



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS - INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS Y GASES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
DEL BOTADERO DE LA CIUDAD DE PUNO MEDIANTE EL PROCESO DE
ADITIVOS TENSIOACTIVOS**

PRESENTADA POR:

YESICA CHURA LAURA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

CON MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL

PUNO, PERÚ

2019

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS Y GASES
DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL BOTAD
ERO DE LA CIUDAD DE PUNO MEDIANTE

AUTOR

YESICA CHURA LAURA

RECuento DE PALABRAS

28069 Words

RECuento DE CARACTERES

161247 Characters

RECuento DE PÁGINAS

142 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

16.5MB

FECHA DE ENTREGA

May 8, 2024 9:32 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 8, 2024 9:34 AM GMT-5

● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)




M.Sc. Ciro H. Vera Alarista
INGENIERO QUIMICO
CIP. 29271

Resume



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS-INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS Y GASES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
DEL BOTADERO DE LA CIUDAD DE PUNO MEDIANTE EL PROCESO DE
ADITIVOS TENSIOACTIVOS



PRESENTADA POR:

YESICA CHURA LAURA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

CON MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
Dr. GREGORIO PALOMINO CUELA

PRIMER MIEMBRO


.....
M.Sc. SALOMÓN TTITO LEÓN

SEGUNDO MIEMBRO


.....
Dra. LIDIA ENSUEÑO ROMERO IRURI

ASESOR DE TESIS


.....
M.Sc. CIRO HERNÁN VERA ALATRISTA

Puno, 09 de octubre de 2019.

ÁREA: Investigación

TEMA: Seguridad Industrial y Ambiental

LÍNEA: Seguridad Industrial y Ambiental.



DEDICATORIA

Mi tesis la dedico a mi amado padre Juan Chura Laura, un hombre maravilloso, que me acompaño en los momentos más amargos durante el estudio de la maestría, supo reconfortarme y ser mi fortaleza diaria para seguir adelante, sé que estarías muy orgulloso de todo lo que hasta ahora he logrado.

A mi adorada madre, por quien pido cada día, para que siga acompañándome a sonreír con esperanza de que siempre las cosas pueden ir mejor.

A mi querido esposo, quien pese a todos los momentos que le robe para dedicarme a estudiar, siempre me ha respaldado en los proyectos académicos que he decidido emprender.

A mis angelitos Rafael y Rhaella, quienes con su amor incondicional me brindan todo el soporte emocional.

A mi hermano Juan Cesar y a mi hermana Yovana, cuantas veces me han ayudado con sus consejos y palabras de aliento.

Gracias mi querida familia.



AGRADECIMIENTOS

- Quiero agradecer de manera especial al Dr. Gregorio Palomino Cuela, por sus palabras amables y de aliento a seguir estudiando. Todos tenemos un docente que siempre pese a los años, recordaremos. Yo recordare con gratitud todas sus buenas acciones para con mi persona Dr. Gregorio. También agradecer con todo mi aprecio al M.Sc. Salomón Ttito, quien en pregrado supo proporcionarme las herramientas pertinentes a mi formación, con un don de ser humano con ética profesional sólida. Agradecer finalmente a la Dra. Lidia Romero, quien, comprendiendo las dificultades que debe afrontar una profesional en el ámbito de las ingenierías, con su ejemplo y formación, me ha inspirado a no desistir del sueño académico.
- Muchas gracias por todo mi querida Universidad Nacional del Altiplano, todo lo aprendido en tus aulas fueron las mejores experiencias que templaron y terminaron de consolidar mi visión hacia el futuro.



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	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3

CAPÍTULO I

REVISIÓN LITERATURA

1.1. Marco teórico	5
1.1.1. Botadero	5
1.1.2. Disposición final	5
1.1.3. Generador	5
1.1.4. Gestión de residuos sólidos	5
1.1.5. Surfactantes aniónicos	6
1.1.6. Tensioactivo tipo alquil benceno sulfonato lineal (LAS) o (dodecil bencén Na ₂ SO ₄)	6
1.1.7. Residuos sólidos	7
1.1.8. Generación de RS	7
1.1.9. Composición de RS urbanos	8
1.1.10. Particularidades físicas de RSU	9
1.1.11. Propiedades químicas	11
1.1.12. Reacciones en proceso de relleno sanitario	12
1.1.13. El lixiviado	14
1.1.14. Tratamiento de LX	21
1.1.15. Coagulación	29
1.1.16. Floculación	32
1.1.17. Biogás	37

...



1.1.18. Higiene y seguridad laboral	44
1.2. Antecedentes	45

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

2.1. Identificación de problema	53
2.2. Enunciados de problema	54
2.2.1. General	54
2.2.2. Específicos	54
2.3. Justificación	55
2.4. Objetivos	56
2.4.1. General	56
2.4.2. Específicos	56
2.5. Hipótesis	56
2.5.1. General	56
2.5.2. Específica	57

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar estudio	58
3.1.1. Localización	58
3.2. Población	58
3.3. Muestra	59
3.3.1. Protocolo toma muestras para LX	61
3.4. Método de investigación	62
3.5. Detalle de métodos por propósitos específicos	62
3.5.1. Caracterización de LX además de gases provenientes de botadero de RS urbanos localizado en zona Sur Oeste del cerro Cancharani Puno, como materia orgánica, DQO y turbidez	62
3.5.2. Determinación de tratamientos fisicoquímicos eficaces por medio de método de proceso de añadidura de tensioactivos para tratar LX producidos en botadero de Puno.	66
3.5.3. Establecer cinética y desarrollar un modelo matemático para procedimiento de tratamiento de los gases y LX producidos por RS de vertedero en Puno mediante la inclusión de tensioactivos y garantizar la seguridad en su tratamiento.	70



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultado	79
4.1.1. Caracterización de LX, materia orgánica y DQO	79
4.1.2. Tratamientos fisicoquímicos eficaces por medio de método de proceso agregado de tensioactivos.	80
4.1.3. Cinética y modelo matemático para procesamiento tratamiento de gases y LX producidos por RS de botadero de ciudad de Puno.	82
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	97



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Perfil evaluación LAS	7
2. Contenido humedad	10
3. Cálculo volumen	10
4. Datos típicos de composición LX de rellenos nuevos además maduros	19
5. Generación aguas lixiviadas en relleno sanitario	21
6. Toma muestras de LX de R.S.U. – Cancharani	60
7. Particularización físico-química de LX de R.S.U.	64
8. Generación de aguas LX en relleno sanitario	65
9. Circunstancias operación en experimentaciones de coagulación-floculación	68
10. Tratamiento adición coagulante	69
11. Datos curva calibración para Fe	71
12. Variables naturales-datos de diseño experimental	74
13. Estimación % rendimiento diseño factorial	75
14. Matriz diseño factorial $2^3 = 8$	75
15. Resultados de exposición por factores ergonómicos	78
16. Particularización físico-química LX de R.S.U.	79
17. Aglomeración hierro remanente ejemplar tratado con ATA (dodecil bencén Na_2SO_4)	80
18. Datos para curva calibración para Fe	83
19. Valores eficiencia recuperación hierro con dodecilbencén Na_2SO_4	84
20. Constituyentes orgánicos forma rápida y lent biodegradables en los RSM.	98
21. Proyección población de Puno	99
22. Composición de RS de Puno	101
23. Generación de RS de Puno	104
24. Generación de volumen de RS de Puno	106
25. Conformación química en base seca	108
26. Componentes RSM de forma rápida y lenta descomponibles	109
27. Conformación molar de elementos	110
28. Estimaciones para establecer relaciones normalizadas	110
29. Producción aguas LX en relleno sanitario	113

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Fórmula generadas DSS (dodecil bencén Na_2SO_4 LAS.	6
2. Formación de LX	18
3. Naturaleza de un soluto	22
4. Esquema del proceso de Coagulación/floculación	23
5. Doble capa eléctrica	24
6. Desestabilización de coloide y compresión de difusa capa	30
7. Aglomeración de partículas coloidales empleando floculante	33
8. Etapas de la degradación anaerobia de los RSU	42
9. Lugar del botadero de residuos solidos – Cancharani - Puno	59
10. Pasos para el muestreo de LX	61
11. Instalación experimental para el ensayo de coagulación-floculación	68
12. Diagrama flujo de la prueba de jarras	70
13. Esquematzación del diseño factorial 2^3	72
14. Eficiencia recuperación de Fe con aditivotensioactivo (dodecil bencén Na_2SO_4)	81
15. Curva de calibración, línea tendencia de Fe	83
16. Eficiencia recuperación de hierro con dodecil bencén Na_2SO_4	84
17. Proyección de población de Puno	100
18. Conformación de RS de ciudad de Puno	102
19. Conformación física de RS en base seca	109
20. Residuos sólidos en el botadero	119
21. LX en el botadero Cancharani	119
22. LX en el botadero Cancharani	119
23. LX en el botadero Cancharani	119
24. Toma muestras de LX de RS en botadero Cancharani-Puno	120
25. Materiales, equipamientos y reactivos empleados en el estudio FIQ-UNA	120
26. Muestra de LX en laboratorio	120
27. Pesando el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	121
28. Tomandoel pH del LX	121
29. Preparando concentración de LX para proceso de coagulación	121
30. Muestra de los LX preparados	122
31. Formación de floculo pasado los 15 min	122



32. Preparando para la filtración del LX	123
33. Filtración muestra tratada con papel filtro 0,45 μ	123
34. Filtración muestra tratada con papel filtro 0,45 μ .	123
35. Cotejo de blanco con muestra tratada	123
36. Parapeto estandarizado para Y	126
37. Efectos primordiales para Y	127
38. Contornos Superficie de Respuesta Estimada	127



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Marco Legal	97
2. Tablas de resultados	98
3. Cálculos proyectados de población de Puno	99
4. Otros	116
5. Fotos de toma de ejemplares de LX de botadero RSU. Cancharani -Puno	119
6. Fotos de analisis de LX en laboratorio de FIQ-UNA	120
7. Efectos estimados para Y	124
8. Normas de seguridad e higiene	128



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

DQO	: Demanda química de oxígeno
DBO ₅	: Demanda bioquímica de oxígeno
pH	: Coeficiente que detalla grado de acidez o basicidad de una solución
ST	: Sólidos totales
SDT	: Sólidos disueltos totales
SST	: Sólidos suspendidos totales
LAS	: Alquil benceno sulfonato lineal (dodecil bencén Na ₂ SO ₄)
RSU	: Residuos sólidos urbanos
RSM	: Residuos sólidos municipales.
DSS	: Dodecil bencén sulfato de sodio
m.s.n.m.	: Metros sobre nivel del mar
STS	: Sólidos totales en suspensión
COT	: Carbono orgánico total
CA	: Carbón activado

RESUMEN

El La investigación respecto del tratamiento de lixiviados y gases de residuos sólidos del botadero de la ciudad de Puno por medio del proceso de aditivos tensioactivos, se realizó a fin de poder obtener una caracterización concluyente de los lixiviados producidos por el cumulo de basura sin tratar en el botadero de Cancharani. El objetivo principal fue demostrar que el tratamiento de lixiviados y gases, mediante el método de adición de tensioactivos, eliminará la contaminación del medio ambiente. Se caracterizaron parámetros físico-químicos de lixiviado de RS urbanos, los que poseen hierro (45 mg/L), y superan los VMP por Ley General de Aguas. Las variables de operación modificadas en totalidad de diluciones fueron pH (3 hasta 12), así también dosis de coagulante (30 hasta 100 mg/L), se experimentó modificando velocidad de agitación (25 hasta 150 rpm) y tiempo de mezcla (5 hasta 20 min.), con fin de detallar influencias en procedimientos ensayados, como hallazgo se recobró 2,309 mg/L de Fe (95,86 %) con dodecibencén Sulfato de sodio como floculante. Se ejecutó un modelo matemático estadístico, además de experimentación, observable en el anexo 6, pH pertinente es 7,5, con lapso de floculación de 12,5 segundos, con velocidad de agitación de 150 rpm. Se detalla la cantidad de gases emitidos 1271,22 m³ de CH₄ y 909,54 m³ de CO₂. Correspondientemente se llega a concluir que pH de 7,5 es variable con mayor significativa en proceso de recuperación de hierro lo cual hace evidente la posibilidad de eliminar la contaminación ambiental.

