

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS
LIXIVIADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
RESIDUOS SÓLIDOS DE CAJAMARCA, AÑO 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Autora:

Alizon Silvana Merino Alvarez

Asesor:

Mg. Lic. Julián Ricardo Díaz Ruiz
<https://orcid.org/0000-0002-1870-6648>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Gladys Sandi Licapa Redolfo	41379556
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Marieta Eliana Cervantes Peralta	29425048
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Irma Geralda Horna Hernández	40317442
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Esta tesis esta dedicada a:

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy. A mis padres Jhonny y Fanny quienes con su amor, paciencia, esfuerzo y sacrificio me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mi el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades, porque Dios esta conmigo siempre.

A mi hermana Greacce Estephany por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, gracias.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mi una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi tío Efrain Rolando, por apoyarme y alentarme siempre en todo este camino de superación y cuando más lo necesite, por extender su mano en momentos difíciles, por el amor brindado cada día y a esa persona que me ayudo incondicionalmente y siempre estuvo apoyándome.

AGRADECIMIENTO

Agradezco especialmente, a mis padres y a mi asesor Julián R. Díaz Ruiz, por el apoyo desinteresado para realizar esta investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema	10
1.3. Objetivos	10
1.3.1. Objetivo general	10
1.3.2. Objetivos específicos	10
1.4. Hipótesis	11
1.5. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:	12
1.6. BASES TEÓRICAS:	17
1.7. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS SAN JOSÉ DE CANAY – MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA.	33
1.8. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:	35
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	37
CAPÍTULO III: RESULTADOS	41
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS	67
ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contaminantes más comunes en lixiviados	24
Tabla 2. Clasificación de los lixiviados	25
Tabla 3. Métodos de ensayo y/o análisis	31
Tabla 4. Ficha de reporte de resultados, monitoreo de agua superficial y subterránea N° 1	39
Tabla 5. Ficha de reporte de resultados, monitoreo de agua superficial y subterránea N° 2	39
Tabla 6. Aspectos generales	41
Tabla 7. Resultados de plan de monitoreo ambiental	53
Tabla 8. Valoración de la gravedad de las consecuencias	57
Tabla 9. Estimación de la gravedad de las consecuencias	58
Tabla 10. Valoración de los escenarios identificados	59
Tabla 11. Estimación del riesgo ambiental	60
Tabla 12. Estimador del riesgo ambiental	60
Tabla 13. Establecimiento del riesgo leve – moderado en la escala de evaluación del riesgo ambiental	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de relleno sanitario con entradas y salidas del balance de agua	18
Figura 2. Esquema de tratamiento de flotación	19
Figura 3. Esquema de tratamiento de coagulación - floculación	20
Figura 4. Esquema de tratamiento de adsorción	21
Figura 5. Esquema de tratamiento con humedal artificial de flujo libre	23
Figura 6. Ubicación de la zona de estudio	33
Figura 7. Localización de la zona de estudio	34
Figura 8. Resultados de pH	43
Figura 9. Resultados de temperatura	44
Figura 10. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	45
Figura 11. Demanda Química de Oxígeno	46
Figura 12. Sólidos Totales en Suspensión	47
Figura 13. Concentración de Cadmio	48
Figura 14. Concentración de Plomo	49
Figura 15. Concentración de Mercurio	50
Figura 16. Concentración de Cobre	51
Figura 17. Concentración de Arsénico	52
Figura 18. Sólidos Totales Suspendidos	54
Figura 19. Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	55
Figura 20. Concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO)	56

RESUMEN

La presente investigación, demuestra que existen lixiviados en los rellenos sanitarios y en específico en la Poza N° Ocho de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021, que se encuentran en algunos casos, con una concentración elevada en su porcentaje, lo cual puede ocasionar un riesgo ambiental leve a moderado y un impacto significativo; para ello, se utilizó como muestra de estudio a la Poza de Lixiviación N° 8 y los resultados obtenidos de la investigación de campo y laboratorio realizados por la empresa FORP INGENIEROS S.R.L. En ese sentido, se procedió a caracterizar de manera fisicoquímica los lixiviados, identificando, comparando e interpretando sus valores; obteniendo resultados como: **1)** La DQO, con un valor de 1833 mg/L; **2)** La DBO₅, con un valor de 41 mg/L; **3)** Los Sólidos Totales en Suspendidos, con un valor de 80 mL/L, etc. Finalmente, para llegar a estos resultados, se empleó el análisis documental, la observación, el D.S. N° 003-2010-MINAM, el D. Leg. N° 1055 - Ley General del Ambiente, entre otros.

PALABRAS CLAVES: Lixiviado, Riesgo Ambiental, Impacto, Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos).

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Según Valencia et al (2017), menciona que en la actualidad, la gestión de los residuos sólidos urbanos, constituye un problema importante a nivel mundial, afectando sobre todo a tres aspectos, los cuales son: el medio ambiente, la actividad económica y el aspecto social; es así pues, que un mal manejo de los métodos de control de los lixiviados, puede contribuir a un daño irreversible de estos factores; pues, conllevaría a un quebrantamiento del sistema, conllevando, en primer lugar, a tener una alta fuente de toxicidad en la ecología y un alto riesgo de contagio de enfermedades cancerígenas en los seres humanos. (pp. 284-290)

Por otro lado, en el Proyecto de Investigación para la Fiscalización Ambiental, realizado por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2021), se concluyó que el riesgo que generan los lixiviados, se dan principalmente en los vertederos, donde de no ser controladas a tiempo, podrían traer consigo una contaminación de aguas superficiales (ríos, lago, océanos, lagunas, etc.), y subterráneas (pozos y manantiales), creando así, un peligro inminente tanto para la salud humana como para la vida silvestre. (p.09)

Según Giraldo (noviembre, 2022), refiere que existen diferentes caracterizaciones de los lixiviados, donde se destaca tanto su alto poder contaminante como su alto grado de contenido de materia orgánica, DBO₅, DQO, residuos sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, presencia de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como los metales pesados. (p. 44).

En ese sentido, el presente estudio ha considerado evaluar a la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021; pues allí se realiza el manejo y tratamiento de los lixiviados y se evidencia la presencia de algunos metales, de DBO₅, de DQO y de sólidos suspendidos. Por tanto, el presente estudio en cuestión permitirá determinar si existe o no, un impacto ambiental, y si actualmente existe la presencia de un riesgo que puede ser leve, moderado o significativo; puesto que, según la Dirección General de Calidad Ambiental (MINAM), la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de

Cajamarca, desde su inauguración y puesta en funcionamiento, dentro de su infraestructura ha presentado una deficiencia en el manejo de lixiviados en general (MINAM, 2010, citado en Gonzáles, 2018, p. 17); no obstante, eso ha podido ir cambiando con el paso del tiempo; materia sobre la cual se abordara en el presente estudio.

1.2. Formulación del problema

- ¿Cuál es la caracterización fisicoquímica de los lixiviados producidos en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar las características fisicoquímicas de los lixiviados producidos en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar los valores de los lixiviados más comunes que existen en los rellenos sanitarios y en específico en la Poza N° Ocho de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021.
- Interpretar los datos obtenidos de los lixiviados más comunes que existen en los rellenos sanitarios y en específico en la Poza N° Ocho de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos.
- Dar recomendaciones para el manejo de los lixiviados producidos por DBO₅, DBQ, sólidos suspendidos, y algunos metales, que permitan mitigar el riesgo ambiental.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general:

- Los valores de los lixiviados más comunes que existen en los rellenos sanitarios y en específico en la Poza N° Ocho de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021, se encuentran en algunos casos, con una concentración elevada en su porcentaje, lo cual puede ocasionar un riesgo ambiental leve a moderado.

1.4.2. Hipótesis específicas:

- Los lixiviados producidos por metales más comunes son: el cadmio, el plomo, el mercurio, el cobre y el arsénico.
- Los valores de los lixiviados producidos por metales como el cadmio, el plomo, el mercurio, el cobre y el arsénico, presentan una concentración baja en su porcentaje.
- Los valores de la DBO₅ y sólidos suspendidos, en la Poza N° 8, presentan una concentración baja en su porcentaje
- Los valores de la DQO, en la Poza N° 8, presentan una concentración baja en su porcentaje.

1.5. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

1.5.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES:

Según Márquez & Granizo (2007), en el trabajo de investigación denominado *"Análisis de Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, y Zn en el antiguo botadero de El Valle"*, concluyó que los metales pesados se encuentran asociados a vertederos y rellenos sanitarios, siendo el Cd y el Hg, los elementos más comunes en toda la zona del botadero representados por un 0,12 (ppm) y 0,07 (ppm) correspondientemente y dentro de la Quebrada Santa Catalina – El Valle; considerándose por tanto, metales que tienen niveles muy altos a los permitidos; mismos que han generado: 1) Que, se ponga en peligro la salud de la red trófica, debido a que el agua de la quebrada Santa Catalina está contaminándose por las descargas de lixiviados que desbordan del tanque; y que son varias familias, quienes consumen los vegetales que se encuentran cerca de la zona, quienes podrían acumular de forma crónica, pequeñas dosis que resultarían en posibles daños a la salud; y 2) Que, la recirculación de los lixiviados aparentemente haya disminuido o también que los metales hayan sido absorbidos por el suelo, lo cual ha limitado el transporte de estos contaminantes a los compartimentos medioambientales del lugar.

Para el presente trabajo, esta investigación es importante porque nos permite considerar parámetros de monitoreo, que servirán como insumo aplicativo de los resultados ya obtenidos previamente en la planta de tratamiento de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

Según Morales (2006), en el trabajo de investigación denominado *"Caracterización fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario Bordo Poniente"*, concluyó que las concentraciones de los metales analizados en los lixiviados de las cuatro etapas del relleno sanitario Bordo Poniente, no rebasan los límites máximos permisibles establecidos en la norma NOM-052-SEMARNAT-1993, lo cual es de gran importancia ecológica pues al tratarse de ciudad de México, que tiene una de las poblaciones más

grandes del mundo, los niveles de metales pesados en los lixiviados del relleno, están muy por debajo de la norma; no obstante, se recomienda, el no cultivo de especies comestibles, pues, si bien no existen altas concentraciones de metales pesados, como son: 1) El Cd, con un 0,02 mg/L, 2) El Pb, con un 0,15 mg/L, 3) El Cr, con un 0,40 mg/L, 4) El Ni, con un 0,50 mg/L; éstos sí se están acumulando en los vegetales que ahí crecen, siendo un riesgo potencial de intoxicación.

Para el presente trabajo, esta investigación es importante porque nos permite considerar parámetros de monitoreo y control de las concentraciones de los porcentajes de los lixiviado, ya que si bien no existe una normativa aplicable a lixiviados en vertederos de Planta de Tratamiento de Residuo Sólidos; no obstante, servirá como insumo aplicativo de los resultados ya obtenidos previamente en la planta de tratamiento de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

1.5.2. ANTECEDENTES NACIONALES:

Vidaurre Damian (2018), en el trabajo denominado "*Eficiencia de la remoción de coliformes totales, termotolerantes, demanda bioquímica y química de oxígeno en la laguna de estabilización del Distrito La Florida, San Miguel, Cajamarca. Noviembre – Diciembre de 2013*", concluyó que la Demanda Química de Oxígeno (DQO), fue en promedio 625,89 mg/L, en el afluente y 371,56 mg/L en el efluente de la laguna; asimismo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), representó en promedio 390,89 mg/L en el afluente y 288 mg/L en el efluente; también, los coliformes totales fueron en promedio 49 x 10⁶ NMP/100 mL en el afluente y 23 x 10⁶ NMP/ 100 mL en el efluente de la laguna; por otro lado, los coliformes termotolerantes representaron en promedio 42,8 x 10⁶ NMP/100 mL en el afluente y 20,3x 10⁶ NMP/100 mL en el efluente. Finalmente, se llegó a determinar que los parámetros investigados en el efluente: DQO, DBO₅ y coliformes termotolerantes, superan los Límites Máximos Permisibles (LMP), no cumpliéndose por

tanto, con lo establecido por el D. S. N° 003-2010-MINAM, para vertidos a cuerpos de agua.

Para el presente trabajo, esta investigación es importante porque nos permite entender que el monitoreo de los lixiviados se debe realizar en diferentes momentos, a fin de garantizar un estricto control en los niveles de los mismos y así pues, evitar un riesgo ambiental significativo.

Según Mosquipa (2020), en el trabajo de investigación denominado *"Determinación de trazas de metales pesados en suelos agrícolas regados con lixiviados de cementerio a partir de comparaciones"*, concluyó que existe la presencia de metales pesados; pues del análisis físico químico del agua, se encontraron los siguientes valores: 1) Respecto del Plomo, se encontró un valor de 0,08 mg/L, 2) Respecto del Cadmio, se encontró un valor de 0,04 mg/L, 3) Respecto del Cromo, se encontró un valor de 0,04 mg/L, lo cual se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) contenido en el D.S. N° 037-2009-VIVIENDA. Así pues, se recomendó realizar proyecciones con los resultados que se obtendrán anualmente, a fin de monitorear la situación en la que se encuentran y tomar medidas para mitigar posibles consecuencias ambientales.

Para el presente trabajo, esta investigación es importante porque nos permite entender que el monitoreo de los lixiviados debe ser constante, a fin de controlar los valores de los metales pesados, de tal manera que no genere un daño irreversible al medio ambiente, y, sobre todo, para tomar medidas de prevención.

