



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

**DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES FÍSICOS QUÍMICOS EN LA
FUENTE DE AGUA IMPACTADA POR LOS LIXIVIADOS DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS EN EL BOTADERO DE CHILLA JULIACA**

PRESENTADA POR:

MARTHA ELIZABETH APARICIO SAAVEDRA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2021



DEDICATORIA

A mis padres y hermanos que están en el cielo.

*Y mi querida bebé que eres mi mano derecha, con tu
aliento sigo adelante, eres la motivación más grande
para concluir este desafío.*

¡Gracias Paola!



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de Posgrado, Doctorado en Ciencia.

Tecnología y Medio Ambiente, mi alma mater, por darme la oportunidad de acrecentar mis conocimientos.

A los miembros del jurado por su apoyo y asesoramiento

PhD Sabino Atencio Limache

Dr. Bernabé Canqui Flores

Dr. Nicanor Miguel Bravo Choque

Dr. Reynaldo Paredes Quispe



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Composición de los lixiviados originados por los residuos sólidos municipales	3
1.1.2 Edad del relleno sanitario según el factor lixiviado	5
1.1.3 Lixiviado	5
1.1.4 Aspectos físicos y químicos del lixiviado	6
1.1.5 Clasificación del lixiviado	9
1.1.6 Manejo y control del lixiviado producido por residuos sólidos	10
1.1.7 Impactos de los lixiviados	11
1.1.8 Métodos para tratamiento de lixiviados	11
1.1.9 Recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos	12
1.1.10 Alcances normativos	13
1.2 Antecedentes	13
1.2.1 Parámetros Físico químicos de los lixiviados de residuos sólidos municipales	13
1.2.2 Relación de la edad de los botaderos con los lixiviados de residuos sólidos.	16
1.2.3 Presencia del lixiviado de residuos sólidos de rellenos sanitarios en aguas naturales, subterráneas y suelos	17
1.2.4 Producción del lixiviado de residuos sólidos en los botaderos	18
1.2.5 Tecnologías para el tratamiento de lixiviados en un relleno sanitario	19

1.2.6 Alternativas para el cierre de áreas degradadas por residuos solidos	20
--	----

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema	21
2.2 Enunciados del problema	22
2.3 Justificación	23
2.4 Objetivos	23
2.4.1 Objetivo general	23
2.4.2 Objetivos específicos	23
2.5. Hipótesis	24
2.5.1. Hipótesis general	24
2.5.2. Hipótesis específicas	24

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio	25
3.2 Población	26
3.3 Muestra	27
3.4 Métodos de la investigación	31
3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	31
3.5.1 Variables analizadas	31
3.5.2 Metodología por objetivo 1: Analizar los factores físicos químicos (pH, DQO, DBO, Alcalinidad, Sólidos totales suspendidos, Nitratos, Metales pesados) en la fuente de agua impactada por los lixiviados de los residuos sólidos en el Botadero de Chilla – Juliaca.	31
3.5.3 Metodología por objetivo 2: Formular una propuesta para el control del lixiviado producido de los residuos sólidos en el Botadero de Chilla – Juliaca	41

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Los factores físicos químicos (pH, DQO, DBO, alcalinidad, sólidos totales suspendidos, nitratos, metales pesados) en la fuente de agua impactada por el lixiviado de los residuos sólidos del Botadero de Chilla – Juliaca.	42
4.1.1 Análisis del Primer punto (AGU-01-CHILLA) de monitoreo del agua impactada por el lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla- Juliaca, 2018.	42



4.1.2	Análisis del Segundo (AGU-02-CHILLA) y tercer punto (AGU-03-CHILLA) del monitoreo del agua impactada por el lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla- Juliaca, 2018.	44
4.1.3	Análisis del Cuarto punto de monitoreo (AGU-04-CHILLA) del lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla- Juliaca, 2018.	46
4.2	Correlación entre los factores físicos químicos en los cuatro puntos de monitoreo del botadero de residuos sólidos de Chilla	48
4.3	Comparación de promedios de los parámetros físicos químicos entre los cuatro puntos de monitoreo del botadero de chilla	49
4.4	Análisis de promedios de los parámetros pH, DBO, DQO y STS en el Botadero de Chilla respecto al LMP	50
4.4.1	Concentración del potencial hidrogeno (pH)	50
4.4.2	Relación de DBO y DQO	51
4.4.3	Concentración de Sólidos Totales Suspendidos	52
4.5	Análisis de la concentración promedio en metales del Botadero de Chilla respecto al LMP	53
4.5.1	Concentración de metales	53
4.5.2	Concentración del Mercurio	54
4.5.3	Concentración del Arsénico	55
4.5.4	Concentración del Cadmio	55
4.5.5	Concentración del Cromo	56
4.5.6	Concentración de Cobre	57
4.5.7	Concentración de Hierro	57
4.5.8	Concentración de Plomo	58
4.5.9	Concentración de Zinc	58
4.6	Propuesta para el control del lixiviado producido de los residuos sólidos en el Botadero de Chilla – Juliaca.	60
	CONCLUSIONES	66
	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA	68
	ANEXOS	76

Puno, 09 de setiembre de 2021

ÁREA: Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

TEMA: Determinación de los factores físicos químicos en la fuente de agua impactada por los lixiviados de los residuos sólidos en el botadero de Chilla Juliaca

LÍNEA: Recursos naturales y medio ambiente

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Características del lixiviado según la edad de los rellenos sanitarios	5
2. Componentes típicos del lixiviado de los rellenos sanitarios	7
3. Clase de lixiviado de residuos sólidos según sus características	10
4. Identificación de los puntos de monitoreo e información general del área de estudio Botadero de Chilla	29
5. Primer punto de monitoreo del agua impactada por el lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla – Juliaca, 2018	43
6. Segundo punto de monitoreo del agua impactada por el lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla – Juliaca, año 2018	44
7. Tercer punto monitoreo del agua impactada por el lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla – Juliaca, año 2018	45
8. Cuarto punto de monitoreo del lixiviado del Botadero Chilla – Juliaca, año 2018	46
9. Correlación de Pearson entre parámetros fisicoquímicos del monitoreo en el Botadero de residuos sólidos de Chilla -Juliaca	48
10. Promedio de los parámetros en muestreos del monitoreo en el Botadero de Chilla-Juliaca	49
11. Promedios de los parámetros pH, DBO, DQO, STS en los 4 puntos de monitoreo del Botadero de Chilla respecto al LMP	50
12. Promedios de los Metales (Hg, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) en los 4 puntos de monitoreo del Botadero de Chilla respecto al LMP	54
13. Resultados del ANOVA con Diseño Irrestricto al Azar de los parámetros en estudio	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Plano Geográfico de ubicación del Botadero de Chilla	26
2. Vista Panorámica del área botadero de Chilla.	26
3. Abandono de residuos sólidos.	26
4. Dispersión de agua con Lixiviado.	27
5. Discurrimiento del lixiviado.	27
6. Colindancia con PTAR de Juliaca.	27
7. Cercanía al Centro Poblado de Chilla.	27
8. Área de estudio Botadero de RRSS-Chilla	28
9. Puntos de monitoreo del agua con lixiviado (AGU-01-CHILLA, AGU-02-CHILLA y AGU-03-CHILLA); monitoreo de lixiviado (AGU-04-CHILLA) en el ámbito del Botadero de residuos sólidos de Chilla	30
10. Tubería de discurrimiento del lixiviado de residuos sólidos ubicada en el centro del área degradada de Chilla	30
11. Rotulando los frascos.	34
12. Toma de muestra (agua con lixiviado)	34
13. Vaciando muestra a frascos.	34
14. Muestra de lixiviado (AGU-4-CHILLA)	34
15. Acondicionando material de monitoreo	35
16. Trasladando el Cooler	35
17. Concentración de DBO de los cuatro puntos de monitoreo.	52
18. Resultados de la concentración de DQO de los cuatro puntos de monitoreo.	52
19. Resultados de la concentración de sólidos totales suspendidos de los cuatro puntos de monitoreo.	53
20. Resultados de la concentración de mercurio de los cuatro puntos de monitoreo.	55
21. Resultados de la concentración de arsénico de los cuatro puntos de monitoreo.	55
22. Resultados de la concentración de cadmio de los cuatro puntos de muestreo.	56



23. Resultados de la concentración de cromo de los cuatro puntos de monitoreo.	56
24. Resultados de la concentración de cobre de los cuatro puntos de monitoreo.	57
25. Resultados de la concentración de hierro de los cuatro puntos de monitoreo	58
26. Resultados de la concentración de plomo de los cuatro puntos de monitoreo.	58
27. Resultados de la concentración de zinc de los cuatro puntos de monitoreo.	59



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Información recopilada	77
2. Informe de tablas de ensayo 52427/2018 – 52452/2018	78



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ANA	: Autoridad Nacional del Agua
pH	: Potencial de hidrógeno
DQO	: Demanda química de oxígeno
DBO	: Demanda bioquímica del oxígeno
SST	: Solidos suspendidos totales
Hg	: Mercurio
Fe	: Hierro
Zn	: Zinc
As	: Arsénico
Cd	: Cadmio
Cu	: Cromo
Cu	: Cobre
Pb	: Plomo
g/L	: gramo por litro
mg/L	: miligramo por litro
RSU	: Residuos sólidos urbanos
AGV	: Ácidos grasos volátiles
D.S	: Decreto supremo
ICL	: Índice de contaminación de lixiviado
LPI	: Índice de contaminación
EPA	: Environmental Protection Agency.
LMP	: Límites máximos permisibles
mg	: Miligramo
mg/Kg.	: Miligramo por kilogramo
MINAM:	Ministerio del ambiente
°C	: Grados Celsius
OEFA	: Organismo de evaluación y fiscalización ambiental
OMS	: Organización mundial de la salud)
UTM	: Universal terminator marcator

RESUMEN

Se determinó los factores físico químicos en la fuente de agua impactada por lixiviados procedente del Botadero de residuos sólidos de Chilla- Juliaca-Perú, por las implicancias y riesgo para la salud de los pobladores y ecosistema del ámbito de influencia. Los objetivos específicos fueron: Analizar los factores físicos químicos (pH, DQO, DBO, Alcalinidad, Sólidos totales suspendidos, Nitratos, Metales pesados) en la fuente de agua impactada por los lixiviados de los residuos sólidos en el Botadero de Chilla – Juliaca. Para la investigación se tomó muestras de agua con lixiviados en cuatro puntos de monitoreo con dos repeticiones; los resultados de los parámetros fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles: un pH de 7.5, el DBO, DQO, SST exceden al LMP, mientras el Hg está por debajo del LMP (0.1) mientras el As (4.1); Cu (1.044); Fe (305.05); Zn (8.8755) en el primer punto exceden al LMP (0.1); mediante la Correlación de Pearson se tiene una correlación entre el DQO y DBO con 0.998, seguidos de Hg y DBO con 0.997, Hg y DQO con 1.000, As y DBO con 0.999, As y DQO con 0.999, As y Hg con 0.999, Zn y DBO con 1.000, Zn y DQO con 0.999, Zn y Hg con 0.999 finalmente Zn y As con 1.000, entonces existe una correlación positiva; mediante el Diseño Irrestricto al Azar se registró diferencia significativa entre los puntos de monitoreo. Finalmente, a la presencia del lixiviado se propone la construcción de un pozo de extracción para recirculación del mismo lixiviado.

Palabras clave: Botadero Chilla, contaminación, lixiviado, residuos sólidos, pozo de extracción, recirculación.

ABSTRACT

The physical and chemical factors in the water source impacted by leachate from the Chilla - Juliaca - Peru solid waste landfill were determined, due to the implications and risk to the health of the inhabitants and the ecosystem in the area of influence. The specific objectives were: To analyze the physical and chemical factors (pH, COD, BOD, alkalinity, total suspended solids, nitrates, heavy metals) in the water source impacted by leachates from solid waste at the Chilla - Juliaca landfill. The results of the parameters were compared with the Maximum Permissible Limits: a pH of 7.5, BOD, COD, TSS exceed the MPL, while Hg is below the MPL (0.1) and As (4.1); Cu (1.044); Fe (305.05); Zn (8.8755) in the first point exceed the MPL (0.1). 1); likewise through Pearson's Correlation we have a correlation between COD and BOD with 0.998, followed by Hg and BOD with 0.997, Hg and COD with 1.000, As and BOD with 0.999, As and COD with 0.999, As and Hg with 0.999, Zn and BOD with 1.000, Zn and COD with 0.999, Zn and Hg with 0.999 finally Zn and As with 1.000, meaning a positive correlation; also by means of the Random Irrestricted Design a significant difference was registered between the values obtained and the monitoring points. Finally, in the presence of leachate, the construction of an extraction well is proposed to generate its recirculation.

Keywords: Contamination, Chilla dump, extraction, recirculation, solid waste, well leachate.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico, ha conllevado a la producción de grandes volúmenes de residuos municipales dispuestos en lugares inapropiados, en consecuencia, la producción de contaminantes.

La disposición final, etapa en la gestión de los residuos sólidos municipales que representa un desafío cada vez más complejo y creciente a nivel mundial. No obstante, a pesar de destinar mayores presupuestos, es insuficiente la inversión oportuna en reducir la generación de residuos sólidos, evitar la contaminación de suelos, ríos y mares por su inadecuada disposición, más aún en las ciudades y centros poblados subsiste el amontonamiento de residuos sólidos en sitios no apropiados, que no tienen autorización y ponen en riesgo la calidad ambiental, fundamentalmente aguas subterráneas y medio acuático, por la presencia del lixiviado, contaminante conceptualizado como efluente líquido resultante de los productos de degradación del residuo constituido principalmente por materia orgánica, nitrógeno amoniacal, también la percolación del agua de lluvia que pasa través de los residuos sólidos depositados en los botaderos . De este modo las particularidades del mismo dependen primordialmente de las particularidades del residuo depositado, del aspecto meteorológico (precipitaciones, vientos, humedad), estructura edáfica, y tiempo de funcionamiento del botadero y/o relleno sanitario que define la edad del lixiviado.

Es preciso señalar que el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), reporta que el departamento Puno existe 111 botaderos, dentro de ellos menciona al Botadero de Chilla de la ciudad de Juliaca. Considerando que en los últimos años se ha incrementado la población y actividad económica, en consecuencia, el aumento de residuos sólidos; originando el colapso del Botadero Municipal de Chilla provocando a su vez conflictos socio ambientales por la emanación de olores desagradables, producción del lixiviado, que afectan el suelo, aguas subterráneas y salud de la población.

Con esta investigación se determina los factores físicos químicos de mayor contaminación en la fuente de agua impactada por el lixiviado y la propuesta del manejo del lixiviado generado por los residuos sólidos en el Botadero de Chilla-Juliaca

La estructura de la investigación es como sigue, en el capítulo I: Revisión de literatura, que abarca el marco teórico y antecedentes de estudios respecto a residuos sólidos,



lixiviados, factores físico-químicos, contaminación ambiental, alternativas para el manejo de lixiviados, propuestas para el manejo de lixiviados de residuos sólidos en botaderos. En el capítulo II: Planteamiento del problema, a partir de la identificación, enunciados, justificación, objetivos e hipótesis respecto a la caracterización físico-químico y propuesta de habilitación de Chilla – Juliaca. En el capítulo III: Materiales y métodos, describe la metodología, así como la zona de estudio, método, diseño, tipo y nivel de investigación. En el capítulo IV: Resultados y Discusión, presenta información de caracterización físico-química mediante la prueba de Correlación de Pearson, Promedios, Diseño Irrestricto al Azar, propuesta de manejo de lixiviados obtenidos del proceso de investigación y la prueba de hipótesis correspondiente, polemizando con diversos autores. El informe de investigación finaliza con las conclusiones, recomendaciones, seguido por los correspondientes apartados para la bibliografía y los anexos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Composición de los lixiviados originados por los residuos sólidos municipales

a. Residuos sólidos

El Perú, actualizó el año 2016 la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, conceptualizando a los residuos sólidos como cualquier material, objeto, compuesto resultante del uso o consumo de un bien o residuos por la actividad que desarrolla, del cual su productor o generador desea deshacerse o tenga el objetivo u necesidad de eliminar, para priorizar su valorización y, en último caso realizar su disposición final en contenedores. Los residuos se clasifican en: Residuos Sólidos Municipales originados en domicilios y espacios públicos, también incluye a aquellos producidos por los servicios de limpieza pública y los Residuos Sólidos No Municipales: los generados en el desarrollo de actividades extractivas, productivas y de servicio (MINAM-Perú, 2017).

b. Composición y características de los residuos sólidos

La composición de los residuos sólidos municipales varía entre ciudades, regiones y países, sin embargo mantienen un alto porcentaje del componente orgánico, aproximadamente entre el 50 - 70 %, de este porcentaje aproximadamente el 25% está constituido por papel, metales, textiles y otros (Graziani, 2018). Las particularidades físicas, mecánicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos varían según la fuente y la tipología, es posible clasificarlos por una multitud de criterios en función: de sus potenciales efectos (peligrosos e inertes); estado físico (sólidos, líquidos y gaseosos); por la fracción de material que contengan (vidrio, papel, envases, etc.); o la naturaleza

de su origen (urbanos, industriales, mineros, hospitalarios, de construcción y demolición, agrícolas, ganaderos o forestales) (Artaraz *et al.*, 2012).

Así pues la naturaleza de los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario afectarán la producción de gas y composición del lixiviado, mientras el contenido de humedad puede variar en un rango muy amplio, por la influencia de la estación del año y las condiciones climáticas; asimismo es importante la densidad para calcular la cantidad total de residuos que se puede depositar en vertederos, la distribución del tamaño de la partícula, la capacidad de campo y el valor calorífico (Cerminara y Cossu, 2018).

c. Disposición final

Desde hace muchos años, la eliminación de residuos sólidos se realizaba en lugares al aire libre, como una práctica normal para los municipios; y en pueblos por lo común en un área baja y cercana a las corrientes de agua originando contaminación, la presencia de olores desagradables, ratas, moscas y papeles arrastrados por el viento, en vista de estos aspectos; consideraron el entierro de los residuos para reducir estos problemas, no obstante la mejora más importante la consiguieron apisonando los residuos y ser cubiertos con capas de tierra al final de la actividad de cada día (Glynn y Heinke 2013) estos sitios no cuentan con un cubierta impermeable o sistemas de ingeniería que eviten la movilización de contaminantes hacia el napa freática, que pueden contaminar el suelo, el manto freático, y se traduce en un riesgo de afectación a los sistemas naturales y finalmente por vía indirecta, a la salud humana (Kiss y Aguilar, 2006) también la disposición final es el aspecto más débil del ciclo del manejo de residuos municipales y esto resulta una vía del deterioro ambiental que afectan directamente las fuentes hídricas (ríos, lagunas, aguas subterráneas); la calidad del aire y, en ocasiones, a centros poblados cercanos (Bernache, 2012) para tal efecto la disposición de residuos sólidos en el botadero constituye un grave problema ambiental (Bau *et al.*, 2017) por último el paisaje alrededor de los sitios de disposición final sin control adecuado existe un impacto negativo que afecta no sólo al hombre que vive en la zona, sino también influye en los aspectos socio-económicos de la región (Madera-Parra, 2016).

1.1.2 Edad del relleno sanitario según el factor lixiviado

Además de presentar cantidades elevadas de la fracción orgánica, sales orgánicas e inorgánicas, metales pesados, nitrógeno, y otros elementos químicos solubilizados, también es importante el aspecto meteorológico del lugar, el modo de operación, y el período de vida útil del relleno que determinaran la edad del lixiviado afirman que, al cierre de un vertedero, continua la producción del lixiviado que podría durar de 30 a 50 años (Renou *et al.*, 2008; Castrillón *et al.*, 2008).

Tabla 1

Características del lixiviado según la edad de los rellenos sanitarios

Características	Edad de relleno sanitario		
	Joven	Intermedio	Viejo
Edad	<5	5-10	>10
pH	6.5	6.5-7.5	>7.5
COD (mg/l ⁻¹)	>10,000	4,000-10,000	<4,000
DBO ₅ /COD	>0.3	0.1-0.3	<0.1
Compuestos orgánicos	80%	5-30%	Ácido fúlvico y húmico
Metales pesados	Bajo-medio		Leve
Biodegradabilidad	Importante	Medio	Leve

Fuente: (Renou *et al.*, 2008).

1.1.3 Lixiviado

Es el resultado de la mezcla de los residuos, compuesto por sustancias de origen orgánica e inorgánica, dependiendo de la cantidad, composición que es difícil de establecer en el producto denominado lixiviado y clasificación de acuerdo al tiempo (Martinez *et al.*, 2014), líquido que se forma por la desintegración de los residuos más el agua que se filtra a través de ellos en el botadero, considerado muy tóxico; que origina daños al medio ambiente, de la misma manera la eliminación del lixiviado sin tratamiento puede ser una fuente de peligro importante para los cuerpos de aguas cerradas (Amirian *et al.*, 2017), suele presentar una alta demanda química y bioquímica de oxígeno y, por lo común a veces contiene amonio, metales pesados, en tanto la calidad del lixiviado cambia gradualmente por la composición de los residuos, con olores desagradables; eventualmente estos contaminantes son transportados a través del lixiviado dispersándose en el agua de diversas fuentes hídricas, y una parte puede ser adsorbido por los sedimentos y contaminar el agua subterránea, así mismo una acumulación en los organismos vivos y comunidades circundantes; con la posibilidad de originar rutas del lixiviado afectando al ambiente y población humana (Piñeiro, 1994), de otro lado es uno de los peligros ambientales más graves asociados

a los botaderos, especialmente aquellos que carecen de revestimiento y sin control (Hussein *et al.*, 2019).

La composición del lixiviado de los rellenos es muy variable y heterogénea; generalmente contiene una alta concentración de material orgánico disuelto (ácidos grasos volátiles y compuestos orgánicos refractarios, como ácidos húmicos y fúlvicos); macrocomponentes inorgánicos que incluyen nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+), sodio (Na^+), potasio (K^+), cloruro (Cl^-), calcio (Ca_2^+), magnesio (Mg_2^+), sulfato (SO_4^{2-}), ión bicarbonato (HCO_3^-), hierro (Fe_2^+), manganeso (Mn_2^+), metales pesados como plomo (Pb_2^+), cobre (Cu_2^+) y zinc (Zn_2^+), cadmio (Cd_2^+), níquel (Ni_2^+) cromo (Cr_3^+), y compuestos orgánicos xenobióticos (por ejemplo, pesticidas, fenoles, hidrocarburos aromáticos y (Schiopu y Gavrilescu, 2010).

La producción del lixiviado de los residuos en un botadero varía ampliamente por las sucesivas fases: la primera fase (joven), normalmente es corta, caracterizada por la degradación aeróbica de la materia orgánica. cuando se agota el oxígeno, y la degradación continúa anaeróbicamente que consta de dos fases: fermentación, y la acidógena que produce lixiviados biodegradables “jóvenes” y la fase metanogénica, que genera lixiviados estabilizados “viejos” (Welander, 1998), durante la fermentación, las moléculas orgánicas se descomponen en sustancias más simples por el proceso de producción de energía, al mismo tiempo algunas características físico-químicas son típicas de cada fase, mientras que otros parámetros no son específicamente de fase dependiente, cabe aclarar que el lixiviado “joven” de la fase acidógena temprana contiene grandes cantidades de materia orgánica fácilmente biodegradable, mientras que los compuestos orgánicos complejos se fermentan anaeróbicamente, produciendo principalmente ácidos orgánicos solubles como ácidos grasos volátiles libres (AGV), aminoácidos, otros componentes de bajo peso molecular y gases: H_2 y CO_2 (Harmsen, 1983), se debe agregar que el lixiviado "viejo" de la fase metanogénica se caracteriza por la menor concentración de AGV (Adhikari y Nath, 2015).

1.1.4 Aspectos físicos y químicos del lixiviado

El lixiviado en los rellenos sanitarios se puede determinar principalmente el pH, DQO, DBO, la relación DBO/DQO, sólidos suspendidos (SS), amoníaco (N-NH_3), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), metales pesados, compuestos orgánicos: carbohidratos,

proteínas, compuestos hidroxiaromáticos, alcoholes, y ácidos grasos volátiles (Renou *et al.*, 2008) con altas concentraciones de nitrógeno amoniacal y sales minerales, que alteran la calidad del suelo en caso de la inexistencia del manejo apropiado del lixiviado (Cheng y Chu, 2011).