Palabras claves: Coagulación, floculación, lixiviado, residuos sólidos y tensioactivo.

ABSTRACT

The investigation regarding the treatment of leachates and gases from solid waste from the dump of the city of Puno through the process of surfactant additives was carried out in order to obtain a conclusive characterization of the leachates produced by the accumulation of untreated garbage in Cancharani dump. The main objective was to demonstrate that the treatment of leachates and gases, through the method of adding surfactants, will eliminate environmental pollution. Physical-chemical parameters of urban PCA leachate were characterized, which have iron (45 mg/L), and exceed the MAV by General Water Law. The operating variables modified in all dilutions were pH (3 to 12), as well as coagulant dose (30 to 100 mg/L), experimentation was carried out by modifying stirring speed (25 to 150 rpm) and mixing time (5 to 20 min.), in order to detail influences on tested procedures, as a finding, 2.309 mg/L of Fe (95.86%) was recovered with sodium dodecylbenzene sulfate as flocculant. A statistical mathematical model was executed, in addition to experimentation, observable in annex 6, relevant pH is 7.5, with a flocculation period of 12.5 seconds, with a stirring speed of 150 rpm. The amount of gases emitted is detailed: 1271.22 m³ of CH₄ and 909.54 m³ of CO₂. Correspondingly, it is concluded that pH of 7.5 is variable with greater significance in the iron recovery process, which makes evident the possibility of eliminating environmental contamination.

Keywords: Coagulation, flocculation, leachate, solid waste and surfactant.



Dra. Myriam E. Pacheco Tanaka
CQF. 01222

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Puno se sitúa junto al lago Titicaca, cuenta con aproximadamente 139,816 habitantes y una densidad poblacional de alrededor de 60.8 habitantes por kilómetro cuadrado. Su entorno está marcado por diversas formas geográficas, con altitudes que van desde los 3,812 hasta los 4,050 metros sobre el nivel del mar, lo que presenta desafíos en la gestión de residuos sólidos (RS) (INE-2014).

Ley General de Residuos Sólidos N° 27314, detallada el 20 de julio de 2000, indica derechos, deberes, facultades además de responsabilidades de comunidad en su conjunto para garantizar administración asimismo manejo adecuados de desechos. Su objetivo es minimizar riesgos ambientales, prevenir problemas de salud y proteger el entorno. Los gobiernos locales son responsables de gestión de residuos sólidos domiciliarios, comerciales y similares, mientras que el Ministerio de Transporte y Comunicaciones se encarga de desechos elaborados por tareas de transporte además de construcción. Por último, residuos producidos por tareas de atención médica son responsabilidad de Ministerio de Salud.

La existencia de vertederos sobrelleva inevitablemente elaboración de lixiviados (LX), debido a que desechos presentes en estos sitios se llegan a descomponer por medio de un conjunto de procedimientos biológicos además de físico-químicos. En este procedimiento de descomposición, se produce líquido conocido como LX debido a filtración de agua de lluvia por medio de capa de residuos, disolviendo distintos componentes de RS depositados allí. Como hallazgo, se genera líquido residuario contaminado con alta concentración de metales pesados, materia orgánica (MO), nitrógeno amoniacal además de sales no orgánicas, caracterizado por una coloración oscura o marrón, un olor no agradable y una toxicidad elevada. Además, debido a las reacciones químicas dentro de RS, se liberan gases como metano y dióxido de carbono (Wehenpohi *et al.*, 2006).

En la década de los noventa, una característica principal de avanzadas sociedades fue la relevancia asimismo prioridad otorgada a ambientales cuestiones. Problemas como crecimiento constante de RS, vertidos industriales no controlados y efecto invernadero debido a la combustión de combustibles, han sido temas relevantes en agendas políticas a nivel internacional además de nacional. La prioridad ha colocado en el centro del debate empleo de instrumentos económicos de control como parte de normativas del entorno, incluyendo el diseño y ejecución de nuevas medidas fiscales con ese propósito.



Coagulación y floculación representan 2 fases del proceso de clarificación de agua, en las cuales se añaden elementos como hidróxidos y/o sales metálicas, como cal, al efluente con el fin de desestabilizar materia coloidal asimismo provocar la unión de partículas minúsculas hasta formar flóculos de tamaño considerable, los cuales pueden ser eliminados más fácilmente por gravedad. Factores como aglomeración de aluminio, tipo además de aglomeración de aniones, así como pH, llegan a influir en formación de los flóculos. Por otro lado, efectividad de proceso depende de concentración asimismo dosificación de coagulante, fuerza iónica, pH de agua, asimismo concentración además de naturaleza de compuestos orgánicos.

Este estudio de investigación se enfoca en tratamiento de LX procedentes de vertedero de RS urbanos de Puno, por medio de agregado de tensioactivos. Se caracterizan LX, gases, DQO además de MO, se define tecnología propuesta, se divulgan parámetros pertinentes de tiempo, pH además de temperatura en dicha tecnología detallada, y se determina el modelo matemático para tratamiento de LX y gases de RS.



CAPÍTULO I

REVISIÓN LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Botadero

Lugar donde se acumulan de manera inapropiada los residuos sólidos en calles, espacios públicos y áreas urbanas, rurales o desocupadas, lo que representa un riesgo para la salud pública o el medio ambiente. Estos lugares carecen de la autorización sanitaria requerida (Ley N° 27314, 2000).

1.1.2. Disposición final

Disposición final se refiere a los procesos u operaciones destinados a tratar o depositar los residuos sólidos en un lugar específico como la última etapa de su gestión, de manera permanente y de forma segura desde el enfoque sanitario además de ambiental (Ley N° 27314, 2000).

1.1.3. Generador

El generador es un individuo jurídico o natural que, debido a sus tareas, genera RS, ya sea como fabricante, importador, repartidor, comerciante o cliente. Igualmente se incluye en esta categoría al poseedor de RS peligrosos cuando no es posible detectar original generador, así como a gobiernos municipales partiendo de tareas de recolección (Ley N° 27314, 2000).

1.1.4. Gestión de residuos sólidos

La gestión de residuos sólidos abarca todas las actividades técnicas y administrativas relacionadas con la planificación, coordinación, concertación,

diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas para el manejo adecuado de los residuos sólidos a nivel nacional, regional y local (Ley 27314, 2000).

1.1.5. Surfactantes aniónicos

Se separan en un anión anfifílico y un catión, comúnmente un metal alcalino o un amonio cuaternario.

En esta categoría se incluyen productos como detergentes sintéticos, como LAS, los jabones (sodio de ácidos grasos), agentes espumantes como el laurilsulfato, humectantes como los sulfosuccinatos y dispersantes como los lignosulfonatos, entre otros.

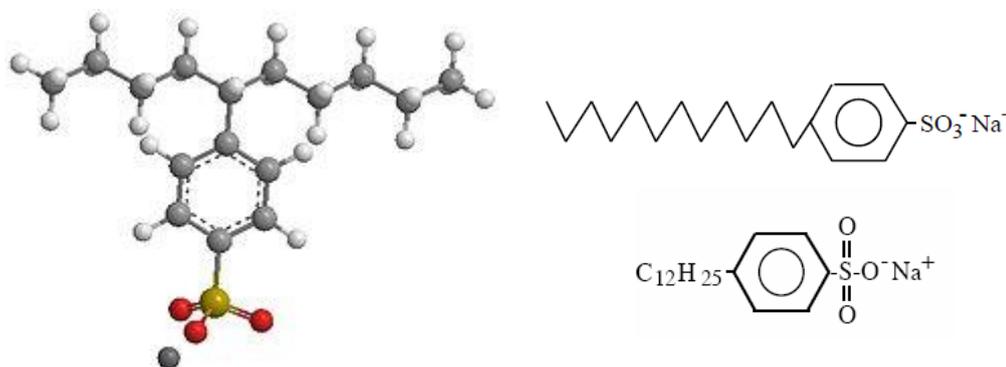


Figura 1. Fórmulas generadas de DSS (dodecil bencén Na_2SO_4) LAS

1.1.6. Tensioactivo tipo alquil benceno sulfonato lineal (LAS) o (dodecil bencén Na_2SO_4)

Categoría de tensioactivos conocida como LAS es posiblemente una de las más destacadas dado a su amplia versatilidad, eficiencia económica y alto nivel de uso generalizado. La molécula de LAS se compone de un anillo aromático con un grupo sulfonato en posición para, vinculado a cadena alquímica lineal en diversas posiciones, excluyendo los extremos de la cadena de carbono. Por lo general, la longitud de la cadena alquímica oscila entre 10 y 14 átomos de carbono, además de linealidad de cadena va de un 87% y un 98% (Murguía *et al.*, 2005).

LAS es el ingrediente fundamental en gran parte de detergentes utilizados en productos de limpieza y lavandería para uso doméstico, con concentraciones que van hasta el 25% en productos de consumo y hasta el 30% en productos

comerciales. Existe una excepción que consiste en un producto sólido altamente concentrado que contiene hasta un 45% de LAS y que se dispensa mecánicamente en diluida solución para lavar vajilla. Estos elementos poseen una amplia gama de aplicaciones, como elementos humectantes, espumantes además de emulsionantes, y se utilizan en productos agrícolas, pinturas además de pigmentos.(Myers, 2006).

Tabla 1
Perfil valoración LAS

Categoría	Descripción
CAS Nos.	1332-98-1 Decylbenzene sulfonic acid, sodium salt
	25155-30-0 Dodecylbenzene sulfonic acid, sodium salt
	26248-24-8 Trydecilbenzene sulfonic acid, sodium salt
	27636-75.5 Undecilbenzene sulfonic acid, sodium salt
	68081-81-2 C ₁₀₋₁₆ Monoalkylbenzene sulfonic acid, sodium salt
	68411-30-3 C _{10-13A} lkybenzene sulfonic acid, sodium salt
	69669-44-9 C _{10-14A} lky deriv benzene sulfonic acid, sodium salt
	85117-50-6 C ₁₀₋₁₄ Monoalkylbenzene sulfonic acid, sodium salt
	90194-45-9 C _{10-13A} lky deriv benzene sulfonic acid, sodium salt
	127184-52-5 C _{10-13-sec} Alky deriv benzene sulfonic acid, sodium salt
Category Name	Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
	Structure of a C ₁₂ -LAS is representative category
Structural Formula	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$ 

Fuente: (UNEP, 2016).