1.5.3. ANTECEDENTES LOCALES:

Según Gonzales (2018), en el trabajo de investigación denominado *"Evaluación del riesgo ambiental que genera la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca debido al manejo de los lixiviados"*, concluyó que el nivel de riesgo ambiental que genera la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca, debido

al mal manejo de los lixiviados, es significativa, y dentro de la carga tóxica muy elevada, se reportó los siguientes parámetros: DQO, con 5622,8 mg O₂/L, que tiene un exceso de 2711,4% de LMP; DBO₅ con 286 mg O₂/ L, que tiene un exceso de 186% del LMP; arsénico total en 0.188 mg/L, con un exceso de 88% del LMP, cobre total con 2432 mg/L, con un exceso de 386,4% del LMP, cromo VI, con 0,733 mg/L, con un exceso de 633% del LMP, hierro total, con 30.30 mg/L, con un exceso de 1,415% del LMP, etc.; siendo que se evidenció un escenario de peligrosidad en el suelo y el recurso hidrogeológico, debido a la percolación del lixiviado.

Para el presente trabajo, esta investigación es importante porque nos permite evidenciar el monitoreo que han tenido los lixiviados realizados en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la ciudad de Cajamarca, en el año 2018, y donde se aprecia que en ese año, no ha existido un manejo adecuado de los lixiviados, mismo que han afectado tanto al suelo como al agua. En consecuencia, esta investigación nos permitirá analizar si al año 2021, ha existido algún tipo de cambio para bien o para mal.

Según Delgado & Heredia (2017), en el trabajo de investigación denominado "*Determinación de los niveles de concentración de metales pesados en la Cuenca Mashcón – Cajamarca en los meses de Setiembre y Diciembre, 2016*", concluyó que en el Río Porcón, se obtuvieron los siguientes resultados: 1) Respecto del Plomo, existe una concentración en época de estiaje de 0,004 mg/L, 2) Respecto del Aluminio, existe una concentración en época de estiaje de 0,62 mg/L, y en época de creciente de 0,08 mg/L, 3) Respecto del Hierro, existe una concentración en época de estiaje de 1,021 mg/L, y en época de creciente de 1,680 mg/L. Por tanto, el único metal que se encontró por encima de los ECAs en ambas épocas fue el Hierro. Asimismo; en el Río Grande, se obtuvieron los siguientes resultados: 1) Respecto del Plomo, tuvieron un resultado menor a la concentración del análisis del laboratorio (<LCM), 2) Respecto del Aluminio, existe una concentración en época de estiaje de 0,045 mg/L, y en época de creciente de 0,038 mg/L,

3) Respecto del Hierro, existe una concentración en época de estiaje de 0,10 mg/L, y en época de creciente de 3,65 mg/L. Por lo tanto, todos los metales evaluados en ambas épocas se encontraron en concentraciones normales, estando por debajo de los ECAs para agua. Finalmente, se recomendó realizar un monitoreo de la calidad del agua evaluando parámetros físicos, químicos y microbiológicos, a fin de determinar si el agua que consumen los centros poblados de Huambocancha Alta y Baja, cumplen con la normatividad ambiental vigente de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

Para el presente trabajo, esta investigación es importante porque nos permite entender que se debe realizar un control respecto de los lixiviados químicos (metales) y, sobre todo, debe monitorearse con mayor frecuencia y en mayor medida si éstos no sólo impactan en el medio ambiente, sino también en la salud de los pobladores.

1.6. BASES TEÓRICAS:

1.6.1. IMPACTO AMBIENTAL:

A. Definición:

- Según Espinoza (2006) citado en el Ministerio del Ambiente (junio, 2022), define que el impacto ambiental es aquella alteración significativa del ambiente y de los sistemas naturales y recursos que lo componen, y que es provocada por acciones humanas. (p. 8)

B. La Contaminación:

Según Prieto *et al* (octubre, 2022), señala que es la alteración del medio ambiente por la acción tanto de agentes químicos, físicos y biológicos, que se presentan en concentraciones suficientes y en lugares concretos. (p. 143)

- **Contaminación del Agua:** Según Prieto *et al* (octubre, 2022), la contaminación del agua puede producirse por desechos de la agricultura o ganadería, por las aguas residuales o por algún tipo de producto proveniente de la industria; así pues, tenemos (p. 146):
 - **Nutrientes:** Entendidos a los elementos esenciales como el nitrógeno, fósforo, carbono, etc.; para el crecimiento de plantas acuáticas, debido a que éstas al descomponerse, consumen oxígeno, privando al entorno de este valioso gas, disminuyendo la calidad del agua e influyendo sobre la vida.
 - **Residuos con requerimiento de oxígeno:** Son sustancias que se oxidan con oxígeno; pues al agotar el oxígeno, dejan a los organismos sin él.
 - **Patógenos:** Son organismos como las bacterias, virus, etc., que pueden introducirse en el agua mediante desechos orgánicos.
 - **Metales pesados:** Esto involucra el grado de toxicidad generado por el incremento de sus valores; etc.

1.6.2. LIXIVIADO

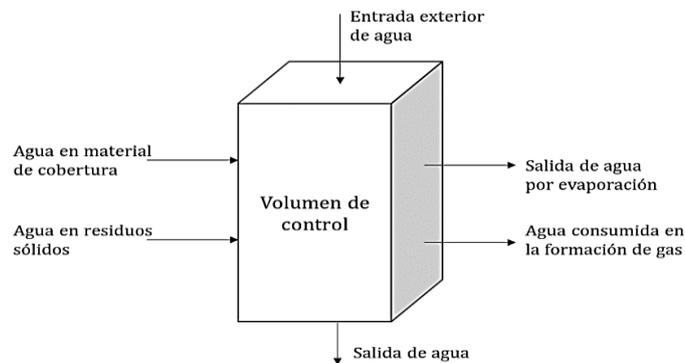
a) Definición:

Según Cortés *et al* (2018), los lixiviados son aquel producto obtenido de la transferencia de agua a través de los residuos sólidos y de la lixiviación de aquellos componentes desde el estado sólido al líquido (p. 03)

Ahora bien, para calcular la generación de lixiviados dentro de un relleno sanitario, se debe realizar un balance de la masa del agua, como se muestra a continuación:

Figura 1.

Esquema de relleno sanitario con entradas y salidas del balance de agua



Nota. Esta figura muestra como se generan los lixiviados dentro de un relleno sanitario. Tomado de Garcés (2016). *Evaluación de la sustentabilidad del tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario utilizando energía solar térmica [en línea]. Universidad de Chile.* Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/bistream/handle/2250/144105/Evaluación-de-la-sustentabilidad-del-tratamiento-de-lixiviados-de-un-relleno-sanitario-utilizando-energía-solar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

b) Alternativas de tratamiento de lixiviados:

Según Garcés (2016) citado en Cortés *et al* (2018), refiere que para el tratamiento de los lixiviados es importante tener en cuenta su edad; es decir, la biodegradabilidad que estos poseen. Así, para lixiviados jóvenes, se requiere de uso de sistemas biológicos, mientras que para lixiviados viejo, es preferible el uso de sistemas fisicoquímicos. Se debe resaltar también, que existen otros tipos de tratamientos según el medio de eliminación de contaminantes, como son la recirculación al relleno, la evaporación,

sistemas de membranas y tratamientos naturales, etc. (p.11). Asimismo, es importante resaltar que los sistemas de tratamiento también se pueden categorizar según el nivel de depuración que se logre, como son: 1) Pretratamiento; 2) Tratamiento primario; 3) Tratamiento secundario; y 4) Tratamiento terciario. (Garcés, 2016, citado en Cortés *et al*, 2018, p. 17)

En ese sentido, precisaremos de algunos tratamientos como son:

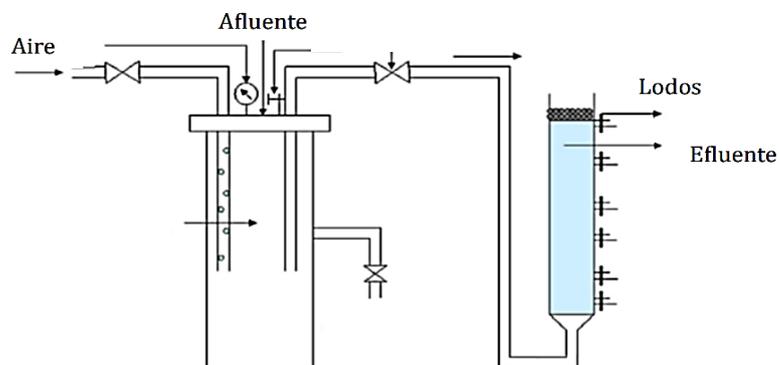
- **Sistemas fisicoquímicos:**

Dentro de los sistemas fisicoquímicos tenemos:

- a) **Flotación:** Es un proceso que se utiliza para separar partículas sólidas o también líquidas (pero que sean de baja densidad), y que se consigue introduciendo pequeñas burbujas de gas (aire) al fluido. Asimismo, es menester precisar que existen tres procesos de flotación, pero el más utilizado en el tratamiento de aguas residuales es el de flotación por aire disuelto (DAF), que involucra la inyección de aire a una presión muy alta. (Mendéz, 2008, citado en Cortés *et al*, 2018, p. 12)

Figura 2.

Esquema de tratamiento de flotación.

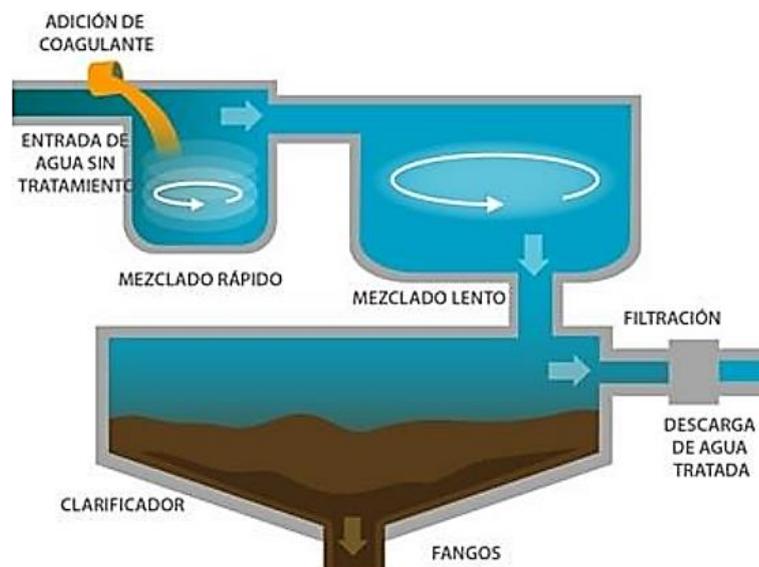


Nota. Esta figura muestra el proceso que se utiliza para separar partículas sólidas o también líquidas. Tomado de Méndez et al. 2008. Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto. Ingeniería Revista Académica. 12: 13–19

- b) **Coagulación – Floculación:** Es aquel tratamiento donde se utiliza reactivos químicos para separar partículas sólidas y disueltas, generalmente para tratar lixiviados viejos; así, la coagulación es un proceso que consiste en desestabilizar los componentes de una suspensión o disolución por superación de fuerzas que mantienen su estabilidad, mientras que la floculación es el proceso, a través del cual las partículas desestabilizadas se unen, a fin de formar grandes partículas estables o aglomeradas, los que al final, llegan a sedimentarse. (Aguilar *et al*, 2002, citado en Cortés *et al*, 2018, p. 12)

Figura 3.

Esquema de tratamiento de coagulación – floculación.



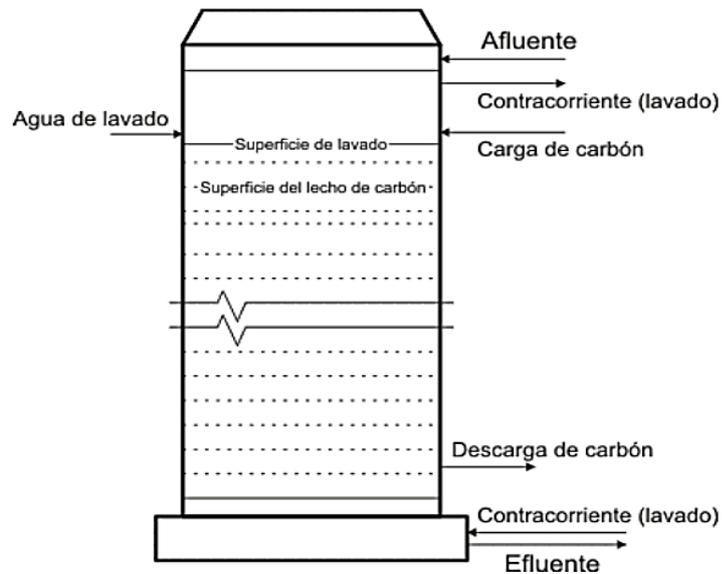
Nota. Esta figura muestra el proceso de coagulación – floculación, generalmente para tratar viejos lixiviados. Tomado de Koshland Science Museum. Coagulación - Floculación [en línea]. [consulta: 26 de junio 2022]

- c) **Adsorción:** Es aquel proceso consistente en la utilización de una superficie sólida (adsorbente), a fin de separar un contaminante soluble en un fluido. Este proceso, normalmente se usa o se combina con otros procesos para la

eliminación de moléculas orgánicas de tamaño intermedio; dejando constancia también que se emplea con carbón activado con adsorbente. (Vilar, 2015, citado en Cortés *et al*, 2018, p. 13)

Figura 4.