Así mismo, los lixiviados están asociados con patógenos que afectan el ambiente (Pablos *et al.*, 2011) entonces los botaderos se comportan simultáneamente como reactores anaeróbicos a gran escala, de acuerdo con los cambios bioquímicos, procesos fisicoquímicos, incluida la disolución, precipitación, adsorción, dilución, volatilización y otros, aspectos que determinan la calidad del lixiviado (Kulikowska y Klimiuk, 2008). Tabla 2

Tabla 2

Componentes típicos del lixiviado de los rellenos sanitarios

Componentes	Rangos
pH	6.0-8.5
DBO ₅ (mg/L)	2000-9000
Alcalinidad CaCO ₃ (mg/L)	5000-12000
COD (mg/L)	4000-16000
Arsénico (mg/L)	<0.5
Plomo (mg/L)	<0.5
Cadmio (mg/L)	<0.5
Cromo Cr ⁻⁶ (mg/L)	<0.2
Cobre (mg/L)	<0.5
Níquel (mg/L)	1-3
Mercurio (mg/L)	<0.1
Zinc (mg/L)	2-4
Flúor (mg/L)	3-5
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	600-1500
Cloro (mg/L)	3000-9000
Cianuros (mg/L)	<0.2
Sólidos totales disueltos (mg/L)	14000-29000
Calcio Ca ⁺² (mg/L)	2000-6000
Magnesio (mg/L)	200-500
Manganeso (mg/L)	0.1-4
Kjehldal Nitrógeno (mg/L)	100-400

Fuente: (Sriram *et al.*, 2017).

a. Color y olor del lixiviado

El color es marrón anaranjado o marrón oscuro, asociado a un olor fétido, resultado de la descomposición de los ácidos orgánicos, que provienen de la descomposición y alta concentración de la materia orgánica (Aziz *et al.*, 2007) sin embargo el color oscuro y

el olor, desaparecerán lentamente o cambiarán a la luz, por el incremento de precipitación en el relleno (Sriram *et al.*, 2017).

b. pH del lixiviado

Concentración del Ion de Hidrógeno: El agua que se forma se ioniza por los compuestos ácidos y básicos disueltos en ella, originando la formación de iones de hidrógeno (H^+) e iones hidroxilos (OH^-). Al existir igual cantidad de iones con signos iguales, entonces la concentración de los iones de hidrógeno (H^+) es 0.0000001 veces del peso de los iones gramo del hidrógeno, expresados en g/L. Los valores típicos del pH varían de 3,7 a 8,9, mientras que, según la edad del relleno sanitario, el lixiviado joven en formación tiene un valor de pH de 5,7 a 8,0; y 6.4-8.0, 6.6-8.3 para lixiviados medianos y viejos, sin embargo, el pH de un lixiviado estabilizado es más alto que el de un lixiviado joven (Poznyak *et al.*, 2008).

c. Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO:

Este parámetro se usa para evaluar la contaminación en aguas residuales, y el control de agua potable; porque la materia orgánica necesita de oxígeno para ser descompuesta, pues la elevada fracción orgánica influye en el crecimiento de hongos y principalmente bacterias; entonces muestra la cantidad de Oxígeno disuelto en mg/l, la aplicación es mediante el Límite Máximo Permisible (LMP). A diferencia de la DBO_5 , también denominada DBO de cinco días, implica la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias y otros microorganismos durante 5 días para la degradación aeróbica, generalmente a $20^{\circ}C$ y se expresa en mg/l (Lecca y Ruiz, 2014).

d. Demanda química de oxígeno DQO

Es una forma de determinar la contaminación química del agua, basada en determinar en miligramos el consumo de oxígeno (O_2) consumido por litro de muestra que se lleva a digestión, es decir, que se calienta a $150^{\circ}C$ por dos horas en presencia de un agente oxidante fuerte (dicromato de potasio). Entonces los compuestos orgánicos oxidables reducen el ion dicromato a ion crómico, esta cantidad se lleva a un espectrofotómetro.

e. Sólidos totales disueltos TDS

En cambio, los TDS se relacionan con la edad del lixiviado de los vertederos; este es uno de los parámetros que se tienen en cuenta para autorizar la descarga del lixiviado en muchos países, como en el Reino Unido (Koshy *et al.*, 2008) en la India, los límites

de descarga para TDS fueron de 2100 mg / l independientemente del modo de eliminación, es decir, tierra adentro, eliminación en tierra, alcantarillado público (Sriram *et al.*, 2017).

f. Sólidos en suspensión

El sólido en suspensión significa materia sólida en el lixiviado, consiste en la materia orgánica e inorgánica, arcilla y microorganismos; afortunadamente, el método de tratamiento de sólidos en suspensión es más fácil que otros componentes en el tratamiento del lixiviado (Sriram *et al.*, 2017).

g. Cloruros y Fósforo

La alta concentración de sal en el lixiviado es por la presencia de cloruros, se debe agregar que, en rellenos sanitarios nuevos y maduros las cantidades de cloruros oscilan de 500 a 100-400 mg / l, aquí es importante señalar que el fósforo es transportado desde las tierras agrícolas al agua superficial y puede promover la eutrofización, esto sería una de las dificultades para definir la calidad del agua en lagos y embalses (Sriram *et al.*, 2017).

h. Nitrógeno

El N es uno de los principales constituyentes del contaminante inorgánico del lixiviado (Sriram *et al.*, 2017).

i. Metales pesados

La concentración del metal pesado es uno de los temas candentes, dondequiera que sea el lugar del mundo; los metales pesados iónicos normales consisten en Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, y la concentración de estos en un relleno sanitario es generalmente más alta en las primeras etapas debido a la mayor solubilidad de los metales como resultado del pH bajo causado por la presencia de ácidos orgánicos (Kulikowska y Klimiuk, 2008).

1.1.5 Clasificación del lixiviado

Diversos autores Kang *et al.* (2002); Kulikowska y Klimiuk (2008); Renou *et al.* (2008); Shouliang *et al.* (2008) clasifican al lixiviado en tres grupos: Clase I, Clase II, y Clase III, que están en función al tiempo de funcionamiento del relleno sanitario de la cual se producen (lixiviados: jóvenes < 5 años; intermedios 5-10 años y maduros > 10 años de operación) Tabla 3.

Tabla 3
Clase de lixiviado de residuos sólidos según sus características

Característica	Clase de lixiviado		
	Joven	Maduro	Viejo
Edad (años)	<5	5 – 10	>10
pH	<6,5	6,5 – 7,5	>7,5
DBO ₅ /DQO	<0,5	0,1 – 0,5	<0,1
DQO	<400	5000 – 15000	<5000
N-NH ₃ (mg/l)	>2	-	>400
Metales pesados	<5	<2	<2

Fuente: (Buendía *et al.*, 2021).

La calidad y cantidad del lixiviado dependen de la clase, solubilidad de los residuos, plano y sistema de funcionamiento del relleno, grado de compactación del residuo, altura de enterramiento, geomorfología de la cobertura, reacciones microbiónica y química, la interacción del lixiviado con el medio ambiente, características edafológicas y aspectos climáticos, sin embargo la calidad del lixiviado de un relleno sanitario puede cambiar significativamente en el tiempo (Borzacconi *et al.*, 2016).

1.1.6 Manejo y control del lixiviado producido por residuos sólidos

La emisión del lixiviado de los botaderos son motivo de preocupación, principalmente debido al impacto tóxico cuando se liberan sin control en el medio ambiente. En consecuencia, las opciones de eliminación sostenibles a partir del aspecto económico y medioambiental es prioridad en la gestión de residuos. Una opción potencial es el uso de esquemas de remediación de los suelos utilizando plantas. En muchos casos, utilizando árboles (incluido el monte bajo de rotación corta) o pastizales, por tanto, la fitorremediación del lixiviado ha tenido éxito. Sin embargo, hay una cantidad significativa de ejemplos en los que la fitorremediación ha fracasado; por lo general, este error puede atribuirse a una aplicación excesiva de lixiviados y un manejo deficiente debido al escaso conocimiento de la interacción del sistema planta-suelo (Jones *et al.*, 2005).

a. Índice de contaminación de lixiviado (ICL)

El Índice de Contaminación de Lixiviado (ICL) es un método significativo para evaluar la contaminación potencial de diferentes botaderos en un momento determinado LPI es una herramienta confiable de identificación de peligros para los

responsables de establecer políticas con respecto a la amenaza de contaminación por lixiviados de los vertederos activos y cerrados (Hussein *et al.*, 2019).

1.1.7 Impactos por lixiviados

En época de precipitaciones, la cantidad del lixiviado generado puede sobrepasar la capacidad del relleno, originando el rebalse, por lo tanto es importante buscar el mecanismo para disminuir los olores desagradables; es necesario resolver el aspecto sobre la capacidad contaminante que estos tienen, y los factores que influyen en el volumen del vertedero (Kamaruddin *et al.*, 2017).

Los botaderos abiertos y los rellenos mal gestionados representan un riesgo para el poblador y medio ambiente; los riesgos que ocasionan el lixiviado se amplifican por la falta de sistemas de contención del lixiviado en muchos países en desarrollo, lo que genera altas concentraciones de sustancias contaminantes (Vaccari *et al.*, 2019).

1.1.8 Tratamiento de lixiviados

Los métodos de tratamiento se han clasificado en cuatro categorías: (a) físicos, (b) fisicoquímicos, (c) biológicos y (d) biológicos y fisicoquímicos combinados, además de conocer sus ventajas, inconvenientes y eficiencia a partir de la presencia de elementos bio-recalcitrantes y refractarios en el lixiviado aun considerando las estrictas normas promulgadas para el cuidado del medio ambiente, mediante la aplicación de aspectos fisicoquímicos en el pretratamiento y tecnología biológica, parece ser una opción complementaria para el tratamiento del lixiviados de rellenos (Pasalari *et al.*, 2019).

A la presencia de lixiviados de residuos sólidos demostraron cambios de importancia en las características físicas, químicas, estructurales y mecánicas en muestras de suelo, durante un periodo de tiempo prolongado; sin embargo, el mayor efecto, se presenta en las propiedades químicas, que perjudica la estructura del material con efectos importantes en las características hidro/mecánica del suelo, en consecuencia el material es inestable y vulnerable ante factores extrínsecos (Quintero *et al.*, 2017).

Recientemente se utiliza por cromatografía de gases (HS-GC) la determinación del cromo hexavalente Cr (VI) en lixiviados tratados con hipoclorito de residuos sólidos; muestra que este método tiene una buena precisión de medición (RSD < 4.70%) y exactitud (las recuperaciones estuvieron en el rango de 92.5 - 107% y las diferencias

relativas con 8.66% en comparación con los datos medidos por el método de referencia); en general señalan a este método la posibilidad de convertirse en una herramienta valiosa en las aplicaciones relacionadas con el tratamiento de residuos sólidos que contienen Cr (VI) (Zhong *et al.*, 2020).

1.1.9 Recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos

Los rellenos y/o botaderos de residuos sólidos que finalizan su funcionamiento son llamados brownfields; que requieren de control por el elevado grado de contaminación al cierre, algunas propuestas como la reintegración al paisaje que mejore el ambiente y a ciudades aledañas, se propone la siembra de especies de plantas considerando que la capa de tierra es delgada (Cáceres, 2007).

Después de realizar la evaluación inicial del área y diagnosticar los peligros ambientales, (identificación de contaminación del aire, presencia de animales y recolectores de residuos, residuos dispersos, contaminación de las aguas subterráneas presencia de mosquitos, poblaciones, etc.) e información sobre la presencia del lixiviado y su influencia en su entorno, es importante considerar el nivel de recuperación necesario entonces para disminuir la producción de este contaminante es preciso monitorear el agua subterránea del área circundante, incluso después de tomar acciones correctivas, así mismo, los sitios que se utilizaron para la eliminación de residuos, después de cerrados; a veces se convierten en áreas de potencial interés para ser ocupadas por la población de baja economía (De Schueler y Mahler, 2007).

El análisis químico realizado en los suelos y el agua superficial alrededor del relleno sanitario cerrado mostró que los nutrientes y metales pesados pueden estar presentes en niveles relativamente en altas concentraciones, incluso después del cierre del vertedero y se reveló que el lixiviado podría ser altamente tóxico para los organismos acuáticos, plantas inhibiendo severamente la biomasa considerada como altamente tóxico (Žaltauskaitė y Vaitonytė, 2016).

En Iberoamérica una gran fracción de los residuos urbanos generados acaban en botaderos, de los cuales poco más del 30 % en rellenos sanitarios, y puede agregarse que el resto son botaderos a cielo abierto en los que las condiciones del cuidado del medio ambiente y protección de la población frente a la contaminación de los residuos son insuficientes, es preciso indicar que independientemente de las condiciones de disposición, terminada su capacidad de recepción de residuos el lugar constituye un

pasivo ambiental que debe ser controlado durante muchos años para evitar daños que pueden ser graves; aunque, las normas establecen la obligatoriedad de cerrar y reinsertar estos lugares, con períodos de vigilancia ambiental de más de 20 años tras la clausura pues existen distintas estrategias para afrontar la recuperación, la reinsertación de un sitio de disposición final (Lobo *et al.*, 2017).

1.1.10 Alcances normativos

Los botaderos son áreas degradadas, lugares que se efectúa o se ha realizado el depósito continuo y desmesurado de residuos sólidos municipales sin tener en cuenta las especificaciones técnicas que debe tener el área en uso; a pesar de estar estipulado que es de responsabilidad municipal, instancia facultada para abordar la gestión y destinar el lugar apropiado para la disposición final de residuos. Este sector asume la recuperación o reconversión de los botaderos “áreas degradadas”, contemplado en el Plan de recuperación de áreas degradadas (Ministerio del Ambiente-Perú, 2017).

En cumplimiento al Decreto Legislativo N° 1278; establece que el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), asuma la responsabilidad de realizar el Inventario de Áreas degradadas por residuos sólidos a nivel nacional, concluyendo la existencia de 1,585 botaderos en el Perú, que abarca una extensión de 1,973.01 hectáreas, para tal efecto las categoriza para su reconversión o recuperación; en este inventario identifica al Botadero de Chilla ubicado en el Distrito de Juliaca como área degradada por residuos sólidos municipales para recuperación.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Parámetros Físico químicos de lixiviados de residuos sólidos municipales

Robles *et al.* (2011) sobre la determinación de pH y metales pesados en lixiviados del relleno sanitario más grande del área metropolitana de México, señalan que el pH no tiene relación directa por las diferencias en la concentración de metales pesados en los lixiviados.

Nájera *et al.* (2009) realizaron la caracterización del lixiviado en la zona clausurada de disposición final de residuos sólidos, en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; el lixiviado resultó ser maduro, se realizaron ensayos para el tratamiento con el proceso de coagulación- floculación, empleando coagulantes como: cloruro férrico (FeCl_3) y sulfato ferroso (FeSO_4) a diferentes dosis (1.4, 1.6 y 1.8 g/L) con valores de

pH (4, 5 y 6), y mediante arreglo experimental evaluaron la eficiencia del proceso, se cuantificó la carga orgánica medida como demanda química de oxígeno (DQO), y mostraron que el FeCl_3 fue más efectivo; que el FeSO_4 en la remoción de materia orgánica y eficiencia de remoción en DQO (67%) alcanzando un pH de 6 a una dosis de FeCl_3 de 1.4 g/L.

Espinoza *et al.* (2010) cerca a las 3000 toneladas métricas por día de residuos son vertidos en los rellenos de la capital de la Ciudad de la Habana, de ésta cantidad 1800 toneladas es orgánico con 73% de humedad; originando una elevada cantidad de lixiviados y de carácter peligroso; al caracterizar los indicadores físico-químicos y microbiológicos mediante métodos normalizados como: temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, DBO_5 , DQO, STD, SST y STV, metales pesados, Cr^{+6} , CN^- totales, N-NH_3 , N-NO_2 , N-NO_3 , N total, P total, aceites y grasas, fenoles, detergentes, alcalinidad, acidez, turbidez, e indican la importancia de emplear técnicas para el tratamiento del lixiviado.

Sánchez *et al.* (2012) la caracterización del pH, alcalinidad, DBO, DQO, IB, color, conductividad eléctrica, ST, SVT, SST y SSV en los lixiviados de dos lagunas de evaporación del relleno sanitario en Chiapas-México, manifiestan que el lixiviado se encuentra intermedio a maduro entre, por sus características recalcitrantes es posible de ser tratado a través de procesos fisicoquímicos, mientras que el lixiviado joven mediante procesos biológicos, de forma similar Bolyard y Reinhart (2017) indican que el lixiviado de ocho vertederos en Florida y California la concentración promedio de TN (nitrógeno total) y DON (nitrógeno orgánico disuelto) presentan valores de: 1146 mg/L y 40 mg / L; mientras las concentraciones promedio en el lixiviado de DON biodisponible (bDON) y recalcitrante (rDON) fueron 16,5 mg / L y 18,4 mg / L, respectivamente.

Moody y Townsend (2017) recolectaron muestras de lixiviados de catorce vertederos en el estado de Florida, EEUU; que contenían principalmente desechos putrescibles (desechos sólidos municipales, RSU y desechos de jardín), cenizas de incineradores de RSU (MSWI) o una combinación de ambos; y en la evaluación de los lixiviados incluyeron trazas de metales, aniones y nutrientes para crear un balance de masa de sólidos disueltos totales (TDS), de modo tal que los RSU lixiviaron en una matriz compleja de contaminantes, mientras el lixiviado de las cenizas de MSWI el TDS

contenía más del 98% de sales metálicas y el pH de las muestras de lixiviados MSWI fue de carácter ligeramente ácido o neutro, concluyendo la contradicción de los resultados comúnmente reportados en la literatura.

Bhatt *et al.* (2017) revelan el lixiviado puede variar ampliamente dependiendo de la contenido del residuo, la temperatura ambiente, la cantidad de precipitación en el relleno; por esta razón estudiaron en laboratorio la DBO y DQO a partir de la composición de los residuos sólidos (alimentos, papel, jardín, textiles), temperatura (70, 85, 100 ° F) y promedio de lluvia (2, 6, 12 mm / día); aplicando el modelo de splines de regresión adaptativa multivariada (MARS) para DBO y DQO, con una R^2 ajustada de 0,92 y 0,95, respectivamente; concluyendo la utilidad de MARS para capturar relaciones complejas entre las variables indicadas de los residuos, con el fin de pronosticar los parámetros de calidad del lixiviado a lo largo del tiempo.

Borjac *et al.* (2019) determinaron la contaminación por elementos orgánicos, metales pesados en los lixiviados recolectados del Vertedero de Deir Kanoun Ras El Ain y su canal adyacente en el Sur del Líbano, encontrando concentraciones promedio de metales pesados (ppm) en muestras de agua recolectadas de vertederos y canales durante la temporada de invierno Pb (0.0057-0.024 ppm), Cd (3.056-11.5 ppm), As (0.384-1.648 ppm) y Hg (0.0016-0.1076 ppm).

Hussein *et al.* (2019) la investigación tuvo como objetivo caracterizar y comparar el lixiviado crudo de vertederos en actividad de Ulu Maasop y Kampung Keru y el vertedero cerrado de Pajam mediante el índice de contaminación (LPI), encontraron que la cantidad de metales pesados: Cr, Fe, Se; son más altos que los estándares de descarga de lixiviados para todos los sitios de muestreo; mientras el As, Cu y Mn superaron los estándares de descarga de lixiviados para los vertederos; por último, el Índice de contaminación de lixiviados (LPI) fue: 15.28; 13.89; 12.91 y 11.51 valores que exceden el LPI con 5.696; por tanto estos rellenos sanitarios representan una amenaza para el medio ambiente.

Hussein *et al.* (2020) el estudio evalúa a los metales pesados en lixiviados, suelos superficiales de diferentes vertederos de Malasia, mediante la Escala de calidad máxima (QRS), así el As (787) y Cr (552) mostrando una leve contaminación por el lixiviado formado en los rellenos sanitarios; sin embargo los suelos impactados mostraron altos niveles de metales pesados, especialmente en rellenos sanitarios sin

revestimiento en comparación con los valores del suelo natural cercano a estas infraestructuras; además utilizaron el Índice de geoacumulación (IGEO) el As (3.122) y Cd (2.633); también el Índice de contaminación (PI) el As (34.037) y Cd (20.881), señalando que los suelos de los rellenos sanitarios están moderadamente contaminados; mientras los valores del Índice integrado de contaminación (IPI) en rellenos sanitarios (0.294-0.322) y suelos de botaderos (1.263-1.956), aseverando la disminución de calidad del suelo.

1.2.2 Relación entre la edad de los vertederos con el lixiviado de residuos sólidos.

Kulikowska y Klimiuk (2008) determinaron la influencia de la edad de los vertederos municipales precisando los cambios temporales en la calidad del lixiviado municipal mediante un monitoreo de 4 años del lixiviado del vertedero en Wysieka cerca de Bartoszyce (Polonia); demostraron que los principales contaminantes en los lixiviados proceden de los compuestos orgánicos y el amoníaco, por el incremento de edad del relleno; sin embargo, el DQO disminuyó de 1800 mg/l al segundo año de operación a 610 mg DQO / l; pero al sexto año se observó el incremento del nitrógeno amoniacal de 98 mg / l a 364 mg / l. y la fluctuación de otros índices (fósforo, cloruros, calcio, magnesio, sulfato, sólidos disueltos, metales pesados) dependen de las variaciones estacionales anuales, que de la edad del vertedero; así mismo los datos obtenidos indican que, a pesar de la corta vida útil del vertedero, algunos parámetros, p. Ej. pH alto (7.84), baja concentración de DQO (<2000 mg / l), baja relación DBO_5 / DQO (<0,4) y baja concentración de metales pesados, concluyendo que el vertedero se caracteriza por las condiciones metanogénicas al inicio de la vigilancia.

Bhalla *et al.* (2012) respecto a la cantidad de sustancias contaminantes en el lixiviado en los vertederos: Jamalpur y Noorpur Belt son más altos comparativamente al vertedero de Jainpur, a pesar de ser más antiguo que ambos; y según la caracterización del lixiviado el vertedero de Jamalpur y Noorpur Belt demostraron una baja biodegradabilidad, es decir, $DBO_5 / COD = 0,19$ y $DBO_5 / COD = 0,20$ en comparación con el vertedero de Jainpur el $DBO_5 / COD = 0,24$; y los valores de nitrato fueron 18,6 mg/ l, 19,2 mg/ l y 20,3 mg/ l durante el invierno, verano y temporada de lluvias respectivamente, concluyendo que la edad del vertedero tiene un efecto significativo en la composición del lixiviado.

Rivera *et al.* (2013) usaron lixiviados de diversos puntos de monitoreo y periodos de operación de rellenos sanitarios: con edades <5 años (Joven: LJ), 5-10 años (Intermedio: LI) y >15 años (Maduro: LM), para determinar las características físico-químicas y grado de toxicidad utilizando como indicador a *Daphnia pulex* en las pruebas estáticas, concluyendo a la DQO, conductividad, nitrógeno amoniacal son inversamente proporcionales a la edad del lixiviado y, las pruebas de toxicidad con *Daphnia pulex* indica la edad del lixiviado es inversamente proporcional a la toxicidad, con valores de Dosis Letal 50 - LC50 de 83.1, 47.7 y 27.7 UT (unidades tóxicas) para el Lixiviado Joven, Intermedio y Maduro.

1.2.3 Presencia del lixiviado de residuos sólidos de rellenos sanitarios en aguas naturales, subterráneas y suelos.

Espinosa *et al.* (2010) refieren La Habana-Cuba cuenta con tres rellenos provinciales y analizaron los resultados del monitoreo del lixiviado durante los años 2004, 2007 y 2008; realizando evaluaciones de campo, laboratorio, a la T°, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, DBO₅, DQO, SDT, SST y STV, metales pesados, Cr⁺⁶, CN⁻ total, N-NH₃, N-NO₂, N-NO₃, N total, P total, aceites y grasas, fenoles, detergentes, alcalinidad, acidez, turbidez, con métodos normalizados o validados y microbiológicos, al comparar los resultados promedio con los LMP de la norma cubana NC 27:99, comprobaron que los valores exceden al valor permisible de la norma.

Xu-dan *et al.* (2015) aplicaron el método de investigación local con el fin de determinar el nivel de Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, As, Cu, y pH, la materia orgánica, el nitrógeno total y el contenido total de fósforo en el suelo de los desechos municipales de Changchun de la Provincia de Jilin, los resultados mostraron que el suelo al cierre del relleno sanitario municipal es alcalino y el valor promedio de materia orgánica, nitrógeno total y contenido total de fósforo era más bajo que en el suelo negro normal; mientras que el Índice de factor único del As, Pb y Cr fueron > 1, donde el P_{As}, con 1.131; P_{Pb} 1.061 y P_{Cr} 1.092 entonces existe una leve contaminación.

Touzani *et al.* (2019) realizan estudios en rellenos sanitarios situados sobre: el acuífero superficial de Akrach en Marruecos, también el relleno entre el río Akrach al oeste y la represa Sidi Mohaed Ben Abdallah al este; caracterizando a las aguas subterráneas, para determinar la extensión de área contaminada y los factores

intervinientes en la contaminación, utilizando un piezómetro y mediante el análisis químico en 22 pozos, reportando que: la conductividad eléctrica es $1100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, bicarbonatos con 508 mg L^{-1} ; cloruros, sulfatos y nitratos con $850, 200$ y $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, además presencia de cadmio ($50\text{-}100 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) y cromo ($40\text{-}230 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, valores que exceden a la Norma de la OMS para el consumo y riego.