1.1.7. Residuos sólidos

Se refieren a los remanentes de las actividades humanas que los generadores consideran como inservibles, no deseados o desechables. Estos residuos se encuentran en forma sólida, semisólida o semilíquida, lo que significa que tienen un contenido líquido insuficiente para fluir libremente (Tchobanoglous, 1994).

1.1.8. Generación de RS

La generación de RS urbanos abarca típicamente todos los desechos de población, excluyendo residuos agrícolas además de industriales.

Conforme con Collazos (2013), RS se categorizan conforme capacidad de biodegradación de la correspondiente forma:

- Degradables Fácilmente: incluyen elementos orgánicos.
- Degradables Moderadamente: abarcan, cartón, papel además de productos celulósicos.
- Degradables Dificultosamente: comprenden trapos, madera, caucho además de cuero.
- No degradables: engloban metales, plásticos, piedra, tierra y otros materiales.

1.1.9. Composición de RS urbanos

Tchobanoglous (1994), analiza los diversos componentes de los residuos en una base tanto básica como volumétrica. Por lo general, valores de conformación de RS se expresan en elementos de puntaje porcentual en masa, así como en base húmeda, incluyendo contenidos tales como elementos orgánicos, papel además de cartón, textiles, plásticos, vidrio, metales, entre otros.

Conocer composición de los residuos resulta útil para variedad de fines, involucrando estudios, programas de reciclaje, evaluación de la viabilidad de tratamientos, investigaciones, identificación de tipos específicos de residuos, así como para el análisis de normativas de gestión asimismo manejo.

1.1.9.1. Orgánicos

- a) **Residuos alimenticios:** comprenden los desechos generados durante manipulación, preparación, cocción además de ingesta de alimentos.
- b) **Papel:** incluye periódicos empleados, revistas, hoja de elevada calidad, hoja mixto, hoja térmico de fax, entre otros.
- c) **Cartón:** abarca cartón/kraft utilizado y susceptible de ser reciclado.
- d) **Plásticos:** engloban PET (envases de refrescos), PE-HD (envases de agua asimismo leche, así como envases de detergentes), plásticos no clasificados, demás plásticos (PE-LD, PVC, PS igualmente PP), asimismo plástico de película.

- e) **Textil:** comprenden prendas de vestir, trapos, entre otros.
- f) **Caucho:** todos los tipos de bienes de goma, exceptuando llantas de carros motorizados.
- g) **Cuero:** abarca abrigos, zapatos, tapicería, chaquetas, entre otros.
- h) **Desechos jardín:** incluyen poda de árboles, hojas, recortes de césped, arbustos.
- i) **Madera:** comprende desechos de elementos de construcción.
- j) **Misceláneos:** engloban pañales desechables, plumas, pelo de animales pequeños, cabello, etcétera.

1.1.9.2. Inorgánicos

- a) **Vidrio:** vidrio recipientes (azul, verde, ámbar, blanco), vidrio plano.
- b) **Latas de hojalata:** recipientes leche evaporada, conservas, etc.
- c) **Aluminio:** aluminio secundario recipientes de bebidas, (chapas, tapas, ollas, etc.)

1.1.10. Particularidades físicas de RSU

De acuerdo con Tchobanoglous (1994), entre las características físicas más significativas se encuentran el nivel de humedad, el volumen y la densidad específica:

1.1.10.1. Contenido humedad

Para determinar contenido de humedad de RS, se ha empleado método de peso en estado húmedo y ecuación siguiente:

$$M = \frac{w-d}{w} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

En el cual:

M = Humedad contenido en puntaje porcentual

w = Peso inicio muestra

d = Peso muestra posterior de secarse

Contenido de humedad de RS depositados en vertedero contribuye a producción de LX, cuya producción aumenta durante los periodos de lluvia intensa. Estos LX, si no son tratados, ocasionan contaminación en las aguas subterráneas y superficiales, así como en el suelo.

Tabla 2 se presenta una estimación de peso seco necesario para ejecutar ecuación mencionada (1).

Tabla 2
Contenido humedad

Elementos	RSU Total Ton/día	Porcenta je en Peso	Contenido Humedad Porcentaje	Peso Seco Ton/día
ORGÁNICOS				
Desechos comida				
Cartón				
Papel				
INORGÁNICOS				
Aluminio				
Latas hojalata				
Vídrio				
Total				

Fuente: (Tchobanoglous, 1994).

1.1.10.2. Volumen

El cálculo del volumen general de RS producidos en Puno es crucial para planificar de manera adecuada las rutas de recolección, determinar la frecuencia y el número de unidades de recolección necesarias, así como establecer la cantidad y capacidad de los contenedores. Además, este dato es fundamental para diseñar la infraestructura requerida para disposición final de residuos y para estimar vida aprovechable de dichas instalaciones.

Tabla 3
Estimación de volumen

Elemento	RS Total Húmedo Ton/Día	Peso Especifico (kg/m ³)	Volumen m ³
ORGÁNICOS			
Desechos comida			
Cartón			
Papel			
INORGÁNICOS			
Latas hojalata			
Vidrio			
Otros metales			
Aluminio			
Cenizas, Suciedad, etc			
Total			

Fuente: (Tchobanoglous, 1994).

1.1.10.3. Densidad

Considerando peso total de RS y volumen determinado, se procede a calcular la densidad de RS tal como son recolectados:

$$\rho = \frac{kg}{m^3} \quad \text{Ec. 2}$$

1.1.11. Propiedades químicas

Conocer composición química de elementos que constituyen RS es fundamental para valorar posibles métodos de procesamiento asimismo recuperación en el futuro (Tchobanoglous, 1994).

1.1.11.1. Composición química

Basándonos en composición elemental de RS de Puno, podemos derivar composición química necesaria para valorar alternativas de procesamiento además de recuperación.

Los datos de las Tablas 2 y 3 nos permiten establecer las fórmulas químicas empíricas para la generación total, que se detallan a continuación. (Tchobanoglous, 1994).

a) Formulas químicas empíricas de total de RS generados

✓ Con azufre



✓ Sin azufre:



b) Formulas químicas empíricas de fracción orgánica

✓ Con azufre



Sin Agua $C_{291}H_{445}O_{143}N_{0.7}S_{14}$

✓ **Sin azufre:**

Con Agua $C_{20}H_{78}O_{34}N$

Sin Agua $C_{20}H_{31}O_{10}N$

1.1.12. Reacciones en proceso de relleno sanitario

Posterior que RS son creados además de depositados en relleno sanitario, se genera liberación de agua contenida en filtración y desechos de esta agua por medio de capa de desechos en desintegración. Esta filtración disuelve elementos biológicos y químicos presentes en residuos, los cuales luego son sometidos a transformaciones biológicas, químicas además de físicas, de manera interconectada asimismo simultánea. La naturaleza y el alcance de estas transformaciones dependen del tipo de tratamiento aplicado, así como de la caracterización de los componentes presentes en los residuos (Tchobanoglous, 1994).

1.1.12.1. Reacciones físicas

Entre las reacciones físicas más significativas que tienen lugar en un relleno sanitario se encuentran conforme a López (2011):

- Difusión lateral gases en relleno asimismo liberación de gases de relleno hacia el entorno circundante.
- Desplazamiento de LX en relleno y su movimiento hacia abajo, atravesando el suelo.
- Asentamiento provocado por consolidación además de descomposición de material depositado.

La gestión de los rellenos sanitarios requiere una atención especial y significativa respecto al movimiento y las emisiones de gases. Durante la generación de gases dentro del relleno, la presión interna puede aumentar, lo que puede resultar en la ruptura de cubierta de vertedero y, por consiguiente, en fugas. El ingreso de agua al relleno a través de la cubierta dañada puede acelerar la producción de gas, lo que a su vez puede provocar

más rupturas. Los gases del vertedero que escapan pueden llevar consigo compuestos cancerígenos y teratogénicos al entorno circundante. Dado que estos gases suelen poseer acrecentado porcentaje de metano, se manifiesta riesgo de incendio y/o explosión.

Por otro lado, LX se desplaza hacia abajo y transportaría compuestos y elementos a puntos nuevos en el cual puedan fácilmente reaccionar. La formación de LX en poros de aire de relleno interfiere con migración de gases (Tchobanoglous, 1994).

1.1.12.2. Reacciones químicas

Conforme con López (2011), las principales reacciones químicas que tienen lugar en relleno sanitario son las siguientes:

- a) Disolución además de arrastre en suspensión de componentes elementos de desechos, así como de los productos de conversión biológica, en líquidos que destilan por medio de desechos.
- b) Evaporación compuestos químicos además de agua presentes en gas de relleno.
- c) Absorción compuestos orgánicos semivolátiles además de volátiles en material depositado.
- d) Deshalogenación además oxidación-reducción conformaciones orgánicos.
- e) Las reacciones oxidación-reducción que llegan afectar a los metales asimismo solubilidad de sales metálicas.

1.1.12.3. Reacciones biológicas

Las más significativas que tienen lugar en rellenos sanitarios están vinculadas con fracción orgánica presente en RS, y evolucionan generando gases y, casualmente, líquidos. Procedimiento de desintegración biológica comienza de manera aeróbica, en un breve lapso tras la disposición de desechos, debido al oxígeno contenido en el aire atrapado dentro de porosidad de material, tras el cotejo. Sin embargo, dado que este aire no se renueva, el oxígeno se agota rápidamente y la descomposición avanza en condiciones anaeróbicas. En esta etapa, la MO se convierte principalmente

en dióxido de carbono, metano y en cantidades mínimas de amoníaco y ácido sulfhídrico (Collazos, 2013).

Durante la descomposición aeróbica, el principal gas producido es el dióxido de carbono (CO_2). Una vez que se agota el oxígeno, la descomposición se vuelve anaerobia y la MO se transforma en dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y cantidades traza de amoníaco (NH_3) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). (Mackenzier, 2005; Tchobanoglous, 1994).

1.1.13. El lixiviado

El líquido resultante de percolación de agua por medio de cualquier material permeable se conoce como lixiviado (LX). Por lo general, contiene tanto materia suspendida como disuelta, siendo esta una característica común. El LX se encuentra con mayor frecuencia en o vinculado a rellenos sanitarios, en el cual, como efecto de la infiltración de lluvias por medio de RS y su reacción con productos de descomposición, productos químicos y demás compuestos, se genera este líquido. Si relleno sanitario carece de un sistema de recolección de LX, estos llegarían a aguas subterráneas, provocando problemáticas ambientales o salud. En general, el LX es tóxico, ácido y contiene altas concentraciones de iones sulfato, ácidos orgánicos y una abundancia de iones metálicos usuales, puntualmente hierro. Además, posee un olor particular, complejo de confundir o olvidar (Tchobanoglous, 1994).

Los riesgos asociados con el LX se deben a las acrecentadas aglomeraciones de contaminantes orgánicos además de nitrógeno amoniacal. Aunque los microorganismos patógenos asimismo las tóxicas sustancias pueden presentarse, su presencia disminuye rápidamente con el tiempo en rellenos sanitarios, lo que también se aplica al LX recién generado.

Desde una perspectiva geológica, la lixiviación se refiere al proceso mediante el cual constituyentes solubles de roca, suelo, sedimento o escombrera son eliminados por aguas de infiltración.

