitarios de la EPA (2003) – Irlanda

<https://www.epa.ie/pubs/advice/licensing/EPA%20Landfill%20Monitoring.pdf>

Guía para el monitoreo de lixiviados y aguas subterráneas de rellenos sanitarios (2003) – Reino Unido

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/201805/20180501_Landfill_Lixivates_and_Groundwater_Monitoring_Guide.pdf

Parámetros mínimos que se deben monitorear en la toma de muestras para caracterización de un lixiviado de relleno sanitario.

Establece los parámetros a monitorear en los lixiviados, asimismo, establece niveles máximos de valores de parámetros en descargas de aguas residuales.

Señala orientaciones para el muestreo de lixiviados, parámetros y la preservación de las muestras de lixiviados, dentro del contexto Colombiano que puede ser extrapolado al contexto Peruano

Se obtendrá una guía de un procedimiento ordenado para la toma de muestras de lixiviados en rellenos sanitarios

Sirve como guía del procedimiento para la toma de muestra de lixiviado ya que explica cómo seleccionar los puntos de monitoreo, número de puntos, frecuencia y parámetros a monitorear.

Fuente: Elaboración propia

e. Perfil de actores clave a entrevistar

Tabla 8
Perfil de actores clave a entrevistar

| Cargo del actor | Qué se espera obtener |
|---|--|
| Coordinador de residuos sólidos - Dirección de Supervisión - OEFA | Detalle del monitoreo de lixiviados en rellenos sanitarios en una acción de supervisión |
| Directora general de Gestión de Residuos Sólidos - MINAM | Parámetros que se toman en cuenta para gestionar los lixiviados en rellenos sanitarios |
| Directora de Control de la Contaminación y Sustancias Químicas - MINAM | Propuesta de monitoreo de lixiviados en rellenos sanitarios operativos. LMP de contaminantes en lixiviados |
| Coordinador de Disposición Final en Relleno Sanitario Huaycoloro en Petramás S.A.C. | Parámetros y método de monitoreo de lixiviados en un relleno sanitario operativo. Composición química estándar del lixiviado y variaciones en temporada de lluvia |

Fuente: Elaboración propia

5. Metodología de la investigación

Una investigación mixta es aquella que utiliza las fortalezas de la investigación cualitativa y cuantitativa; a través de la combinación de ambas y tratando de reducir sus potenciales debilidades. (Hernández *et al.*, 2014). Es así que el enfoque de la investigación aquí propuesta es de tipo mixta, pues se busca comprender una metodología adecuada para monitorear lixiviados de rellenos sanitarios en Perú a partir de la literatura existente y se utilizan datos numéricos como evidencia. Asimismo, el alcance de la propuesta es descriptiva, dado que se profundizan conceptos y situaciones en investigaciones que hayan abordado el tema en cuestión.

El diseño de la investigación es descriptivo ya que a través de la recopilación de información sobre muestreos de lixiviados se describe la naturaleza del mismo que permita establecer una metodología adecuada. Además, ninguna de las variables está influenciada.

El método de investigación es sintético-analítico debido a que se realiza el análisis a partir de la descomposición de los componentes del muestreo de lixiviados en todas sus partes que permita luego sintetizar los conocimientos en una metodología para el muestreo de lixiviados.

5.1. Recolección de la información

La propuesta metodológica de muestreo de lixiviados se realizará en base a la recopilación de información bibliográfica pertinente, las cuales se obtienen de bases de datos científicas (ScienceDirect, Google scholar, Repositorio CONCYTEC, etc.). Esta información consiste en:

- Fuentes bibliográficas (estudios, informes, tesis, artículos científicos)
- Normas internacionales y nacionales
- Bases de datos
- Instrumentos de Gestión Ambiental de rellenos sanitarios del país

La información recolectada, se analiza y se procede a sintetizar con el fin de hacer una comparación entre ellas, para estandarizar las técnicas de muestreo de lixiviados.