Przydatek y Kanownik (2019) analizaron los cambios de los elementos fisicoquímicos en las aguas subterráneas cercanas a un pequeño vertedero municipal de residuos sólidos localizado en el ámbito de la Unión Europea; recolectaron muestras de agua subterránea y lixiviado cerca al relleno sanitario cuatro veces al año durante dos períodos, (2008 y 2012) tiempo de uso de ésta infraestructura y (2013 y 2014) etapa de cierre; encontrando que el Cd, conductividad eléctrica (CE) y carbono orgánico total (COT) debido a que el lixiviado determina el impacto negativo en la calidad del agua subterránea, ocasionado por el deterioro del estado químico del agua subterránea en el área del relleno sanitario, ineficiencia del sistema de drenaje, y tiempo de uso más de 19 años.

Zeng *et al.* (2021) estudiaron los factores que influyen en la contaminación del agua subterránea cercanos a rellenos de residuos sólidos urbanos (RSU) en Qinghai-Tibetan Plateau (QTP); sus resultados indican que el Índice de contaminación (PI) en el agua subterránea está fuertemente contaminada por nitrato ($\text{PI} = 7.5$), porque el relleno sanitario carece de un sistema anti-filtración; seguido por nitrito ($\text{PI} = 3.5$) y metales pesados e inclusive el arsénico ($\text{PI} = 4.1$) y cromo hexavalente ($\text{PI} = 2,8$); aunque la dureza total, los sólidos disueltos totales, el nitrato y el plomo en el agua subterránea cerca de los vertederos fueron significativamente diferentes entre la estación del monzón y la estación fría; así mismo la contaminación en las muestras de suelo cerca a los vertederos es moderada ($28,6\%$) y moderada a pesada ($71,4\%$), según el índice de geoacumulación de mercurio, sin embargo el lixiviado con ($\text{pH} = 7,45\text{-}9,23$) y el suelo ($\text{pH} = 7,08\text{-}8,72$) significa la disminución de contaminantes disueltos por la filtración de la lluvia y el lixiviado; entonces la contaminación del agua subterránea fue puntual.

1.2.4 Producción del lixiviado de residuos sólidos en los botaderos

Merzouki *et al.* (2015) manifiestan el peligro por la contaminación en aguas subterráneas en la región FkihBen Salah que fluyen de los acuíferos; causado por la

presencia de residuos generados de las actividades domésticas e industriales como: materia orgánica (77,7%), y otros residuos como tisú (6,1%), plástico y cartón (5,1%), envases diversos (3,3%), metales (1,8%) y las lentes (0,9%); por lo tanto analizaron el lixiviado, encontrando que el valor promedio de pH es 4.7 (lixiviados jóvenes), la dureza total es de 68,33 mg / l.; asimismo el lixiviado es muy rico en materia orgánica (DBO₅ igual a 6697 mgO₂ / l), la DQO es 18026 mgO₂ / l. La relación DBO₅ / DQO (0,34) es superior a 0,3 y marca una biodegradabilidad favorable de los lixiviados estudiados

Mageswari *et al.* (2017) el vertedero de Perungudi en Chennai es un botadero a cielo abierto destinado a los residuos sólidos y mediante tecnología geoespacial, se indica la producción de lixiviados siendo un riesgo a la calidad del agua subterránea; por el análisis fisicoquímico en muestras de agua recogidas a varias distancias radiales del límite del botadero, a intervalos de 250 m, 500 m, encontraron que la cantidad de oxígeno disuelto es demasiado baja y parámetros como: sulfatos, conductancia específica de fosfatos, hierro excede los límites estipulados de las normas indias de agua potable (BIS 1500:991) y la Organización Mundial de la Salud, prohíbe el consumo de éstas aguas a menos que cumplan con estándares específicos.

1.2.5 Tecnologías para el tratamiento de lixiviados en un relleno sanitario

Las tecnologías avanzadas para el tratamiento del lixiviado producidos por la descomposición en rellenos sanitarios de residuos municipales han recibido una creciente atención durante la última década, sin embargo, en los botaderos la producción de este contaminante producido por su propia actividad fisicoquímica y biológica carecen de una adecuada gestión provocando contaminación.

Ahmadian *et al.* (2013) realizaron estudios en lixiviados mediante el proceso Fenton en un vertedero de la ciudad de Kermanshah, concluyendo que al aumentar la dosis de Fe²⁺ y H₂O₂, Fe²⁺ / H₂O₂ molar, el tiempo de la reacción, incrementaron la DQO, TOC, TSS y la eliminación de color; así mismo la mayor disminución de COD, TOC, TSS y color se consiguió a pH bajo (pH: 3); también los datos cinéticos fueron analizados en términos de expresiones de: cero, primer y segundo orden, sin embargo, el modelo cinético de primer orden determinó la eliminación de DQO, TOC, TSS y color del lixiviado comparativamente con los otros modelos cinéticos, en definitiva los

resultados anteriores parecen indicar confiabilidad respecto a la aplicación de la oxidación Fenton.

1.2.6 Alternativas para el cierre de áreas degradadas por residuos solidos

Kumar *et al.* (2018) el estudio se centra en quince vertederos de residuos de países en desarrollo que tienen condiciones similares a los de la India, para determinar su prioridad de cierre y sistema de cobertura requerido para mitigar el impacto de los olores de estos vertederos; propusieron un nuevo sistema de priorización de vertederos empleando siete parámetros: cantidad de residuos, cantidad de residuos frescos eliminados / día, fracción de residuos biodegradables, precipitación anual, días lluviosos / año, escenario de dispersión y densidad de población dentro de los 3 km del sitio; el nuevo sistema da puntajes en el rango de 90-1000 con un índice de agrupamiento muy bajo de 0.15, así el análisis de sensibilidad revela que es más sensible a los cambios en el escenario de los receptores; también exhibe una alta sensibilidad al escenario de dispersión y al número de días de lluvia, y una sensibilidad media a baja a la cantidad de desechos, desechos frescos eliminados / día, fracción de desechos biodegradables y lluvia anual; las calificaciones del nuevo sistema ayudan a clasificar estos vertederos de desechos en tres categorías distintas para el cierre / remediación.

Vaverková *et al.* (2019) el estudio se realizó en el vertedero de Kuchyňky (N Hornomoravský úval Graben, formularon la hipótesis de que el vertedero puede modificar la composición de especies de la vegetación nativa y crear espacio para especies de plantas sinantrópicas e invasoras; plantean como objetivo monitorear a largo plazo la comunidad vegetal en un relleno sanitario de RSU; concluyendo que los vertederos de RSU originan un entorno muy específico respecto a la composición de especies, debido a que el relleno sanitario no es estable y es un área de sucesión específica de plantas y, por lo tanto, necesita de un seguimiento continuo. Así mismo esta área posee un alto potencial para especies invasoras, que pueden modificar la variabilidad vegetativa en los ecosistemas circundantes, constituyendo un problema para la agricultura, por tanto, es importante considerar la composición de especies florística en el relleno sanitario, con la alternativa de controlar algunas especies.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

El abandono, o disposición de residuos en áreas no autorizadas está prohibido por el MINAM-Perú, pero el crecimiento del fenómeno urbano y de una limitada previsión del desarrollo industrial, ha modificado la tipología de los residuos, también por los hábitos de consumo de la población. Entonces la composición de los residuos, el contenido de humedad, las condiciones biológicas, químicas y físicas, han sido complejas para determinar la futura contaminación en un lugares inapropiados “botaderos”; asimismo por el alto contenido de residuos orgánicos, los procesos biológicos anaeróbicos incontrolados, quienes influyen en los procesos químicos / físicos, que determinan la generación del lixiviado, líquido de calidad tóxica, en consecuencia se produce una contaminación en niveles altos durante un período de tiempo muy largo con implicancias negativas, con impactos al suelo, aire, agua y aguas subterráneas riesgos para la salud y desarrollo social

El Perú es un país con conflictos socioambientales, uno de ellos es el escaso compromiso en la gestión de residuos sólidos de los gobiernos locales y ciudadanía en general, originando graves problemas ecológicos, y de salud.

En el manejo de residuos sólidos municipales la disposición final, es la etapa final que se realiza en rellenos sanitarios, sin embargo a la inexistencia de éstas infraestructuras en ciudades, la población optó por eliminar sus residuos en lugares inapropiados denominados botaderos, hoy denominado área degradada caracterizado por carecer de sistemas de discurre control de emisiones de: gas y líquido; generando olores desagradables, presencia de vectores, en consecuencia, la transmisión de

enfermedades infectocontagiosas; y otro factor es el agua que ingresa al botadero por las precipitaciones, al entrar en contacto con los residuos estos son disueltos y arrastrados formando un líquido “lixiviado”, considerado como uno de los fluidos más contaminados y contaminante de las aguas subterráneas, aguas superficiales y suelo. Es preciso señalar, que el lixiviado con altos valores de DBO₅, DQO, COT y concentraciones considerables de nitrógeno amoniacal; pH en el rango de 6,7- 8,7, presentan alta toxicidad para crustáceos, peces y algas Słomczyńska y Słomczyński (2004), conjuntamente las aguas subterráneas cercanas a los botaderos, al análisis físico-químico del lixiviado indica una contaminación severa por compuestos orgánicos, sales y metales pesados Abd y Abu (2015), y la producción de lixiviados puede continuar hasta 50 años después de su clausura y cese de las actividades, produciendo serios impactos en el ambiente alterando sus propiedades naturales del ecosistema.

Como consecuencia de lo mencionado es que, el botadero de residuos municipales de Chilla hoy considerado como área degradada es un área que carece de principios y métodos de la ingeniería sanitaria, sitio que colapsado por el elevado volumen de residuos sólidos dispuestos y actualmente se ha convertido en un pasivo ambiental, por no haber realizado previamente el tratamiento, el control de las emisiones de gases, y la evacuación de lixiviados, pues este contaminante discurre por la superficie del área de influencia, sin embargo, se viene realizando el caleo que consiste en esparcir cal en las áreas que son cubiertas con desmonte con la finalidad de neutralizar los lixiviados. Al respecto, el lugar de disposición final que ha sido clausurado continúa produciendo un alto impacto ambiental por la emisión de esta sustancia acuosa que atenta al suelo, aguas subterráneas y calidad de vida de los habitantes del Sector de Chilla.

2.2 Enunciados del problema

a. Enunciado general

¿Cuáles son los parámetros físico-químicos del lixiviado de los residuos sólidos, y cuál será la propuesta para el área degradada de Chilla -Juliaca?

b. Enunciados específicos

- ¿Cuáles son los parámetros físico-químicos evaluados en los lixiviados generados por los residuos sólidos dispuestos en el área degradada de Chilla y cuál es la determinación de dichos valores?
- ¿Cuál es la propuesta técnica para el área degradada de residuos sólidos denominada Chilla?

2.3 Justificación

El interés de esta investigación se debe a que en el Botadero de Chilla - Juliaca, los residuos sólidos municipales realizan procesos físicos, químicos y biológicos que son producto de la actividad de fermentación que ocurre al interior del botadero que originan productos gaseosos y líquidos como los lixiviados que es movilizad. constituyéndose en el factor de mayor impacto al dispersarse en el área de influencia,

En este sentido este estudio resulta relevante, puesto que se pretende dar a conocer los valores físicos químicos del lixiviado, que afectan al entorno del ámbito de Chilla. Además, constituir un aporte de información de carácter ambiental para la toma de decisiones y elaborar una propuesta para el tratamiento del lixiviado, y cumplimiento de la normatividad vigente, cuyo propósito es minimizar la contaminación del medio ambiente y evitar la biodegradación por la acción natural del lixiviado en el Centro Poblado de Chilla de la ciudad de Juliaca, por este motivo, se realiza ésta investigación con los siguientes objetivos.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Analizar los factores físicos químicos en la fuente de agua impactada por los lixiviados de los residuos sólidos en el Botadero de Chilla - Juliaca.

2.4.2 Objetivos específicos

- a) Analizar los factores físicos químicos (pH, DQO, DBO, Alcalinidad, Sólidos totales suspendidos, Nitratos, Metales pesados) en la fuente de agua impactada por los lixiviados de los residuos sólidos en el Botadero de Chilla – Juliaca.
- b) Formular una propuesta para el control del lixiviado producido de los residuos sólidos en el Botadero de Chilla – Juliaca.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Los factores físico químicos en la fuente de agua impactada por los lixiviados de los Residuos Sólidos en el Botadero de Chilla-Juliaca, muestran diferencias entre los puntos de monitoreo.

2.5.2. Hipótesis específicas

- a) En los 4 puntos de monitoreo los valores obtenidos del pH, DQO, DBO, Alcalinidad, Sólidos totales suspendidos, Nitratos, Metales pesados del agua impactada por el lixiviado de los residuos sólidos del Botadero de Chilla, son valores superiores a los LMP, entonces el Sector Chilla estará contaminado, porque excede los límites máximos permisibles.
- b) Realizando la búsqueda de información sobre tecnologías de tratamiento del control de lixiviados se podrá realizar una propuesta para el control del lixiviado producido de los residuos sólidos en el Botadero de Chilla – Juliaca.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

El estudio se realizó en el ámbito del Botadero municipal de residuos sólidos de Chilla, que se encuentra ubicado en el Sector Chilla (actualmente dentro del límite urbano), Distrito de Juliaca, provincia de San Román, Dpto. de Puno. Entre las coordenadas UTM: 19L (WGS84) N8286048, E-0381741 a una altitud 3,831 msnm con una superficie aproximada de 56700 m². El área utilizada por el botadero es de 7.5 hectáreas; carente de la autorización para la disposición de residuos; pero en el año de 1979 este terreno paso a propiedad del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento con el fin de construir ocho lagunas de oxidación, que actualmente presentan rebose de aguas residuales.

Es preciso señalar, que el Botadero de residuos sólidos de Chilla estuvo en actividad hasta el 2018 recibiendo 85,914.84 t/año de residuos sólidos; sin embargo, se observa la salida y presencia del lixiviado de los residuos sólidos; varios autores manifiestan que la producción del lixiviado continua por lo menos de 20 a 50 años dependiendo de la edad del botadero, como es el caso de Chilla. Por otro lado, es necesario considerar los indicadores del Sigersol MINAM 2017, respecto a RRSS del Distrito de Juliaca como: la generación per cápita de RRSS municipal es (0.69 kg/hab/día); generación per cápita de RRSS domiciliaria (0.53 kg/hab/día), caracterizando presencia de materia orgánica, madera, follaje, papel, vidrio, plástico PET, plástico duro, bolsas, metales, telas, textiles, cuero, caucho, jebe, pilas, medicinas, focos, residuos sanitarios, material inerte, tetrabrik, y otros; que determinan las características del lixiviado

El referido botadero tuvo un periodo de vida de 10 años, habiendo colapsado la capacidad de recepción de los residuos, es importante señalar que carece de un sistema de

evacuación y captación de lixiviados. además, colinda con la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), y al vivero Municipal de San Román; y a una distancia aproximada de 100 metros se observa la presencia de viviendas. (Figura 1). Así, Hussein *et al.* (2019), los botaderos, que carecen de revestimiento e inexistente control de sus emisiones son un peligro ambiental.

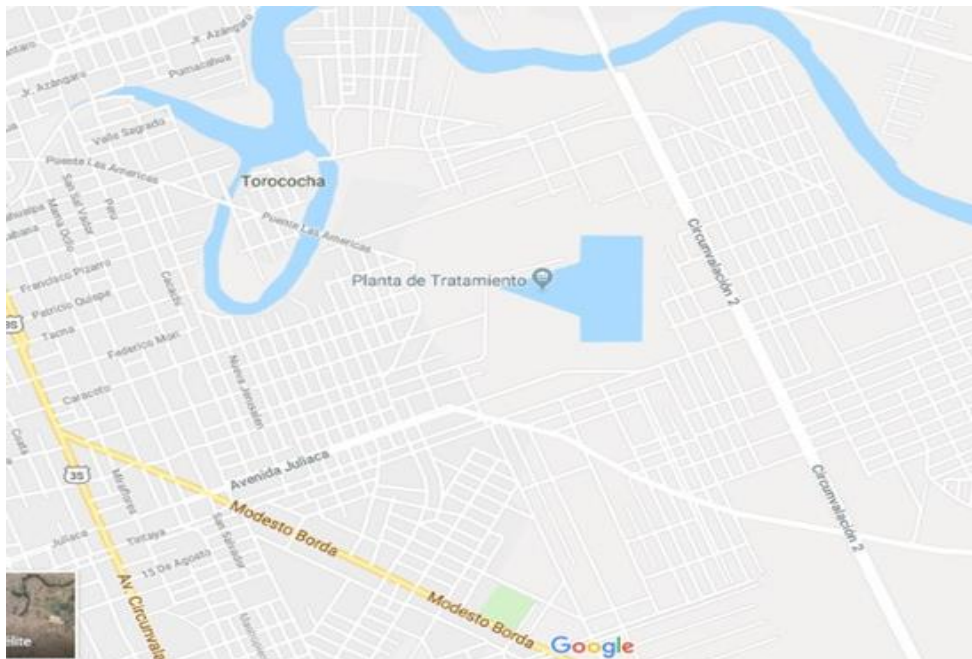


Figura 1. Plano Geográfico de ubicación del Botadero de Chilla

3.2 Población

El total del área de estudio que presenta afloramientos del lixiviado que se mezcla con el agua que discurre en esta área (Figura 2, 3, 4,5, 6, 7).



Figura 2. Vista Panorámica del área botadero de Chilla.



Figura 3. Abandono de residuos sólidos.



Figura 5. Discurrimiento del lixiviado.



Figura 4. Dispersión de agua con Lixiviado.



Figura 7. Cercanía al Centro Poblado de Chilla.



Figura 6. Colindancia con PTAR de Juliaca.

3.3 Muestra

Para el primer objetivo en el Área del botadero de Chilla se consideró 4 puntos de monitoreo con su respectiva repetición cabe mencionar que tres puntos de monitoreo indicados a continuación: (AGU-01-CHILLA, AGU-02-CHILLA y AGU-03-CHILLA) se colectó agua con lixiviado de un canal existente en el mismo área; y por la sequedad del área para el cuarto punto (AGU-04-CHILLA) se monitoreo el lixiviado del tubo metálico con diámetro de 20 cm instalado en el punto medio de la columna de residuos

sólidos del botadero de Chilla, verificándose la movilización del lixiviado. En la tabla 4 (Figura 8 y 9) se precisa la identificación y ubicación de los puntos de monitoreo, mediante el GPS marca Garmin GPSMAP 64sx. Muestras en las que se determinó los siguientes parámetros: pH, Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO), alcalinidad, Sólidos totales suspendidos, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Metales en el Laboratorio para monitoreo de agua ALS- Arequipa (Anexo).



Figura 8. Área de estudio Botadero de RRSS-Chilla

Tabla 4
Identificación de los puntos de monitoreo e información general del área de estudio Botadero de Chilla

Puntos de monitoreo	Muestra	Fecha	Hora	Coordenadas	Características observables
AGU-01-CHILLA	Agua con lixiviado	21/09/18	09:35:00 10:15:00	8286056N 381948E	Una laguna de 10 m ³ de lixiviado denso, de color negro y olor fétido, ubicada en la parte izquierda del soterramiento de residuos sólidos al botadero de Chilla (Figura 9)
AGU-02-CHILLA	Agua con lixiviado	21/09/18	10:50:00 11:15:00	8286100N 0381992E	Este punto dista a 10 metros de la laguna de oxidación de aguas residuales de la ciudad Juliaca, presencia de olores desagradables y aves (Figura 9)
AGU-03-CHILLA	Agua con lixiviado	21/09/18	11:38:00 12:05:00	8286089N 0382094E	Un afluente cercana a la laguna de Oxidación de Juliaca, además de otros productos líquidos con olor fétido producto del rebose de la laguna y dispersión de residuos sólidos, la presencia de aves, roedores; y en las cercanías viviendas que pertenecen al Centro Poblado de Chilla (Figura 9)
AGU-04-CHILLA	Lixiviado	21/09/18	12:25:00 13:03:00	8286096N 0381848 E	La muestra de lixiviado emite un olor sumamente fétido, de color negro (Figura 9 y 10)



Figura 9. Puntos de monitoreo del agua con lixiviado (AGU-01-CHILLA, AGU-02-CHILLA y AGU-03-CHILLA); monitoreo de lixiviado (AGU-04-CHILLA) en el ámbito del Botadero de residuos sólidos de Chilla



Figura 10. Tubería de discurrimento del lixiviado de residuos sólidos ubicada en el centro del área degradada de Chilla

Para el segundo objetivo se consideró las alternativas propuestas de investigaciones para el control de la emisión del lixiviado y la normatividad vigente en materia ambiental respecto a áreas degradadas por residuos sólidos en el Perú.

3.4 Métodos de la investigación

La investigación realizada corresponde al tipo cuantitativo experimental.

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

3.5.1 Variables analizadas

- a) Factores físico químicos del lixiviado: pH, Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO), alcalinidad, Sólidos totales suspendidos, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Metales pesados, en 4 puntos del Botadero.
- b) Control del lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla (Área degradada)

3.5.2 Metodología por objetivo 1: Analizar los factores físicos químicos (pH, DQO, DBO, Alcalinidad, Sólidos totales suspendidos, Nitratos, Metales pesados) en la fuente de agua impactada por los lixiviados de los residuos sólidos en el Botadero Chilla – Juliaca.

Se desarrolló tomando en cuenta las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua según Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA-Perú, para el análisis del físico químico en el agua impactada por lixiviados en el laboratorio ALS LS Perú.

a) Centrar los objetivos y alcances

El propósito del estudio, es cuantificar cada uno de los parámetros físico químicos presentes en los puntos de monitoreo.

Ámbito geográfico, la dispersión de componentes del lixiviado en el ámbito del estudio

Aplicabilidad temporal, los resultados obtenidos son contrastados con estudios resaltantes que originan contaminación en el área de estudio.

b) Selección de componentes

Parámetros físicos químicos presentes. El análisis se efectuó en Laboratorio en función a la Normatividad que aprueba los LMP de efluentes de Infraestructuras de Residuos sólidos.

c) Procedimiento para la evaluación en el área de estudio respecto al monitoreo realizado

Sé consideró 4 puntos de evaluación, cada uno con una repetición (Tabla 4, Figura 9).

d) Consideraciones para el análisis en laboratorio

Materiales

Cooler, frascos de plásticos y vidrio, balde de plástico de primer uso y limpios (4-20 litros de volumen) guantes descartables, mascarillas, pizetas, refrigerantes.

Equipos

GPS marca Garmin GPSMAP, cámara fotográfica Canon EOS M6 MKII

Soluciones y reactivos

Agua destilada, preservantes, solución estándar

Formatos

Etiquetas, registro de datos de campo, formato de cadena de custodia

Otros

Plumones indelebles, cinta adhesiva, papel secante, libreta de campo, cinta métrica, tablero.

Procedimiento

Los frascos y el volumen a tomar estuvieron regidos por el Laboratorio ALS LS Perú S.A.C que nos brindó el servicio de monitoreo, considerándose lo siguiente:

- Los frascos requeridos fueron de vidrio 200 ml, limpios y secos para evitar contaminación.
- Las muestras fueron preservadas ácido clorhídrico para mantener su integridad durante el transporte y antes del análisis en el laboratorio.
- Se llenó los registros de cada muestra recolectada e identificó cada frasco (etiquetado).
- Se utilizó procedimientos adecuados desde la recolección de la muestra hasta su llegada al laboratorio de análisis (cadena de custodia).
- Para el monitoreo se utilizó la indumentaria de protección del personal, además de materiales de campo como: balde, cronómetro, cajas térmicas.
- Materiales de laboratorio como: pizeta, goteros, y frascos de vidrio según el requerimiento de análisis.

Toma, medición, preservación y conservación de muestras.

Fue importante el muestreo, con la finalidad que sea lo más representativa posible para asegurar la confiabilidad de los resultados. A la muestra, se adicionó el preservante y el frasco por seguridad fue encintado para evitar cualquier derrame del líquido.

Identificación de las muestras de agua:

Los recipientes fueron identificados antes de la toma de muestra con una etiqueta, escrita con letra clara y legible la cual fue protegida con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información:

Número de Muestra (referido al orden de toma de muestra).

Código de identificación (punto y/o estación de muestreo).

Origen de la fuente

Descripción del punto de muestreo.

Fecha y hora de la toma de la muestra.

Preservación realizada, tipo de preservante utilizado.

Tipo de análisis requerido.

Nombre del responsable del muestreo.

Acondicionamiento de las muestras para envío a laboratorio:

Los frascos con la muestra recolectada fueron conservados en cajas térmicas (Coolers), disponiendo preservantes para la temperatura.

Las muestras recolectadas para análisis físicos químicos fueron entregados al laboratorio dentro de las 24 horas de realizado el muestreo.