Combinación de desechos que ser humano genera e ingiere en gran medida es un factor que contribuyen a formación de LX. Cuando los residuos se mezclan,

líquidos resultantes se llegan a filtrar a través de mantos acuíferos, lo que provoca contaminación de suelo además de agua. Con el tiempo, esta contaminación puede resultar en merma de producción de agua y en la degradación de los suelos (Tchobanoglous, 1994).

a. Características

Los LX suelen ser caracterizados por una serie de parámetros básicos, que incluyen Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), la vinculación entre DBO₅ y DQO, pH, sólidos disueltos totales (SDT), conductividad, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos totales (ST), nitrógeno total además de metales pesados.

- La DQO, indicador que cuantifica cuantía de sustancias susceptibles de oxidarse mediante métodos químicos presentes en una muestra líquida, ya sea disueltas o en suspensión. Se emplea para evaluar el nivel de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/L). Dada la complejidad de los LX en un vertedero sanitario, aún se desconoce con precisión la contribución exacta de cada componente al valor total de DQO. Sin embargo, investigar la composición de la DQO en los LX puede mejorar nuestra comprensión sobre la distribución, el comportamiento ambiental y el destino de cada componente individual (Tchobanoglous, 1994). Las disparidades en valores de DQO pueden atribuirse al diseño de vertedero sanitario, composición de residuos sólidos urbanos (RSU), particularidades de sitio y antigüedad de vertedero (Aziz *et al.*, 2010). Pruebas de DQO efectúan medición de carbono orgánico total, excluyendo ciertos compuestos aromáticos como benceno, que no se oxida totalmente durante reacción. Estas pruebas de DQO implican reacción de oxidación-reducción, que merma sustancias como sulfitos, sulfuros e iones férricos (Tchobanoglous, 1994).
- Demanda Biológica de Oxígeno, también conocida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), parámetro que evalúa cantidad de oxígeno consumido durante degradación de la MO presente en muestra líquida. Representa cantidad de MO susceptible de ser ingerida u oxidada por medios biológicos en muestra líquida, ya sea disuelta o suspensión.

Es parámetro más empleado en evaluación de contaminación de aguas residuales y superficiales. Determinación de la DBO_5 involucra medida de oxígeno disuelto empleado por microorganismos en oxidación bioquímica de MO (Aziz *et al.*, 2010).

La vinculación entre DBO_5 y la DQO detalla edad de LX. Normalmente, la vinculación DBO_5/DQO es más acrecentada en LX joven que en uno maduro, que ha experimentado un proceso de estabilización. Baja vinculación DBO_5/DQO sugiere que LX es estable y complejo de degradar de forma biológica. En consecuencia, se brinda como recomendación el empleo de técnicas fisicoquímicas en tratamiento de LX estables (Aziz *et al.*, 2010).

- **El pH del LX experimenta variaciones según la etapa de desarrollo del vertedero.** Según lo explicado por Tchobanoglous *et al.* (1996), el pH de LX disminuye hasta alcanzar valores de 5 o menos en etapa ácida dado a presencia de ácidos orgánicos, y posteriormente aumenta hasta conseguir una valoración de 8 en etapa de maduración.
- **Conductividad eléctrica.** Se refiere a la capacidad de un medio líquido (disolución) para conducir electricidad, la cual está vinculada a la presencia de sales en solución. Cuando estas sales se disocian, generan iones positivos y negativos capaces de transportar energía eléctrica si el líquido se somete a un campo eléctrico (Rodrigo y Rodrigo, 2014).
- Es crucial diferenciar entre los sólidos totales (ST) y la subdivisión de estos en sólidos disueltos totales (SDT) además de sólidos suspendidos totales (SST), dado a que muchos tratamientos únicamente son eficaces contra uno de estos tipos. Los sólidos que atraviesan un filtro adecuado se denominan SDT, y sólidos que se retienen por filtro son SST. (Rodrigo y Rodrigo, 2014).

La tasa de descomposición de los contaminantes en un vertedero sanitario puede estar sujeta a la influencia de diversos factores, como temperatura, características geológicas, clima regional, patrones de comportamiento de población y modo de operación de vertedero sanitario (Ziyang *et al.*, 2009).

1.1.13.1. Constitución de LX

Cuando agua procedente de las lluvias además de escurrimiento fluye por medio de RS compactados y aglomerados en vertedero sanitario, llega a superar su capacidad de retención de agua, generando un líquido desagradable, de olor fuerte, altamente contaminado y con una carga orgánica significativa, denominado como LX. Este líquido, junto con descomposición aerobia asimismo anaerobia de elementos orgánicos, diluye sustancias además lleva consigo partículas presentes en RS. Si este LX se desplaza verticalmente sin una adecuada impermeabilización del suelo, existe el riesgo potencial de que llegue a subsuelo y contamine subterráneas aguas (Corbitt, 2003; Ehrigh, 1992; Tchobanoglous, 1994).

LX tienen 2 fuentes primordiales en área del vertedero:

- a) LX generado por la humedad natural de residuos además de humedad intersticial causada por varios tratamientos, o bien, producido por la desintegración de la MO.
- b) LX originado por externas fuentes.
 - Agua de lluvia que cae de forma directa sobre RS.
 - Agua que se desplaza horizontalmente en el suelo y llega de forma directa al vertedero sanitario.
 - Directo contacto de aguas subterráneas con desechos debido al aumento de nivel freático.
 - Derrame o aporte de líquidos en vertedero sanitario.

En esta situación, LX se refiere al exceso de agua que supera capacidad de retención de humedad de elemento presente en vertedero sanitario.

Elementos que afectan generación de LX incluyen:

- **Disponibilidad de agua:** Incluye lluvia, presencia de agua en superficie, el reciclaje de LX y la irrigación de cobertura.
- **Particularidades de cobertura de desechos:** Engloba el tipo de vegetación además de suelo, el nivel compactación de material de cobertura además las pendientes de superficies finales.
- **Clase de impermeabilización utilizada:** Se refiere al material

empleado, ya sea artificial o natural, tanto en fondo como en capa final de cobertura del vertedero.

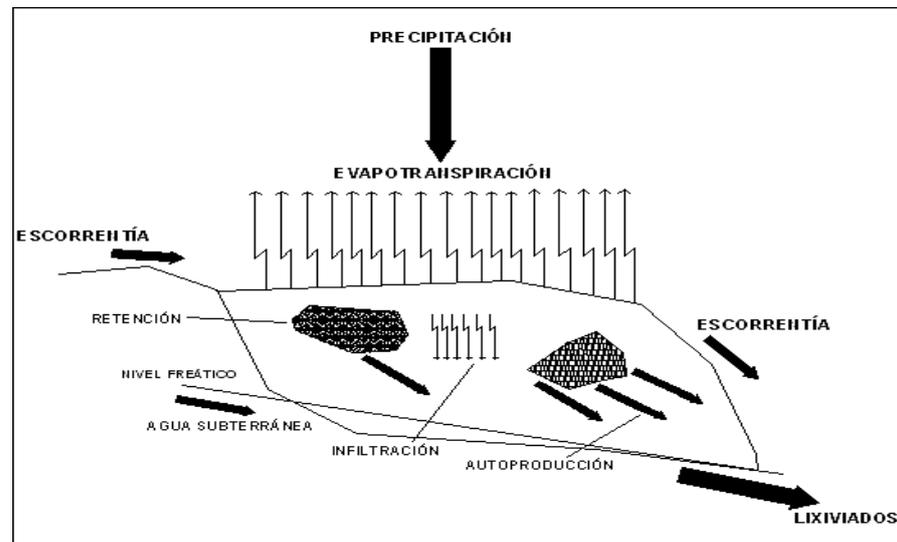


Figura 2. Formación LX
Fuente: (Castillo, 1994).

Cantidad de contaminantes generados por vertedero sanitario se halla influenciada por concentración de elementos en LX, que se deriva de la diversidad de desechos depositados en él. Estos desechos experimentan cambios con el tiempo, y el volumen de LX producido también influye. Particularidades y tasas de producción de LX varían según el sitio y el tipo de desecho, dependiendo de conformación de residuos sólidos en área, así como de factores como la pH, humedad además de temperatura. Además, la cantidad y calidad de agua que atraviesa zona de desechos también afecta (Collazos, 2013).

Un vertedero sanitario funciona como reactor bioquímico donde desechos y agua ingresan, y primordiales productos de salida son gases además LX líquido, resultado de descomposición biológica de gran parte de los elementos orgánicos en estabilización de RS (Parra, 2006).

Entendimiento de orígenes, generación y clases de RS, junto con la información sobre composición y tasas generación, son fundamentales para tomar decisiones sobre planificación además de diseño sistemas de manejo asimismo final disposición de residuos (Tchobanoglous, 1994).

1.1.13.2. Composición de los LX

El líquido resultante (consultar tabla 4) proviene de una corriente de agua que ha pasado a través de RS, conllevando elementos disueltos, en suspensión o emulsificados extraídos de dichos residuos (Corbitt, 2003).

Tabla 4
información típica de composición de LX nuevos rellenos además maduros

Componente	Nuevo relleno (< 2 años)		Relleno maduro (> 10 años)
	Intervalo	Típico	
DBO ₅	2000 hasta 30000	10000	100 hasta 200
Carbono Orgánico Total (COT)	1500 hasta 20000	6000	80 hasta 160
DQO	3000 hasta 60000	18000	100 hasta 500
STS	200 hasta 2000	500	100 hasta 400
Nitrógeno Orgánico	10 hasta 800	200	80 hasta 120
Nitrógeno Amoniacal	10 hasta 800	200	20 hasta 40
Nitrato	5 hasta 40	25	5 hasta 10
Fósforo Total	5 hasta 100	30	5 hasta 10
Fósforo en ortofosfatos	4 hasta 80	20	4 hasta 8
Alcalinidad como CaCO ₃	1000 hasta 10000	3000	200 hasta 1000
Potencial Hidrógeno	4,5 hasta 7,5	6	6,6 hasta 7,5
Dureza total como CaCO ₃	300 hasta 10000	3500	200 hasta 500
Calcio	200 hasta 3000	1000	100 hasta 400
Potasio	200 hasta 1000	300	50 hasta 400
Sodio	200 hasta 2500	500	100 hasta 200
Sulfato	50 hasta 1000	300	20 hasta 50
Hierro Total	50 hasta 1200	60	20 hasta 200

* Total unidades se hallan en miligramos por litro, a excepción pH.
Fuente: (Corbitt, 2003).

1.1.13.3. Estimación elaboración de LX

Producción LX en vertedero sanitario se halla estrechamente ligada a condiciones climáticas (como radiación solar, evapotranspiración, humedad, temperatura, precipitación,), las propiedades de suelo, la humedad de residuos asimismo metodología de operación de vertedero. Es

crucial estimar la cantidad de LX a generar, ya que esto servirá como base para diseñar sistemas de drenaje necesarios y métodos de tratamiento aplicables al LX.

- **Criterio práctico para estimación de elaboración LX en relleno sanitario mecanizado además de manual**

Se considera principalmente precipitación pluvial y humedad inherente de RS en descomposición dentro de vertedero. Por lo tanto, se calcula la elaboración de LX por precipitación y por humedad de residuos, y la suma de estos valores representa una aproximación de la cantidad total de LX que deberá ser gestionada en el vertedero sanitario. (Tchobanoglous, 1994).