Esquema de tratamiento de adsorción.



Nota. Esta figura muestra el proceso consistente en la utilización de una superficie sólida (adsorbente), a fin de separar un contaminante soluble en un fluido. Tomado de Textoscientificos.com. Procesos en las plantas de tratamiento: Sistemas para tratamiento de aguas residuales por adsorción [en línea]. [consulta: 25 de junio 2022].

- d) Oxidación química:** Es aquel proceso donde una sustancia pierde o dona electrones; suelen utilizarse como tratamientos terciarios, con la finalidad de eliminar materia orgánica residual, sustancias solubles no biodegradables y/o tóxicos orgánicos en RILes. (Vilar, 2015, citado en Cortés *et al*, 2018, p. 14)

- **Sistemas de membranas:**

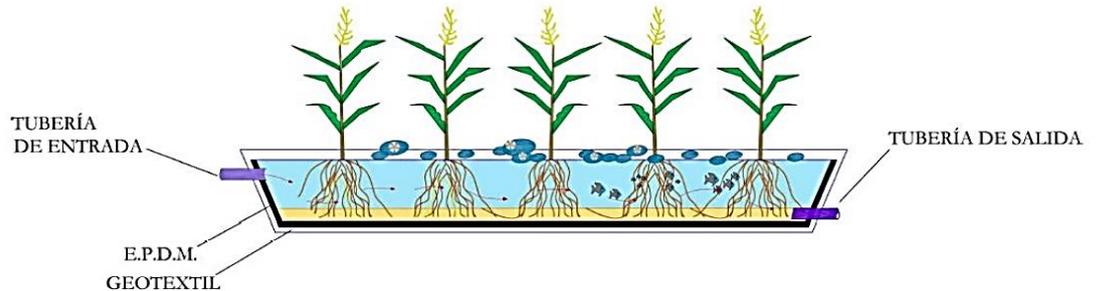
- a) **Micro filtración:** Es utilizado en procesos biológicos de tratamiento anaeróbico; es decir, en reemplazo de los sedimentadores, con la finalidad de reducir el DBO₅, SST, microorganismos, turbidez y color. (Giraldo, octubre 2022, citado en Cortés *et al*, 2018, p. 15)
- b) **Ultra filtración:** Es utilizado para eliminar macromoléculas, como materia orgánica y SST. (Giraldo, octubre 2022., citado en Cortés *et al*, 2018, p. 15)
- c) **Nano filtración:** Es utilizado para la obtención de la calidad de agua, basado en el control de contaminantes orgánicos, inorgánicos y microbianos, generalmente este tipo de membrana está compuesta de películas poliméricas. (Hidalgo *et al*, 2016, citado en Cortés *et al*, 2018, p. 16)
- d) **Osmosis inversa:** Es utilizado para la remoción de la mayoría de contaminantes, generalmente lixiviados viejo o pre tratados, su método se basa en generar una presión alta para traspasar el líquido por la membrana. (Hidalgo *et al*, 2016, citado en Cortés *et al*, 2018, p. 16)

- **Sistemas naturales:**

Son aquellos sistemas que emulan procesos físicos, químicos y biológicos que se dan en la naturaleza, como las lagunas y humedales artificiales, mismos que tienen procesos de degradación de contaminantes, por lo cual se crean condiciones aeróbicas o anaeróbicas. (Kadlec, 1999, citado en Cortés *et al*, 2018, p. 17)

Figura 5.

Esquema del tratamiento con un humedal artificial de flujo libre.



Nota. Esta figura muestra los sistemas naturales que emulan proceso físicos, químicos y biológicos que se dan en la naturaleza. Tomado de Sánchez (2010). Depuración de aguas residuales de una población mediante humedales artificiales. (p. 17) Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152920/Tratamiento-de-lixiviados-de-un-relleno-sanitario-Propuesta-y-evaluaci%C3%B3n-de-un-sistema.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

A. Lixiviación:

Según Buendía *et al* (2021), señala que la lixiviación son aquellos líquidos que se generan producto de la descomposición de la fracción orgánica y putrescible de los residuos; asimismo, la calidad y cantidad del lixiviado, se encontrará subordinado a las características geológicas de la ubicación del botadero, las condiciones del clima, la superficie donde se realiza la descomposición y el suelo subyacente. (p. 8)

1.6.3. Clasificación de los lixiviados:

Según Astorga (2018) citado en Buendía *et al* (2021), señala que los lixiviados se clasifican según su edad dentro de los rellenos sanitarios en: i) Lixiviados tipo I (jóvenes), ii) Lixiviados tipo II (intermedios), y iii) Lixiviados tipo III (viejos). Ahora bien, dentro de los lixiviados considerados como jóvenes, se menciona que son aquellos que tienen una alta concentración de materia orgánica biodegradable (DBO₅), que disminuye conforme aumenta la edad del relleno, debido a una descomposición anaeróbica; por otro lado, tenemos a los lixiviados viejos, que presentan pH mayores a 7,5, DQO menores a 5000 mg/L, metales pesados menores a 2 mg/l, etc. (p.8)

1.6.4. Composición de los lixiviados:

Según Corea (2008) citado en Sánchez (2019) señala que los lixiviados en el relleno sanitario provocan elevadas cargas orgánicas y un color que puede variar, desde café-pardo-grisáceo (cuando son frescos), hasta un color negro viscoso (cuando envejecen); asimismo, los lixiviados también contienen elevadas concentraciones de sales inorgánica como cloruro de sodio y carbonatos, sin olvidar los metales pesados. (p.14)

Tabla 1.

Contaminantes más comunes en lixiviados

Grupo de contaminantes	Componentes que los constituyen
Materia orgánica	Ácidos, alcoholes, aldehídos y otros usualmente cuantificados como DOQ, demanda de DBO, o carbono orgánico total. Aquí se incluyen también los ácidos grasos, húmicos y fúlvicos.
Materia inorgánica	Sulfatos, cloruros, amonio, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, bicarbonato, manganeso, etc.
Compuestos orgánicos (xenobióticos)	Hidrocarburos alifáticos clorados, pesticidas, dioxinas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, etc.

Nota. Esta figura muestra el grupo de contaminantes y componentes que los constituyen. Tomado de Jerez, 2013, citado en Sánchez, 2019, en valuación de los lixiviados generados en los botaderos de Carhuashjirca y los impactos ambientales generados en la quebrada Vintojirca-Independencia-HuarazAncash-2018. (p.15)

1.6.5. Tipos de lixiviados

- 1) **Según su edad:** Los lixiviados según su edad se caracterizan en Lixiviados jóvenes, con un periodo menor de 5 años; en lixiviados intermedios, con un periodo mayor a 5 y menor a 10 años; y lixiviados maduros, con un periodo mayor a 10 años. (Chávez, 2011, p. 11)

Tabla 2.

Clasificación de los lixiviados

Características	Joven	Intermedio	Maduro
Edad (años)	<5	5-10	>10
pH	6,5	6,5 – 7,5	>7,5
DQO (mg/L)	>10000	4000 - 10000	<4000
DBO₅	>0,3	0,1 – 0,3	<0,1

Nota. Esta figura muestra las características de los lixiviados por edad, pH, DQO DBO₅. Tomado de Chávez (2011). Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua México. Recuperado de [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/403/1/Tesis%20Wend y%20Margarita%20Ch%C3%A1vez%20Montes.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/403/1/Tesis%20Wend%20Margarita%20Ch%C3%A1vez%20Montes.pdf)

1.6.6. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la caracterización de aguas residuales:

Según Sancha (2013), señala que dentro de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de caracterización de aguas residuales, tenemos:

- a) **pH:** Es una medida que determina el grado de acidez del agua o de alcalinidad; así pues, una medida menor a 7,0, indica una tendencia hacia la acidez; mientras que un valor mayor a eso, denota una tendencia a lo alcalino. Asimismo, se debe considerar que, en el caso de aguas superficiales, existirá un pH en un intervalo de 6,0 a 8,5, y para las aguas residuales, el valore de pH será menor al del agua potable. (p. 18)

b) Sólidos en sus diferentes formas: Dentro de ello tenemos:

- **Sólidos totales:** Son aquellos compuestos por sólidos disueltos y sólidos en suspensión, dentro de una muestra de agua en específico. (p. 18)
 - **Sólidos disueltos:** Son aquellos constituidos por sales que se encuentran en el agua y que no pueden ser separadas del líquido por algún tipo de medio físico; como, por ejemplo: la sedimentación, la filtración, entre otros. Se debe tener en cuenta que la presencia de este tipo de sólidos no se puede detectar a simple vista, por lo que, si bien se puede tener un agua completamente cristalina, pero con presencia de sólidos disueltos, y sólo se podría detectar cuando el agua se evapora. Finalmente, los sólidos disueltos se pueden cuantificar, midiendo la conductividad del agua (cationes y aniones). (p. 19)
 - **Sólidos en suspensión:** Son aquellas que permanecen suspendidas en el agua, ya sea debido al movimiento líquido o debido a la densidad del agua (es menor o igual a esta); con la suspensión se determina la calidad del agua; resaltando que esta suspensión de sólidos se puede eliminar mediante el filtrado; no obstante, si los sólidos en suspensión tienen una densidad mayor a la del agua, las partículas se pueden eliminar por sedimentación. (p. 19). Se debe dejar constancia que aquí se puede encontrar a los llamados sólidos suspendidos totales (SST), que son partículas mayores de 2 micrómetros que se encuentran en el agua y que al estar compuesto por bacterias, arcilla, grava, arena, silt, entre otros puede perjudicar la calidad del agua denominada como saludable.
- c) **DBO₅:** La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), es aquella cantidad de oxígeno que se consume en mg O₂/L dentro de procesos bioquímicos llevados a cabo, durante la degradación de ingredientes orgánicos; por tanto, mediante la utilización de este procedimiento se determinan los compuestos orgánicos

degradables. (p. 20). Se debe dejar constancia que si el DBO presenta altas concentraciones en su porcentaje, esto, conllevará una disminución significativa del oxígeno y por tanto, disminuirá la capacidad de albergar vida en el lugar que lo contenga.

d) DQO: La demanda química de oxígeno (DBQ), es aquella que mide la materia orgánica presente en una muestra de agua. Este tipo de materia, puede ser biodegradada lentamente y es oxidada a CO₂ y H₂O, mediante un procedimiento que puede ir desde unos pocos días hasta varios millones de años, dependiendo del tipo de materia orgánica y de las condiciones de biodegradación. (p. 23). Se debe señalar que, cuanto mayor sea la DQO, más contaminada estará el agua.

e) Magnesio: Según Aranda, P. *et al* (agosto, 2022), en su artículo denominado "*Magnesio*", concluyó que el magnesio es el cuarto catión más abundante del organismo y el segundo en importancia dentro de la célula, contribuye en la generación y transmisión del impulso nervioso, contracción muscular y cardíaca; así como en la fosforilación oxidativa (p. 91); pero cuando se excede en los porcentajes permitidos, éste, puede originarla hipermagnesemia.

f) Manganeso: Según Azcona *et al* (2017) en su artículo denominado "*Efectos tóxicos del manganeso*", señala que el manganeso es un elemento traza o metálico, que en mínimas cantidades sirve para el crecimiento, desarrollo y función de los seres humanos, pero en cantidades altas o muy elevadas es un potente neurotóxico, que se encuentra asociada a alteraciones motoras y cognitivas conocidas como manganismo. (p.71)

g) Análisis de aniones y cationes mediante Cromatografía Iónica:

La cromatografía iónica (CI) es aquella que permite separar de modo eficiente aniones orgánicos (de bajo peso molecular o inorgánicos) y cationes;

- asimismo, dentro de los compuestos que se pueden analizar: **i) Nitratos:** Es una especie nitrogenada, que en las aguas procede de la disolución de rocas y minerales, de la descomposición de animales y vegetales, de efluentes industriales y de lixiviados, si sus índices son altos, estos generaran desequilibrios y enfermedades en los seres humanos, tales como intoxicación, metahemoglobinemia, hipotensión moderada, taquicardia, cianosis, etc.; **ii) Nitritos:** Es una especie poco estable químicamente, su presencia en agua suele indicar la existencia de residuos fecales recientes, este tipo de especie puede ser tóxico, debido a que influye en la transformación de hemoglobina de la sangre en metahemoglobina (no se realiza una correcta respiración celular); **iii) Sulfatos:** Son aquellos cuya procedencia se pueda dar de la oxidación bacteriana de sulfuros, procesos industriales, etc., lo interesante de esto, es que los sulfatos insolubilizan los metales pesados presentes en el agua, minimizando su toxicidad; **iv) Amonio:** Dicho elemento químico, no es tóxico para los organismos superiores, pero si lo puede ser para los peces, cuando se encuentra en forma de NH_3 iónico. (pp. 23-24)
- h) TOC:** El carbono orgánico total (TOC) es la cantidad de carbono que contienen todos los compuestos orgánicos, mismo que proceden de la actividad de animales y vegetales (ácidos húmicos, urea, animas, etc.), hasta compuestos sintéticos, proveniente de la actividad humana (detergentes, fertilizantes, etc.). Se utiliza como un indicador de la calidad del agua. Para su determinación, emplea la oxidación catalítica a 680°C . (p. 25)
- i) Parámetros microbiológicos de caracterización de aguas residuales:** Según Sancha (2013), refiere que los parámetros biológicos en las aguas potables son de interés para el ser humano; dado que se busca todo tipo de microorganismos patógenos, por su diversidad es costoso y complicado y demanda la aplicación de técnicas como: **i) La reacción en cadena**

polimerasa, que tiene como objeto, conseguir un gran número de fragmento de copias de ADN particular; a fin de ampliar los genes o fragmentos de genes para la identificación de microorganismos del suelo; **ii) Electroforesis en gel de agarosa**, que consiste en la separación de ácidos nucleicos a través de una matriz tamponada (agarosa); etc. (pp. 27-30)