Para su ingreso al laboratorio de análisis, las muestras fueron acompañados de: Ficha de Cadena de Custodia, Ficha de Registro de Datos de Campo y oficio solicitando el análisis; documentos que fueron remitidos dentro del “Cooler” a fin de evitar que se deterioren.

Lugar de entrega de las muestras para envío a laboratorio:

Las muestras fueron remitidas por vía terrestre al Laboratorio ALS LS Arequipa-Perú S.A.C, en la fecha correspondiente, siguiendo el protocolo. (Figura 11, 12, 13,14, 15,16)



Figura 11. Rotulando los frascos.



Figura 12. Toma de muestra (agua con lixiviado)



Figura 13. Vaciando muestra a frascos.



Figura 14. Muestra de lixiviado (AGU-4-CHILLA)



Figura 15. Acondicionando material de monitoreo

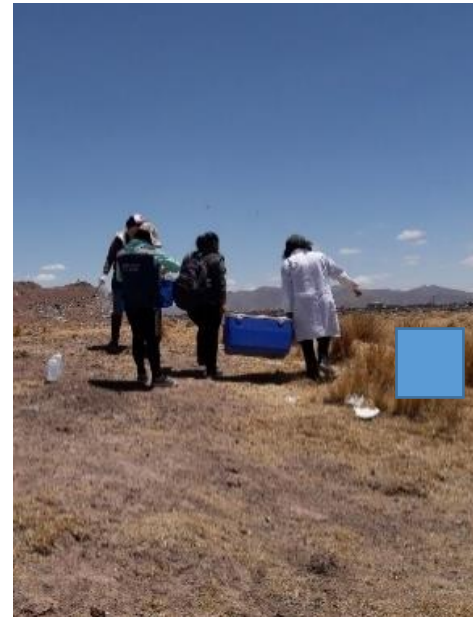


Figura 16. Trasladando el Cooler

3.5.2.1 Métodos analíticos empleados en el monitoreo

La referencia de los métodos de ensayo utilizado en el laboratorio ALS LS Arequipa-Perú están especificados en el anexo.

a. Potencial de hidrógeno (pH) de la muestra.

Procedimiento:

Para determinar del pH se utilizó un medidor de pH 128 de calibración automática, además un vaso de precipitación previamente enjuagado con agua destilada, y se tomó un volumen de 50 ml de la muestra para determinar el pH.

b. Demanda química de oxígeno (DQO).

Método de referencia: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 5220 D, 23rd Ed. 2017

Método colorimétrico Reflujo cerrado

Se expresa en mg/l O₂. El oxidante fuerte es el dicromato de potasio K₂Cr₂O₇ en medio ácido H₂SO₄. Debido a sus propiedades químicas únicas, el ion dicromato

($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) es el oxidante especificado en la mayoría de los casos que se reduce a ion crómico (Cr^{3+}).

Fundamento: La materia orgánica resulta oxidada por una mezcla a ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico. Se somete a reflujo la muestra en una solución ácida fuerte con un exceso de dicromato. Después de la digestión el dicromato no reducido se cuantifica para determinar la cantidad de dicromato consumido. Se utilizó el sulfato de plata como catalizador para la oxidación de compuestos alifáticos lineales, Sulfato de mercurio como inhibidor de haluros. Y el tiempo de reflujo fue de 2 horas a $150 \pm 2^\circ\text{C}$. Finalmente el consumo de oxígeno se mide a 600 nm en espectrofotómetro.

c. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): DBO_5

Método de referencia: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017

Fundamento: El método consiste en colocar una muestra diluida en botellas herméticas para incubación en condiciones adecuadas. El tamaño de la botella y el tiempo de incubación son flexibles de acuerdo a las características de cada una de las muestras. La temperatura de incubación, sin embargo, es de 20°C . La mayoría de los efluentes y aguas superficiales naturales contienen materiales con demandas de oxígeno que exceden el OD disponible por el oxígeno saturado en el agua. Por tanto, es necesario diluir la muestra o evaluar el OD con frecuencia para asegurarse de que el OD mínimo o anaeróbico en esas condiciones no ocurran. Cuando las concentraciones de OD se acercan a 2 mg/L , la muestra debe volver a airearse, debido al crecimiento bacteriano por necesitar nitrógeno, fósforo y oligoelementos. Las cantidades necesarias pueden ser agregadas a la dilución del agua junto con el tampón para que el pH sea el adecuado para el crecimiento. La oxidación de compuestos nitrogenados durante el período de incubación depende de la presencia de microorganismos capaces de realizar ésta oxidación. Es posible que dichos organismos no estén presentes en las aguas residuales en cantidades suficientes para oxidar cantidades significativas de nitrógeno reducido (Young *et al.*, 2017).

d. Alcalinidad (Ca-CO₃)

Método de referencia: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 2320 B, 23rd Ed.2017

Método por titulación

Fundamento: Los iones hidroxilo presentes en forma simple como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos reaccionan con adiciones de ácido estándar. Por tanto, la alcalinidad depende del pH.

Cuando la alcalinidad se debe al contenido de carbonato o bicarbonato, el pH en el punto de equivalencia de la titulación se determina por la concentración de dióxido de carbono (CO₂). La concentración de CO₂ depende, a su vez, del total de tipo de carbonato presente originalmente y de cualquier pérdida que pueda haber ocurrido durante la titulación. La alcalinidad de fenolftaleína es el término utilizado tradicionalmente para la cantidad medida por titulación a pH 8,3 independientemente del indicador de color, si lo hay, utilizado en la determinación. Se puede usar fenolftaleína o púrpura de metacresol para la titulación de alcalinidad a pH 8.3. también para pH 4.5 se puede utilizar el verde de bromocresol o un indicador mixto de verde de bromocresol y rojo de metilo.

e. Sólidos suspendidos totales (STS)

Método de referencia: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed. 2017

Sólidos Totales Secados a 103-105°C

Fundamento: La muestra a analizar debe estar bien mezclada; se tamiza a través de un filtro de fibra de vidrio estándar y el residuo retenido en el filtro se seca a temperatura de 103 a 105°C hasta obtener un peso constante. El aumento en peso del filtro representa el total de sólidos en suspensión. Si la muestra suspendida obstruye el filtro entonces se prolongará la filtración, alternativamente será preciso utilizar otro filtro con mayor diámetro los poros o disminuir el volumen de la muestra. Para obtener una estimación del total de sólidos en suspensión, calcular la diferencia entre sólidos totales disueltos y sólidos totales (APHA 1999)

f. Nitrógeno amoniacal

Método de referencia: ISO 11732 (Validado). 2nd.Ed 2005

Método por análisis de flujo (CFA y FIA) y detección por espectrometría

Fundamento: La ISO 11732 especifica el método para la determinación del nitrógeno amoniacal en diversos tipos de aguas en concentraciones máxicas entre 0,1 mg/l y 10 mg/l (en la muestra no diluida) aplicando FIA o CFA.

Para el análisis por inyección en flujo (FIA), la muestra es incorporada mediante una válvula de inyección por un conducto donde circula una corriente continua de fluido portador, y en el transporte de la muestra hacia el detector se agregan los reactivos necesarios en el conducto portador o por conductos auxiliares conectados al principal, en los cuales se produce un flujo laminar, y se alcanzan altas frecuencias de muestreo

Sistema automatizado de flujo continuo segmentado (CFA), se fundamenta en la determinación colorimétrica del nitrógeno total disuelto en agua para obtener nitritos, tras haber sido llevada a una doble digestión, en dos procesos utilizando autoclave a 110°C y alta presión (0.09 MPa). En la primera etapa se agrega persulfato y, en la segunda etapa, un ácido inorgánico. Estos compuestos nitrogenados inorgánicos y orgánicos se oxidan a nitrato, luego se reducen a nitrito en columna de cobre-cadmio, y seguidamente, una alícuota reacciona con N-(1-naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride (NEDD), y el complejo se mide colorimétricamente a 550 nm (AENOR, 2005)

g. Metales pesados

Método de referencia: EPA-6010 B/EPA 3010 A. Rev. 2 Diciembre1996

Espectrometría de Masas por Plasma Acoplado por Inducción (ICP)

Este procedimiento la determinación de elementos en muestras líquidas mediante espectrometría de emisión por plasma (ICP). Los elementos son: sodio, potasio, calcio, magnesio, fósforo, boro, aluminio, antimonio, arsénico, berilio, bismuto, cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, litio, manganeso, azufre, molibdeno, níquel, selenio, estroncio, talio, titanio, vanadio, rubidio y zinc.

Fundamento: El método está basado en la medición de la emisión atómica por medio de una técnica de espectroscopia óptica. Las muestras se nebulizan y el aerosol formado se transporta hasta la antorcha del plasma donde tiene lugar la excitación electrónica. Un plasma de radiofrecuencia acoplado inductivamente (ICP) genera los correspondientes espectros de líneas de emisión atómicas. Los haces de luz son dispersados por un espectrómetro de red de difracción y los detectores se encargan de medir las intensidades de las líneas. Las señales originadas en los detectores se procesan y controlan mediante un sistema informático.

- Preparación de las muestras líquidas para los ensayos. Las muestras líquidas se transfieren a un tubo de ensayo para su análisis eliminando las partículas por filtración que puedan contener si es necesario.
- Para el calibrado mediante la preparación de una serie de soluciones: la solución está compuesta por: Na, K, Ca, Mg, B, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Al, Co, Tl, S, P, As, Mo, Se, Sb, Ti, Be, Bi, V, Sr, Li, Rb y Mn a distintas concentraciones, que se constituyen en la muestra patrón (G-1.0), de los restantes patrones de calibración.
- Para realizar las soluciones patrón intermedias se tomaron los volúmenes del patrón y se llevaron a un volumen final de 100 mL en matraz aforado de clase A con agua ultra pura. Guardándose posteriormente en botes de polietileno de 250 mL.
- Control interno de calidad: Criterios de aceptación/rechazo

h. Mercurio total

Método de referencia: EPA Method 245.7 Rev. 2 (2005)

Mercurio en agua por espectrometría de absorción atómica con la técnica de vapor frío

Fundamento: El método ha sido desarrollado entre los Sistemas de Monitoreo Ambiental de la EPA y Aplicaciones de tecnologías, Inc. en muestras de agua.

- Se recolecta directamente en un fluoropolímero limpio una muestra de 100 a 2000 ml considerando las técnicas de manipulación para la recolección de mercurio en trazas.
- La muestra se filtra a una cápsula de 0,45: m antes de la conservación.
- La muestra se conserva agregando 5 mL / L de HCl 12N.
- Antes del análisis, el Hg de la muestra se oxida con el bromato de potasio / bromuro de potasio
- Después de la oxidación, la muestra se pre-reduce secuencialmente con $\text{NH}_2\text{OH-HCl}$ para destruir el exceso bromo, luego el Hg iónico se reduce con SnCl_2 para convertir Hg (II) en Hg volátil (0).
- El Hg (0) se separa de la solución pasando la muestra a través de un separador de gas / líquido y se purifica con gas argón de alta pureza.
- El Hg pasa a una corriente de gas inerte que transporta el Hg (0), este es liberado a la celda de vapor frío para detectar el Hg en el espectrómetro de fluorescencia atómica (CVAFS), la concentración de Hg se determina por espectrometría de fluorescencia atómica a 253,7 nm (EPA 2005).

i. Aniones

Método de referencia: Por Cromatografía Iónica EPA METHOD 300.0, REV 2.1, 1993

Determinación de aniones inorgánicos por cromatografía iónica

Fundamento: Este método permite la determinación de aniones inorgánicos.

- Se toma 2 -3 ml de muestra, se introduce en un ion cromatógrafo.
- Los aniones importantes son separados y medidos utilizando un sistema compuesto por una columna de protección, columna analítica, dispositivo supresor, y detector de conductividad.
- Las principales diferencias entre las Partes A y B son las columnas separadoras y

columnas de protección. Se debe realizar un procedimiento de extracción para utilizar este método para sólidos (Pfaff, 1993)

3.5.2.2 Análisis estadístico

Para el análisis de las relaciones entre las variables en estudio se utilizó:

- La prueba de correlación Pearson, es un método descriptivo preliminar para estimar el grado de asociación entre las variables cuantitativas involucradas.
- Análisis de Varianza para determinar las diferencias entre los puntos de monitoreo para los 14 parámetros físicos químicos, 4 puntos de monitoreo y 56 promedios de los parámetros físicos químicos del lixiviado (AGU-01-CHILLA, AGU-02-CHILLA, AGU-03-CHILLA) y lixiviado (AGU-04-CHILLA) del ámbito Botadero de Chilla se utilizó el Diseño Irrestricto al Azar (DIA), con el siguiente modelo matemático)

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + E_{ijc}$$

Y_{ij} = observación j-ésima observación del punto de monitoreo i

μ = media general

α_i = efecto del i-ésimo punto de monitoreo

E_{ij} = error aleatorio

3.5.3 Metodología por objetivo 2: Formular una propuesta para el control del lixiviado producido de los residuos sólidos en el Botadero de Chilla – Juliaca

Se efectuó mediante la búsqueda y análisis de la documentación, Gómez *et al.*, (2014) que facilitó la adquisición de la información disponible en materia ambiental, además la normatividad vigente en el Perú vinculada a la recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto al tema de investigación es relevante mencionar que la normativa peruana no ha establecido límites máximos permisibles (LMP) para la calidad de lixiviados provenientes de la descomposición de residuos sólidos municipales, por tanto, para la evaluación y comparación de los parámetros se tomó en cuenta el Proyecto de Norma que aprueba los LMP de efluentes de infraestructuras de Residuos sólidos de manera referencial, MINAM (2009), tal como lo señala la segunda disposición transitoria, complementaria y final de la Ley General del Ambiente 28611, que en tanto no se determine en el país el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), Límites máximos permisibles (LMP) y otros parámetros para la protección ambiental son de uso referencial los de derecho internacional u otros.

4.1 Los factores físicos químicos (pH, DQO, DBO, alcalinidad, sólidos totales suspendidos, nitratos, metales pesados) en la fuente de agua impactada por el lixiviado de los residuos sólidos del Botadero de Chilla – Juliaca.

Los resultados del análisis físico químico del agua impactada por lixiviados por punto de muestreo y repetición de la zona de estudio del Botadero de Chilla de la ciudad de Juliaca para el año 2018, se muestran en la Tabla 6, 7, 8 y 9 con el valor detectado en laboratorio, especificando los parámetros de evaluación.

4.1.1 Análisis del Primer punto (AGU-01-CHILLA) de monitoreo del agua impactada por el lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla- Juliaca, 2018.

Para diferenciar los valores de los parámetros del monitoreo con la repetición son contrastado con los LMP de efluentes de infraestructura de residuos sólidos.

Tabla 5

Primer punto de monitoreo del agua impactada por el lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla – Juliaca, 2018

Parámetro		1er pto monitoreo y repetición (AGU-01-CHILLA)		Norma que aprueba los efluentes de infraestructuras de Residuos sólidos LMP
Potencial de hidrógeno	pH	7.5	7.5	6,5-8,5
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	---	---	
Alcalinidad Total*	mg CaCO ₃ /L	15294	15892	
DBO	mg/L	50570	60997	20
DQO	mg O ₂ /L	126217	148990	120
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	6080	7120	30
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01028	0,01121	0.01
Arsénico (As)	mg/L	4,81	4,61	0.1
Cadmio (Cd)	mg/L	< 0,002	< 0,002	0.1
Cromo (Cr)	mg/L	19,11	18,81	0.1
Cobre (Cu)	mg/L	1,040	1,048	0.5
Hierro (Fe)	mg/L	308,6	301,5	2
Plomo (Pb)	mg/L	< 0,02	< 0,02	0.5
Zinc (Zn)	mg/L	8,963	8,788	0.5

Fuente: Informe de ensayos: 52427/2018 y 52452/2018 (Laboratorio ALS Perú S.A.C.)

Respecto a este primer punto de monitoreo (AGU-01-CHILLA), que está aproximadamente a una distancia de 80 metros al área del botadero se reporta un pH (7.5) está dentro del rango (6,5-8,5) valor propio de un vertedero viejo; así mismo los demás valores de los parámetros sobrepasan; resaltando de la DBO (50570-60997) por la fracción orgánica biodegradable del lixiviado que indica la madurez del vertedero mientras el valor de la DQO (126217-148990) puede deberse al tiempo que necesita los residuos sólidos en degradarse y la presencia del agua y en relación a los SST (6080-7120) se relaciona con la madurez (más de 10 años) de operación del botadero referenciado por Bhalla *et al.* (2012) resaltamos que los valores de metales pesados Cd, Pb son menores a excepción del As, Cr, Cu Fe con valores mayores la razón que con el tiempo el material de desecho sólido se degrada y los componentes de los residuos se filtran junto con el agua de lluvia según Sriram *et al.* (2017), Bau *et al.* (2017) se evidencia contaminación en la cercanía al botadero de Chilla.

4.1.2 Análisis del Segundo (AGU-02-CHILLA) y tercer punto (AGU-03-CHILLA) del monitoreo del agua impactada por el lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla- Juliaca, 2018.

Tabla 6

Segundo punto de monitoreo del agua impactada por el lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla – Juliaca, año 2018

Parámetro		2do pto de monitoreo y repetición (AGU-02-CHILLA)		Norma que aprueba los efluentes de infraestructuras de Residuos sólidos
Potencial de hidrogeno	pH	7.5	7.5	6,5-8,5
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	---	---	
Alcalinidad Total*	mg CaCO ₃ /L	3242	3120	
DBO	mg/L	4947	4597	20
DQO	mg O ₂ /L	8427	8024	120
STS	mg/L	4000	4000	30
Mercurio (Hg)	mg/L	0,00718	0,00648	0.01
Arsénico (As)	mg/L	0,39	0,41	0.1
Cadmio (Cd)	mg/L	< 0,002	< 0,002	0.1
Cromo (Cr)	mg/L	1,598	1,479	0.1
Cobre (Cu)	mg/L	0,309	0,269	0.5
Hierro (Fe)	mg/L	92,45	80,28	2
Plomo (Pb)	mg/L	< 0,02	< 0,02	0.5
Zinc (Zn)	mg/L	1,825	1,607	0.5

Fuente: Informe de ensayos: 52427/2018 y 52452/2018 (Laboratorio ALS Perú S.A.C.)

Tabla 7

Tercer punto monitoreo del agua impactada por el lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla – Juliaca, año 2018

Parámetro		3er pto de monitoreo y repetición (AGU-03- CHILLA)		Norma aprueba los de efluentes de infraestructuras de Residuos sólidos
Potencial de hidrogeno	pH	7.5	7.5	6,5-8,5
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	772,4	744,0	
Alcalinidad Total*	mg CaCO ₃ /L	---	---	
DBO	mg/L	337	377	20
DQO	mg O ₂ /L	687	713	120
STS	mg/L	636	648	30
Mercurio (Hg)	mg/L	0,00268	0,00232	0.01
Arsénico (As)	mg/L	< 0,02	< 0,02	0.1
Cadmio (Cd)	mg/L	< 0,002	< 0,002	0.1
Cromo (Cr)	mg/L	< 0,002	< 0,002	0.1
Cobre (Cu)	mg/L	0,029	0,026	0.5
Hierro (Fe)	mg/L	4,274	4,431	2
Plomo (Pb)	mg/L	< 0,02	< 0,02	0.5
Zinc (Zn)	mg/L	0,253	0,223	0.5

Fuente: Informe de ensayos: 52427/2018 y 52452/2018 (Laboratorio ALS Perú S.A.C.)

Las tablas 6 y 7 que corresponden al segundo punto (AGU-02- CHILLA) y tercer punto (AGU-03- CHILLA) reportan cantidades menores en comparación al primer punto (AGU-01- CHILLA) monitoreo realizado en el canal que contiene agua, asumimos además por la distancia, dispersión y filtración del lixiviado al suelo, sin embargo en el segundo punto resalta la presencia de CaCO₃/L (3242-3120) según Novelo *et al.* (2004) refiere al aumento de la dureza del líquido y la adición de calcio al lixiviado. Respecto el hierro en el tercer punto (4274-4431) se presenta en mayor cantidad comparado al LMP es preciso señalar la existencia de una contaminación muy puntual en el área.

Por consiguiente, los tres puntos analizados muestran contaminación de aguas superficiales por la movilización del lixiviados provenientes del Botadero de residuos sólidos de Chilla, área que carece de geomembrana protectora ni existe el tratamiento del lixiviado, además la subsecuente contaminación de aguas subterráneas por percolación, escorrentía, y la movilización directa de los lixiviados a través del suelo

que se encuentra por debajo de la masa de residuos existiendo un intercambio entre acuíferos.

4.1.3 Análisis del Cuarto punto de monitoreo (AGU-04-CHILLA) del lixiviado del Botadero de residuos sólidos de Chilla- Juliaca, 2018.

La tabla 8 muestra el cuarto punto de monitoreo (AGU-04-CHILLA) que corresponde al lixiviado del Botadero de residuos sólidos del Botadero de Chilla de la ciudad de Juliaca. Como se detalla a continuación:

Tabla 8

Cuarto punto de monitoreo del lixiviado del Botadero Chilla – Juliaca, año 2018

Parámetro	4Pto pto de monitoreo repetición (AGU-04-CHILLA)		Norma que aprueba los LMP de efluentes de infraestructuras de Residuos sólidos	
	de	de		
Potencial de hidrogeno	pH	7.5	7.5	6,5-8,5
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	---	---	
Alcalinidad Total*	mg CaCO ₃ /L	5374	5396	
DBO	mg/L	30000	29400	20
DQO	mg O ₂ /L	59700	55564	120
STS	mg/L	1240	1440	30
Mercurio (Hg)	mg/L	0,00027	0,00024	0.01
Arsénico (As)	mg/L	< 0,02	< 0,02	0.1
Cadmio (Cd)	mg/L	< 0,002	< 0,002	0.1
Cromo (Cr)	mg/L	0,207	0,191	0.1
Cobre (Cu)	mg/L	< 0,002	< 0,002	0.5
Hierro (Fe)	mg/L	172,9	159,6	2
Plomo (Pb)	mg/L	< 0,02	< 0,02	0.5
Zinc (Zn)	mg/L	0,369	0,336	0.5

Fuente: Informe de ensayos: 52427/2018 y 52452/2018 (Laboratorio ALS Perú S.A.C.)

Los parámetros del cuarto punto de monitoreo realizado en la columna media del propio botadero se presentan en la Tabla 8; los resultados indican que, el lixiviado se ha originado por la descomposición de los diferentes tipos de residuos, gran cantidad de elementos de origen orgánico e inorgánico, entonces puede ser muy superior la presencia de sólidos físicos en suspensión y sólidos mezclados en la mezcla por lo que la calidad puede cambiar gradualmente Hussein *et al.* (2019), resaltando la presencia

de metales pesados: Cd^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} Schiopu y Gavrilescu (2010), produciendo una contaminación severa por la presencia de sustancias orgánicas, sales y metales pesados en aguas subterráneas Abd y Abu (2015); y el color oscuro del lixiviado, Müller *et al.* (2015) puede ser un indicador de ineficiencia del tratamiento biológico, debido al retraso del crecimiento de microorganismos, el lixiviado se dispersa en fuentes de agua (arroyos cercanos, riachuelos y una parte podrían ser adsorbido por los sedimentos y contaminar el agua subterránea, originando acumulación en los seres vivos y áreas cercanas, con la probabilidad de crear rutas del lixiviado perturbando el ambiente y población humana (Piñeiro, 1994)

Observamos que este punto AGU-04-CHILLA presenta un pH (7.5) de tendencia alcalina, al respecto Kulikowska y Klimiuk (2008) a medida que se incrementa la edad del vertedero, es considerado lixiviado “viejo” de la fase metanogénica parcialmente por la menor concentración de ácidos grasos volátiles libres Adhikari y Nath (2015), Buendía *et al.* (2021), sin embargo si existiera mayor aumento del valor del pH originará una cierta disminución en la solubilidad de metales.

Respecto a la alcalinidad total ($CaCO_3/L$) del lixiviado se obtuvo (5374- 5396) Torres *et al.* (2014) indica existe una relación directa por la presencia de iones, de esta forma a medida que aumenta la edad del lixiviado disminuirá la alcalinidad.

La muestra de lixiviado, en relación al DBO_5 (30000- 29400) y DQO (59700-55564) sobrepasan al LMP; indican valores elevados que marcan una biodegradabilidad (Merzouki *et al.*, 2018; Noerfitriyani *et al.*, 2018).

Mientras que los sólidos totales suspendidos (1240-1440) exceden al valor del LMP (30) según (Widyarsana, 2019) este parámetro contribuye en el color del lixiviado y (Bhalla *et al.* 2012); este TDS está compuesto por sales inorgánicas y sustancias orgánicas disueltas.