- **Estimación de elaboración de LX**

La mayoría de los RS experimentan algún nivel descomposición, pero es parte orgánica que experimenta modificaciones más significativas. Durante descomposición natural o putrefacción de la basura, se generan líquidos, gases y sólidos como subproductos.

El líquido resultante, conocido como LX o percolado, es de color negro y tiene un olor desagradable similar al de aguas residuales domésticas, pero con elevada concentración.

Cuando aguas de lluvia cruzan capas de basura, acrecientan volumen en proporción superior que humedad generada por los residuos sólidos, lo que puede resultar en un incremento significativo del LX. Por esta razón, es crucial interceptar y desviar estas aguas de lluvia para evitar problemáticas en operación de vertedero y la contaminación de agua subterránea.

Para estimar fabricación LX, se emplea una tabla de obtención de aguas lixiviadas generado por Servicio Alemán de Cooperación Social - Técnica (DED – Deutscher Entwicklungsdienst). El cuadro abarca varios factores, como precipitación, zona vertedero, método operación (con maquinaria o manual, sistema compactación) además clase de basura (Tchobanoglous, 1994).

Tabla 5
Fabricación aguas lixiviadas de relleno sanitario

Clase relleno	Producción aguas LX (% precipitación)	Producción aguas LX (m ³ /ha*día)		
		Precipitación 700 mm/año	Precipitación 1500 mm/año	Precipitación 3000 mm/año
Normal	60	11,51	24,66	49,32
Compactado con maquinaria liviana	40	7,67	16,44	32,88
Compactado con maquinaria pesada	25	4,79	10,27	20,55

Fuente: Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales, DED - Deutscher Entwicklungsdienst – Ilustre Municipalidad de Loja, Servicio Alemán de Cooperación Social - Técnica Dirección de Higiene

1.1.14. Tratamiento de LX

1.1.14.1. Recirculación

En el pasado, una práctica común para el tratamiento de LX en vertederos sanitarios fue devolverlos a la parte superior del vertedero, ya que era una opción de tratamiento inferiormente costosa (Renou *et al.*, 2008). Cuando se recirculan los LX, compuestos generados por actividad biológica, así como demás procesos físicos y reacciones químicas dentro del vertedero, se diluyen y se reducen. Tal es el caso, ácidos orgánicos simples en los LX se convierten en CH₄ además CO₂. Elevación de pH dentro del vertedero dado a generación de CH₄ causa precipitación de metales, los cuales son retenidos en vertedero. Beneficio agregado de reciclaje de LX es recuperación gas de vertedero que posee CH₄. Usualmente, porcentaje de elaboración de gas es superior en sistemas que recirculan LX. Para evitar emisión descontrolada de gases del vertedero durante el reciclaje de LX para tratado, se debe suministrar vertedero con método de recuperación de gas. Por último, se requerirá recolectar, tratar además de desechar LX residual. En grandes vertederos, se requiere brindar instalaciones para almacenaje de LX (Tchobanoglous *et al.*, 1996). Otrosi, Renou *et al.* (2008), argumentan que recirculación de LX puede poseer efectos desfavorables grandes cuantías recirculan, debido a que pueden producirse efectos de saturación, encharcamiento y circunstancias ácidas. La saturación de LX al ser recirculados puede no permitir migración de gases del vertedero, lo que puede aumentar presión interna de vertedero y

provocar circunstancias de operación no seguras.

Un método fisicoquímico de tratamiento es procedimiento de primaria clarificación, el dónde se cimienta en coagulación/floculación como fenómeno de superficie. Ello implica uso de coagulantes aditivos además de floculantes con bondades tensoactivas. Tensión superficial se halla influenciada por naturaleza y concentración del soluto.

Solutos tensoactivos negativos incluyen compuestos iónicos como NaCl, $Al_2(SO_4)_3$ y $FeCl_3$, los cuales distinguen por densidad de carga.

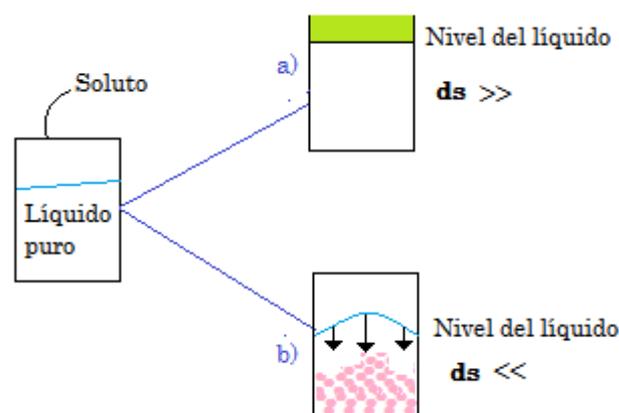


Figura 3. Naturaleza soluto

Figura 3 indica que escenario "a" (representado por la coloración verde), hay una mayor zona de superficie, lo que lleva a concentración del soluto en superficie. Por otro lado, en escenario "b" (simbolizado por el color rosa), hay una inferior área de superficie dado a que soluto se aglomera en fondo, reduciendo así la zona de superficie disponible.

- **Tratamiento fisicoquímico de coagulación/floculación**

LX con diferente conformación poseen suspendido material, incluyendo sólidos que pueden sedimentar en reposo o que permanecen dispersos, como coloides. La partícula de coloides se conserva estable dado a cargas de igual signo en su superficie, lo que genera una repulsión entre partículas adyacentes, evitando su coagulación y formación de flóculos. Esto impide que partículas sedimenten fácilmente.

Coagulación/floculación es proceso físico además de químico diseñado para desestabilizar y aglomerar partículas demasiado pequeñas para que sedimenten más rápidamente Henry y Heinke (1999), generalmente, esto se logra mediante agregación de elementos químicos y ejecución de energía de combinación.

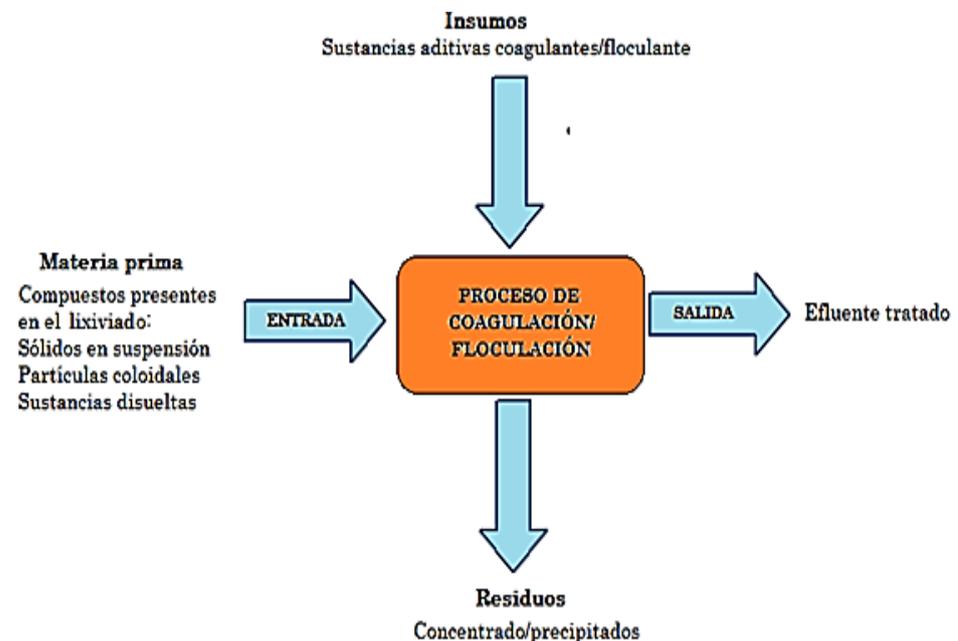


Figura 4. Esquema proceso Coagulación/floculación
Fuente: (Henry y Heinke, 1999).

- **Desestabilización partículas**

Suspensión coloidal origina cuando sustancia no es soluble en partículas y medio, siendo extremadamente diminutas, se dispersan dentro de él. Algunas sustancias orgánicas se detallan solubles, pero no constituyen soluciones verdaderas; en cambio, generan dispersiones coloidales. Dado a su pequeño tamaño, la vinculación entre área superficial y masa es muy elevada lo que hace que los fenómenos de superficie predominen en gran medida. Partículas coloidales poseen masa tan reducida que efectos gravitacionales no son significantes. Cada partícula coloidal está cargada eléctricamente, y magnitud de esta carga varía según naturaleza de material coloidal, pudiendo ser negativa o positiva. Estabilidad de coloides está condicionada por carga eléctrica: las partículas con cargas del mismo signo se repelen entre sí, lo que impide formación de grandes aglomeraciones. Dado a su amplia superficie, coloides son altamente absorbentes.

Adsorción selectiva o preferencial, donde se absorben ciertos tipos de partículas en función de carga, es fundamental para estabilidad de diversas dispersiones coloidales. Estas partículas coloidales presentan excesiva carga en superficie, que se adquiere por medio de procedimientos de ionización de diversos funcionales grupos o adsorción de otros iones en dispersante medio. Este excedente de superficial carga llega afectar distribución de iones en entorno, generando atracción de iones de signo opuesto hacia superficie y alejando aquellos del signo igual. El evento termodinámico conduce a distribución de carga cerca de partícula, dando lugar a estructura de capa doble eléctrica, tal como se representa en correspondientemente (Eckenfelder, 1989).

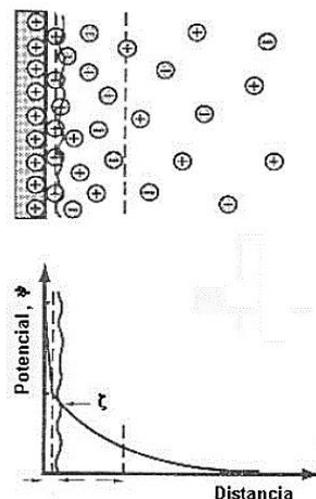


Figura 5. Capa doble eléctrica

Denominación de "doble capa" se refiere a 2 regiones distintas con propiedades bien definidas: primera región, colindante a la superficie y de poco espesor, compuesta por iones que están fuertemente unidos a ella, conocida como rígida capa; y capa segunda más extensa, en la cual efecto termodinámico facilita movimiento iónico más libre, denominada capa difusa, que en realidad conforma especie de atmósfera iónica. Potencial eléctrico en interfaz entre estas dos capas está detallado por particularidades de iones adsorbidos en rígida capa, la cual puede variar según origen de entorno. Se puede demostrar que, a lo extenso de difusa capa, potencial eléctrico merma manera exponencial con distancia "r". Este fenómeno puede describirse por medio de la correspondiente ecuación

(Eckenfelder, 1989).

$$\varphi(r) = \varphi_0 \exp(-kr) \quad \text{Ec. 3}$$

Capa difusa puede experimentar una notable compresión al aumentar la concentración de electrolitos, lo que reduce estabilidad de partícula coloidal ante probables procedimientos de agregación. Esto permite ocurrencia de procedimientos de coagulación, floculación y sedimentación. La coagulación del coloide ocurre cuando compresión de capa doble consigue tamaño crítico, lo que logra que fuerzas atracción entre partículas predominen sobre las fuerzas de repulsión. La desestabilización de las partículas puede lograrse mediante tres mecanismos principales: (1) la compresión de doble capa mediante agregado de electrolito, (2) adsorción además de neutralización de carga, además (3) cambios en aglomeración de iones que detallan potencial (Eckenfelder, 1989).