5.2. Síntesis y comparación de la información

5.2.1. Sistematización de la información

En base a la bibliografía estudiada, se realizará la clasificación de los ítems de interés a partir de las técnicas de muestreo empleadas, tales como:

- Parámetros a monitorear
- Equipos de medición
- Extracción de las muestras
- Preservación de las muestras
- Cadena de custodia

5.2.2. Clasificación de las infraestructuras de disposición final

En esta subetapa se busca caracterizar los 55 rellenos sanitarios existentes a la actualidad, con la finalidad de agrupar dichas estructuras de acuerdo a:

- Características climatológicas
- Edad de los rellenos sanitarios
- Tipo de tecnología utilizada en la construcción de infraestructura

5.3. Panel de expertos

Se realizará un panel de expertos con los actores previamente identificados por su vasta experiencia en el contexto nacional, con el fin de adecuar la información, recopilada y sistematizada, a la realidad del país.

En primer lugar, se procede con la clasificación de los expertos de acuerdo a su experiencia en el rubro; ya sea, investigación, fiscalización o gestión de rellenos sanitarios.

Luego de ello, se formarán grupos de trabajo en donde se garantice la representatividad de los puntos de vista de acuerdo a las experiencias categorizadas.

En seguida, se procede con la organización de la reunión y se aplica la encuesta a través del uso de cuestionarios donde se consulta por los parámetros y consideraciones en el muestreo de lixiviados, basado en la técnica Delphi.

5.4. Análisis y síntesis de resultados de expertos

La información recopilada a través de las encuestas se procesará para obtener la estandarización de los parámetros y consideraciones en el muestreo de lixiviados que se deben incluir en la metodología propuesta, de acuerdo a la priorización y consenso de los expertos.

Elaboración de la metodología en base a la información recopilada, haciendo la homogenización/síntesis de la información en un solo documento.

A partir de toda la información recopilada a través de la revisión bibliográfica y consulta a expertos, se estandariza la metodología de muestreo de lixiviados en un documento técnico.

5.5. Aplicación de la metodología

Se procederá a ensayar una primera versión de la metodología con el fin de identificar consideraciones técnicas en campo y evaluar el costo-efectividad de la misma. De la aplicación se obtendrán observaciones que se considerarán para adaptar la metodología.

6. Bibliografía

- Abd El-Salam, M. M., & Abu-Zuid, G. I. (2015). Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt. *Journal of Advanced Research*, 6(4), 579–586. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.02.003>
- Astorga, Catalina (2018). *Tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario: Propuesta y evaluación de un sistema de humedales artificiales*. [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152920>
- Astorga, Elvis (2018). *Tratamiento de lixiviados del botadero de residuos sólidos de la ciudad de Puno con surfactantes aniónicos*. [Trabajo de Fin de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10647/Astorga_Capaja%C3%B1a_Elvis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chiemchaisri, C.; Xaypanya, P.; Takemura, J.; Seingheng, H. y Tanchuling, M. (2018). Characterization of Landfill Leachates and Sediments in Major Cities of Indochina Peninsular Countries - Heavy Metal Partitioning in Municipal Solid Waste Leachate. *Environments - MDPY*, 5(6), 65. <https://www.mdpi.com/2076-3298/5/6/65>
- Cobos, M., & Costa, M. (2011). *Lixiviado de residuos sólidos del relleno sanitario manual de Nauta y su genotoxicidad en Eisenia foetida lombriz roja*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1901/Marianela_Tesis_Maestría_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Correa, M., Montalván, B., Pezo, R., & Verdi, L. (2007). Estudio de impacto ambiental del proyecto de relleno sanitario en la comunidad de Moralillo, propuesto para la ciudad de Iquitos, Loreto-Perú. *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*, 16(2), 137–143. <http://revistas.iiap.org.pe/index.php/foliaamazonica/article/view/287/374>