Concerniente a los metales: Mercurio (0.00027- 0,00024); Arsénico (<0,02 - <0,02); Cadmio (<0,002 - < 0,002); Cobre (< 0,002 – <0,002) y Plomo (<0,02 - < 0,02) se verifica que están por debajo del LMP, según Susunaga y Estévez (2018), tienden a disminuir con el paso del tiempo. Mientras que el Cromo (0,207 – 0,0.191) excede al LMP probablemente se debe a la lixiviación de metales Hussein *et al.*, (2020) referente al Hierro (172,9–159,6) y Zinc (0,369-0,336) que sobrepasan al LMP; según Pastor y Hernández (2012) demostrando mayor movilidad.

Al comparar el AGU-04-Chilla con el AGU-01-Chilla se observa que los valores en algunos parámetros (DBO, DQO, STS, As, Cr, Fe, Zn) son menores, coincidiendo con Torres *et al.* (2014) refiere las concentraciones disminuyen en el lixiviado de mayor edad, como es el caso del Botadero de Chilla.

4.2 Correlación entre los parámetros físicos químicos en los cuatro puntos de monitoreo del botadero de residuos sólidos de Chilla

Para analizar los factores físicos químicos en la fuente de agua impactada por los lixiviados de los residuos sólidos en el Botadero Chilla – Juliaca, y a la vez probar si los factores físicos están correlacionados con los químicos en los 4 puntos de muestreo del Botadero de Chilla, se tiene los siguientes resultados.

Tabla 9

Correlación de Pearson entre parámetros fisicoquímicos del monitoreo en el Botadero de residuos sólidos de Chilla -Juliaca

	pH	At	At*	DBO	DQO	STTS	Hg	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn
pH	-													
AT	-	-												
AT*	-	-	1											
DBO	-	-	0.992	1										
DQO	-	-	0.983	,998**	1									
STS	-	-	0.767	0.841	0.869	1								
Hg	-	-	0.979	,997**	1,000**	0.873	1							
As	-	-	0.985	,999**	,999**	0.849	,999**	1						
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Cr	-	-	-0.555	-0.240	-0.186	0.321	-0.175	-0.219	-	1				
Cu	-	-	0.906	0.941	,951*	0.866	,957*	,956*	-	-0.061	1			
Fe	-	-	-0.342	-0.225	-0.174	0.234	-0.156	-0.186	-	0.869	0.076	1		
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	0.989	1,000**	,999**	0.849	,999**	1,000**	-	-0.224	0.947	-0.205	-	1

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

a. No se puede calcular porque, como mínimo, una de las variables es constante.

La tabla 9 nos indica las Correlación (r de Pearson) entre los parámetros fisicoquímicos, muestra una alta correlación entre: la DQO y DBO con 0,998, seguido del Hg y DBO con 0.997, Hg y DQO con 1.000, As y DBO con 0.999, As y DQO con 0.999, As y Hg con 0.999, Zn y DBO con 1.000, Zn y DQO con 0.999, Zn y Hg con 0.999 finalmente Zn y As con 1.000, se considera esta correlación como positiva entre los parámetros. Esta respuesta positiva que es muy elevada se da por la asociación de materia orgánica con cada uno de los parámetros analizados. Resaltando que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), las concentraciones obtenidas en las muestras son elevadas. Esto denota la presencia de un alto contenido de

materia orgánica, resultados que coinciden con Torres *et al.* (2014), González *et al.* (2005) y se producen de la misma fuente Sheeba *et al.* (2016)

4.3 Comparación de promedios de los parámetros físicos químicos entre los cuatro puntos de monitoreo del botadero de Chilla

Tabla 10

Promedio de los parámetros del monitoreo del lixiviado en el Botadero de Chilla-Juliaca

Parámetros	1er punto monitoreo	2do punto monitoreo	3er punto monitoreo	4to punto monitoreo	Norma que aprueba los LMP de efluentes de infraestructuras de Residuos sólidos
pH	7.5	7.5	7.5	7.5	6,5-8,5
AT	-	-	758.2	-	
AT	15593	3181	-	5385	
DBO	55783.5	4772	357	29700	20
DQO	137603.5	8225.5	700	57632	120
STS	6600	4000	642	1340	30
Hg	0.010745	0.00683	0.0025	0.000255	0.01
As	4.71	0.4	0.02	0.02	0.1
Cd	0.002	0.002	0.002	0.002	0.1
Cr	18.96	1.5385	0.002	0.199	0.1
Cu	1.044	0.289	0.0275	0.002	0.5
Fe	305.05	86.365	4.3525	159.6	2
Pb	0.02	0.02	0.02	0.02	0.5
Zn	8.8755	1.716	0.238	0.3525	0.5

Fuente: Elaboración equipo de trabajo

El lixiviado, como efluente de infraestructuras de residuos sólidos deberá descargar sus aguas en un cuerpo receptor (Decreto Supremo N°-2009-MINAM).

Los promedios por punto de monitoreo de los parámetros físicos químicos del lixiviado en relación al LMP en la tabla 10, respecto a pH se encuentra en el intervalo de (6, 5-8,5) definido alcalino, mientras que el DBO, DQO, SST, y Fe en los 4 puntos de monitoreo los promedios sobrepasan en relación LMP, respecto al Hg el primer punto es levemente mayor (0.010745) en relación al 2do, 3er y 4to punto, mientras que el As en el 1er punto es alto (4.71) disminuyendo en el 2do Punto (0.4) pero en el 3er y 4to punto (0.02) están por debajo del LMP (0.1); en relación al Cu el 1er punto (1.044)

sobrepasa al LMP (0.5) comparando con el 2do, 3er y 4to punto que están por debajo del valor. En relación al Pb los cuatro puntos de monitoreo tienen el mismo valor (0.02) denota que están por debajo del LMP (0.5) y el Zn el 1er punto es alto (8.8755) disminuyendo en el 2do (1.716), al mismo tiempo el 3er y 4to punto (0.258 y 0.3525) están por debajo del LMP (0.5). Asumimos que los valores del primer punto son altos por la cercanía al botadero a diferencia del Cd y Pb, y al análisis además estos valores van disminuyen en el 2do y 3er punto, en comparación que el 4to punto se incrementa respecto al DBO, DQO, principalmente por la actividad aeróbica y anaeróbica del lixiviado.

4.4 Análisis de promedios de los parámetros pH, DBO, DQO y STS en el Botadero de Chilla respecto al LMP

Para el presente estudio se analizan y comparan los promedios obtenidos del análisis físico químico con los valores del LMP, Resultados que presentamos en la Tabla 11 y figuras 17,18

Tabla 11

Promedios de los parámetros pH, DBO, DQO, STS en los 4 puntos de monitoreo en el Botadero de Chilla respecto al LMP

Parametro	LMP	PUNTOS DE MONITOREO			
		AGU-01-CHILLA	AGU-02-CHILLA	AGU-03-CHILLA	AGU-04-CHILLA
pH	6.5-8.5	7.5	7.5	7.5	7.5
DBO (mg/L)	20	55783.5	4772	357	29700
DQO (mgO ₂ /L)	120	137603.5	8225.5	700	57632
STS (mg/L)	30	6600	4000	642	1340

LMP de efluentes de infraestructura de residuos sólidos MINAM-2009

Fuente: Elaboracion equipo de trabajo

4.4.1 Concentración del potencial hidrogeno (pH)

En la tabla 11, reporta a los cuatro puntos de monitoreo un pH de 7.5; al respecto Poznyak *et al.* (2008) señala que el pH de un lixiviado es estable cuando presenta valores altos comparado con valores de un lixiviado joven, mientras Robinson y Luo (1991) cuando el nivel de pH aumenta, dificulta el sistema tampón de bicarbonato que apoya la actividad de las bacterias metanogénicas, estos microorganismo obtienen su energía por el proceso metabólico del metano, utilizando el dióxido de carbono, acetato y sustratos de metilo por medio de la hidrólisis y acetogénesis y son importantes en la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. Referimos que el valor de 7.5 se

encuentra dentro de los LMP (6.5-8.5) señalado en la Norma de efluentes de infraestructuras de Residuos sólidos, parámetro que corresponde a lixiviados viejos.

4.4.2 Relación de DBO y DQO

El contenido orgánico de los lixiviados de vertederos sanitarios se determina por la relación DBO y DQO, indicadores de la fracción orgánica caracterizada por su biodegradabilidad, permitiendo la conversión de carbono orgánico a CO₂, H₂O, o cantidad de O₂ requeridos por los microorganismos para la producción de materia orgánica Giraldo (2001) y Gonzáles *et al.* (2005), la relación DBO₅/DQO > 0.4, indican la finalización de la fase ácida o el inicio de la fase metanogénica.

En la tabla 11 figura 17 y 18, se aprecia los cuatro puntos tienen altas concentraciones que están por encima de los valores establecidos en la Norma de LMP de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos; cuyos valores indican la acción de biodegradabilidad en el botadero de Chilla, por la presencia de residuos de alimentos, rastrojos de vegetales, papel, que incrementan materia orgánica en el lixiviado, asumimos por la inadecuada recolección de los residuos.

La relación DBO/DQO, el 1er y 2do punto muestra valores más altos por la actividad del lixiviado y el 3er Punto de monitoreo presenta un valor diferente al resto probablemente por la dilución con el agua en ese punto; el promedio del 4to punto de monitoreo que corresponde indica elevadas concentraciones de compuestos orgánicos y solubles, según Ehrig,(1983) en el vertedero se realiza una serie de procesos físicos, químicos y biológicos; por ello los residuos son degradados o descompuestos, y la presencia de agua que percola en el botadero, hacen que las sustancias contaminantes presentes en los residuos sólidos entren en descomposición; produciendo la remoción de los elementos contaminantes con característica soluble, esta descomposición de moléculas orgánicas complejas y productos solubles resultan de las reacciones químicas generando las etapas: aeróbica, acidogénica y metanogénica; Widyarsana *et al.* (2019), sostiene que el alto nivel de DBO genera agua turbia y contiene muchos compuestos orgánicos que se convierten en un agente contaminante cuando se liberan en cuerpos de agua, también Vaccari *et al.* (2019), los niveles de DBO son más altos en los rellenos sanitarios ≤ 10 años; mientras el parámetro DQO se acumula en la muestra debido a los excesos de compuestos más recalcitrantes en comparación con los compuestos más reactivos del lixiviado Vallero y Blight (2019) para Susunaga y

Estévez (2018) es importante el cierre definitivo de estos botaderos, por las condiciones actuales permiten la movilización de contaminantes.

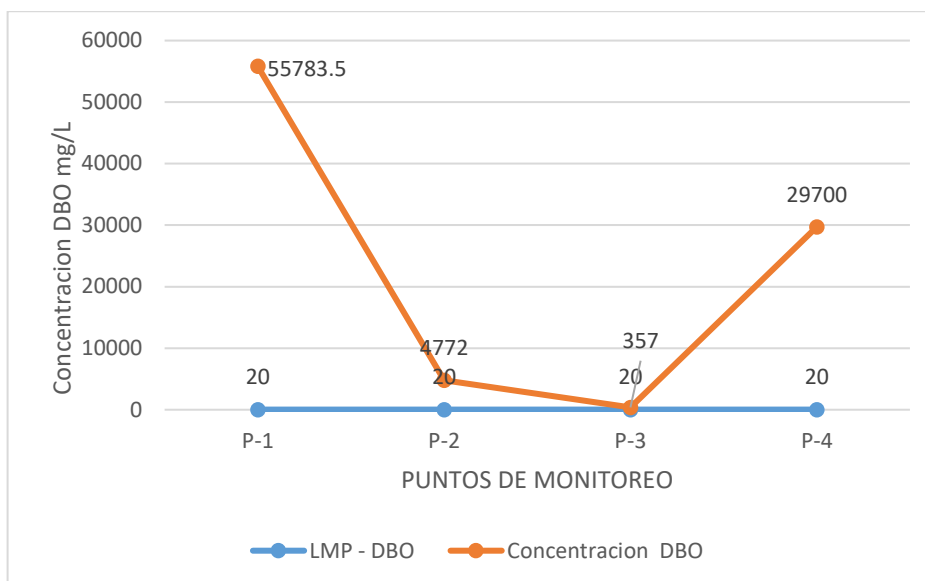


Figura 17. Concentración de DBO de los cuatro puntos de monitoreo.

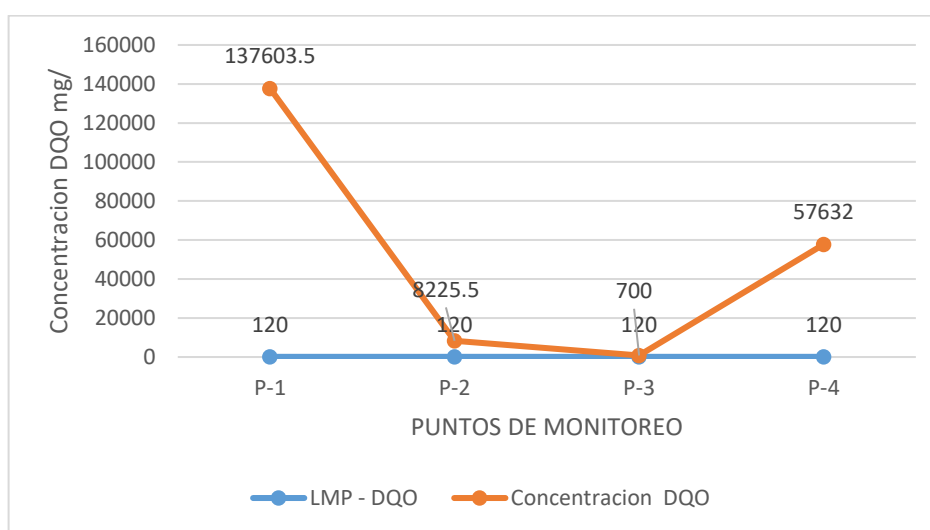


Figura 18. Resultados de la concentración de DQO de los cuatro puntos de monitoreo.

4.4.3 Concentración de Sólidos Totales Suspendedos

En la tabla 11 figura 19, se observa la concentración de los Sólidos Totales Suspendedos en el lixiviado del botadero de Chilla. Así los puntos P-1 (6600mg/L), P-2 (4000 mg/L) y P-4(642 mg/L) tienen mayor concentración de los sólidos totales suspendidos comparando con la referencia de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos que nos indica que se presenta contaminación por la presencia de metales; sin embargo Noerfitriyani *et al.* (2018) obtuvo 72.33 mg/L, concluyendo que la descarga de lixiviados del relleno sanitario impactan en la calidad del agua del río Pesanggrahan.

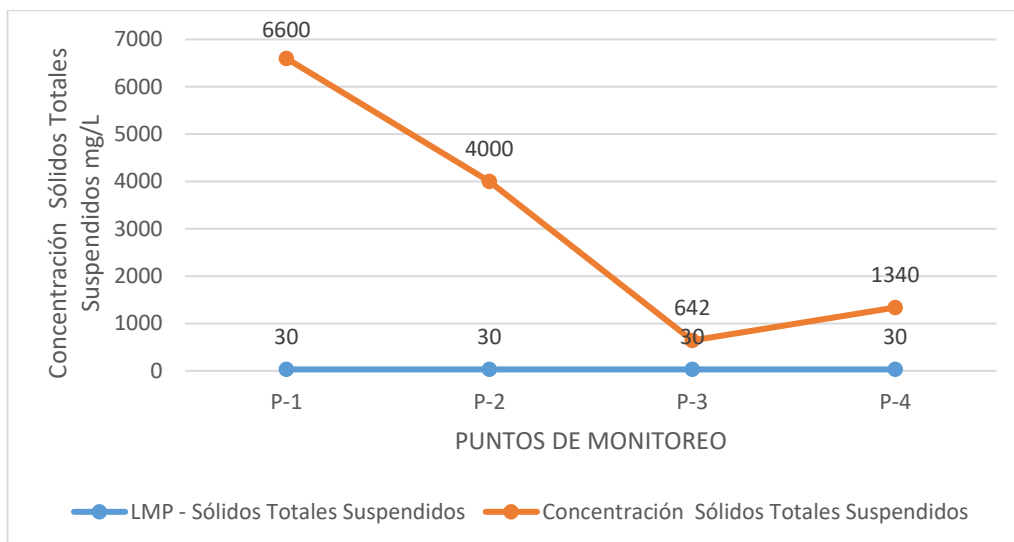


Figura 19. Resultados de la concentración de sólidos totales suspendidos de los cuatro puntos de monitoreo.

4.5 Análisis de la concentración promedio en metales del Botadero de Chilla respecto al LMP

4.5.1 Concentración de metales

Según Hussein *et al.* (2020); los suelos impactados por altas concentraciones de metales pesados, principalmente en sitios sin revestimiento, y áreas de influencia a los botaderos; es fundamental darse cuenta que el incremento de metales, no sólo es originado por fuentes antropogénicas, como los de los residuos eliminados, sino por otros factores como la condición redox, los entornos anóxicos, el pH, el estado de oxidación de los metales y acción microbianas estas condiciones facilitan la actividad de lixiviación de metales de los desechos y también de los suelos naturales en el vertedero.

Tabla 12

Promedios de los Metales (Hg, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) en los 4 puntos de monitoreo del Botadero de Chilla respecto al LMP

Parámetro	LMP*	PUNTOS DE MONITOREO			
		AGU-01-CHILLA	AGU-02-CHILLA	AGU-03-CHILLA	AGU-04-CHILLA
Hg (mg/L)	0.01	0.010745	0.00683	0.0025	0.000255
As (mg/L)	0.1	4.71	0.4	0.02	0.02
Cd (mg/L)	0.1	0.002	0.002	0.002	0.002
Cr (mg/L)	0.1	18.96	1.5385	0.002	0.199
Cu (mg/L)	0.5	1.044	0.289	0.0275	0.002
Fe (mg/L)	2	305.05	86.365	4.3525	159.6
Pb (mg/L)	0.5	0.02	0.02	0.02	0.02
Zn (mg/L)	0.5	8.8755	1.716	0.238	0.3525

*Proyecto que aprueba los LMP de efluentes de infraestructura de residuos sólidos MINAM
Fuente: Elaboracion equipo de trabajo

4.5.2 Concentración del Mercurio

En la tabla 12 figura 20, se observa el comportamiento del mercurio (Hg) en el lixiviado del botadero, el punto P-1 (0.010745) es significativamente mayor, el P-2 (0.00683), P-3 (0.0025) y P-4 (0.000255) con valores bajos en comparación al referente de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos (0.01), la escasa cantidad puede darse por la presencia de residuos no aprovechables, sin embargo la presencia del mercurio es un elemento que se presenta por sucesos naturales y geológicos, utilizado en la actividad minera e industrial. También en empastes dentales de allí que podría ser parte de los residuos sólidos municipales. La interacción del mercurio con el ecosistema está sujeto a la forma y especie química en la que este, determinado por el pH. La capacidad óxido-reducción del agua, sustancias orgánicas capaces de formar complejos químicos, el clima, los microorganismos convierten al mercurio inorgánico a metilmercurio este es liberado por los microorganismos al entrar en contacto con el agua o suelo y permanecer durante mucho tiempo He *et al.* (2018), la presencia en lixiviados requieren de una evaluación para determinar la distribución biológica en estas áreas.

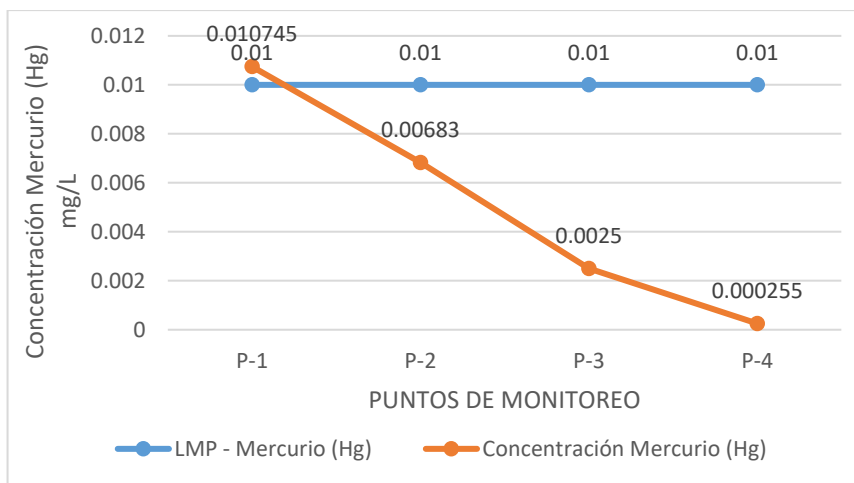


Figura 20. Resultados de la concentración de mercurio de los cuatro puntos de monitoreo.

4.5.3 Concentración del Arsénico

En la tabla 12 figura 21, se observa la presencia del Arsénico (As) en el agua impactada por el lixiviado del botadero de Chilla, en el punto P-1 con (4.71), y el P-2 (0.4) está relativamente por encima del LMP referencial, sin embargo, P-3, P-4 son menores. Hussein *et al.* (2020) confirman que las altas concentraciones del As especialmente de rellenos sanitarios sin revestimiento causan el deterioro de la calidad del suelo circundante.

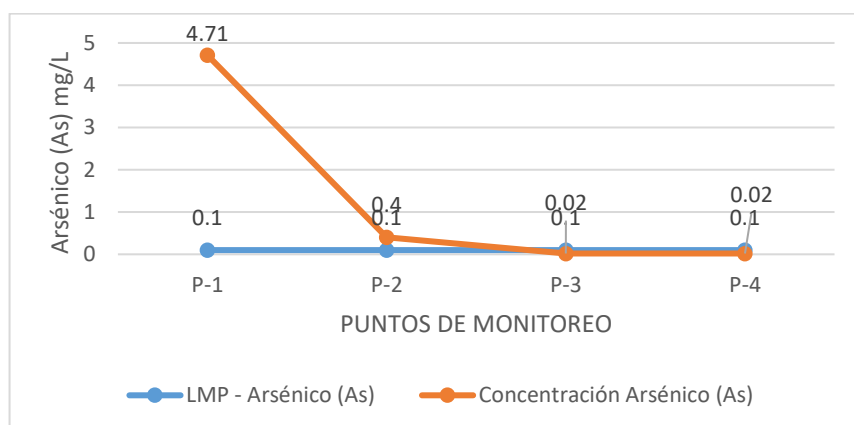


Figura 21. Resultados de la concentración de arsénico de los cuatro puntos de monitoreo.

4.5.4 Concentración del Cadmio

La tabla 12 figura 22, la concentración del cadmio es baja en comparación con el LMP, sin embargo, este elemento químico es propio de la industria extractiva, e inevitable subproducto del Zinc, plomo y cobre, aunque algunos autores señalan estar presente

en el aire por la combustión de residuos urbanos y combustibles fósiles, siendo absorbido por la materia orgánica del suelo, tornándose peligroso. En caso del Botadero Chilla no significa preocupación por los bajos valores de este elemento, Sin embargo Arrieta y Luján (2007) menciona a Moreno, D. (2003), los lixiviados de rellenos sanitarios son ácidos, esto favorece la movilización del cadmio.

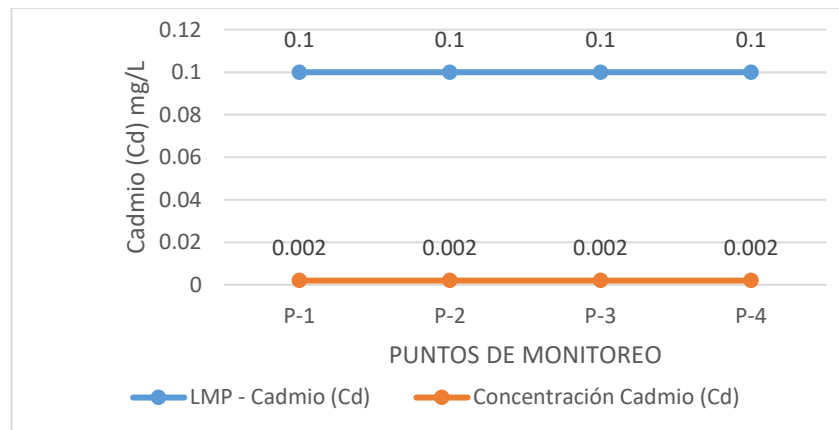


Figura 22. Resultados de la concentración de cadmio de los cuatro puntos de monitoreo.

4.5.5 Concentración del Cromo

La tabla 12 figura 23 se observa la presencia del cromo en los puntos P-1, P-2 y P-4 con mayor concentración comparado con el P-3, probablemente por la actividad de curtiembre de pieles que se realiza en la ciudad de Juliaca. Ahora bien el Cr^{+6} es muy tóxico, caracterizado por su solubilidad y móvil en corrientes de agua según Dognani *et al.* (2019) y al oxidarse forma el Cr^{+3} elemento que origina mutaciones genéticas en los organismos; y Peralta *et al.*, (2009) significa un riesgo de salud ambiental.