- **Adsorción**

Implica la captura de sustancias solubles que se encuentran en interfaz de solución, la cual puede ser entre líquido y gas, sólido o entre 2 líquidos disímiles. Usualmente, se considera que el tratamiento de aguas residuales con carbón activado es una etapa de refinamiento después de biológico tratamiento convencional. En el contexto, carbón activado se utiliza para erradicar una parte disuelta de MO, y en algunos casos, también puede erradicar parte de materia particulada, teniendo dependencia de cómo el carbón y el agua se pongan en contacto. Este procedimiento de adsorción ocurre en 3 fases: macrotransporte, microtransporte además sorción. El macrotransporte abarca movimiento de MO por medio de líquido mediante advección y difusión hasta llegar a la interfaz líquido-sólido. Por otro lado, microtransporte se refiere a difusión de material orgánico por medio de sistema de macroporos del carbón activado (con poros mayores a 50 nm) hasta conseguir áreas de adsorción ubicadas en microporos (menores a 2 nm) asimismo submicroporos de gránulos de carbón activado. Adsorción ocurre superficie de gránulo y macroporos igualmente mesoporos (con un tamaño de poro entre 2 y 50 nm), sin embargo, debido a que el área

superficial de estas áreas del carbón activado es mucho menor en comparación con micro además submicroporos, la cuantía de material adsorbido en ellos se llega a considerar insignificante. La palabra "sorción" se utiliza debido a dificultad para distinguir entre adsorción química además de física, y describe el proceso mediante el cual la MO se llega adherir a carbón activado. Equilibrio se consigue cuando tasas de adsorción además desorción son iguales, indicando que capacidad adsorción del carbón está completa. Capacidad teórica adsorción de contaminante específico utilizando carbón activado se establece mediante el cálculo de su isoterma de adsorción. La capacidad de retención de un adsorbente depende de particularidades del adsorbente, concentración de adsorbato y temperatura. Normalmente, la cuantía de sustancia adsorbida se establecer como actividad de concentración a temperatura continua, y esta relación se denomina como isoterma de adsorción. Ecuaciones más comúnmente utilizadas para analizar información experimental de isoterma generadas por Freundlich, Langmuir y Brunauer, Emmet y Teller (conocida como Isoterma BET). Entre estas formulaciones, isotermas de Freundlich y Langmuir son las más utilizadas para detallar propiedades de adsorción de carbón activado en tratamiento de residuales aguas. Isotermas de adsorción son cruciales para comprender cómo aglomeraciones de adsorbato interactúa con medio de adsorción además primordiales para optimar empleo de adsorbente. Por ende, fórmulas empíricas de modelos isotermas de Freundlich y Langmuir son fundamentales para interpretar asimismo predecir información de adsorción.

- **Isoterma de Freundlich**

Supongamos que adsorción del adsorbato sucede en superficie heterogénea con adsorción por multicapa, donde cuantía de adsorbato adsorbido aumenta indefinidamente con aumento de concentración. Fórmula de Freundlich se presenta de correspondiente forma:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad \text{Ec. 4}$$

En esta ecuación K_F representa elemento capacidad de adsorción, mientras que $1/n$ denota intensidad adsorción. Expresión lineal de isoterma de

Freundlich proporciona los valores de constantes K_F y $1/n$. La fórmula 4 detalla forma lineal de esta isoterma.

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad \text{Ec. 5}$$

Por lo tanto, los valores de, K_F y $1/n$ Por lo tanto, los valores de $\log q_e$ contra $\log C_e$. Magnitud de exponente $1/n$ indica la favorabilidad de adsorción. Valoraciones $1/n > 1$ simbolizan favorable adsorción.

- **Isoterma de Langmuir.**

Supongamos que hay solo existe molécula de soluto por sitio activo y una cantidad definida de estos sitios. Isoterma de Langmuir detalla la cantidad q_e (en mg de adsorbato adsorbido por gramo de adsorbente) y C_e (concentración adsorbato en solución en equilibrio) como muestra en fórmula 6.

$$q_e = \frac{QbC_e}{(1+bC_e)} \quad \text{Ec. 6}$$

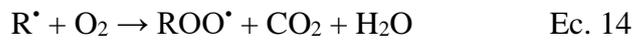
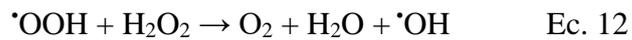
Aquí, coeficiente Q simboliza capacidad máxima adsorción en mg/g y b es constante de Langmuir en L/mg. Constantes en isoterma de Langmuir se determinarían graficando $1/q_e$ contra $1/C_e$, ecuación 5 se puede detallar de correspondiente forma en forma lineal (Halim *et al.*, 2010).

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q} + \frac{1}{QbC_e} \quad \text{Ec. 7}$$

- **Oxidación química**

Los métodos de oxidación química se han utilizado extensamente para degradar peligrosos orgánicos compuestos (Qiang *et al.*, 2003). Por ejemplo, H_2O_2 , cuando se encuentra con un catalizador como hierro (Fe), produce radicales hidroxilos ($\bullet OH$) que reaccionan con material orgánico, mermándolo conforme el correspondiente mecanismo de reacción.





El Fe^{3+} que se genera llega a actuar como coagulante efectivo altamente para erradicar constituyentes de elevado peso molecular por medio de adsorción en flóculos constituidos de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en un entorno de pH neutro (Jiang *et al.*, 2011). Ejecución de oxidación química con eficiencia de costes sugieren oxidación parcial de elementos orgánicos refractarios para acrecentar biodegradabilidad. Oxidación con peróxido de hidrógeno H_2O_2 se lleva a cabo comúnmente a un pH de 3.5 debido a que esto posee correspondencia a máxima tasa formación de radicales libres en sistemas $\text{H}_2\text{O}_2\text{-Fe}^{2+}$, en el cual Fe^{2+} (igualmente denominado como reactivo Fenton) se utiliza como catalizador (Eckenfelder, 1989).

- **Membranas**

Filtración se define como proceso de separar 2 o más elementos de fluido, principalmente basado en diferencias de tamaño. La función primordial de membrana es actuar como selectiva barrera, lo que ayude a paso de diversos elementos mientras retiene otros en mezcla de elementos. Por lo que, tanto permeado como fase retenida se llegan a enriquecer con uno o más elementos. En el contexto, membrana puede ser vista como región discontinua entre 2 fases o como fase que trabaja como barrera, restringiendo o regulando paso de una o más especies por medio de ella. Las membranas pueden encontrarse en etapa sólida, líquida o gaseosa o en composiciones de estas. Su clasificación se puede realizar de varias maneras: a) según naturaleza de membrana, que puede ser sintética o natural; b) según estructura, que puede ser no porosa o porosa, y según particularidades morfológicas, incluidas membranas líquidas; c) según aplicación de membrana, como apartamiento en etapa líquido-líquido, gas-líquido, gaseosa, entre otros; d) según sistema de acción de membrana, que puede ser de adsorción y difusión, intercambio de iones, osmótico o no

selectivo (inerte). Además, membranas modificarían especies de permeado química o físicamente, mediante membranas biofuncionales o intercambio iónico, pueden conducir corriente eléctrica, prevenir el empapamiento (por ejemplo, en aplicaciones revestidas o empacadas) o regular tasa de permeado (en tecnologías de descarga). En consecuencia, membranas pueden ser reactivas o pasivas, dependiendo de su capacidad para alterar naturaleza química de especies en permeado. Las propiedades permeables o semipermeables de las membranas se derivan de grupos iónicos y poros presentes en ellas (Cheryan, 1988).

1.1.15. Coagulación

Procedimiento de desestabilización química de partículas coloidales, logrado al neutralizar fuerzas que las sostienen separadas mediante agregado de coagulantes químicos y aplicación de energía de mezcla.

Figura 6 detalla cómo sustancias químicas eliminan cargas eléctricas de superficie de coloide, ayudando que partículas coloidales agrupen constituyendo flóculos.

Coagulación es método de tratamiento con mayor eficaz, pero igualmente puede resultar costoso si no se ejecuta correctamente. No obstante, es considerado el método más versátil ya que elimina una amplia variedad de sustancias a un costo menor en cotejo con demás métodos.

Un procedimiento de coagulación mal ejecutado puede llevar rápida degradación de calidad de agua y generar gastos operativos innecesarios. Por lo que, se reconoce que dosis de coagulante es crucial para funcionamiento adecuado de unidades de decantación, y ajustar incorrectamente la cantidad de coagulante puede impedir la clarificación del agua.

En resumen, la figura ilustra cómo sustancias químicas neutralizan cargas eléctricas en superficie de coloide, ayudando que partículas coloidales se agrupen para formar flóculos.

Se utiliza este procedimiento para:

- Remover turbidez, tanto orgánica como inorgánica, que no puede sedimentarse de forma rápida.

- Eliminar tanto coloración verdadera como el aparente del agua.
- Reducir la presencia de virus, bacterias y otros patógenos organismos que pueden separarse por medio de coagulación.
- Combatir el crecimiento de algas además de plancton en general.
- Eliminar sustancias que contribuyen a sabores y olores no deseados, a veces incluso precipitados químicos suspendidos en el agua.