- Da Conceição, E.; Sales, H.; Souza, D.; Carvalho, J.; De Almeida, A.; Andrade, E. & Pereira, W. (2016). Caracterização físico-química de lixiviado produzido em um aterro em escala experimental. *Blucher Engineering Proceedings*, 3, 2. <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/eneamb2016/rs-004-4959.pdf>
- Datta, D.; Sriram, S.; Ravibabu, V.; Sudha, C.; Subba, S.; Nagaveni, C.; Vani, V.; Gobinath, P.; Kumar, R.; Lella, J. & Praveen, S. (2017). Study of Leachate Characterization in Landfill by Municipal Solid Waste. *Research J. Pharm. and Tech*, 10(2), 385-390. <https://rjptonline.org/HTMLPaper.aspx?Journal=Research+Journal+of+Pharmacy+and+Technology%3bPID%3d2017-10-2-5>
- Gómez, E. (2018). *Afectaciones ambientales de los lixiviados generados en los rellenos sanitarios sobre el recurso agua* [Tesis de Fin de Grado, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173184.pdf>
- Environment Agency UK. (2003). Guidance on Monitoring of Landfill Leachate, Groundwater and Surface Water. In *Environment Agency Guidance* (pp. 1–287).
- EPA Irlanda. (2003). *Landfill Manuals: Monitoring* (p. 90). Oficina de regulación ambiental.
- Han, Z., Ma, H., Shi, G., He, L., Wei, L., & Shi, Q. (2016). A review of groundwater contamination near municipal solid waste landfill sites in China. *Science of the Total Environment*, 1, 10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.201>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. *Metodología de la investigación* (6° ed.) (pp. 1-21). McGraw Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Malavé, J. & Muñoz, D. (2020). Monitoreo de la contaminación por los lixiviados generados en el relleno sanitario de la Empresa Pública EMASA del Cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena–Ecuador. *Revista de Ciencias Agropecuarias ‘‘ALLPA’’*, 3(6). <https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/allpa/article/view/63/138>
- Mishra, S., Tiwary, D., & Ohri, A. (2018). Leachate characterisation and evaluation of leachate pollution potential of urban municipal landfill sites. *International Journal of Environment and Waste Management*, 21(4), 217–230. <https://doi.org/10.1504/IJEW.2018.093431>
- Montalvo Quiroz, J. S., & Quispe Becerra, M. (2018). *Contaminación del agua superficial por lixiviados de un relleno sanitario* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Privada del Norte]. <http://hdl.handle.net/11537/23043>
- Mukherjee, S., Mukhopadhyay, S., Hashim, M. A., & Gupta, B. Sen. (2015). Contemporary environmental issues of landfill leachate: Assessment and remedies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(5), 472–590. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.876524>
- Naveen, B.; Mahapatra, D.; Sitharam, T.; Sivapullaiyah, P. & Ramachandra, T. (2016). Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. *Environmental Pollution*, 220 (2017), 1-12 <https://daneshyari.com/article/preview/5749190.pdf>

- Ninan, K. (2019). *Tratamiento de los Lixiviados del Relleno Sanitario de Jaquira por Electrocoagulación* [Tesis de Fin de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/4372>
- Pérez, R. (2017). *Plan de cierre y recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos municipales en el botadero de San José- Andahuaylas, Apurímac* [Tesis de Fin de Grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4173/perez-ccahuana-roger-antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reguant-Álvarez, M. & Torrado-Fonseca, M. (2016). El método Delphi. *REIRE, Revista d'Innovació i Recerca en Aducció*, 9(1), 87-102. <https://doi.org/10.1344/REIRE2016.9.1916>
- Sánchez,W.(2019). *Evaluación de los lixiviados generados en los botaderos de Carhuashjirca y los impactos ambientales generados en la quebrada Vintojirca-Independencia-Huaraz-Ancash-2018* [Tesis de Fin de Grado, Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo]. http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4239/T033_70604812_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Valderrama, J. (2018). *Evaluación ambiental del botadero de Haqira, distrito de Santiago-Cusco, mediante la metodología Eviave* [Tesis de Fin de Grado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2252>
- Ziegler-Rodriguez, K. (2015). *Evaluación ambiental por medio del Análisis de Ciclo de Vida del relleno sanitario del distrito de Nauta, en Loreto* [Tesis de Fin de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13847/ZIEGLER_RODRIGUEZ_KURT_EVALUACION_AMBIENTAL_MEDIO_ANALISIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y