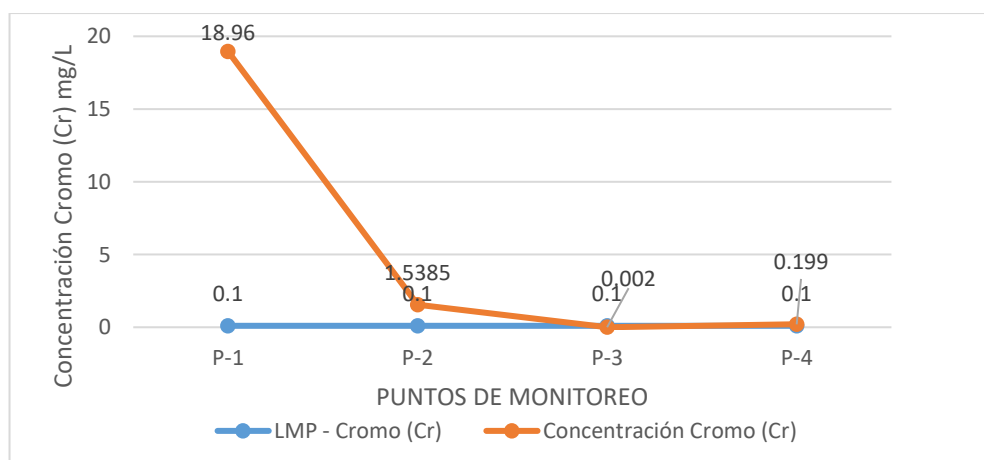


Figura 23. Resultados de la concentración de cromo de los cuatro puntos de monitoreo.

4.5.6 Concentración de Cobre

En la tabla 12 figura 24, el punto P-1(1.044) tiene mayor concentración de cobre y sobre pasa el LMP en relación a los otros puntos; sin embargo, se observó la presencia de tarjetas de circuitos integrados adornos, cables dispersos de cobre y asumimos que hayan sido depositados en el botadero o dispersos en las cercanías a los puntos de monitoreo del botadero Lytle y Nadagouda (2010), el cobre por el proceso de corrosión se libera en estado sólido al medio haciendo contacto con la pérdida de electrones, en fase sólida se transforma en un ion de cobre soluble Critchley *et al.* (2004), el cobre en estado corrosivo produce color azul en el agua resultado del incremento de la concentración de cobre.

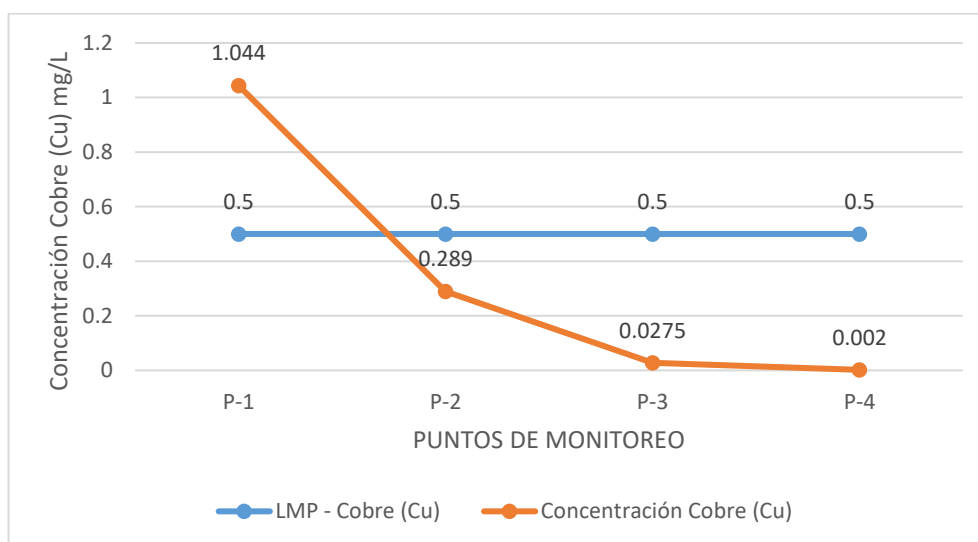


Figura 24. Resultados de la concentración de cobre de los cuatro puntos de monitoreo.

4.5.7 Concentración de Hierro

En la tabla 12 figura 25, se observa que el hierro en los cuatro puntos de monitoreo tienen mayor concentración comparando con el valor referencial asumimos a la descomposición bioquímica y al proceso de disolución que se produce en el botadero; Martínez. *et al.* (1999) el hierro está presente en materia orgánica, (restos de alimentos) tal vez sea la razón de la presencia de este elemento.

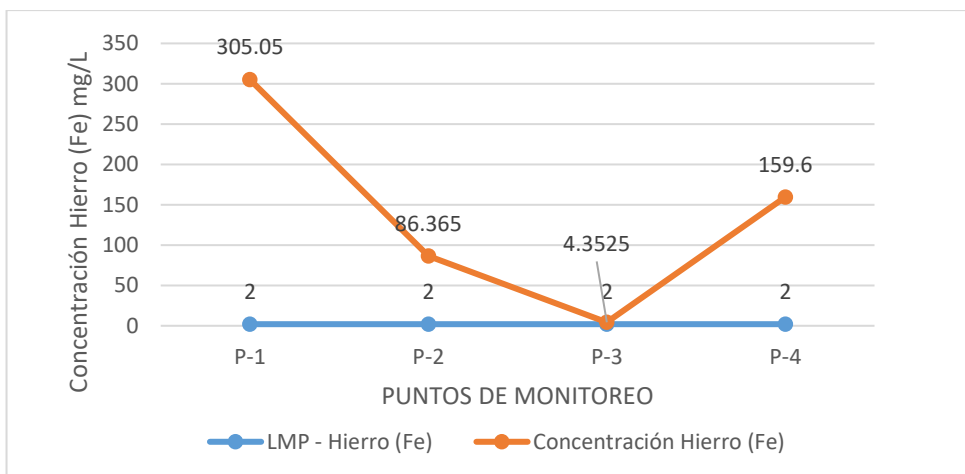


Figura 25. Resultados de la concentración de hierro de los cuatro puntos de monitoreo

4.5.8 Concentración de Plomo

En la tabla 12, figura 26, el valor detectado del plomo en los puntos de monitoreo del botadero está por debajo del LMP, permite indicar la inexistencia de este elemento químico. Consideramos mencionar que el plomo no es biodegradable, por tener un origen natural; sin embargo, es utilizado en plantas de fundición, industria de baterías, pintura; muchas veces encontrado en vertederos en la forma de municiones y esas pequeñas fracciones de este elemento se movilizan en el suelo, alcanzando aguas superficiales y cuando se presentan valores elevados originan contaminación en los suelos y el agua.

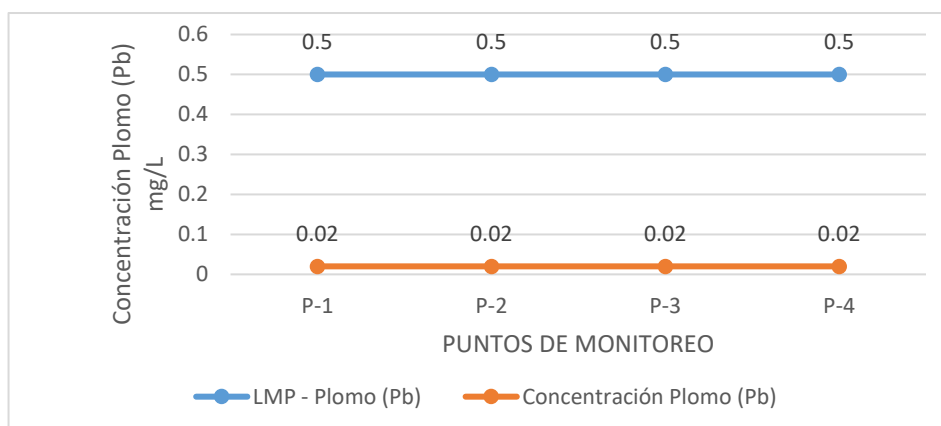


Figura 26. Resultados de la concentración de plomo de los cuatro puntos de monitoreo.

4.5.9 Concentración de Zinc

En la tabla 12 y figura 27, se observa el comportamiento del zinc en los puntos de monitoreo P-1, P-2 con mayor concentración de zinc e indica probable contaminación del suelo probablemente a la presencia de pilas y baterías en la caracterización de

residuos sólidos; Arrieta y Luján (2007) las pilas y baterías de uso común contienen metales pesados como el zinc, que puede estar adherido a la materia orgánica, arcilla y óxidos de hierro; si el medio es ácido este elemento se torna más soluble en agua y es la forma de ser un constituyente de los lixiviados de residuos sólidos en rellenos, mientras que en P-3, P-4 están por debajo de los límites por la ubicación del punto, y P-4 está por debajo del límite sin embargo la muestra corresponde al lixiviado viejo.

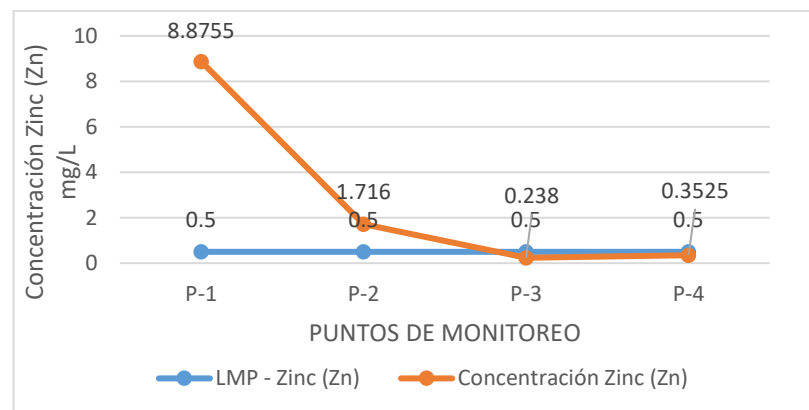


Figura 10. Concentración de zinc de los cuatro puntos de monitoreo.

Además Teixeira *et al.* (2001), Márquez *et al.* (2012) revelan que las elevadas concentraciones de plomo, cobre y zinc son buenos indicadores de contaminación antropogénica reflejo de la actividad humana e industria

Los metales pesados una vez liberados al ambiente, son transportados hacia fuentes hídricas integrándose al ciclo biogeoquímico fluvial, elementos que son retenidos en los sedimentos suspendidos y en los sedimentos de fondo, Widyarsana *et al.* (2019) la gestión insuficiente del vertedero permitió que el proceso que en transcurso de enjuague de los compuestos orgánicos, metales y residuos tóxicos y peligrosos por la acción de lluvia provoca la contaminación hídrica por percolación de lixiviado.

Concluimos que, los valores reflejan que en el botadero Chilla ha inexistido una gestión adecuada de residuos sólidos y especialmente en el control de lixiviados al carecer de sistema de recolección y tratamiento de este líquido contaminante generando impactos negativos en el ecosistema y población.

Finalmente, para comprobar las diferencias entre los puntos de monitoreo se tiene el siguiente cuadro de análisis de varianza:

Formulación de Hipótesis:**H₀:** todos los promedios son iguales**H₁:** Al menos dos medias de tratamientos son diferentes y están contaminados.

Tabla 13

Resultados del ANOVA con Diseño Irrestricto al Azar de los parámetros en estudio

Parámetro	Unidad	Pr > F	Fc	Significancia
DBO	mg/L	0.0004	95.92	si
DQO	mg O ₂ /L	0.0002	118.47	si
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0001	233.71	si
Arsénico (As)	mg/L	0.0001	2074.49	si
Cromo (Cr)	mg/L	0.0001	13013	si
Cobre (Cu)	mg/L	0.0001	2263.77	si
Hierro (Fe)	mg/L	0.0001	699.02	si
Zinc (Zn)	mg/L	0.0001	3370.24	si

La tabla 13 muestra que los parámetros estudiados registran diferencia altamente significativa por tanto se acepta la hipótesis alterna. Por tanto, existe diferencia entre los parámetros físicos químicos de los 4 puntos de monitoreo del Botadero de Chilla.

Esta diferencia señalamos por la ubicación de los diferentes puntos de monitoreo, así el Primer punto de Monitoreo (AGU-01-CHILLA), presenta concentraciones mayores en principalmente en la DBO, DQO, STS, comparativamente con el Cuarto punto de Monitoreo (AGU-04-CHILLA); respecto al Segundo y Tercer punto de Monitoreo (AGU-02-CHILLA y AGU-03-CHILLA) las concentraciones varían o están por debajo de las concentraciones anteriores (anexo) y/o por debajo de los LMP

4.6 Propuesta para el control del lixiviado producido de los residuos sólidos en el Botadero de Chilla – Juliaca.

La propuesta de tratamiento que sea capaz de resolver el control del lixiviado de un botadero es difícil a partir de las características variables, del lugar donde esté ubicado, la edad, composición de los residuos sólidos, aspectos meteorológicos, geología del terreno, etc.; por lo tanto, existe dificultades para encontrar una solución universal que resuelva eficazmente el control de lixiviados de botaderos a cielo abierto, para el tratamiento pertinente, sin embargo Espinoza *et al.* (2010) para el tratamiento de lixiviados en sistemas controlados menciona: lagunas de estabilización: anaerobias,

facultativas, aerobias, de maduración; lodos activados, procesos de coagulación floculación, procesos de membrana, procesos de oxidación avanzada, adsorción con carbón activado, desinfección con cloro u ozono, entre otros métodos.

De igual modo Renou *et al.* (2008) en su revisión describe diversos tratamientos: (a) Tratamientos convencionales; a partir del tratamiento combinado con aguas residuales domésticas ésta opción ha sido observada por la presencia de sustancias de origen orgánico inhibidor, baja biodegradabilidad y presencia de metales pesados en el lixiviado que pueden disminuir la eficiencia del tratamiento y aumentar las concentraciones de efluentes Çeçen y Aktas (2004), en tanto el reciclaje de lixiviados no solo mejora la calidad del lixiviado, sino que también acorta el tiempo necesario para la estabilización de 2 o 3 años o de varias décadas Reinhart y Al-Yousfi, (1996) (b) Tratamiento biológico: la biodegradación se realiza por microorganismos, que pueden degradar compuestos orgánicos a dióxido de carbono y lodos en condiciones aeróbicas y a biogás (una mezcla que comprende principalmente CO₂ y CH₄) en condiciones anaeróbicas Lema *et al.* (1988) (c) Métodos químicos y físicos: para tratar un contaminante específico; de modo que la alternativa denominada Flotación, fundamentada en la disminución de coloides, iones, macromoléculas, microorganismo y fibras Rubio *et al.* (2002). De modo similar por precipitación química para eliminar el nitrógeno amoniacal con alta concentración de NH₄⁺-N en tanto la eliminación de COD disminuye del 95 al 79% cuando el NH₄⁺-N en aguas residuales aumentaron de 50 a 800 mgL⁻¹ (Li y Zhao, 2001)

Hay que resaltar en los últimos 20 años, los tratamientos más efectivos se basan en la tecnología de membranas viable para cumplir con las regulaciones de calidad del agua pendientes en países con nivel tecnológico superior para el tratamiento de los lixiviados de los vertederos.

En definitiva Renou *et al.* (2008) refiere la importancia del cumplimiento de la normatividad en materia ambiental fundamentalmente en la gestión de residuos sólidos y tratamiento óptimo de lixiviados; existen diversos métodos que ofrecen ventajas y desventajas con respecto a ciertas facetas del problema. Sin embargo, la estrategia de tratamiento adecuado depende de los criterios siguientes:

- La calidad inicial del lixiviado; resume la efectividad del proceso de tratamiento de acuerdo con las características clave del lixiviado: DQO, DBO / DQO y edad del relleno.

- Los requisitos finales serían las normas locales de descarga de agua, evaluada año tras año, el reconocimiento del impacto de los lixiviados de los botaderos de residuos sólidos al medio ambiente ha obligado a las autoridades a elaborar requisitos más estrictos para el control de la contaminación en lugares de disposición final de residuos

4.5.1 Alternativas para el control de lixiviados de botaderos

Es importante señalar que el control es más accesible en rellenos sanitarios por diferentes tecnologías y sistemas de tratamiento del lixiviado producido por los residuos sólidos, al respecto investigadores que han participado en estos sistemas de tratamiento anaerobio en vertederos controlados concuerdan en precisar, que una acumulación muy significativa de la fracción inorgánica que precipita dentro del sistema reactor y en los lodos mismos del sistema anaerobio, esta acumulación provoca el colapso del sistema de tratamiento; por esta experiencia es importante realizar un pretratamiento para disminuir los efectos de toxicidad.

a. Tratamiento y gestión de lixiviados de rellenos sanitarios

El lixiviado para ser tratado debe cumplir con la normatividad para garantizar eficiencia, considerando que sus características tienen diferencias espaciales y temporales Bernasconi *et al.* (2013) alternativamente pueden ser tratados in situ, eliminación a alcantarillado, y transporte fuera del lugar para ser tratado en otro lugar. La finalidad de nuevas tecnologías es minimizar los riesgos, costos de limpieza y el volumen de suelo, agua subterránea contaminada Chiumenti *et al.* (2013) menciona:

- Cantidad y dispersión de contaminantes, características edafológicas y acuíferos.
- Estudios físico químico y biológico que podrían remediar el ámbito con contaminación de lixiviado.
- Caracterización y evaluación de tecnologías.

Las alternativas de tratamiento de lixiviados de Rellenos sanitarios pueden ser:

- Tratamiento por recirculación de lixiviados
- Para riego por sistema de aspersión en pastizales.
- Co-tratamiento de lixiviados y aguas residuales

- Evaporación de lixiviados usando el gas metano producido por los vertederos
- Tratamiento biológico Calvo *et al.* (1999) mediante la remediación de suelos afectados por lixiviados
- Tratamiento físico-químico biológico, puede ser

b. Alternativa para el manejo del lixiviado de botadero a cielo abierto.

Un botadero, genera problemas ambientales y salud de la población, la emisión de lixiviados que sale a la superficie, se disemina, y almacena en lugares de pendiente baja, y llegar a vías de acceso por las precipitaciones, con el incremento del lixiviado. Con el propósito de determinar el mecanismo de tratamiento del lixiviado de un botadero es fundamental caracterizar las concentraciones de materia orgánica, el pH compuestos orgánicos recalcitrantes, alcalinidad y metales pesados Vilar A. (2015).

- Proceso Floculación: Es un proceso químico, que requiere de elementos conocidos floculantes, compuesto por coloides que se aglutinan en el agua, proporcionando una decantación y la consecuente filtración, es una forma de potabilización de aguas de diverso origen, no obstante, es una forma de tratamiento relativamente simple, para el tratamiento del lixiviado de vertederos viejos con tasas más altas de DBO / DQO

A esta alternativa le continúa la coagulación (Coagulación-floculación), técnica que permite la eliminación de coloides y sustancias en suspensión

La floculación consiste en la acumulación de partículas inestables en pequeños microfloculos y luego en flóculos, de mayor tamaño que suelen depositarse en la parte inferior de depósitos construidos llamados sedimentadores.

Sin embargo, el pH, el tiempo, y la gradiente de velocidad son los fundamentales para permitir la posibilidad de que elementos en suspensión se aglutinen y por gravedad se depositen en el fondo según Aliaga (2010)

- Recirculación de lixiviados

Se fundamenta en recolectar los lixiviados y recircularlos en relleno sanitario, permite la dilución y amortiguan los compuestos por acción biológica y otros procesos químicos y físicos que se generan dentro de las instalaciones de la infraestructura. Ofrece ventajas como en la cantidad de biogás en el relleno sanitario, el incremento de

humedad, la recirculación produce incrementos significativos de la presión interna de los líquidos, gases y fluidos, que se relacionan con los taludes.

La conversión de un Botadero a Relleno sanitario es una forma que persigue la recuperación gradual del área degradada, para resolver problemas sanitarios, ambientales, operacionales

Al respecto, el Botadero Chilla descarga lixiviados; vale la pena indicar que el Perú tiene una regulación emitida por el MINAM, que establece los “Términos de Referencia para la Formulación de Planes de Recuperación de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos Municipales aprobado mediante Resolución Ministerial N° 150-2019-MINAM, sin embargo, no se ha considerado el control del lixiviado, y como indican varios autores que la actividad continua por varios años. En el documento antes mencionando del MINAM se señala las siguientes actividades:

- En la etapa preliminar: establece la necesidad de los siguientes componentes: la habilitación de instalaciones auxiliares temporales, movilización de equipos y maquinarias, limpieza y desinfección en el área
- En la etapa de ejecución: se detalla a continuación los siguientes componentes:
 - ✓ Confinamiento u encierro de los residuos sólidos:
 - ✓ La preparación para ser acondicionados los residuos sólidos; con el objeto de minimizar el área de confinamiento.
 - ✓ El acondicionamiento de los residuos sólidos significa la acumulación, aglomeración o apilamiento con maquinaria en una o en varias áreas, a fin de evitar el uso de un área de mayor extensión para el confinamiento.
 - ✓ Disponer la cobertura base: formada por una primera capa de regularización con carácter obligatorio y su función es habilitar una pendiente que garantice la evacuación del agua infiltrada; y, además, genere uniformidad en el terreno sobre los residuos sólidos para la disponer posteriormente la cobertura intermedia o la cobertura final.
 - ✓ Colocación de cobertura intermedia: Considerando el promedio de precipitación anual según los reportes del el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la provincia de Juliaca es 1069 mm, y se realizará las siguientes

acciones:

- ✓ Disponer una capa impermeable: para realizar el confinamiento de la capa de cobertura (cobertura final), la misma que debe ser un material con presencia de arcilla (limo arcilloso, areno arcilloso, etc.).
- ✓ Colocar una capa drenaje para la precipitación, la misma que servirá y facilitará el drenaje de agua de lluvia infiltrada.
- ✓ Colocar la cobertura final: para este caso es necesario usar una capa de cobertura de arcilla compuesto por limo arcilloso o areno arcilloso.

Manejo de lixiviados: Para dicho proceso se propone la siguiente alternativa:

- ✓ Pozo de extracción:

Considerando que los lixiviados se encuentran confinados en la columna de residuos sólidos y como se evidencia en el registro fotográfico la presencia de lixiviados en espacios cercanos a la columna de residuos sólidos, este lixiviado debe ser transportado a un pozo de extracción y ser almacenado en una poza de (Laguna de estabilización) previa instalación de geomenbranas, utilizando equipo de bombeo y grupo electrógeno para realizar la recirculación de lixiviados, obteniendo agua que serán utilizadas para el riego en parques y jardines.

Así mismo se debe controlar y hacer el registro de posibles afloramientos o almacenamiento de lixiviados, llevando un control periódico de los volúmenes almacenados. Como alternativa ante afloramientos del lixiviado obtenerlos por succión desde la poza de captación y recirculación en medio de la masa de residuos confinados, necesitando de drenes verticales que deberán ser habilitados para facilitar la posible descarga y movilización.

Dada las condiciones actuales es indiscutible la afectación del lixiviado de Botaderos a cielo abierto, la mejor alternativa podría ser la construcción de rellenos sanitarios Sheeba *et al.* (2016), o colocación de geomenbranas para reducir la filtración de lixiviados en el suelo, que en alguna medida será la solución a los problemas sanitarios, problemas ambientales, de operatividad relacionados a residuos sólidos.

CONCLUSIONES

PRIMERO: Los parámetros fisicoquímicos del agua impactada por el lixiviado procedente del botadero de residuos sólidos de Chilla, el pH es 7.5, indicador de lixiviado viejo. En el 1er, 2do, 3er y 4to Punto de monitoreo las concentraciones de DBO, DQO, STS, Fe, Zn son mayores en comparación al LMP; sin embargo, las concentraciones del Hg, Cd, Cu, Pb son inferiores al LMP. La Correlación de Pearson nos muestra una correlación positiva. El ANOVA con Diseño Irrestricto al azar nos muestra una diferencia altamente significativa se acepta la hipótesis alterna, entonces en los 4 puntos de monitoreo existe diferencias en las concentraciones en los parámetros evaluados en el botadero de Chilla.

SEGUNDO: Se propone el traslado del lixiviado a una poza de extracción para transferirlo a una poza de almacenamiento utilizando equipos de bombeo y se efectúe la recirculación del lixiviado.

RECOMENDACIONES

PRIMERO: La aprobación de LMP para los lixiviados generados por infraestructuras y áreas degradadas, así mismo el monitoreo permanente a fin de verificar la concentración de los elementos presentes y control del lixiviado al cierre de estas infraestructuras de disposición final de residuos sólidos.

SEGUNDO: La aprobación por parte de la Municipalidad Provincial de San Román el Plan de recuperación del área degradadas de Chilla, así mismo acciones para la gestión de residuos sólidos para minimizar la producción de residuos sólidos, mediante la segregación, reciclaje y fundamentalmente el Programa EDUCCA.