1.6.7. Impacto ambiental de los lixiviados:

Según Buendía *et al* (2021), señala que dentro de los impactos más comunes que generan los lixiviados tenemos: i) La contaminación de aguas superficiales como ríos, lagunas, océanos, etc; ii) La contaminación de aguas subterráneas como pozos y manantiales; lo que involucra un peligro tanto para la vida humana como terrestre. En consecuencia, la contaminación de las aguas, se manifiesta tanto por una incorporación de materia orgánica, con las sustancias tóxicas existentes. (p. 9)

También, Sánchez (2019), concluyó que un manejo inadecuado de los residuos sólidos, especialmente cuando conlleva a riesgos ambientales que se convierten en riesgos hacia la salud, ya sea en el corto o largo plazo, puede generar lo siguiente: i) La existencia de una alteración de la calidad del suelo; ii) La contaminación del agua subterránea por percolación de los lixiviados; iii) La existencia de una contaminación en la atmósfera por acción de los gases producidos a consecuencia de la quema de residuos en los botaderos; iii) La existencia de una contaminación directa por presencia de cuerpos en el agua que modifican los sistemas naturales del drenaje. (p. 18)

a) Tratamiento de los lixiviados:

Según Corena (2008), citado en Sánchez (2019), señala que todo líquido contaminante generado por algún relleno sanitario, para ser vertido sobre agua superficial y/ subterráneo, es necesario, que antes se le practique un tratamiento que involucre procesos de reconocida viabilidad técnica; entre ellos: i) Debe analizarse la toxicidad a microorganismos, ii) La formación de espumas y/o

precipitados, ii) Debe valorarse la variabilidad de las características del lixiviado en el tiempo, etc. (p. 19)

b) Toxicidad de los lixiviados:

Según Giannuzi (octubre, 2022), en el trabajo denominado "*Principios generales de la toxicología*", refiere que la toxicidad es aquella capacidad que tiene un agente químico para producir efectos adversos sobre un sistema biológico, y que puede conllevar desde lesiones hasta la propia muerte del agente. (p. 06)

Según Torres *et al* (29 de agosto, 2022), en su artículo denominado "*Mitigación de la toxicidad anaerobia de lixiviados mediante mezclas con agua residual doméstica*", señala que existen tres tipos de toxicidad, entre ellos: 1) La toxicidad metabólica, que se refiere a una inhibición de un proceso metabólico que no causa daño a nivel celular, y que si se remueve la sustancia tóxica, su grado de toxicidad es reversible; 2) La toxicidad fisiológica, referida a aquella que causa daño a componentes subcelulares (como membranas o enzimas), y que si se remueve la sustancia tóxica, se da una recuperación lenta; y 3) La toxicidad bactericida, que ocurre cuando las sustancias tóxicas causan la muerte de la células. (p. 66)

c) Marco legal aplicable al medio ambiente:

Dentro del marco legal aplicable al cuidado del medio ambiente y tratamiento de residuos sólidos y mitigación de la contaminación, tenemos:

- La Ley N° 28611, que es la Ley General del Ambiente.
- El Decreto Legislativo N° 1055, que modifica a la Ley N° 28611, que involucra a la Ley General del Ambiente.
- La Ley N° 27314, que es la Ley General de los Residuos Sólidos.

- El Decreto Supremo N° 004-2017 – MINAM, que involucra a los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua.
- Reglamento Australiano sobre Lixiviados - Environmental Guidelines Solid waste landfills. Recuperado de: <https://www.epa.nsw.gov.au/-/media/epa/corporate-site/resources/waste/solid-waste-landfill-guidelines-160259.pdf>

d) Metodología, técnicas instrumentales de análisis de metales

Dentro de la metodología y técnicas instrumentales de análisis de metales realizadas por el Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – Año 2022, de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, tenemos:

Tabla 3.

Métodos de ensayo y/o análisis

Determinación	Método de ensayo	
Parámetros	Código / Referencia	Año
Conductividad (campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23 rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method.	2017
Oxígeno (disuelto)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 23 rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method.	2017
Temperatura (campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2500 B, 23 rd Ed. 2017. Temperature. Laboratory and Field Methods..	2017
Potencial de hidrógeno (pH) (campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+B, 23 rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method.	2017
Dureza total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23 rd Ed. 2017. Hardness. EDTA Titrimetric Method.	2017
Sólidos disueltos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23 rd Ed. 2017. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C.	2017

Sólidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23 rd Ed. 2017. Solids. Total Solids Dried at 103°-105°C.	2017
Sólidos suspendidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23 rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103°-105°C.	2017
Nitratos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-MO3-E, 23 rd Ed. 2017. Nitrogen (Nitrate). Cadmium Reduction Method.	2017
Metales totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 B,K, 3125 B, 23 rd Ed. 2017	2017
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 35210 B2, 23 rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	2017

Nota. Esta figura muestra los parámetros y método de ensayo aplicado a la muestra de estudio de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos. Tomado de: FORP INGENIEROS – CERTIFICAL SAC, 2015

d.1. Análisis de medición de los parámetros de campo:

Las mediciones de campo son una evaluación rápida *in situ* de la calidad del agua que pueden detectar cambios en las propiedades químicas debido a la volatilización, ventilación u otras condiciones variantes entre el campo y el laboratorio, y son un mecanismo de aseguramiento de la calidad de los resultados de laboratorio. (Gerencia de Desarrollo Ambiental, Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2021)

d.2. Análisis de medición de los parámetros de laboratorio:

El análisis de monitoreo de laboratorio fue efectuado por la empresa FORP INGENIEROS y el laboratorio CERTIFICAL SAC acreditado y certificado ante INACAL; siguiendo los lineamientos establecidos en protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N° 010-2016-ANA)

Localización de la zona de estudio



Nota. Fuente: Google Earth 2021

b) Características del Lugar:

- La topografía del lugar de estudio está compuesta por valles y laderas, que simulan factores meteorológicos y erosivos, como son el agua y el viento. (Gonzáles, 2018, p. 21).
- Con respecto al clima del lugar, éste presenta un ambiente cálido y seco, donde es soleado por el día y friolento por la noche; encontrándose a una altitud de 2810 a 2910 msnm aproximadamente, resaltando además que su temperatura más alta en promedio es de 21 grados Celsius, y su temperatura mínima promedio, representa 5 grados Celsius aproximadamente, con una humedad relativa promedio de 67%. (Gonzáles, 2018, p. 21)
- Por otro lado, la superficie del lugar es erosionada, y donde se distingue las siguientes unidades de relieve, entre ellos, el terreno plano, arroyo y un sistema de drenaje. También se puede apreciar dentro del área la presencia de tres capas diferentes (superior, media e inferior); denotándose en la capa superior la presencia de dos subcapas, en la capa intermedia la presencia de tres subcapas y en la capa inferior se muestra la presencia de un material rocoso denso. (Gonzáles, 2018, p. 21)
- Por otra parte, en el área de estudio, se evidencia la presencia de agua superficial, representada por el arroyo Chilca, cuyo caudal es de 0.35 l/seg, de carácter constante, y abastecida por agua de manantial antes de sus límites superior y norte. (Gonzáles, 2018, p. 21)

- Con respecto a las aguas subterráneas en el área de estudio, se aprecia acumulación y filtración de agua de lluvia; y con respecto a los usos del suelo, se evidencia un área denominada producción – protección forestal, donde se ve limitaciones para actividades agrícolas, pero sí, son aptas para producción forestal a las condiciones ecológicas ambientales. (González, 2018, p. 21)

1.8. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:

- a. **Contaminación Ambiental:** Es la presencia de sustancias, energía u organismos extraños que involucran una afectación directa o indirecta en un medio determinado, debido a sus cantidades, tiempo y condiciones de desequilibrio ecológico (Arellano & Guzmán, 2011, citado en Sánchez, 2019, p. 20)
- b. **Impacto Ambiental:** Es aquella repercusión significativa, que involucra a las actividades del ser humano sobre el ambiente; específicamente, se encuentra relacionado con factores sociales, científicos, tecnológicos, etc. (Arellano & Guzmán, 2011, citado en Sánchez, 2019, p. 20)
- c. **Lixiviados:** Es un agua que se ha contaminado por componentes de los residuos, cuando se infiltra a través de un sitio de disposición de residuos, precisando que algunos de sus constituyentes son potencialmente dañinos. (Manahan, 2007, citado en Sánchez, 2019, p. 13)
- d. **Relleno sanitario:** Es aquella infraestructura de disposición de residuos sólidos, que está construido y operado para minimizar riesgos para la salud y seguridad de las personas. (Astorga, 2018, p.14)
- e. **Residuos sólidos:** Son aquellos desperdicios que no son transportados por agua y que han sido rechazados porque ya no se van a utilizar, (Glynn & Heinke, 1999, citado en Sánchez, 2019, p. 11)

- f. Residuos peligrosos:** Son aquellos residuos que son determinados como peligrosos por la ley, considerándose también a los recipientes y envases que los hayan contenido. (Vaquero, 2004, citado en Gonzáles, 2018, p. 12)
- g. Sustancia tóxica:** Es aquella sustancia, que puede producir en organismos vivos un daño en su salud, como enfermedades o implicaciones genéticas; asimismo, la muerte. (MINAM, 2010a, citado en Gonzáles, 2018, p. 12)
- h. Vertedero:** Es aquel depósito de eliminación destinado a los residuos sólidos ya sea en la superficie o bajo tierra. (Vaquero, 2004, citado en Gonzáles, 2018, p. 12)

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación:

La presente investigación:

Es descriptiva, porque se buscó recolectar y describir las características, circunstancias y datos obtenidos de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021, respecto de los lixiviados producidos.

Es aplicada, pues busca dar a conocer fenómenos que están ocurriendo, dentro de nuestro ámbito de estudio. (Tam *et al*, 2008, p. 146). Así pues, se concluye que la finalidad de la presente investigación es dar a conocer acontecimientos o fenómenos, con respecto a si los lixiviados producidos en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021, tienen concentraciones elevadas en su porcentaje.

Es no experimental, porque se limitó a observar las características del monitoreo ambiental realizado por el Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – Año 2022; sin intervenir en los mismos, ni manipular variables; dejando constancia que para constatar la hipótesis se extraerá la información obtenida previo estudio de campo, realizado ya por la Municipalidad Provincial de Cajamarca, en un periodo determinado.

2.2. Población y Muestra (materiales, instrumentos y métodos)

- **La población** estuvo constituida por las (08) pozas de lixiviación que tiene la planta de tratamiento de residuos sólidos San José de Canay de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.
- **La muestra** de los lixiviados se obtuvo directamente de una sola poza, para ser específicos de la Poza N° 8 de la planta de tratamiento de residuos sólidos San José de Canay de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

2.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección y Análisis de Datos

Para la técnica de recolección de datos se ha considerado a la siguiente:

- **Análisis documental:** Consistió en reunir documentales, provenientes de la planta de tratamiento de los residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, para el año 2021, y bajo la debida autorización; a fin de contar con sustento para el estudio de valorización de los lixiviados por DBO₅, DBQ, sólidos suspendidos, y algunos metales, y determinar si estos presentan alta concentración en su porcentaje.
- **Observación:** Consistió en la visita a la planta de tratamiento de residuos sólidos, para evidenciar si las condiciones, características y circunstancias en la cual se encontraba la poza de lixiviación N° ocho, y si esta guarda relación con la información documental recolectada.

Respecto de los instrumentos utilizados en la presente investigación, se consideró:

- **La ficha de campo u observación:** Fueron empleadas con la finalidad de registrar las condiciones, circunstancias y características en la cual se encontró los residuos sólidos y sobre todo, en la cual se encontraba la poza de lixiviación N° ocho, en la planta de tratamiento de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, dejando constancia de ello, en vistas fotográficas.

2.4. Procedimiento:

Se tomó en consideración el procedimiento utilizado por el Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – Año 2022, de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

Tabla 4.

Ficha de reporte de resultados, monitoreo de agua superficial y subterránea N° 1

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	
		PMAS 1	PMAS 2
pH	Unidad	7,68	7,79
Temperatura	°C	13,9	15,8
DBO ₅	mg/L	<2	2
DQO	mg/L	<10	19,2
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	5,00	175,80

Nota. Esta figura muestra el reporte de resultados, monitoreo de agua superficial y subterránea N° 1. Tomado de FORP INGENIEROS SRL Y D.S. 0003-2010-MINAM.

Tabla 5.