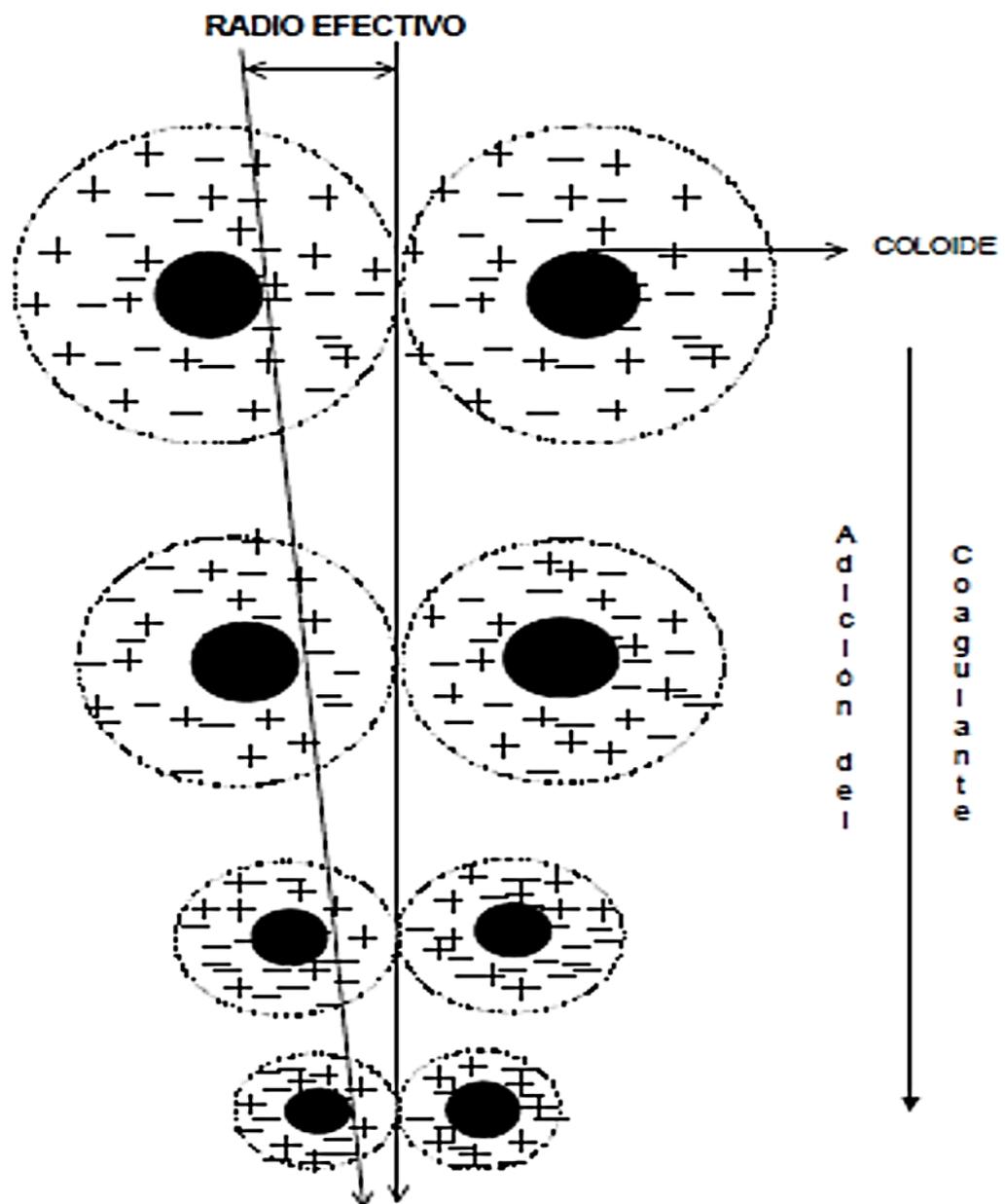


Figura 6. Desestabilización de coloide además de compresión capa difusa
Fuente: (Desjardins, 1992).

1.1.15.1. Teoría de coagulación

Partículas que contribuyen a turbidez y color en aguas naturales están cargadas eléctricamente. Estas cargas producen fuerzas de repulsión entre partículas, impidiendo su sedimentación y manteniéndolas suspendidas en el agua.

Este conjunto de partículas genera sistema coloidal con capa doble de iones, sometido a potencial en superficie conocido como potencial Z. En el proceso de coagulación, el objetivo es reducir este potencial Z mediante uno de dos metodologías:

- Coagulación por merma de espesor de capa doble (distancia d).
- Coagulación por neutralización de carga.

Fenómeno desestabilización ocurre a través de un conglomerado de complejas reacciones químicas, algunas de las cuales aún no se comprenden completamente.

Estas reacciones incluyen la interacción con diversas formas de alcalinidad, lo que resulta en su disminución. Además, algunas de estas reacciones generan CO₂, lo que aumenta la acidez del agua y reduce el pH como efecto secundario (Bautista *et al.*, 2007).

- **Coagulantes**

Los coagulantes son sustancias químicas que, al ser introducidas en el agua, generan reacción química con sus elementos, puntualmente con alcalinidad, dando lugar a la formación de un precipitado voluminoso y altamente absorbente.

Este precipitado, típicamente compuesto por el hidróxido metálico del coagulante empleado, es fundamental para desestabilizar las partículas y facilitar la formación del floculante:

- a) Aluminato de sodio.
- b) Sulfato de aluminio.

- c) Cloruro férrico.
- d) Cloruro de aluminio.
- e) Sulfato ferroso.
- f) Sulfato férrico.
- g) Polielectrolitos (como ayudantes de floculación).

Los coagulantes más comúnmente empleados son las sales de aluminio. Cuando se añaden al agua, dan lugar a una serie de reacciones altamente complejas en las cuales los productos de hidrólisis resultantes son más efectivos que los iones en sí mismos. Estas sales reaccionan con la alcalinidad presente en el agua, generando hidróxidos de aluminio o hierro (Bautista *et al.*, 2007).

1.1.16. Floculación

Procedimiento que sucede después de coagulación asimismo consiste en agitación de masa coagulada para facilitar desarrollo y agrupación de flóculos formados recién. Esto se hace con el fin de acrecentar su peso además de tamaño, lo que facilita su sedimentación. Inicialmente, estos flóculos son pequeños, pero al unirse, forman aglomerados más grandes capaces de sedimentar fácilmente (Cárdenas, 2000).

La floculación está vinculada a los fenómenos de transporte en el líquido que promueven el contacto entre las partículas. Este proceso implica la formación de enlaces químicos entre las partículas para crear una estructura tridimensional y porosa de coágulos. Así, por medio crecimiento de las coaguladas partículas, se forma floc lo necesariamente pesado además de grande como para sedimentar.

Mientras que coagulación se debe a procesos químicos, floculación se genera y se lleva a cabo como resultado de transporte de partículas desestabilizadas en el agua. La floculación posee 2 propósitos principales (Cárdenas, 2000):

- Juntar los coloides desestabilizados con el fin de crear aglomeraciones de flóculos o partículas que tengan un peso puntual mayor al de agua.

- Comprimir flóculos para reducir su nivel de hidratación y lograr particularidades apropiadas, como un peso más alto además de consistencia adecuada para eliminación sin dificultad.

Floculación generada:

- a. Movimiento browniano de partículas en el agua genera floculación, conocida como pericinética, que es demasiado lenta para ser prácticamente relevante en el tratamiento de aguas. Sin embargo, puede ser significativa para entender el fenómeno de la autofloculación.
- b. La floculación inducida por movimiento del agua por medio de aplicación externa de energía se llama ortocinética. Esto por gradientes de velocidad creados por la disipación energía hidráulica o mecánica. La manera de floculación logra que partículas se desplacen a diversas velocidades, lo que acrecienta posibilidad de que entren en contacto unas con otras.

En la ilustración siguiente se aprecia cómo durante el proceso de floculación, floculante actúa como puente entre partículas coloidales aglutinadas, facilitando la formación de flóculos de mayor tamaño que sedimentan con mayor facilidad.

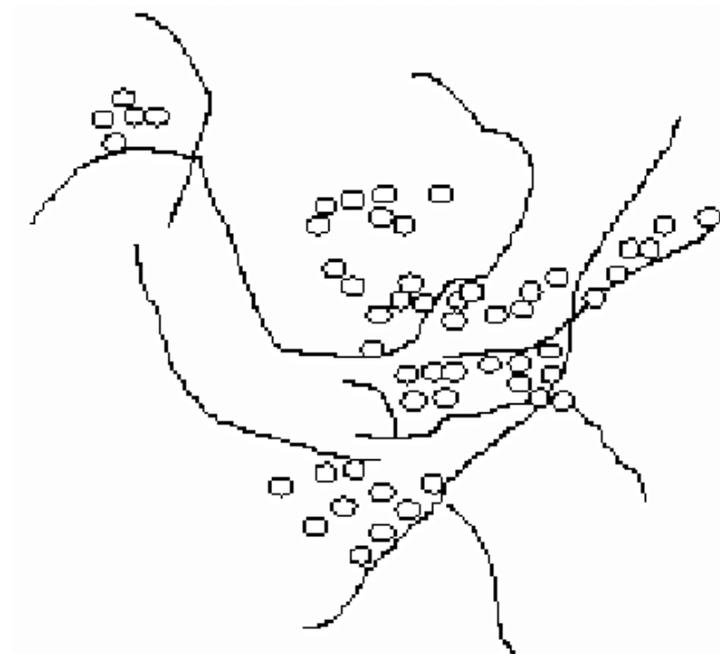


Figura 7. Conjunto partículas coloidales utilizando floculante

Ocurriría que flóculos constituidos por unión de múltiples coloides no sean bastante grandes como para sedimentar con velocidad requerida. Por esta razón, se requiere el uso de un floculante para reunirlos en una estructura reticular, estableciendo conexiones de superficie a otra que vinculan individuales partículas en aglomeraciones, como se ilustra en la figura previa.

Floculación se ve beneficiada por una agitación lenta, que ayuda la gradual unión de los flóculos; un mezclado demasiado energético podría romperlos. Además de incrementar tamaño de partículas en el flóculo, la floculación igualmente acrecienta su peso. Este proceso puede ser mejorado mediante agregado de reactivo floculante o un coadyuvante de floculación (Arboleda, 2000).

1.1.16.1. Clases floculadores

- Cárdenas (2000) categorizó floculadores en dos tipos: lentos además de rápidos.
- Canepa y Maldonado (2004) proponen una clasificación diferente:

De dividiéndolos en floculadores de potencia, a su vez subdivididos en mecánicos además de hidráulicos, y floculadores de contacto de sólidos, más común floculador de manto de lodos.

Conforme con Cárdenas (2000), floculadores empleados son de potencia, siendo los hidráulicos los más populares en nuestro país debido a su bajo consumo energético y su sencillo mantenimiento. En contraste, en países industrializados, el uso de floculadores mecanizados es muy extendido (Richter & Canepa, 1992).

Floculadores hidráulicos aprovechan energía de agua para efectuar fases de coagulación además de floculación. Sin embargo, detallan la desventaja de ofrecer una inferior habilidad de inspección (Irwin, 2008).

- Conforme con Aliaga (2010) categoriza en:

- **Minerales:** como la sílice activada, considerada uno de los mejores floculantes capaces de asociarse con sales de aluminio. Principalmente utilizado en tratamiento de agua bebible.
- **Orgánicos:** compuestos por macromoléculas de cadena larga y elevado peso molecular, pueden ser naturaleza sintético o natural.

Floculantes orgánicos de naturaleza natural consiguen partiendo de materiales como alginatos (extraídos de algas), almidones (obtenidos granos vegetales) asimismo procedentes de celulosa. Aunque eficacia es limitada.

Floculantes de origen sintético consisten en macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, creadas por medio de vinculación de monómeros sintéticos simples. Diversos de monómeros detallan grupos ionizables o cargas eléctricas, denominado como polielectrolitos.

Los polielectrolitos se distinguen conforma carácter iónico de sus grupos activos:

- **Catiónicos:** Distinguen por poseer en sus cadenas positiva carga eléctrica, que se debe a manifestación de grupos amino.
- **Aniónicos:** Se caracterizan por poseer grupos ionizados de forma negativa, como grupos carboxílicos.
- **No iónicos:** Poliacrilamidas con masa molecular que oscila de 1 hasta 30 millones.

Elección de polielectrolito apropiado se realiza por medio de ensayos de jarrest.

En términos generales, acción de polielectrolitos puede segmentarse en 3 categorizaciones:

En categoría primera, polielectrolitos accionan como coagulantes al reducir carga de partículas. Dado que partículas en el agua residual se hallan cargadas de forma negativa, se emplean polielectrolitos catiónicos para este propósito.

La forma segunda de acción de polielectrolitos implica constitución de puentes entre partículas. Estos puentes establecen entre partículas que se absorben por mismo polímero, lo que conduce a su entrelazamiento y posterior aumento de tamaño.

La forma tercera de acción se categoriza como combinación de coagulación además de formación de puentes, la cual ocurre al emplear polielectrolitos catiónicos de elevado peso molecular. Estos polielectrolitos, asimismo de reducir carga, igualmente forman puentes entre partículas.