BIBLIOGRAFÍA

- Abd El-Salam, M. M., y Abu-Zuid, G. I. (2015). Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt. *Journal of Advanced Research*, 6(4), 579–586. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.02.003>
- Adhikari, B., y Nath Khanal, S. (2015). Qualitative Study of Landfill Leachate from Different Ages of Landfill Sites of Various Countries Including Nepal. *Journal of Environmental Quality*, 9(January), 23–36. <https://doi.org/10.9790/2402-09132336>
- Ahmadian, M., Reshadat, S., Yousefi, N., Mirhossieni, S. H., Zare, M. R., Ghasemi, S. R., Rajabi Gilan, N., Khamutian, R., y Fatehizadeh, A. (2013). Municipal leachate treatment by Fenton process: Effect of some variable and kinetics. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2013/169682>
- Aliaga Simone, S. (2010). *Aplicación del proceso fenton y coagulación - floculación para la*. Escuela Universitaria de ingeniería técnica industrial de Zaragoza.
- Amirian, P., Bazrafshan, E., y Payandeh, A. (2017). Optimisation of chemical oxygen demand removal from landfill leachate by sonocatalytic degradation in the presence of cupric oxide nanoparticles. *Waste Management and Research*, 35(6), 636–646. <https://doi.org/10.1177/0734242X17704715>
- APHA - American Public Health Association. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Issue 1).
- Arrieta Patton, J., y Luján Pérez, M. (2007). Caracterización de la generación y evaluación de riesgos de las pilas y baterías en desuso en la Ciudad de Cochabamba. *Acta Nova*, 3(4), 627–660.
- Artaraz Miñon, M., Forcada Saiinz, J., y García Alonso, O. (2012). La gestión de los residuos municipales en Japón: ¿vamos por el buen camino? *Revista Española de Control Externo*, 14(40), 79–104.
- Asociación Española de Normalización y Certificación-AENOR. (2005). *Calidad del agua..*
- Aziz, H. A., Alias, S., Adlan, M. N., Asaari, A. H., y Zahari, M. S. (2007). Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes. *Bioresource Technology*, 98, 218–220. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.11.013>
- Bau Satula, I., Ulloa Carcasés, M., y Gola Cahimba, J. (2017). Evaluación ambiental del depósito de residuos sólidos de Katenguenha, Angola. *Minería y Geología*, 33(3), 350–362.
- Bernache Pérez, G. (2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. *Rev. Int. Contaminación Ambiental*, 1, 97–105.
- Bernasconi, M., Choirat, C., y Seri, R. (2013). Empirical properties of group preference aggregation methods employed in AHP. *European Journal Of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.06.014>
- Bhalla, B., Saini, M. S., y Jha, M. K. (2012). Characterization of Leachate from Municipal Solid Waste (MSW) Landfilling Sites of Ludhiana , India : A Comparative Study.



- International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN:*, 2(6), 732–745.
- Bhatt, A. H., Karanjekar, R. V., Altouqi, S., Sattler, M. L., Hossain Sahadat, M. D., y Chen, V. P. (2017). Estimating landfill leachate BOD and COD based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: Exploration of a MARS statistical approach. *Environmental Technology and Innovation*, 8, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.03.003>
- Bolyard, S. C., y Reinhart, D. R. (2017). Evaluation of leachate dissolved organic nitrogen discharge effect on wastewater effluent quality. *Waste Management*, 65, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.025>
- Borjac, J., El Joumaa, M., Kawach, R., Youssef, L., y Blake, D. A. (2019). Heavy metals and organic compounds contamination in leachates collected from Deir Kanoun Ras El Ain dump and its adjacent canal in South Lebanon. *Heliyon*, 5(8), e02212. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02212>
- Borzacconi, L., López, I., y Anido, C. (2016). Metodología para a estimación de a producción y concentración de lixiviados de un relleno sanitario. *Critical Review, March*.
- Buendía Cisneros, N. E., Caisaya Torre, A. K., Castillo Rojas, R. M., Neira Rojas, E. J., Vidarte Monteza, J. R., Joel, E., Monteza, V., & Ronaldo, J. (2021). Propuesta metodológica para el muestreo de lixiviados en rellenos sanitarios operativos.
- Cáceres Cortez, A. T. (2007). Recuperación paisajística de vertederos de basura un ejemplo de brownfields. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 0(16), 71–80.
- Calvo Redruero, F., Zamorano, M., y Moreno, B. (1999). *Metodología de diagnóstico ambiental de vertederos como herramienta en la planificación ambiental*. 965–975.
- Castrillón, L.; Fernández-Nava, Y.; Rodríguez-Iglesias, J.; Marañón, E.; Berrueta, J. (2008, July). Tratamiento de Lixiviados de Vertederos de Residuos Urbanos (RU). *Redisa I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Urbanos (RU)*, 23–24.
- Çeçen, F., y Aktas, Ö. (2004). Aerobic Co-Treatment of Landfill Leachate with Domestic Wastewater. *Environmental Engineering Science*, 21(3), 303–312.
- Cerminara, G. y Cossu, R. (2018). Waste Input to Landfills. In *Solid Waste Landfilling* (pp. 15–39). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407721-8.00002-4>
- Cheng, C. Y., y Chu, L. M. (2011). Fate and distribution of nitrogen in soil and plants irrigated with landfill leachate. *Waste Management*, 31(6), 1239–1249. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.028>
- Chiumenti, A., Borso, F., Chiumenti, R., Teri, F., y Segantin, P. (2013). Treatment of digestate from a co-digestion biogas plant by means of vacuum evaporation : Tests for process optimization and environmental sustainability. *Waste Management*, 33(6), 1339–1344. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.02.023>
- Critchley, M. M., Pasetto, R., y Halloran, R. J. O. (2004). Microbiological influences in ‘ blue water ’ copper corrosion. *Applied Microbiology*, 590–597.

- <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02341.x>
- De Schueler, A., y Mahler, C. (2007). Classification criteria for restoration and post occupation of waste disposal sites. *Linnaeus Eco-Tech*, 951–960. <https://doi.org/10.15626/eco-tech.2007.102>
- Dognani, G., Hadi, P., Ma, H., Cabrera, F. C., Job, A. E., Agostini, D. L. S., y Hsiao, B. S. (2019). Effective chromium removal from water by polyaniline-coated electrospun adsorbent membrane. *Chemical Engineering Journal*, 372(December 2018), 341–351. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.154>
- Ehrig, H. (1983). Quality and quantity of sanitary landfill leachate. *Waste Management & Research*, 1(1), 53–68. [https://doi.org/10.1016/0734-242x\(83\)90024-1](https://doi.org/10.1016/0734-242x(83)90024-1)
- Environmental Protection Agency U.S.- EPA. (2005). Mercury in Water by Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry (Issue February).
- Espinoza LLoréns, M. del C., López Torres M., Pellón Arrechea A., Gutiérrez Navarrete J., León Hernández Y., Álvarez Llaguno Y., Correa Senciales O., Rodríguez Petit X., Morejón Montano R., Oña A., Robert M., Agramonte M., García Y., González Suárez A., Rodríguez Frade N., y Fernández Colomina A. (2010). Caracterización de los Lixiviados del Vertedero de residuos Sólidos Urbanos “Calle 100”, Ciudad de la Habana, Cuba. *Revista Cubana de Química*, XXII(1), 27–35.
- Giraldo, E. (2001). Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. In *Revista de Ingeniería*. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i14.538>
- Glynn J. Henry, y Heinke W. Gary. (2013). Ingeniería Ambiental. In Pearson Educación (Ed.), *Prentice Hall* (Segunda, Vol. 6, Issue 6). Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- Gómez-Luna, E., Navas, D. F., Aponte-Mayor, G., y Betancourt-Buitrago, L. A. (2014). Literature review methodology for scientific and information management, through its structuring and systematization. *DYNA*, 81(184), 158. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>
- González Rodríguez, Y., García Fonseca, O., Infante Sigler, A., Rodríguez Frade, N., Martín Páramo, A., Beltrán Gonzáles, J., y Chanquet Castro, M. (2005). Situación actual de la producción de lixiviados en los vertederos provinciales de ciudad de La Habana. Impacto ambiental y propuestas de sistemas de tratamiento. *Revista Electrónica de La Agencia de Medio Ambiente*, 9, 1–16.
- He, C., Arizono, K., Ji, H., Yakushiji, Y., y Zhang, D. (2018). Spatial distribution characteristics of mercury in the soils and native earthworms (*Bimastos parvus*) of the leachate-contaminated zone around a traditional landfill. *Science of the Total Environment*, 636, 1565–1576. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.259>
- Hussein, M., Yoneda, K., Mohd-zaki, Z., Amir, A., y Othman, N. (2020). Heavy metals in leachate, Impacted soils and Natural soils of different landfills in Malaysia: An Alarming Threat. *Chemosphere*, 1–53. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128874>
- Hussein, M., Yoneda, K., Zaki, Z. M., Othman, N., y Amir, A. (2019). Leachate characterizations and pollution indices of active and closed unlined landfills in

- Malaysia. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12(May), 100232. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100232>
- Jones, D. L., Williamson, K. L., y Owen, A. G. (2005). Phytoremediation of landfill leachate. *Waste Management*, 26, 825–837. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.06.014>
- Kamaruddin, M. A., Yusoff, M. S., y Rui, L. M. (2017). An overview of municipal solid waste management and landfill leachate treatment: Malaysia and Asian perspectives. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0303-9>
- Kang, K. H., Shin, H. S., y Park, H. (2002). Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications. *Water Research*, 36(16), 4023–4032. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00114-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00114-8)
- Kiss kofalusi, G., y Aguilar Encarnación, G. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta Ecológica*, 39–51. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907903>
- Koshy, L., Jones, T., y BeruBe, K. (2008). Bioreactivity of municipal solid waste landfill leachates — Hormesis and DNA damage. *Water Research*, 42, 2177–2183. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.11.030>
- Kulikowska Dorota, y Klimiuk Ewa. (2008). The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource Technology*, 99(13), 5981–5985. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.015>
- Lecca, R., y Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17, 71–80. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81640855010%0A>
- Lema, J. M., Mendez, R., y Blasquez, R. (1988). Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment : a review Related papers. Academia.
- Li, X. Z., y Zhao, Q. L. (2001). Efficiency of biological treatment affected by high strength of ammonium-nitrogen in leachate and chemical precipitation of ammonium-nitrogen as pretreatment. *Chemosphere*, 1–20.
- Lobo García de Cortázar, A., Szantó Narea, M., y Susana, L. (2017). Cierre, sellado y reinsertión de antiguos vertederos. experiencias en iberoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 123–139. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.09>
- Lytle, D. A., y Nadagouda, M. N. (2010). A comprehensive investigation of copper pitting corrosion in a drinking water distribution system. *Corrosion Science*, 52(6), 1927–1938. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.02.013>
- Madera-Parra, C. A. (2016). Treatment of landfill leachate by polyculture constructed wetlands planted with native plants. *Ingeniería y Competitividad*, 18(2), 183–191. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=116744598&lang=es&site=ehost-live>
- Mageswari, S., Iyappan, L., Aravind, S., Sameer, N. M., Vignesh, R., y Kumar, P. V. (2017). Contamination of Groundwater Quality Due to Municipal Solid Waste

- Disposal – A GIS Based Study in Perungudi Dump Yard. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(5), 952–964. <https://www.irjet.net/archives/V4/i5/IRJET-V4I5186.pdf>
- Márquez, A., García, O., Senior, W., Martínez, G., González, Á., y Fermín, I. (2012). Metales Pesados En Sedimentos Superficiales Del Río Orinoco, Venezuela. *Boletín Del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 51(1).
- Martinez-Lopez, A. G., Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, O. F., Chiquito-Coyotl, O., Escarola-Rosas, M. A., Hernández-Lara, J. M., Elvira-Hernández, E. A., Méndez, G. A., Tinoco-Magaña, J. C., y Martínez-Castillo, J. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances En Química*, 9(1), 37–47. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93330767005>
- Martínez Carmen, Ros Gaspar, Periago María Jesús, y López Ginés. (1999). Biodisponibilidad del hierro de los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, January 2015.
- Merzouki, H., Hanine, H., Lekhlif, B., Latrache, L., Mandi, L., y Sinan, M. (2018). Physicochemical, bacteriological and ecotoxicological characterization of the leachate of the FkihBen Salah landfill (Morocco). *Journal of Materials and Environmental Science*, 9(3), 939–945. <https://doi.org/https://doi.org/10.26872/jmes.2018.9.3.104>
- Ministerio del Ambiente (2009) Decreto Supremo N° 2009-MINAM Proyecto que Aprueba Los Límites Máximos Permisibles (LMP) de Efluentes de Infraestructuras de Residuos Sólidos http://www.minam.gob.pe/consultaspublicas/wp-content/uploads/sites/52/2014/02/lmp_de_efluentes_de_residuos.pdf
- Ministerio del Ambiente-Perú. (2017). Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. *El Peruano*, 18–49.
- Moody, C. M., y Townsend, T. G. (2017). A comparison of landfill leachates based on waste composition. *Waste Management*, 63, 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.020>
- Müller, G. T., Giacobbo, A., dos Santos Chiamonte, E. A., Meneguzzi, A., y Bernardes, A. M. (2015). The effect of sanitary landfill leachate aging on the biological treatment and assessment of photoelectrooxidation as a pre-treatment process. *Waste Management*, 36, 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.024>
- Nájera, H., Castañón, J., Figueroa, J., y Rojas-Valencia, M. (2009, September). Caracterización y Tratamiento Físicoquímico de Lixiviados Maduros producidos en el sitio de Disposición final de Tuxtla Gutierrez, Chiapas, México. *Red de Ingeniería de Saneamiento Ambiental*, September, 1–9.
- Noerfitriyani, E., Hartono, D. M., Moersidik, S. S., y Gusniani, I. (2018). Impact of Leachate Discharge from Cipayung Landfill on Water Quality of Pesanggrahan River, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 120(1), 4–9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/120/1/012002>
- Novelo, R. M., Borges, E. C., Rosa, M., Riancho, S., y Franco, C. Q. (2004). Tratamiento

- fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario. *Revista Académica Ingeniería*, 8(2), 155–163.
- Pablos, M. V, Martini, F., Fernández, C., Babín, M. M., Herraez, I., Miranda, J., Martínez, J., Carbonell, G., San-Segundo, L., García-Hortigüela, P., y Tarazona, J. V. (2011). Correlation between physicochemical and ecotoxicological approaches to estimate landfill leachates toxicity. *Waste Management*, 31(8), 1841–1847. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.03.022>
- Pasalari, H., Farzadkia, M., Gholami, M., & Emamjomeh, M. M. (2019). Management of landfill leachate in Iran: valorization, characteristics, and environmental approaches. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 335–348. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0804-x>
- Pastor J, y Hernández A. J. (2012). Heavy metals, salts and organic residues in old solid urban waste landfills and surface waters in their discharge areas: Determinants for restoring their impact. *Journal of Environmental Management*, 95(SUPPL.), S42–S49. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.048>
- Peralta-Videa, J. R., Lopez, M. L., Narayan, M., Saupe, G., y Gardea-Torresdey, J. (2009). The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. In *International Journal of Biochemistry and Cell Biology* (Vol. 41, Issues 8–9, pp. 1665–1677). <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2009.03.005>
- Pfaff, J. D. (1993). *Determination of inorganic anions by ion chromatography* (Environmental Protection Agency U.S.- EPA (ed.); Issue August).
- Poznyak, T., Bautista, G. L., Chaírez, I., Córdova, I. R., y Ríos, E. (2008). Decomposition of toxic pollutants in landfill leachate by ozone after coagulation treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 152, 1108–1114. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.098>
- Przydatek, G., y Kanownik, W. (2019). Impact of small municipal solid waste landfill on groundwater quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(3), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7279-5>
- Quintero Ramirez, A., Valencia González, Y., y Lara Valencia, L. A. (2017). Efecto de los lixiviados de residuos en un suelo tropical. *Revista DYNA*, 84(203), 283–290. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n203.63875>
- Reinhart, D. R., y Al-Yousfi, B. A. (1996). The Impact of Leachate Recirculation On Municipal Solid Waste Landfill Operating Characteristics. *Waste Management & Research*. <https://doi.org/10.1177/0734242X9601400402>
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., y Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468–493. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>
- Rivera-Laguna, E., Barba-Ho, L., y Torres-Lozada, P. (2013). Determinación de la toxicidad de lixiviados provenientes de residuos sólidos urbanos mediante indicadores biológicos. *AfinidAd LXX*, 563, 183–188.
- Robinson, H. D., y Luo, M. M. . H. (1991). *Characterization and treatment of leachates*

from Hong Kong landfill sites.pdf.

- Robles-Martínez, F., Morales-López, Y., Piña-Guzmán, A., Espíndola-Serafín, O., Tovar-Gálvez, L., y Toro, G. V. (2011). Medición de pH y cuantificación de metales pesados en los lixiviados del Relleno Sanitario más grande de Metropolitana de la ciudad de México. *Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio Ambiente y Desarrollo.*, 27(2), 121–132. <http://132.248.10.25/era/index.php/rera/article/view/117>
- Rubio, J., Souza, M. L., & Smith, R. W. (2002). Overview of flotation as a wastewater treatment technique. *Pergamon*, 15, 139–155.
- Sánchez Corzo, L. D., Escobar Megchu, S. I., Nájera Aguilar, H. A., y Gutiérrez Hernández, R. (2012). Caracterización de los lixiviados en las dos lagunas de evaporación del relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Lacandonia*, 6(1), 135–142.
- Schiopu, A. M., y Gavrilesco, M. (2010). Options for the Treatment and Management of Municipal Landfill Leachate: Common and Specific Issues. *Clean - Soil, Air, Water*, 38(12), 1101–1110. <https://doi.org/10.1002/clen.200900184>
- Sheeba, N. H., Reymond, D. J., & Sivasankar, K. (2016). Impact Analysis of leachate from a Solid Waste Dumpyard on Groundwater Quality. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 03(04), 2489–2492.
- Shouliang, H. U. O., Beidou, X. I., Haichan, Y. U., Liansheng, H. E., Shilei, F. A. N., y Hongliang, L. I. U. (2008). Characteristics of dissolved organic matter (DOM) in leachate with different landfill ages. *Journal of Environmental Sciences*, 20, 492–498. http://www.jesc.ac.cn/jesc_En/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=2008200418
- Sriram, S., Ravibabu Mandla, V., Sudha M, C., Subba Rao, S. S. V, Nagaveni, C., Vani, V., Gobinath, P., Kumar KVG, R., Lella, J., Krishna Praveen, S., y Datta, D. (2017). Study of Leachate Characterization in Landfill by Municipal Solid Waste. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 10, 385–390. <https://doi.org/DOI:10.5958/0974-360X.2017.00078.6>
- Susunaga Miranda, M. A., Estévez Garrido, B. M., Ortiz Muñoz, B., y Susunaga Estévez, R. M. (2021). Remoción de metales pesados (Cr+6, Ni, Zn) de lixiviados del Relleno Sanitario de la ciudad de Veracruz, México con barreras reactivas permeables de arena sílica. *Enfoque UTE*, 12(3), 65–78. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.756>
- Teixeira, E. C., Ortiz, L. S., Alves, M. F. C., y Sanchez, J. C. . (2001). Distribution of selected heavy metals in fluvial sediments of the coal mining region of Baixo Jacuí, RS, Brazil. *Environmental Geology*, 41(1–2), 145–154. <https://doi.org/10.1007/s002540100257>
- Torres-Lozada, P., Barba-Ho, L., Ojeda, C., Martínez, J., y Castaño, Y. (2014). Influencia de la edad de Lixiviados sobre su composición Físico-Química y su potencial de Toxicidad. *Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient*, 17(1), 245–255. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a27.pdf>
- Torres Lozada, P., Barba Ho, L. E., Ojeda, C., Martínez, J., y Castaño, Y. (2014).

- Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial de toxicidad. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), 245–255. <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n1.2014.960>
- Touzani Meryem, Kacimi Ilias, Kassou Nadia, Moad Morarech, Bahaj Tarik, Valles Vincent, Barbiero Laurent., y Yamego Suzanne. (2019). El impacto del vertedero de Oum Azza sobre la calidad de las aguas subterráneas de Rabat (Marruecos). *Cuadernos Geográficos*, 58(1), 1–15. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6799>
- Vaccari, M., Tudor, T., Vinti, G. (2019). Characteristics of leachate from landfills and dumpsites in Asia, Africa and Latin America: an overview. *Waste Management*, 95, 416–431. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.032>
- Vallero, D. A., Blight, G. (2019). The Municipal Landfill. In D. Pratt School of Engineering, Duke University (Ed.), *Waste Streams* (2nd ed., pp. 235–258). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815060-3.00012-8>
- Vaverková, M. D., Winkler, J., Adamcová, D., Radziemska, M., Uldrijan, D., & Zloch, J. (2019). Municipal solid waste landfill – Vegetation succession in an area transformed by human impact. *Ecological Engineering*, 129(November 2018), 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.01.020>
- Vilar Montesinos. Almudena. (2015). Evaluación del tratamiento integral del lixiviado de vertedero de residuos sólidos urbanos. Thesis Doctoral Universidade Da Coruña.
- Welander, U. (1998). Characterization and treatment of municipal landfill leachates.
- Widyarsana, I. M. W., Damanhuri, E., Agustina, E., y Aulia, R. N. (2019). Risk assessment and rehabilitation potential of municipal solid waste landfills in Bali Province, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 17(63), 164–171. <https://doi.org/10.21660/2019.63.39057>
- Xu-dan, Z., Chun-li, Z., Tong-bao, Q., Ying, W., Tai-jun, G., y Xiao-gang, S. (2015). Characteristics and evaluation on heavy metal contamination in Changchun municipal waste landfill after closure. *Journal of Environmental Biology*, 36(July), 727–732. http://www.jeb.co.in/journal_issues/201507_jul15_spl/paper_04.pdf
- Young, J. C., Bowman, G. T., Kamhawy, S. M., Mills, T. G., Patillo, M., y Whittemore, R. C. (2017). 5210 Biochemical oxygen demand (BOD)* (Issue 5000, pp. 2–13).
- Žaltauskaitė, J., y Vaitonytė, I. (2016). Toxicological assessment of closed Municipal solid-waste landfill impact on the environment. *Environmental Research, Engineering and Management*, 72(4), 8–16. <https://doi.org/10.5755/j01.arem.72.4.16555>
- Zeng, D., Chen, G., Zhou, P., Xu, H., Qiong, A., Duo, B., Lu, X., Wang, Z., y Han, Z. (2021). Factors influencing groundwater contamination near municipal solid waste landfill sites in the Qinghai-Tibetan plateau. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111913. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111913>
- Zhong, G. Z., Hu, Z. B., Tu, X. J., Chai, X. S., y Chen, G. (2020). Determination of hexavalent chromium in solid waste hypochlorite treated leachates by headspace gas chromatography. *Microchemical Journal*, 153, 104494. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104494>



ANEXOS

ANEXO 1 Información recopilada

Parámetro	Unidad	Puntos de monitoreo											
		1er punto (AGU-01-CHILLA)		2do punto (AGU-02-CHILLA)		3er punto (AGU-03-CHILLA)		4to punto (AGU-04-CHILLA)		Repetición		Repetición	
		AGU-01-CHILLA	Repetición	AGU-02-CHILLA	Repetición	AGU-03-CHILLA	Repetición	AGU-04-CHILLA	Repetición	AGU-04-CHILLA	Repetición	AGU-04-CHILLA	Repetición
Potencial de hidrogeno	pH	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	---	---	---	772,4	---	744,0	---	---	---	---	---	---
Alcalinidad Total*	mg CaCO ₃ /L	15294	15892	3242	3120	---	---	---	5374	---	---	5396	---
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	50570	60997	4947	4597	337	377	30000	29400	---	---	29400	---
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	126217	148990	8427	8024	687	713	59700	55564	---	---	55564	---
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	6080	7120	4000	4000	636	648	1240	1440	---	---	1440	---
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01028	0,01121	0,00718	0,00648	0,00268	0,00232	0,00027	0,00024	---	---	0,00024	---
Arsénico (As)	mg/L	4,81	4,61	0,39	0,41	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	---	---	< 0,02	< 0,02
Cadmio (Cd)	mg/L	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	---	---	< 0,002	< 0,002
Cromo (Cr)	mg/L	19,11	18,81	1,598	1,479	< 0,002	< 0,002	0,207	0,191	---	---	0,191	---
Cobre (Cu)	mg/L	1,040	1,048	0,309	0,269	0,029	0,026	< 0,002	< 0,002	---	---	< 0,002	< 0,002
Hierro (Fe)	mg/L	308,6	301,5	92,45	80,28	4,274	4,431	172,9	159,6	---	---	159,6	---
Plomo (Pb)	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	---	---	< 0,02	< 0,02
Zinc (Zn)	mg/L	8,963	8,788	1,825	1,607	0,253	0,223	0,369	0,336	---	---	0,336	---

ANEXO 2. Informe de tablas de ensayo 52452-52427/2018



Solicitante: MARTHA ELIZABETH APARICIO SAAVEDRA
Dirección: Av. El Sol Nro. 879 Puno Puno Puno
Proyecto: Ensayos de Aguas Residuales Municipales
Grupo de Muestras: 52452-52427/2018