Ficha de reporte de resultados, monitoreo de agua superficial y subterránea N° 2

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS (Informe N° 0060-N.S. 21012362)	
		PMAS 1	PMAS 2
Cadmio	mg/L	<0,00006	0,00018
Plomo	mg/L	<0,00005	0,00349
Mercurio	mg/L	<0,00007	<0,00007
Cobre	mg/L	<0,00005	<0,00606
Arsénico	mg/L	<0,00009	<0,00121

Nota. Esta figura muestra el reporte de resultados, monitoreo de agua superficial y subterránea N° 2. Tomado de FORP INGENIEROS SRL y Norma Australiana. <https://www.epa.nsw.gov.au/~media/EPA/Corporate%20Site/resources/wasteregulation/140796-classify-waste.ashx>

2.5. Aspectos Éticos:

La presente investigación se desarrolló respetando los parámetros establecidos, esto significa que, al tomar información de otros estudios, se ha considerado las citas APA 2018, para evitar no sólo el plagio, sino también las conclusiones que no nos pertenecen. También se ha respetado los derechos fundamentales de las personas que han contribuido con brindar su punto de vista; esto, involucra el no exponer sus datos y/o información personal, etc.; sino más bien mantenerlo de forma anónima, por tanto, se cumplió con los requisitos establecidos y considerados viables para ser transparente.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

c) PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:

Dentro de los resultados obtenidos tenemos los siguientes:

a. Aspectos Generales:

Dentro de los aspectos generales tenemos a los siguientes:

Tabla 6.

Aspectos generales

**Nombre de la
persona o
entidad que
tomo la
muestra**

▪ FORP INGENIEROS S.R.L.

Objetivo General:

- Reportar y evaluar los resultados del Monitoreo del Agua Natural (superficial y subterránea) obtenidos en las estaciones de monitoreo establecidas por el cliente, según estudio de impacto ambiental aprobado, y comparar con la normativa D.S. N° 004-2017-MINAM (vigente), para determinar si estas sobrepasan los estándares de calidad ambiental para el agua y la posible afectación en la población y el medio ambiente.

Objetivos

Objetivos Específicos:

- Determinar y evaluar los resultados de los parámetros de campo, fisicoquímicos y microbiológicos en el punto de control establecido, según estudio de impacto ambiental aprobado.
- Realizar los análisis en el laboratorio acreditado por INACAL de las muestras recolectadas en el punto de control establecido.
- Evaluar los resultados obtenidos del monitoreo con estándares nacionales o el marco normativo vigente.
- Determinar el grado de influencia de las actividades en la calidad ambiental de la zona de estudio (población – medio ambiente).

**Fecha de
obtención de
datos**

30-04-2021

Criterios utilizados	Criterios técnicos establecidos en la normativa nacional R.J. N° 010-2016-ANA
Coordenadas y altitud del punto de monitoreo	Coordenadas UTM inicio: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Este(m): 304.961,80 ▪ Norte(m): 9072282,50 ▪ Zona: 18s ▪ Datum: PSAD56

Estaciones de monitoreo

N°	Punto de muestreo	Coordenadas UTM (PSD56)	Ubicación de los puntos
Agua natural (subterráneas)	PMAS 1	17 M 788 109 E	A 100m de la planta de residuos sólidos.
		9 201 918 N	
Agua natural (superficial)	PMAS 2	17 M 788 241 E	A 200m de la planta de residuos sólidos.
		9 201 732 N	
Agua natural (superficial)	PMAS p1	17 M 788 689 E	Punto seco (tiempo de estiaje)
		9 201 978 N	
Agua natural (superficial)	PMASp2	17 M 788 594 E	Punto seco (tiempo de estiaje)
		9 202 046 N	

Nota. Esta figura muestra los aspectos generales de la presente investigación. Tomado de FORP INGENIEROS – CERTIFICAD SAC, en Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021 – Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – Año 2022.

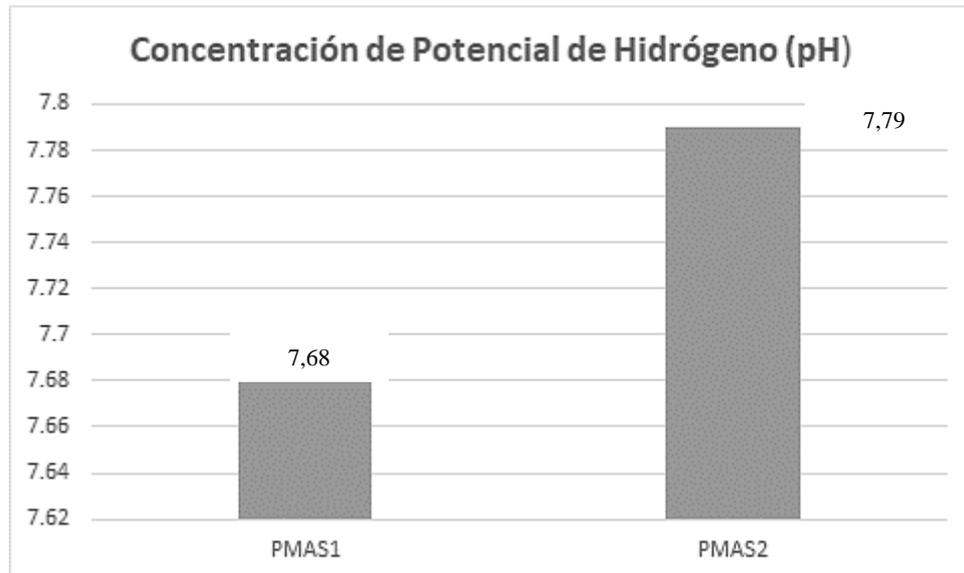
A. Interpretación de Resultados

Dentro de los resultados, tenemos a los siguiente:

a) Resultados de pH.

Figura 8.

Resultados de pH.



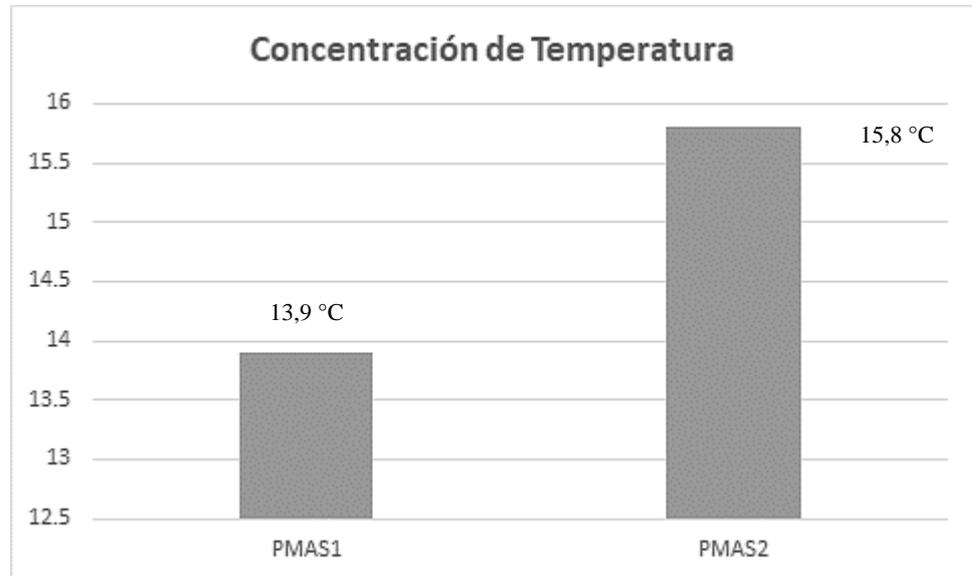
Nota. Esta figura muestra los resultados de pH. Tomado de Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021.

Respecto del potencial de hidrógeno (pH), se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, los valores son equivalentes a 7,68 y 7,79 correspondientemente, por lo que se evidencia una diferencia de 0,11; lo cual involucra que el agua es más básica en la estación de muestreo PMAS2 que en la PMAS1.

b) **Resultados de Temperatura.**

Figura 9.

Resultados de Temperatura.

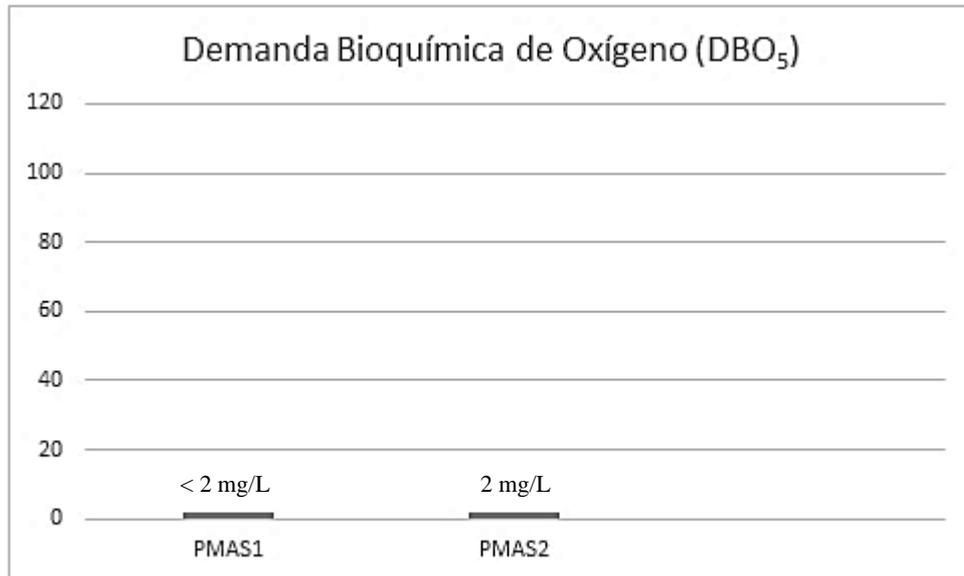


Nota. Esta figura muestra los resultados de la temperatura en las estaciones de muestreo PMAS1 y PMAS2. Tomado de Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021.

Respecto de la temperatura, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, los valores de la concentración del parámetro de temperatura son equivalentes a 13,9 °C y 15,8 °C correspondientemente, evidenciándose que existe una mayor temperatura en la estación de muestreo PMAS2, en un valor superior a 1,9 °C, respecto a la estación PMAS1.

Figura 10.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

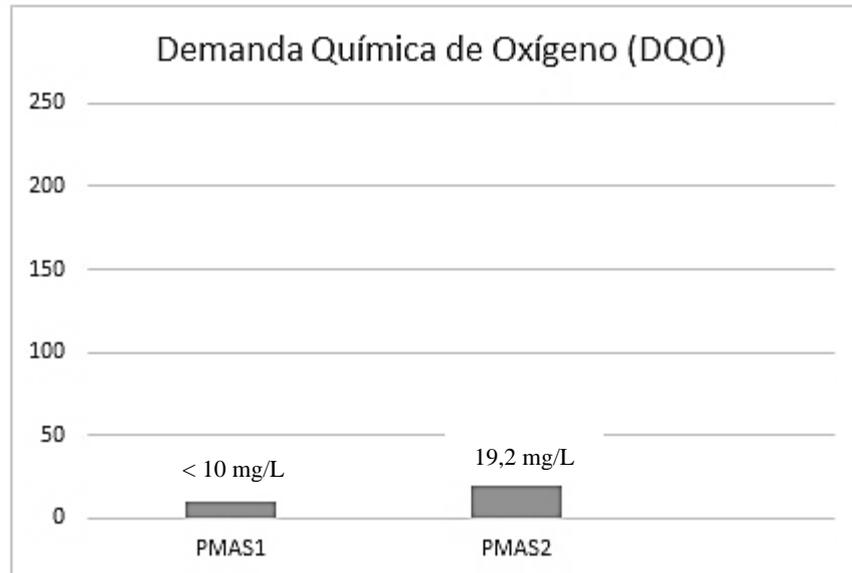


Nota. Esta figura muestra la Demanda Bioquímica de Oxígeno en las estaciones de muestreo PMAS1 y PMAS2. Tomado de Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021

Respecto de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, los valores de la concentración del parámetro de DBO₅, son equivalentes a < 2 y 2 correspondientemente, evidenciándose que existe una mayor DBO₅ en la estación de muestreo PMAS2, respecto a la estación PMAS1.

Figura 11.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

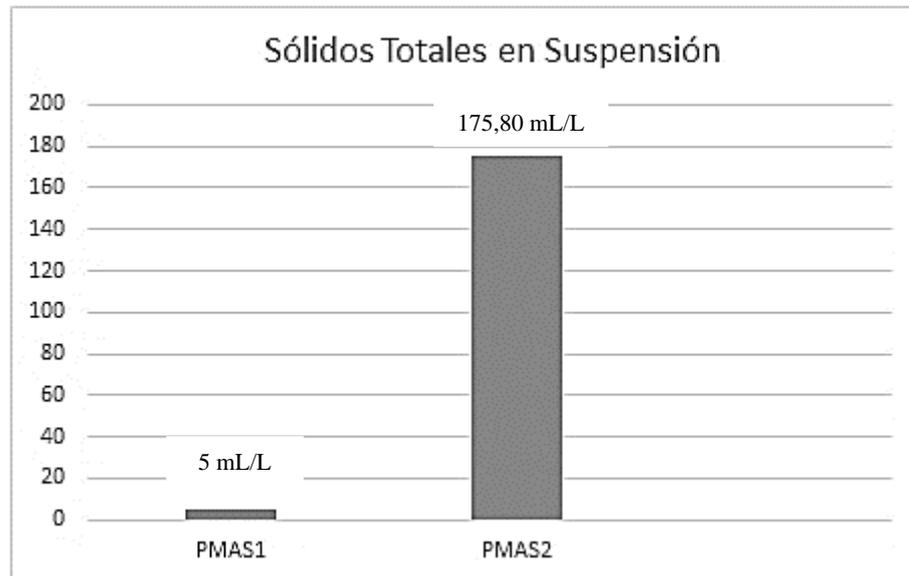


Nota. Esta figura muestra los resultados de la Demanda Química de Oxígeno en las estaciones de muestreo PMAS1 y PMAS2. Tomado de Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021

Respecto de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, los valores de la concentración del parámetro de DQO son equivalentes a <10 mg/L y 19,2 mg/L correspondientemente, evidenciándose que existe una mayor DQO en la estación de muestreo PMAS2, respecto a la estación PMAS1.

Figura 12.

Sólidos Totales en Suspensión

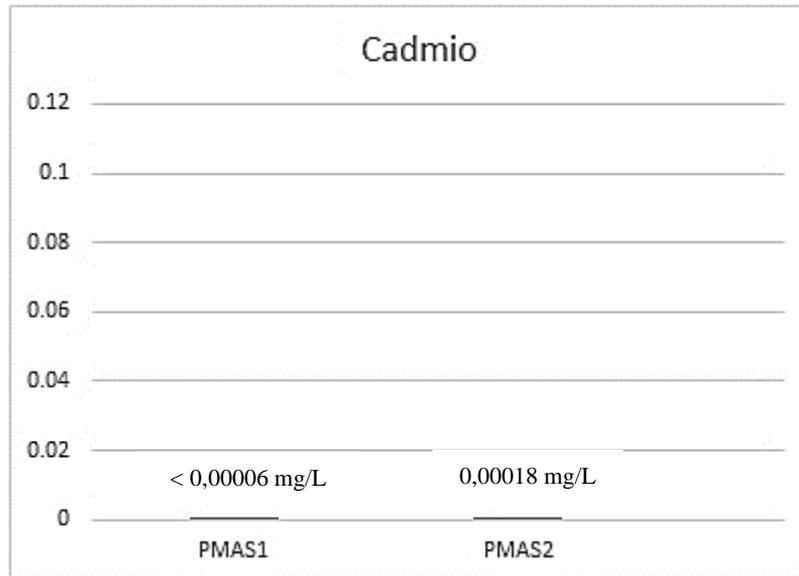


Nota. Esta figura muestra los resultados de los sólidos totales en suspensión en las estaciones de muestreo PMAS1 y PMAS2. Tomado de: Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021

Respecto de los Sólidos Totales en Suspensión, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, los valores de la concentración de dicho parámetro son equivalentes a 5 mL/L y 175,80 mL/L correspondientemente, evidenciándose que existe un mayor porcentaje de sólidos totales en suspensión en la estación de muestreo PMAS2, respecto a la estación PMAS1.

Figura 13.

Concentración Cadmio

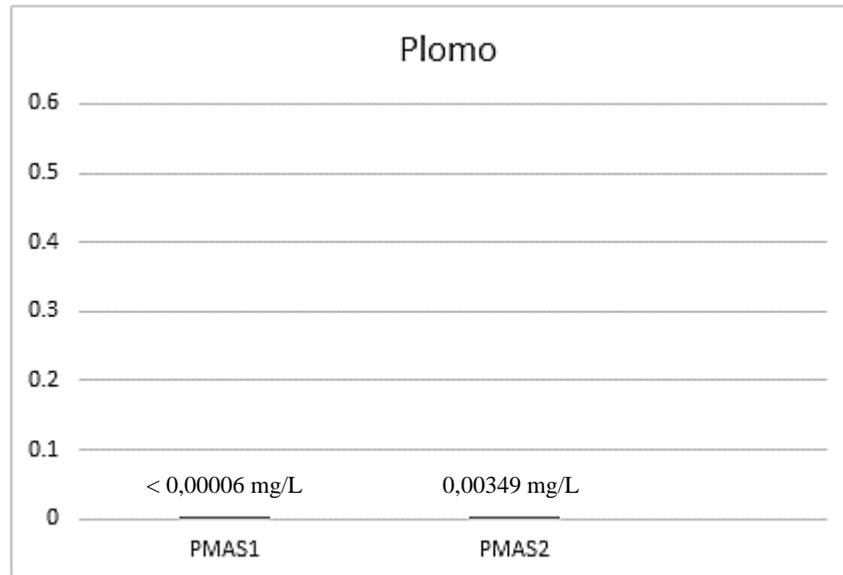


Nota. Esta figura muestra los resultados de la concentración de Cadmio en las estaciones de muestreo PMAS1 y PMAS2. Tomado de Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021

Respecto del Cadmio, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, los valores de la concentración de dicho parámetro son equivalentes a $< 0,00006$ mg/L y 0,00018 mg/L correspondientemente, evidenciándose que existe un mayor porcentaje de Cadmio en la estación de muestreo PMAS2, respecto a la estación PMAS1.

Figura 14.

Concentración de Plomo

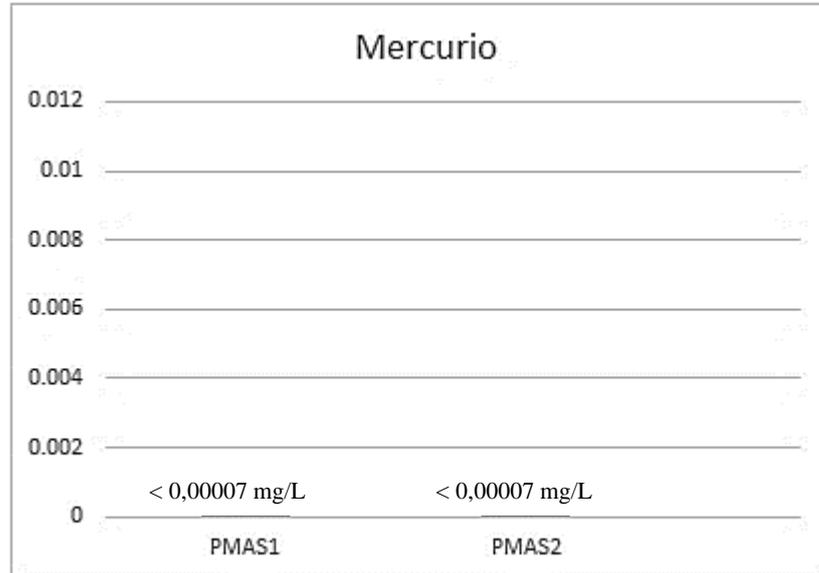


Nota. Esta figura muestra los resultados de la concentración de plomo en las estaciones de muestreo PMAS1 y PMAS2. Tomado de: Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021

Respecto del Plomo, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, los valores de la concentración de dicho parámetro son equivalentes a $< 0,00006$ mg/L y 0,00349 mg/L correspondientemente, evidenciándose que existe un mayor porcentaje de Plomo en la estación de muestreo PMAS2, respecto a la estación PMAS1.

Figura 15.

Concentración de Mercurio

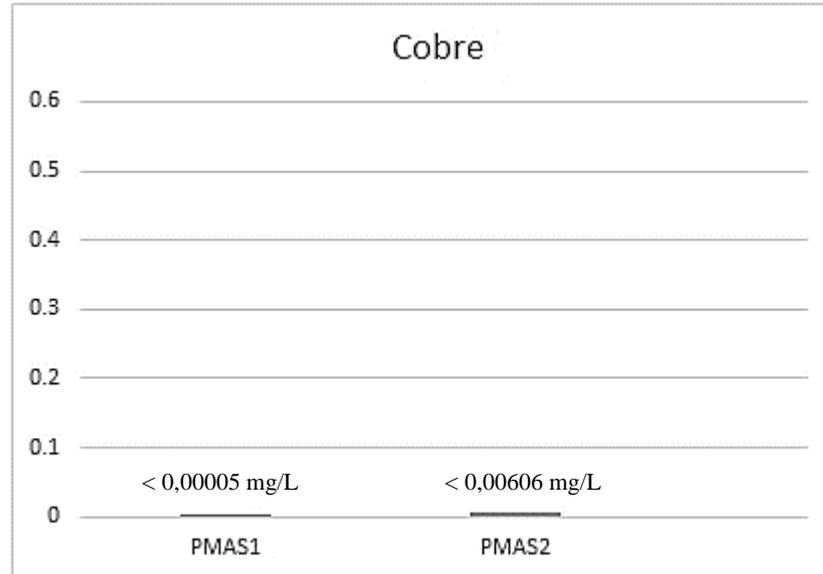


Nota. Esta figura muestra los resultados de la concentración de mercurio en las estaciones de muestreo PMAS1 y PMAS2. Tomado de Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021

Respecto del Mercurio, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, los valores de la concentración de dicho parámetro son equivalentes a $< 0,00007 \text{ mg/L}$ y $< 0,00007 \text{ mg/L}$ correspondientemente, evidenciándose que existe una igualdad de los valores de Mercurio en ambas estaciones de muestreo.

Figura 16.

Concentración de Cobre

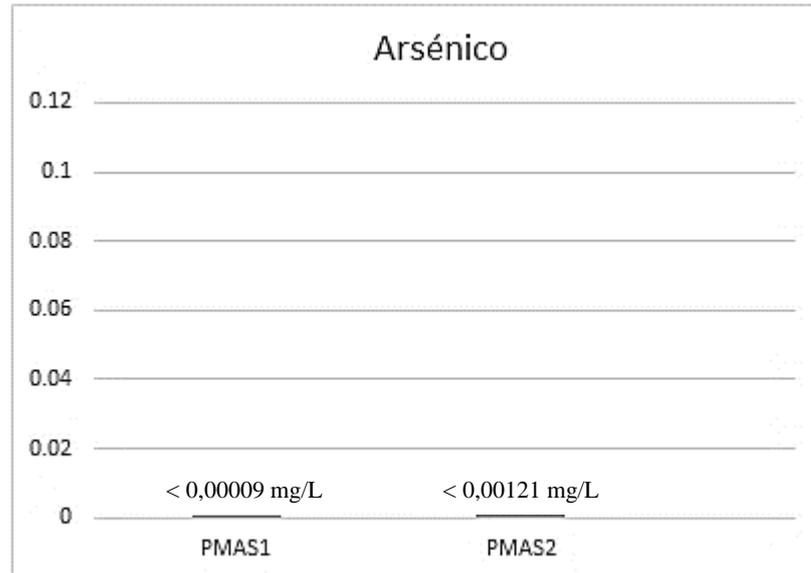


Nota. Esta figura muestra los resultados de la concentración de cobre en las estaciones de muestreo PMAS1 y PMAS2. Tomado de Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021

Respecto del Cobre, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, los valores de la concentración de dicho parámetro son equivalentes a $< 0,00005$ mg/L y $< 0,00606$ mg/L correspondientemente, evidenciándose que existe un mayor porcentaje de Cobre en la estación de muestreo PMAS2, respecto a la estación PMAS1.

Figura 17.

Concentración de Arsénico



Nota. Esta figura muestra los resultados de la concentración de arsénico en las estaciones de muestreo PMAS1 y PMAS2. Tomado de Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021

Respecto del Arsénico, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, los valores de la concentración de dicho parámetro son equivalentes a $< 0,00009$ mg/L y $< 0,00121$ mg/L correspondientemente, evidenciándose que existe un mayor porcentaje de Arsénico en la estación de muestreo PMAS2, respecto a la estación PMAS1.

B. Resultado de Plan de Monitoreo Ambiental

Dentro de algunos de los resultados obtenidos, tenemos:

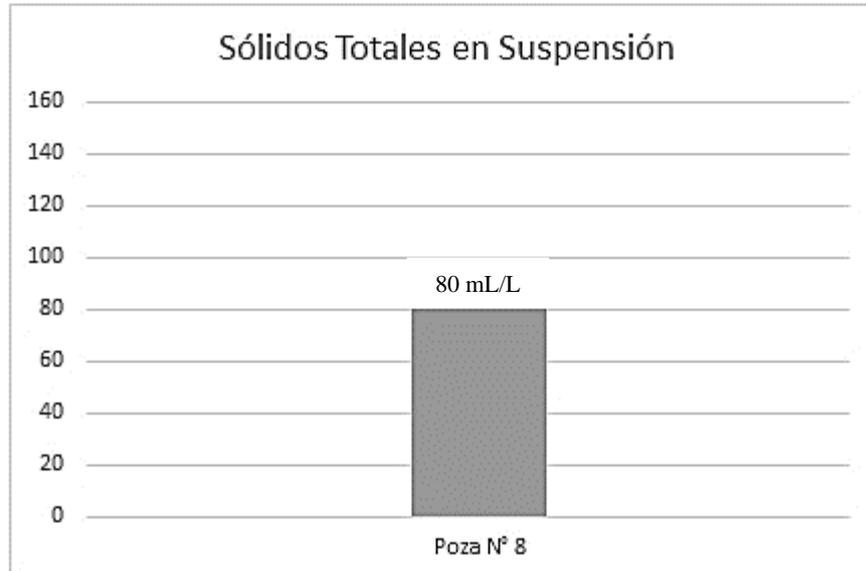
Tabla 7.