Estacion de Muestreo	Resp. del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM	Zona	Condición de la Muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
AGU-01-CHILLA	Cliente	Agua Residual Municipal	22/09/2018	21/09/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
AGU-02-CHILLA	Cliente	Agua Residual Municipal	22/09/2018	21/09/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
AGU-03-CHILLA	Cliente	Agua Residual Municipal	22/09/2018	21/09/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
AGU-04-CHILLA	Cliente	Agua Residual Municipal	22/09/2018	21/09/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
17591	LME	Alcalinidad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017	Alkalinity: Titration Method
17591	LME	Alcalinidad*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017	Alkalinity: Titration Method
16189	AQP	Aniones por Cromatografía Iónica	EPA METHOD 300.0, Rev 2.1., 1993	Determination of inorganic anions by ion chromatography
1828	AQP	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD); 5 Days BOD Test
8803	AQP	Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD): Closed Reflux, Colorimetric Method
10599	LME	Mercurio Total	EPA Method 245.7 Rev 2 (2005)	Mercury in Water by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry
10602	LME	Metales Totales por ICP-OES	EPA 6010 B / EPA 3010 A, Rev. 2 December 1996	Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry
11620	LME	Nitrógeno Amoniacal (Skalar)	ISO 11732 (Validado), 2nd. Ed. 2005	Water quality - Determination of ammonium nitrogen - Method by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection
1843	AQP	Sólidos Totales Suspensidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017	Solids: Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

Muestras del Grupo: 52452/2018

N° ALS	Fecha de Muestreo	467415/2018-1.0	467416/2018-1.0	467419/2018-1.0	467420/2018-1.0
21/09/2018	21/09/2018	21/09/2018	21/09/2018	21/09/2018	21/09/2018
09:35:00	10:50:00	11:38:00	12:35:00		
Agua Residual Municipal	Agua Residual Municipal	Agua Residual Municipal	Agua Residual Municipal	Agua Residual Municipal	Agua Residual Municipal
AGU-01-CHILA	AGU-02-CHILA	AGU-03-CHILA	AGU-04-CHILA		

Parámetro	Unidad	ID	467415/2018-1.0	467416/2018-1.0	467419/2018-1.0	467420/2018-1.0
003 ENSAYOS FISIQUÍMICOS						
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	1.0	744.0	...
Alcalinidad*	mg CaCO ₃ /L	1.0	15892	3120	...	5396
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O ₂ /L	2	60997	4597	377	29400
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	2	148990	8024	713	55564
Nitrógeno Amoniacal (Skalar)	mg NH ₃ -N/L	0,006	2919	1048	75.0	2583
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	2	7120	4000	648	1440
005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - ANIONES						
Aniones por Cromatografía Iónica	mg/L	0,010	< 0,010	1,385	< 0,010	< 0,010
007 ENSAYOS DE METALES TOTALES ICP-OES						
Mercurio Total	mg/L	0,00005	0,01121	0,00648	0,00232	0,00024
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,005	13,49	7,125	3,280	2,907
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,02	4,61	0,41	< 0,02	< 0,02
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,002	33,52	4,397	1,087	5,761
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,0006	4,877	0,5494	0,1066	0,6925
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,01	318,0	74,15	76,11	1503
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,003	0,841	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,002	18,81	1,479	0,002	0,191
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,002	1,048	0,269	0,026	< 0,002
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,006	301,5	80,28	4,431	159,6
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,04	16445	1789	54,35	2319
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,02	2,53	0,47	0,27	0,68
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,01	900,0	142,8	23,74	452,8
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,0008	1,403	1,349	0,4177	27,61
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,3	17214	2211	225,7	2447
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,006	2,326	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,08	101,6	21,86	16,78	22,95
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,03	2,50	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,0002	8,629	1,459	1,459	6,642
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,001	11,62	1,442	0,128	< 0,001
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,002	3,150	0,355	0,011	< 0,002
Metales Totales por ICP-OES	mg/L	0,001	8,788	1,607	0,223	0,336

Observaciones
(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INVACAL - DA.
ID: Límite de detección.

Control Blancos				
Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Alcalinidad Total	1,0	mg CaCO ₃ /L	< 1,0	01/10/2018
Alcalinidad Total	1,0	mg CaCO ₃ /L	< 1,0	02/10/2018
Aluminio (Al)	0,005	mg/L	< 0,005	03/10/2018
Antimonio (Sb)	0,02	mg/L	< 0,02	03/10/2018
Arsénico (As)	0,02	mg/L	< 0,02	03/10/2018
Bario (Ba)	0,0006	mg/L	< 0,0006	03/10/2018
Berilio (Be)	0,006	mg/L	< 0,006	03/10/2018
Boro (B)	0,002	mg/L	< 0,002	03/10/2018
Cadmio (Cd)	0,002	mg/L	< 0,002	03/10/2018
Calcio (Ca)	0,01	mg/L	< 0,01	03/10/2018
Cobalto (Co)	0,003	mg/L	< 0,003	03/10/2018
Cobre (Cu)	0,002	mg/L	< 0,002	03/10/2018
Cromo (Cr)	0,002	mg/L	< 0,002	03/10/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	mg/L	< 2	22/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	2	mg O ₂ /L	< 2	26/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	2	mg O ₂ /L	< 2	27/09/2018
Estaño (Sn)	0,03	mg/L	< 0,03	03/10/2018
Estroncio (Sr)	0,0002	mg/L	< 0,0002	03/10/2018
Fosforo (P)	0,08	mg/L	< 0,08	03/10/2018
Hierro (Fe)	0,006	mg/L	< 0,006	03/10/2018
Litio (Li)	0,02	mg/L	< 0,02	03/10/2018
Magnesio (Mg)	0,01	mg/L	< 0,01	03/10/2018
Manganeso (Mn)	0,0008	mg/L	< 0,0008	03/10/2018
Mercurio (Hg)	0,00005	mg/L	< 0,00005	04/10/2018
Molibdeno (Mo)	0,003	mg/L	< 0,003	03/10/2018
Niquel (Ni)	0,006	mg/L	< 0,006	03/10/2018
Nitratos, NO ₃ -	0,010	mg/L	< 0,010	22/09/2018
Nitrógeno Amoniacal	0,006	mg NH ₃ -N/L	< 0,006	25/09/2018
Plata (Ag)	0,002	mg/L	< 0,002	03/10/2018
Plomo (Pb)	0,02	mg/L	< 0,02	03/10/2018
Potasio (K)	0,04	mg/L	< 0,04	03/10/2018
Selenio (Se)	0,02	mg/L	< 0,02	03/10/2018
Sodio (Na)	0,3	mg/L	< 0,3	03/10/2018
Sólidos Totales Suspendidos	2	mg Sólidos Totales Suspendidos/L	< 2	26/09/2018
Talio (Tl)	0,04	mg/L	< 0,04	03/10/2018
Titanio (Ti)	0,001	mg/L	< 0,001	03/10/2018
Vanadio (V)	0,002	mg/L	< 0,002	03/10/2018
Zinc (Zn)	0,001	mg/L	< 0,001	03/10/2018

Control Estandar			
Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Alcalinidad Total	113,7	85-115	01/10/2018
Alcalinidad Total	108,0	85-115	01/10/2018
Alcalinidad Total	105,7	85-115	02/10/2018
Alcalinidad Total	110,0	85-115	02/10/2018
Aluminio (Al)	87	80-120	03/10/2018
Antimonio (Sb)	84	80-120	03/10/2018
Arsénico (As)	81	80-120	03/10/2018
Bario (Ba)	85	80-120	03/10/2018
Berilio (Be)	82	80-120	03/10/2018
Boro (B)	94	80-120	03/10/2018
Cadmio (Cd)	102	80-120	03/10/2018
Calcio (Ca)	90	80-120	03/10/2018
Cobalto (Co)	83	80-120	03/10/2018
Cobre (Cu)	80	80-120	03/10/2018
Cromo (Cr)	88	80-120	03/10/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	101,5	85-115	22/09/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	97,2	85-115	22/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	98,4	85-115	26/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	93,3	85-115	26/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	103,5	85-115	27/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	99,2	85-115	27/09/2018
Estaño (Sn)	84	80-120	03/10/2018
Estroncio (Sr)	81	80-120	03/10/2018
Fosforo (P)	84	80-120	03/10/2018
Hierro (Fe)	80	80-120	03/10/2018
Litio (Li)	80	80-120	03/10/2018
Magnesio (Mg)	85	80-120	03/10/2018
Manganeso (Mn)	83	80-120	03/10/2018
Mercurio (Hg)	99,5	76-113	04/10/2018
Molibdeno (Mo)	85	80-120	03/10/2018
Niquel (Ni)	83	80-120	03/10/2018
Nitratos, NO ₃ -	101,9	90-110	22/09/2018
Nitrógeno Amoniacal	94,5	80-120	25/09/2018
Nitrógeno Amoniacal	102,9	80-120	25/09/2018
Plata (Ag)	88	80-120	03/10/2018
Plomo (Pb)	88	80-120	03/10/2018
Potasio (K)	90	80-120	03/10/2018
Selenio (Se)	81	80-120	03/10/2018
Sodio (Na)	97	80-120	03/10/2018
Sólidos Totales Suspendidos	104,0	90-110	26/09/2018
Sólidos Totales Suspendidos	104,8	90-110	26/09/2018
Talio (Tl)	84	80-120	03/10/2018
Titanio (Ti)	86	80-120	03/10/2018
Vanadio (V)	87	80-120	03/10/2018
Zinc (Zn)	84	80-120	03/10/2018

LD = Límite de detección

INFORME DE ENSAYO: 52427/2018

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Cobalto (Co)	0,001	mg/L	< 0,001	26/09/2018
Cobre (Cu)	0,001	mg/L	< 0,001	26/09/2018
Cromo (Cr)	0,001	mg/L	< 0,001	26/09/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1	mg/L	< 1	22/09/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1	mg/L	< 1	22/09/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1	mg O ₂ /L	< 1	26/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	1	mg O ₂ /L	< 1	27/09/2018
Estaño (Sn)	0,01	mg/L	< 0,01	26/09/2018
Estroncio (Sr)	0,0002	mg/L	< 0,0002	26/09/2018
Fosforo (P)	0,01	mg/L	< 0,01	26/09/2018
Hierro (Fe)	0,005	mg/L	< 0,005	26/09/2018
Litio (Li)	0,01	mg/L	< 0,01	26/09/2018
Magnesio (Mg)	0,01	mg/L	< 0,01	26/09/2018
Manganeso (Mn)	0,0001	mg/L	< 0,0001	26/09/2018
Mercurio (Hg)	0,00005	mg/L	< 0,00005	26/09/2018
Niobio (Nb)	0,001	mg/L	< 0,001	26/09/2018
Níquel (Ni)	0,005	mg/L	< 0,005	26/09/2018
Nitrato, NO ₃ -	0,010	mg/L	< 0,010	22/09/2018
Nitrógeno Amomiacal	0,005	mg NH ₃ -N/L	< 0,005	25/09/2018
Plata (Ag)	0,001	mg/L	< 0,001	26/09/2018
Plomo (Pb)	0,01	mg/L	< 0,01	26/09/2018
Potasio (K)	0,04	mg/L	< 0,04	26/09/2018
Selenio (Se)	0,01	mg/L	< 0,01	26/09/2018
Sodio (Na)	0,1	mg/L	< 0,1	26/09/2018
Sólidos Totales Suspendidos	1	mg Sólidos Totales Suspendidos/L	< 1	26/09/2018
Talio (Tl)	0,01	mg/L	< 0,01	26/09/2018
Titanio (Ti)	0,001	mg/L	< 0,001	26/09/2018
Vanadio (V)	0,001	mg/L	< 0,001	26/09/2018
Zinc (Zn)	0,001	mg/L	< 0,001	26/09/2018

Control Estándar

Parámetro	% Recuperación	Límite de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Alcalinidad Total	104,0	85-115	26/09/2018
Alcalinidad Total	112,0	85-115	26/09/2018
Alcalinidad Total	111,7	85-115	06/10/2018
Alcalinidad Total	106,0	85-115	01/10/2018
Aluminio (Al)	109	80-120	26/09/2018
Antimonio (Sb)	111	80-120	26/09/2018
Arsenio (As)	111	80-120	26/09/2018
Bario (Ba)	107	80-120	26/09/2018
Berilio (Be)	104	80-120	26/09/2018
Boro (B)	109	80-120	26/09/2018
Cadmio (Cd)	101	80-120	26/09/2018
Calcio (Ca)	101	80-120	26/09/2018
Cobalto (Co)	105	80-120	26/09/2018
Cobre (Cu)	112	80-120	26/09/2018
Cromo (Cr)	110	80-120	26/09/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	101,5	85-115	22/09/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	97,3	85-115	22/09/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	101,5	85-115	22/09/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	97,3	85-115	22/09/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	101,5	85-115	22/09/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	97,3	85-115	22/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	98,4	85-115	26/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	97,3	85-115	26/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	101,5	85-115	27/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	99,3	85-115	27/09/2018
Estaño (Sn)	101	80-120	26/09/2018
Estroncio (Sr)	115	80-120	26/09/2018

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
17591	LME	Alcalinidad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017	Alkalinity: Titration Method
17591	LME	Alcalinidad*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017	Alkalinity: Titration Method
16189	AQP	Aniones por Cromatografía Iónica	EPA METHOD 300.0, Rev 2.1, 1993	Determination of inorganic anions by ion chromatography
1828	AQP	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5 Days BOD Test
8803	AQP	Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD): Closed Reflux, Colorimetric Method
10599	LME	Mercurio Total	EPA Method 245.7 Rev 2 (2005)	Mercury in Water by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry
10602	LME	Metales Totales por ICP-OES	EPA 6010 B / EPA 3010 A, Rev. 2 December 1996	Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry
11620	LME	Nitrógeno Amoniacal (Skalar)	ISO 11732 (Validado), 2nd. Ed. 2005	Water quality - Determination of ammonium nitrogen - Method by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection

INFORME DE ENSAYO: 52427/2018

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
1843	AQP	Sólidos Totales Suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017	Solids: Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

INFORME DE ENSAYO: 52452/2018

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

				667419/2018-L.O	667419/2018-L.O	667419/2018-L.O
Fecha de Muestreo				21/09/2018	21/09/2018	21/09/2018
Hora de Muestreo				09:35:00	10:30:00	11:30:00
Tipo de Muestra				Area Residual Municipal	Area Residual Municipal	Area Residual Municipal
Identificación				AGU-01-CHILLA	AGU-02-CHILLA	AGU-03-CHILLA
Parámetro	Ref. Nac.	Unidad	LD			
001 ENSAYOS FISICOQUIMICOS						
Alcalinidad Total	17581	mg CaCO ₃ /l	1,0	---	---	344,0
Alcalinidad Total P	17581	mg CaCO ₃ /l	1,0	15892	3120	---
Demanda Biológica de Oxígeno	1028	mg/l	3	60997	4537	377
Demanda Química de Oxígeno	8803	mg O ₂ /l	3	148990	8024	713
Nitrogeno Amoniacal	11620	mg NH ₃ -N/l	0,006	2939	3048	25,0
Sólidos Totales Suspensidos	1043	mg/l	3	7120	4000	648
002 ENSAYOS POR CROMATOGRAFIA - ANIONES						
Nitrato, NO ₃ -	10189	mg/l	0,010	<0,010	1,385	<0,010
003 ENSAYOS DE METALES TOTALES (CP-02)						
Mercurio (Hg)	10099	mg/l	0,00005	0,01131	0,00048	0,00332
Plata (Ag)	10603	mg/l	0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Aluminio (Al)	10603	mg/l	0,005	13,49	7,125	1,280
Arsenico (As)	10603	mg/l	0,03	4,61	0,41	<0,03
Boro (B)	10603	mg/l	0,003	33,52	4,397	1,067
Bario (Ba)	10603	mg/l	0,0006	4,877	0,5494	0,1066
Berilio (Be)	10603	mg/l	0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Calcio (Ca)	10603	mg/l	0,01	318,0	74,15	76,11
Cadmio (Cd)	10603	mg/l	0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cobalto (Co)	10603	mg/l	0,003	0,841	<0,003	<0,003
Cromo (Cr)	10603	mg/l	0,003	18,81	1,479	<0,003
Cobre (Cu)	10603	mg/l	0,003	1,048	0,269	0,026
Hierro (Fe)	10603	mg/l	0,006	301,5	80,28	4,431
Potasio (K)	10603	mg/l	0,04	16445	1789	54,35
Litio (Li)	10603	mg/l	0,03	2,53	0,47	0,37
Magnesió (Mg)	10603	mg/l	0,01	900,0	140,3	33,74
Manganeso (Mn)	10603	mg/l	0,0008	14,03	1,349	0,4177
Niobio (Nb)	10603	mg/l	0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Sodio (Na)	10603	mg/l	0,3	17214	2211	225,7
Niquel (Ni)	10603	mg/l	0,006	2,326	<0,006	<0,006
Fosforo (P)	10603	mg/l	0,08	101,6	21,86	16,78
Plomo (Pb)	10603	mg/l	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Antimonio (Sb)	10603	mg/l	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Selenio (Se)	10603	mg/l	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Estañó (Sn)	10603	mg/l	0,03	2,50	<0,03	<0,03
Stroncio (Sr)	10603	mg/l	0,0003	8,629	1,506	1,459
Titanio (Ti)	10603	mg/l	0,001	11,62	1,442	0,128
Talio (Tl)	10603	mg/l	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Vanadio (V)	10603	mg/l	0,003	3,150	0,355	0,011
Zinc (Zn)	10603	mg/l	0,003	8,788	1,407	0,223

INFORME DE ENSAYO: 52452/20

Parámetro	Ref. M&C	Unidad	LD	Resultado
Nitrógeno Amónico I	11620	mg NH ₃ -N/L	0,006	2583
Sólidos Totales Suspensibles	1843	mg/l	2	1440
005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - ANIONES				
Nitrato, NO ₃ -	16189	mg/l	0,010	< 0,010
007 ENSAYOS DE METALES TOTALES ICP OES				
Mercurio (Hg)	10999	mg/l	0,00005	0,00004
Plata (Ag)	10993	mg/l	0,003	< 0,003
Aluminio (Al)	10993	mg/l	0,005	2,907
Antimonio (As)	10993	mg/l	0,03	< 0,03
Boro (B)	10993	mg/l	0,003	5,761
Bario (Ba)	10993	mg/l	0,0006	0,0025
Berilio (Be)	10993	mg/l	0,006	< 0,006
Calcio (Ca)	10993	mg/l	0,01	1583
Cadmio (Cd)	10993	mg/l	0,003	< 0,003
Cobalto (Co)	10993	mg/l	0,003	< 0,003
Cromo (Cr)	10993	mg/l	0,003	0,191
Cobre (Cu)	10993	mg/l	0,003	< 0,003
Hierro (Fe)	10993	mg/l	0,006	159,6
Plata (Ag)	10993	mg/l	0,04	23,99
Litio (Li)	10993	mg/l	0,03	0,68
Magnesio (Mg)	10993	mg/l	0,01	452,8
Manganeso (Mn)	10993	mg/l	0,0008	27,51
Niobio (Nb)	10993	mg/l	0,003	< 0,003
Sodio (Na)	10993	mg/l	0,3	3447
Níquel (Ni)	10993	mg/l	0,006	< 0,006
Fósforo (P)	10993	mg/l	0,08	22,95
Plomo (Pb)	10993	mg/l	0,03	< 0,03
Antimonio (Sb)	10993	mg/l	0,03	< 0,03
Selenio (Se)	10993	mg/l	0,03	< 0,03
Estado (Si)	10993	mg/l	0,03	< 0,03
Estrodo (Sr)	10993	mg/l	0,0003	0,040
Titanio (Ti)	10993	mg/l	0,001	< 0,001
Talio (Tl)	10993	mg/l	0,04	< 0,04
Vanadio (V)	10993	mg/l	0,003	< 0,003
Zinc (Zn)	10993	mg/l	0,001	0,336

Observaciones

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.

LD: Límite de detección.

CONTINUA EN LA SIGUIENTE PAGINA

INFORME DE ENSAYO: 52452/2018

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Cobalto (Co)	0,003	mg/l	< 0,003	03/10/2018
Cobre (Cu)	0,002	mg/l	< 0,002	03/10/2018
Cromo (Cr)	0,002	mg/l	< 0,002	03/10/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	mg/l	< 2	22/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	2	mg O ₂ /l	< 2	26/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	2	mg O ₂ /l	< 2	27/09/2018
Estaño (Sn)	0,02	mg/l	< 0,02	03/10/2018
Estroncio (Sr)	0,0002	mg/l	< 0,0002	03/10/2018
Fósforo (P)	0,08	mg/l	< 0,08	03/10/2018
Hierro (Fe)	0,006	mg/l	< 0,006	03/10/2018
Litio (Li)	0,02	mg/l	< 0,02	03/10/2018
Magnesio (Mg)	0,01	mg/l	< 0,01	03/10/2018
Manganeso (Mn)	0,0008	mg/l	< 0,0008	03/10/2018
Mercurio (Hg)	0,00005	mg/l	< 0,00005	04/10/2018
Molibdeno (Mo)	0,003	mg/l	< 0,003	03/10/2018
Níquel (Ni)	0,006	mg/l	< 0,006	03/10/2018
Nitrato, NO ₃ -	0,010	mg/l	< 0,010	22/09/2018
Nitrógeno Amoniacal	0,006	mg NH ₃ -N/l	< 0,006	25/09/2018
Plata (Ag)	0,002	mg/l	< 0,002	03/10/2018
Plomo (Pb)	0,02	mg/l	< 0,02	03/10/2018
Potasio (K)	0,04	mg/l	< 0,04	03/10/2018
Selenio (Se)	0,02	mg/l	< 0,02	03/10/2018
Sodio (Na)	0,3	mg/l	< 0,3	03/10/2018
Sólidos Totales Suspendidos	2	mg Sólidos Totales Suspendidos/L	< 2	26/09/2018
Taño (Ti)	0,04	mg/l	< 0,04	03/10/2018
Titanio (Ti)	0,001	mg/l	< 0,001	03/10/2018
Vanadio (V)	0,002	mg/l	< 0,002	03/10/2018
Zinc (Zn)	0,001	mg/l	< 0,001	03/10/2018

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Alcalinidad Total	113,7	85-115	01/10/2018
Alcalinidad Total	108,0	85-115	01/10/2018
Alcalinidad Total	105,7	85-115	02/10/2018
Alcalinidad Total	110,0	85-115	02/10/2018
Aluminio (Al)	87	80-120	03/10/2018
Antimonio (Sb)	84	80-120	03/10/2018
Aránico (As)	81	80-120	03/10/2018
Bario (Ba)	85	80-120	03/10/2018
Berilio (Be)	82	80-120	03/10/2018
Boro (B)	94	80-120	03/10/2018
Cadmio (Cd)	103	80-120	03/10/2018
Calcio (Ca)	90	80-120	03/10/2018
Cobalto (Co)	83	80-120	03/10/2018
Cobre (Cu)	80	80-120	03/10/2018
Cromo (Cr)	88	80-120	03/10/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	101,5	85-115	22/09/2018
Demanda Bioquímica de Oxígeno	97,2	85-115	22/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	98,4	85-115	26/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	93,3	85-115	26/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	103,5	85-115	27/09/2018
Demanda Química de Oxígeno	98,2	85-115	27/09/2018
Estaño (Sn)	84	80-120	03/10/2018
Estroncio (Sr)	81	80-120	03/10/2018
Fósforo (P)	84	80-120	03/10/2018
Hierro (Fe)	80	80-120	03/10/2018
Litio (Li)	80	80-120	03/10/2018
Magnesio (Mg)	85	80-120	03/10/2018
Manganeso (Mn)	83	80-120	03/10/2018
Mercurio (Hg)	98,5	76-113	04/10/2018

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
17591	LME	Alcalinidad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017	Alkalinity: Titration Method
17591	LME	Alcalinidad*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017	Alkalinity: Titration Method
16189	AQP	Aniones por Cromatografía Iónica	EPA METHOD 300.0, Rev 2.1, 1993	Determination of inorganic anions by ion chromatography
1828	AQP	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5 Days BOD Test
8803	AQP	Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD): Closed Reflux, Colorimetric Method
10599	LME	Mercurio Total	EPA Method 245.7 Rev 2 (2005)	Mercury in Water by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry
10602	LME	Metales Totales por ICP-OES	EPA 6010 B/ EPA 3010 A, Rev. 2 December 1996	Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry
11620	LME	Nitrógeno Amoniacal (Skalar)	ISO 11732 (Validado), 2nd. Ed. 2005	Water quality - Determination of ammonium nitrogen - Method by flow analysis (FA and FIA) and spectrometric detection
1843	AQP	Sólidos Totales Suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017	Solids: Total Suspended Solids Dried at 103-105°C