Resultados de plan de monitoreo ambiental

Parámetro	Fecha de muestreo:	30-04-2021
	Unidad:	Punto de muestreo: POZA N° 8
Sólidos totales en suspensión	mL/L	80
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	41
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1832,30

Nota. Esta figura muestra los resultados del plan de monitoreo ambiental en la Poza N° 8.

Tomado de FORP INGENIEROS SRL Y D.S. N° 003-2010-MINAM

a) **Sólidos suspendidos totales.****Figura 18.***Sólidos suspendidos totales*

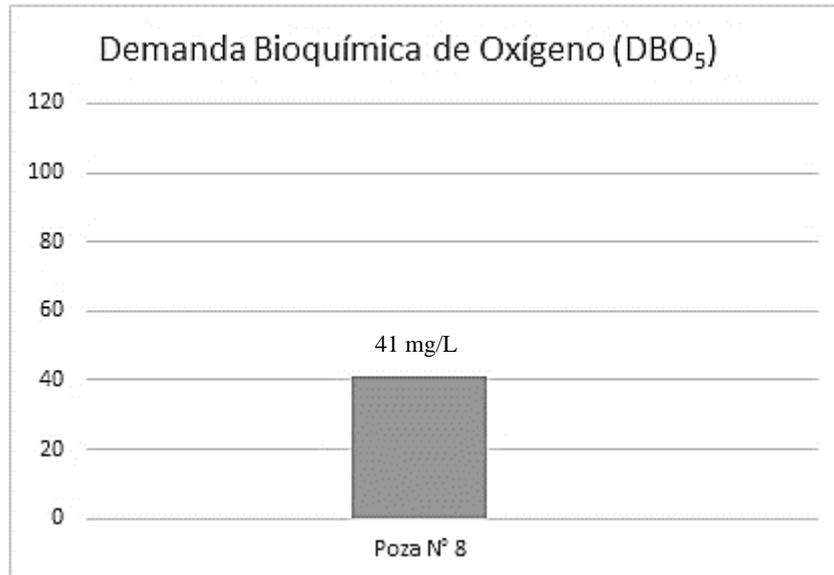
Nota. Esta figura muestra los resultados de los sólidos totales en suspensión en la Poza N° 8. Tomado de Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021.

Respecto a los Sólidos Totales en Suspensión, se observa que en la estación de muestreo de la Poza N° 8, su concentración tiene un valor de 80 mL/L.

b) **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

Figura 19.

Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)



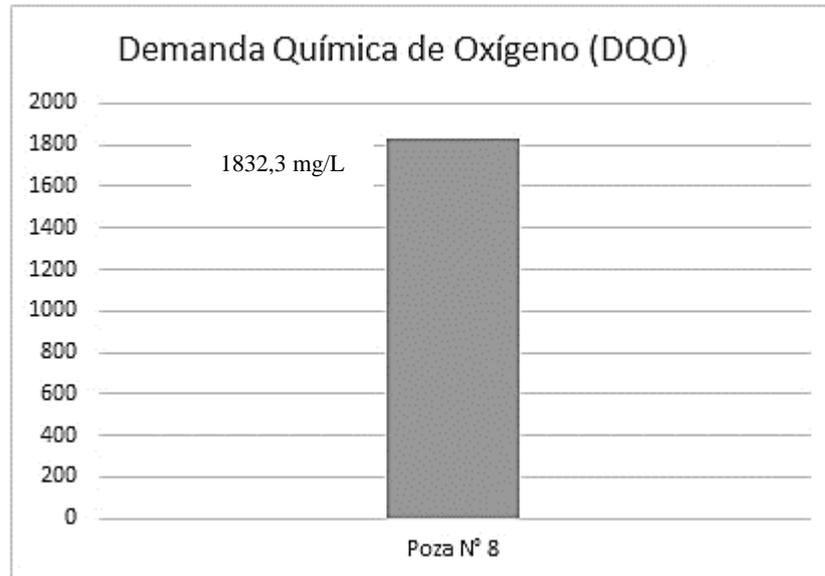
Nota. Esta figura muestra los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Poza N° 8. Tomado de Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021.

Respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), se observa que en la estación de muestreo de la Poza N° 8, su concentración tiene un valor de 41 mg/L.

c) **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Figura 20.

Concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO)



Nota. Esta figura muestra los resultados de la Demanda Química de Oxígeno en la Poza N° 8. Tomado de Subsistema de Disposición Final Segura de Residuos Sólidos Municipales y Biomédicos de la ciudad de Cajamarca – año 2022 – Anexo 06 – Monitoreos Ambientales realizados en el año fiscal 2021.

Respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se observa que en la estación de muestreo de la Poza N° 8, su concentración tiene un valor de 1832,3 mg/L.

C. Respecto al riesgo ambiental:

a) Respecto a la evaluación de la significancia del riesgo:

Tabla 8.

Valoración de la gravedad de las consecuencias.

	Gravedad	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio	Población afectada
Entorno natural	Desborde de las pozas de lixiviación de la planta de tratamiento de aguas residuales.	1	1	2	1	-
	Inundación de las pozas de lixiviación de la planta de tratamiento de aguas residuales.	1	1	2	1	-
	Emisión de sustancias fuera de los límites permitidos.	3	3	1	1	1
Entorno humano	Emisión de efluentes producidos.	2	2	2	1	1
	Emisión de basura en grandes cantidades y de todo tipo.	2	2	2	1	1
	Tratamientos de los lixiviados químicos metales de manera inadecuada.	2	2	2	1	1
	Falta de previsión y planeamiento.	1	2	1	1	1

Nota. Esta figura muestra la valoración del valor de las consecuencias de la contaminación ambiental por factores humanos y naturales. Basado en el Ministerio del Ambiente (2010). Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales. (pp. 28-29) Recuperado de: https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf

Tabla 9.
Estimación de la gravedad de las consecuencias.

	Gravedad	Límites del entorno	Vulnerabilidad
Entorno natural	Desborde de las pozas de lixiviación de la planta de tratamiento de aguas residuales.	6	7
	Inundación de las pozas de lixiviación de la planta de tratamiento de aguas residuales.	6	7
	Emisión de sustancias fuera de los límites permitidos.	10	11
Entorno humano	Emisión de efluentes producidos.	8	9
	Emisión de basura en grandes cantidades y de todo tipo.	8	9
	Tratamientos de los lixiviados químicos metales de manera inadecuada.	8	9
	Falta de previsión y planeamiento.	6	7

Nota. Esta figura muestra la estimación del valor de las consecuencias de la contaminación ambiental por factores humanos y naturales. Basado en el Ministerio del Ambiente (2010). Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales. (p. 27) Recuperado de: https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf

D. Respecto a la valoración del aspecto:

Tabla 10.

Valoración de los escenarios identificados.

	Gravedad	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio	Población afectada
Entorno natural	Desborde de las pozas de lixiviación de la planta de tratamiento de aguas residuales.	No relevante	No relevante	Leve	No relevante	-
	Inundación de las pozas de lixiviación de la planta de tratamiento de aguas residuales.	No relevante	No relevante	Leve	No relevante	-
	Emisión de sustancias fuera de los límites permitidos.	Moderado	Moderado	No relevante	No relevante	No relevante
Entorno humano	Emisión de efluentes producidos.	Leve	Leve	Leve	No relevante	No relevante
	Emisión de basura en grandes cantidades y de todo tipo.	Leve	Leve	Leve	No relevante	No relevante
	Tratamientos de los lixiviados químicos metales de manera inadecuada.	Leve	Leve	Leve	No relevante	No relevante
	Falta de previsión y planeamiento.	No relevante	Leve	No relevante	No relevante	No relevante

Nota. Esta figura muestra la valoración de escenarios identificados de la contaminación ambiental por factores humanos y naturales. Basado en el Ministerio del Ambiente (2010). Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales. (p. 31) Recuperado de: https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf

Tabla 11.
Estimación del riesgo ambiental.

	Descripción	Probabilidad	Consecuencia	Riesgo
Entorno natural	E1: Contaminación de áreas agrícolas.	1	2	2
	E2: Arrastre de aguas contaminadas a áreas agrícolas de las zona.	1	2	2
Entorno humano	E3: Afectación de la calidad del agua, aire y suelo.	2	3	6
	E4: Afectación de la calidad de vida de la población.	2	2	4

Nota. Esta figura muestra la estimación del riesgo ambiental por factores humanos y naturales. Basado en el Ministerio del Ambiente (2010). Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales. (p. 31) Recuperado de: https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf

Tabla 12.
Estimador del riesgo ambiental.

		Consecuencia				
		1	2	3	4	5
Probabilidad	1		E1; E2			
	2		E3	E4		
	3					
	4					
	5					

Nota. Esta figura muestra el estimador del riesgo ambiental por factores humanos y naturales. Basado en el Ministerio del Ambiente (2010). Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales. (p. 32) Recuperado de: https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf

Tabla 13.
Establecimiento del riesgo leve – moderado en la escala de evaluación del riesgo ambiental.

	<i>Valor matricial</i>	<i>Equivalencia porcentual (%)</i>	<i>Promedio (%)</i>
Riesgo significativo	16-25	64 -100	82
Riesgo moderado	6-15	24 - 60	42
Riesgo leve	1-5	1-20	10,5

Nota. Esta figura muestra el establecimiento del riesgo leve – moderado en la escala de evaluación del riesgo ambiental. Basado en el Ministerio del Ambiente (2010). Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales. (p. 33) Recuperado de: https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

DISCUSIÓN

En la presente investigación, se caracterizó de manera fisicoquímica a los lixiviados de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021, identificándose los valores de los lixiviados más comunes que existen; obteniéndose los siguientes resultados: **1)** Respecto de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, la concentración del parámetro de DBO₅ tiene como valores a < 2 mg/L y 2 mg/L correspondientemente; **2)** Respecto de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, la concentración del parámetro de DQO tiene como valores a < 10 mg/L y 19,2 mg/L ; **3)** Respecto de los Sólidos Totales en Suspensión, se observa que en la estación de muestreo de PMAS1, la concentración de este parámetro tiene como valor a 5,00 mL/L; mientras que en la estación de muestreo PMAS2, se evidencia que el valor es equivalente a 175,80 mL/L; **4)** Respecto del Cadmio, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, la concentración de este elemento tiene como valores a < 0,00006 mg/L y 0,00018 mg/L correspondientemente; **5)** Respecto del Plomo, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, la concentración del mismo tiene como valores a <0,00005 mg/L y 0,00349 mg/L correspondientemente; **6)** Respecto del Mercurio, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, la concentración del mismo tiene como valores a <0,00007 mg/L y 0,00007 mg/L correspondientemente; **7)** Respecto del Cobre, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, la concentración de este elemento tiene como valores a <0,00005 mg/L y 0,00606 mg/L correspondientemente; **8)** Respecto del Arsénico, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, la concentración del mismo tiene como valores a <0,00009 mg/L y 0,00121 mg/L correspondientemente. Por otro lado, respecto de los valores de los lixiviados más comunes en la Poza N° 8, se obtuvo los siguientes resultados: **1)** Respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se observa que tiene un

valor de 1832,3 mg/L; **2)** Respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), se observa que tiene un valor de 41 mg/L; **3)** Respecto a los Sólidos Totales en Suspendidos, se observa que tiene un valor de 80 mg/L.

Por otro lado, dentro de las concentraciones más altas de los porcentajes de los lixiviados, se encontraron a los siguientes: **1)** Respecto a los Sólidos Totales en Suspensión, se observa que en las estaciones de muestreo de PMAS1 y PMAS2, los valores de la concentración de dicho parámetro son equivalentes a 5 mg/L y 175,80 mg/L correspondientemente; siendo el valor de la estación de muestreo PMAS2, la que presenta un indicador mucho más alto que al de la estación PMAS1, que, en consecuencia va traer consigo una afectación más alta a la turbidez del agua, un aumento en su temperatura y una disminución del oxígeno disuelto; **2)** Respecto de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), en la Poza N° 8, se evidencia también una excesiva concentración que es equivalente a 1832,30 mg/L; es decir, existe un alto índice de que el material orgánico e inorgánico, tienda a oxidarse mucho más rápido; lo cual implica que existe una mayor contaminación en el agua derivada de los lixiviados de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021; así pues, estos resultados han permitido demostrar que existe un impacto al medio ambiente de manera significativa, y que el riesgo ambiental deviene de leve a moderado; esto es importante, porque se condice con otros estudios, como el de Gonzales García, J. (2018), denominado "*Evaluación del riesgo ambiental que genera la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca debido al manejo de los lixiviados*", donde concluyó que el nivel de riesgo ambiental que genera la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca, debido al mal manejo de los lixiviados, es significativa, y dentro de la carga tóxica muy elevada, se reportó los siguientes parámetros: DQO, con 5622,8 mg O₂/L, que tiene un exceso de 2711,4% de LMP; DBO₅ con 286 mg O₂/L, que tiene un exceso de 186% del LMP; arsénico total en 0,188 mg/L, con un exceso de 88% del LMP, cobre total con 2,432 mg/L, con un exceso de 386,4% del LMP, cromo VI, con 0,733 mg/L, con un exceso de 633% del

LMP, hierro total, con 30,30 mg/L, con un exceso de 1,415% del LMP, etc.; siendo que se evidenció un escenario de peligrosidad en el suelo y el recurso hidrogeológico, debido a la percolación del lixiviado; demostrándonos que es importante entender que debe existir un monitoreo constante en el procedimiento del tratamiento de los lixiviados y sobre todo un control de la procedencia de los mismos, a fin de mitigar el riesgo de contaminación en el medio ambiente; o también tenemos la investigación de Damián (2018), que, en su trabajo denominado "*Eficiencia de la remoción de coliformes totales, termotolerantes, demanda bioquímica y química de oxígeno en la laguna de estabilización del Distrito La Florida, San Miguel, Cajamarca. Noviembre – Diciembre de 2013*", concluyó que la Demanda Química de Oxígeno (DQO), fue en promedio 62589 mg/L, en el afluente y 371,56 mg/L en el efluente de la laguna; y que, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), representó en promedio 390,89 mg/L en el afluente y 288 mg/L en el efluente; asimismo, los coliformes termotolerantes representaron en promedio 42,8 x 10⁶ NMP/100 mL en el afluente y 20,3x 10⁶ NMP/100 mL en el efluente; llegándose a concluir que los parámetros investigados en el efluente: DQO, DBO₅ y coliformes termotolerantes, superan los Límites Máximos Permisibles (LMP), por tanto, no se cumple con lo establecido por el D. S. N° 003-2010-MINAM, para vertidos a cuerpos de agua; demostrándonos que, de no existir un monitoreo de los lixiviados en diferentes momentos, esto, puede generar un impacto ambiental significativo, por lo que es importante controlar el nivel de los mismos (lixiviados).

CONCLUSIONES

- 1) El riesgo ambiental obtenido del análisis del entorno natural y humano, se encuentra representado por un nivel que va de leve a moderado; lo cual evidencia la existencia de un monitoreo y control aceptable en el manejo de los lixiviados de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de Cajamarca.

- 2) Por otro lado, se concluye que al año 2021, algunos indicadores como la Demanda Química de Oxígeno en la Poza N° Ocho y los Sólidos Totales en Suspensión en la estación de muestreo PMAS2, presentan un elevado porcentaje en su concentración (1832,3 mg/L y 175,8 mL/L correspondientemente); lo cual ha generado: **a)** La existencia de una afectación más alta a la turbidez del agua, un aumento en su temperatura y una disminución del oxígeno disuelto; y **b)** Un alto índice de la velocidad de oxidación del material orgánico e inorgánico; que ha generado una mayor contaminación en el agua derivada de los lixiviados.

- 3) Finalmente, se puede concluir, de manera afirmativa la hipótesis, en cuanto los valores de los lixiviados más comunes que existen en los rellenos sanitarios y en específico en la Poza N° Ocho de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021, se encuentran en algunos casos, con una concentración elevada en su porcentaje, lo cual puede ocasionar un riesgo ambiental leve a moderado.

RECOMENDACIONES

- Si bien, en la actualidad se hace uso de un procedimiento de recolección de lixiviados, basado en un sistema de drenaje vertical en el interior de la celda y horizontal en su base; que luego es conducido a una poza impermeabilizada con geo membrana; es importante considerar nuevas tecnologías para incrementar mejorar el tratamiento de los lixiviados producidos; pues recordemos que la población urbana sigue incrementándose y, por tanto, la basura que se genera también lo hace; en ese sentido deberá satisfacerse la demanda y reducir en un menor tiempo el procedimiento a realizarse.
- Deberá realizarse un plan de mejora continua, donde intervenga la población, de tal manera que se permita generar una sensibilización ambiental para la adecuada gestión de todos los residuos sólidos que se usa (desde los peligrosos, hasta los menos dañinos), a fin de que se pueda contener la generación de lixiviados producidos, y se disminuya el trabajo en la planta de tratamiento de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.
- Deberá realizarse un estudio de oferta y demanda, a fin de determinar si la actual planta es capaz de tratar todos los residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca o deberá ampliarse la planta a otros puntos estratégicos de la ciudad, de tal manera que permitan un abastecimiento total y eficiente de los recursos.

REFERENCIAS

- Aranda, P. *et al* (agosto, 2022), en su artículo denominado "*Magnesio*". Recuperado de: <https://www.ugr.es/~ars/abstract/41-91-00.pdf>
- Arrién, A. (setiembre, 2022). *Riesgo ambiental*. Recuperado de: <https://www.teseopress.com/diccionarioagro/chapter/riesgo-ambiental/#:~:text=Se%20entiende%20por%20riesgo%20ambiental,y%20territorios%2C%20pueden%20ocasionar%20desastres>
- Azcona Cruz, M. *et al* (2017). *Efectos tóxicos del manganeso*. Recuperado de: <https://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2017/rmq172d.pdf>
- Buendía Cisneros, Noelia; Calizaya Torre, Karina; Neira Rojas, Enrique (2021). Propuesta metodológica para el muestreo de lixiviados en rellenos sanitarios operativos. Recuperado de: https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/161/GRUPON_12.DOC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Corena Luna, M. d. (2010). *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios*. Obtenido de Universidad de Sucre, Colombia: <http://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/304>
- Cortés Díaz, P. *et al* (2018). *Tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario: propuesta y evaluación de un sistema de humedales artificiales*. Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152920/Tratamiento-de-lixiviados-de-un-relleno-sanitario-Propuesta-y-evaluaci%C3%B3n-de-un-sistema.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Giannuzi, L. (octubre, 2022). *Principios generales de la toxicología*. Recuperado de: https://notablesdelaciencia.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/112476/CONICET_Digital_Nro.01296939-2222-4bed-8c29-87efb277b263_M.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Giraldo, E. (octubre, 2022). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances recientes. *Revista de Ingeniería*, 44-55.
- Gonzales García, J. (2018). *Evaluación del riesgo ambiental que genera la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca debido al manejo de los lixiviados*. Recuperado de: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2238>
- Herrera Delgado, A. & Heredia Quispe, E. (2017). *Determinación de los niveles de concentración de metales pesados en la Cuenca Mashcón – Cajamarca en los meses de Setiembre y Diciembre, 2016*. Recuperado de: <https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/108/3/TESIS%20-%20Det.%20Metales%20Pesados-Cajamarca-2017.pdf>
- Marquéz Alvarado, A. & Granizo Riquetti, M. (2007). "*Análisis de Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, y Zn en el antiguo botadero de El Valle*". Recuperado de: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/126/1/06600.pdf>
- Ministerio del Ambiente (junio, 2022). *Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales*. Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/10/Guia-Impactos.pdf>

- Morales López, Y. (2006). *Caracterización fisicoquímica de los lixiviados de relleno sanitario Bordo Poniente*. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/14609/yolandamorales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mosquipa Chipana, R. (2020). "Determinación de trazas de metales pesados en suelos agrícolas regados con lixiviados de cementerio a partir de comparaciones". Recuperado de: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/63418/Mosquipa_CR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Prieto, J. *et al* (octubre, 202). *Impacto ambiental, el planeta herido*. Recuperado de: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448167155.pdf>
- Sánchez,W. (2019). Evaluación de los lixiviados generados en los botaderos de Carhuashjirca y los impactos ambientales generados en la quebrada Vintojirca-Independencia-HuarazAncash-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
- Sancha Antuña, M. (2013). *Caracterización fisicoquímica y microbiológico de un proceso de tratamiento de lixiviados de vertedero*. Recuperado de: https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/23352/TFM_MelaniaSanchaAntu%C3%B1a.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Tam, J.; Vera, J. y Oliveros, R. (2008). *Tipos, Métodos y Estrategias de Investigación científica*. Recuperado de: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_modela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf
- Torres *et al* (29 de agosto, 2022). *Mitigación de la toxicidad anaerobia de lixiviados mediante mezclas con agua residual doméstica*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n53/n53a06.pdf>
- Valencia *et al* (2017). *Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en su suelo tropical*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v84n203/0012-7353-dyna-84-203-00283.pdf>
- Vidaurre Damian, L. (2018). *Eficiencia de la remoción de coliformes totales, termotolerantes, demanda bioquímica y química de oxígeno en la laguna de estabilización del Distrito La Florida, San Miguel, Cajamarca. Noviembre – Diciembre de 2013*. Recuperado de: <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/6105/BC-TES-TMP-964%20VIDAURRE%20DAMIAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

ANEXO I: MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Caracterización fisicoquímica de los lixiviados, en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de Cajamarca, año 2021”

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Metodología y tipo de investigación	Población y muestra	Técnicas e instrumento de recolección y análisis de datos
<p>Pregunta General</p> <p>¿Cuál es la caracterización fisicoquímica de los lixiviados producidos en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Determinar las características fisicoquímicas de los lixiviados producidos en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar los valores de los lixiviados más comunes que existen en los rellenos sanitarios y en específico en la Poza N° Ocho de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021. 	<p>Hipótesis General</p> <p>Los valores de los lixiviados más comunes que existen en los rellenos sanitarios y en específico en la Poza N° Ocho de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021, se encuentran en algunos casos, con una concentración elevada en su porcentaje, lo cual puede ocasionar un riesgo ambiental leve a moderado.</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Los lixiviados producidos por metales más comunes son: el cadmio, el plomo, el mercurio, el cobre y el arsénico. ▪ Los valores de los lixiviados producidos por metales como el cadmio, el plomo, el mercurio, el cobre y el arsénico, presentan una 	<p>La presente investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Es descriptiva, porque se buscó recolectar y describir las características, circunstancias y datos obtenidos de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, año 2021, respecto de los lixiviados producidos. ▪ Es aplicada, pues busca dar a conocer fenómenos que están ocurriendo, dentro de nuestro ámbito de estudio. (Tam <i>et al</i>, 2008, p. 146). Así pues, se concluye que la finalidad de la presente investigación es dar a conocer acontecimiento 	<p>La población</p> <p>estuvo constituida por las pozas de lixiviación que tiene la planta de tratamiento de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.</p> <p>La muestra</p> <p>de los lixiviados se obtuvo directamente de una sola poza, para ser específicos de la Poza N° 8 de la planta de tratamiento de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.</p>	<p>Para la técnica de recolección de datos se ha considerado a la siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis documental: Consistió en reunir documentales, provenientes de la planta de tratamiento de los residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, para el año 2021, y bajo la debida autorización; a fin de contar con sustento para el estudio de valorización de los lixiviados por DBOs, DBQ, sólidos suspendidos, y algunos metales, y determinar si estos presentan alta concentración en su porcentaje. - Observación: Consistió en la visita a la planta de tratamiento de residuos sólidos, para evidenciar si las condiciones, características y

estudio de
campo,
realizado ya por
la
Municipalidad
Provincial de
Cajamarca, en
un periodo
determinado.

Nota. Fuente: *Elaboración Propia.*

ANEXO II: REGISTRO FOTOGRÁFICO

ANEXO A: VISITA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO



ANEXO B: VISITA DE LA VÍA PRINCIPAL A LAS CELDA DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS:



ANEXO C: VISITA DE LETREROS DE SEÑALIZACIÓN



ANEXO D: VISITA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CELDA DE DISPOSICIÓN FINAL, ANTES DE SER CONFORMADOS Y COMPACTADOS



ANEXO E: VISITA DE LA CELDA DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEBIDAMENTE COMPACTADOS Y COBERTURADOS CON TIERRA



ANEXO F: VISITA DE LA CELDA DE RESIDUOS BIOMEDICOS



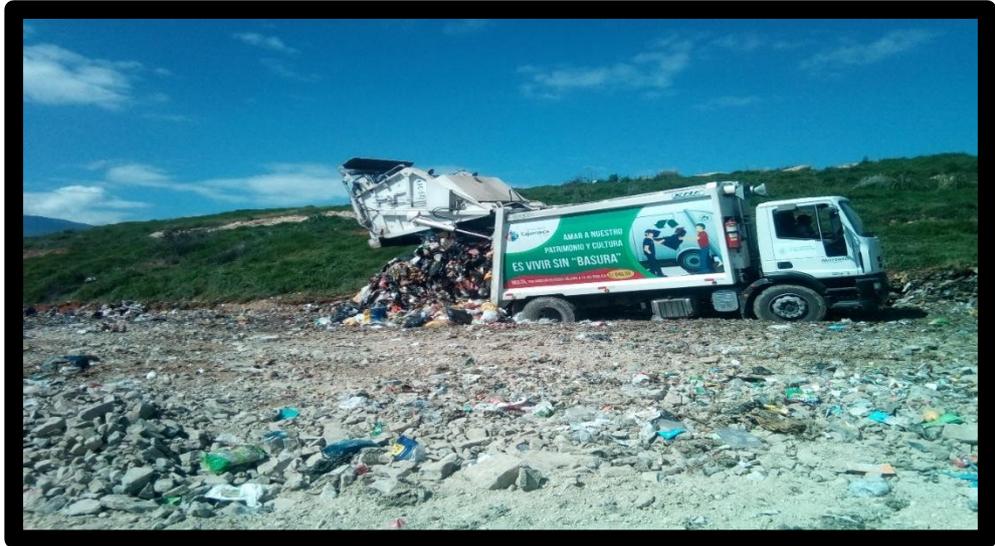
ANEXO G: VISITA DE BARRERAS SANITARIAS



ANEXO H: CIRCULACIÓN DE LIXIVIADOS



ANEXO I: RECIRCULACIÓN, MANEJO Y CONTROL DE LIXIVIADOS



ANEXO J: CONSTRUCCIÓN DE POZA DE SUCCIÓN DE LIXIVIADOS