1.1.16.2. Parámetros que llegan a influir en floculación

- **Concentración además composición de partículas:** Rapidez de constitución de floc está directamente relacionada con la aglomeración de partículas en agua y su dimensión de inicio (Aliaga, 2010).
- **Lapso de detención:** Rapidez de aglomeración de partículas es conforme al lapso de retención. Para alcanzar un rendimiento óptimo, el tiempo de retención debe ajustarse lo más cercano posible al valor determinado mediante pruebas de jarras. Esto se lograría segmentando unidad de floculación en cámaras. Observa que, para eficiencia determinada, requieren lapsos de retención cada vez más cortos al aumentar cantidad de cámaras de floculación en serie. Por motivos prácticos, el número de cámaras no puede ser excesivo, y se establece un mínimo de 3 unidades (Aliaga, 2010).
- **Gradiente de velocidad:** Este elemento influye en velocidad de reunión de partículas. Se manifiesta máximo límite de gradiente que no debe superarse para prevenir desintegración de floc. Gradiente a lo largo de cámaras debe disminuir gradualmente, y no existir cámaras intermedias con gradientes acrecentados (Aliaga, 2010).

1.1.17. Biogás

Gas generado por bacterias en proceso de descomposición de material orgánico en circunstancias anaeróbicas, es decir, en ausencia de oxígeno. Esta producción natural de biogás constituye una parte significativa de ciclo biogeoquímico del carbono. El CH_4 , generado por las bacterias, representa el último paso en la cadena de microorganismos que descomponen la MO y devuelven productos de descomposición al entorno. El proceso de generación de biogás se considera una fuente de energía renovable.

El biogás, siendo ligeramente más liviano que el aire, tiene temperatura de inflamación de aproximadamente $700\text{ }^\circ\text{C}$ (comparado con los $350\text{ }^\circ\text{C}$ del diésel, los cerca de $500\text{ }^\circ\text{C}$ de la gasolina y el propano). La temperatura de la llama del biogás alcanza los $870\text{ }^\circ\text{C}$. Su composición consiste en aproximadamente un 60 % de CH_4 y un 40 % de CO_2 . Además, contiene cantidades mínimas de otros gases, como el ácido sulfhídrico (H_2S), que representa alrededor del 1 %.

1.1.17.1. Generación biogás en rellenos sanitarios controlados de RSU.

Vertedero sanitario actúa manera similar a un digestor anaeróbico. Durante el proceso de putrefacción natural o descomposición de residuos sólidos municipales (RSM), se generan no solo líquidos, sino igualmente gases y demás compuestos. Descomposición de MO por actividad de microorganismos en entorno se desarrolla en dos etapas: aeróbica y anaeróbica (Tchobanoglous *et al.*, 1996).

1.1.17.2. Etapas en biodegradación de RS

En términos generales, biodegradación de RS persigue un proceso compuesto por 5 fases, según (Tchobanoglous *et al.*, 1996):

Fase 1: Esta etapa, inicialmente aeróbica, ocurre justo después de que se deposita la basura. Las sustancias fácilmente biodegradables comienzan a descomponerse al entrar en contacto con oxígeno de aire. Durante etapa inicial de desintegración microbiana de fracción orgánica de RS urbanos, se mantienen circunstancias aeróbicas mientras se prepara el entorno para condiciones anaeróbicas, como en túneles de fermentación, digestores,

vertederos, entre otros. Durante esta fase, se produce dióxido de carbono y la temperatura empieza a aumentar. Por lo general, esta etapa es relativamente breve. Los compuestos orgánicos se hidrolizan y fermentan para producir dióxido de carbono, hidrógeno, alcoholes además de ácidos grasos.

Fase 2: Esta etapa, conocida como fase de transición, también es aeróbica, y aún no se desarrollan completamente las condiciones anaeróbicas. Durante esta etapa, tiene lugar proceso de fermentación, en el cual generan ácidos en líquidos percolados, y se crea merma significativa en pH. En las circunstancias, biogás consiste principalmente en dióxido de carbono. Esta fase se caracteriza por la disminución gradual de las condiciones aeróbicas y la manifestación de oxígeno, hasta su desaparición total, dando inicio a fase anaeróbica. Oxígeno se elimina de metabolismo respiratorio, sustituyéndose por compuestos inorgánicos oxidados, como nitrito además de sulfito, que, se meten a potencial de oxidación-reducción en torno a -50 hasta -100 milivoltios, se merman a sulfuro de hidrógeno además de gas nitrógeno.

En estas circunstancias, a medida que el potencial reductor del medio aumenta, una vez alcanza valores entre -150 y -300 milivoltios, se inicia la producción de metano. Con el descenso continuo del potencial de reducción/oxidación, microorganismos responsables de descomponer MO inicia proceso en el que convierten MO compleja en ácidos orgánicos y demás bienes intermedios. En etapa líquida, si está presente, el pH empieza a disminuir dado a manifestación de ácidos orgánicos y a reuniones altas de CO₂ en entorno.

Fase 3: conocida como la fase ácida, actividad microbiana comenzada en fase previa se intensifica, produciendo cuantías significativas de ácidos orgánicos y minúsculas cantidades de gas de hidrógeno. La fase está dominada por bacterias no metanogénicas o acidogénicas, que generan dióxido de carbono, hidrógeno además de ácido acético.

Fase 4: que ocurre al culmen de fase ácida, dominada por microorganismos anaerobios estrictamente denominados metanogénicos,

se transforma ácido acético y gas de hidrógeno generados en fase anterior en CH_4 además de CO_2 . Esta etapa es en la cual la producción de metano consiga su punto máximo, con aglomeración estable en biogás que oscila entre el 40% y el 60% por volumen. Ácidos orgánicos en líquidos percolados se llegan a descomponer rápidamente en biogás. Dado que circunstancias son anaeróbicas predominantemente, percolados tienen concentración elevada de amoníaco.

Las bacterias metanogénicas producen metano.

Fase 5: conocida como la fase de maduración, hay una menor actividad en elaboración de gases. Se caracteriza por merma en humedad y conversión de materiales biodegradables que previamente no se hallaban disponibles. La rapidez de elaboración de gas en el vertedero merma considerablemente, ya que gran parte de nutrientes disponibles se han diluido en medio líquido en fases previas, y sustratos restantes en medio sólido se degradan lentamente.

1.1.17.3. Digestión anaerobia

La fermentación anaerobia es un proceso microbiano que sucede en ausencia de oxígeno, produciendo una combinación de gases, puntualmente dióxido de carbono además de metano, denominada como "biogás", y acuosa suspensión o "lodo" que posee elementos complejos de degradar además de presentes minerales inicialmente en biomasa. El insumo preferido para tratamiento es biomasa residual con contenido elevado de humedad, como desechos ganaderos además de lodos de depuradoras de aguas residuales.

A pesar de que la digestión anaerobia es un proceso ampliamente utilizado, aún se cuenta con información limitada respecto a microbiología además de química. No obstante, en términos generales, se afirmarían que digestión anaerobia ocurre en 3 fases, en las cuales biomasa se llega a descomponer en moléculas minúsculas para generar biogás como bien final, gracias a actividad de diversas clases de bacterias. (Tchobanoglous, 1994).

VARIABLES QUE AFECTAN ESTE PROCESO SON CORRESPONDIENTES:

- **Temperatura:** La eficacia del proceso se maximiza en torno a 35 °C.
- **Acidez:** Influencia en la producción y proporción de metano en biogás; se ha observado que rango pertinente de pH está 6,6 y 7,6.
- **Contenido en sólidos:** Condiciones óptimas suelen presentarse con menos del 10% de sólidos, lo que justifica la preferencia por biomasa con elevado contenido de humedad.
- **Nutrientes:** Esenciales para desarrollo además de actividad bacteriana, incluyen sales minerales, azufre, fósforo, nitrógeno además de carbono.
- **Tóxicos:** Además de oxígeno, elevadas concentraciones amoníaco, sales minerales además de ciertas sustancias orgánicas como pesticidas además de detergentes inhiben digestión.

El principal producto de digestión anaerobia es biogás, compuesto principalmente por metano (50 hasta 70%) además CO₂ (30 hasta 50%), con cantidades minúsculas de diversos elementos (de hidrógeno, sulfuro, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno). Su conformación posee dependencia de materia prima y proceso. Producción de gas puede variar, pero generalmente se sitúa cerca de 350 L/kg de sólidos degradables, que poseían metano de 70% (Tchobanoglous, *et. at*, 1996).

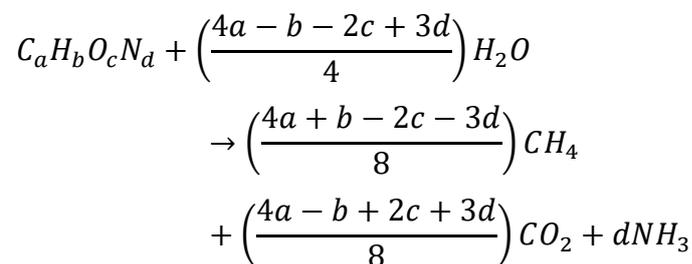
En los rellenos sanitarios controlados, degradación anaerobia de MO en residuos sólidos urbanos (RSU) se produce debido a la cobertura diaria con tierra y materiales inertes. Este proceso libera una mezcla gaseosa compuesta principalmente de metano y dióxido de carbono. Los microorganismos involucrados en esta transformación conforman un ecosistema complejo, donde los desechos generados por unos son utilizados como nutrientes por otros.

Un vertedero de residuos sólidos puede ser conceptualizado como reactor bioquímico, donde los desechos y el agua son las primordiales entradas, y

los gases del vertedero y el LX son las principales salidas (Tchobanoglous *et al.*, 1996).

Volumen de gases generados por descomposición anaerobia se llega a estimar utilizando una generalizada fórmula $C_aH_bO_cN_d$, y luego estima volumen total del gas empleando fórmula que asume transformación total de desechos orgánicos biodegradables en CO_2 además de CH_4 .

Se pueden distinguir 3 fases generales en degradación de MO en un relleno sanitario, como se muestra en la figura 8:



La hidrólisis se destaca como la etapa crítica de proceso, ya que restringe velocidad de degradación de desechos y producción de metano, dado que microorganismos requieren que los nutrientes se hallen disueltos en agua para poder actuar. Esta fase es efectuada por bacterias fermentativas que producen enzimas extracelulares. Este grupo bacteriano es amplio y diverso e incluye tanto bacterias anaerobias como facultativas.

Bacterias acetogénicas, que poseen responsabilidad de etapa segunda, igualmente conforman un grupo extenso además de diverso. Ellas producen hidrógeno, además de ácido acético y dióxido de carbono cuando consumen ácidos grasos volátiles que contienen un número no par de átomos de carbono. Además, las bacterias pueden degradar compuestos aromáticos que contienen oxígeno, pero no hidrocarburos aromáticos.

Por otro lado, las bacterias metanogénicas son estrictamente anaerobias y necesitan potenciales redox bajos. Un grupo de estas, hidrogenófilas, transforman dióxido de carbono además de hidrógeno en metano, mientras que otro grupo, acetófilas, puntualmente transforman ácido acético en dióxido de carbono asimismo metano.

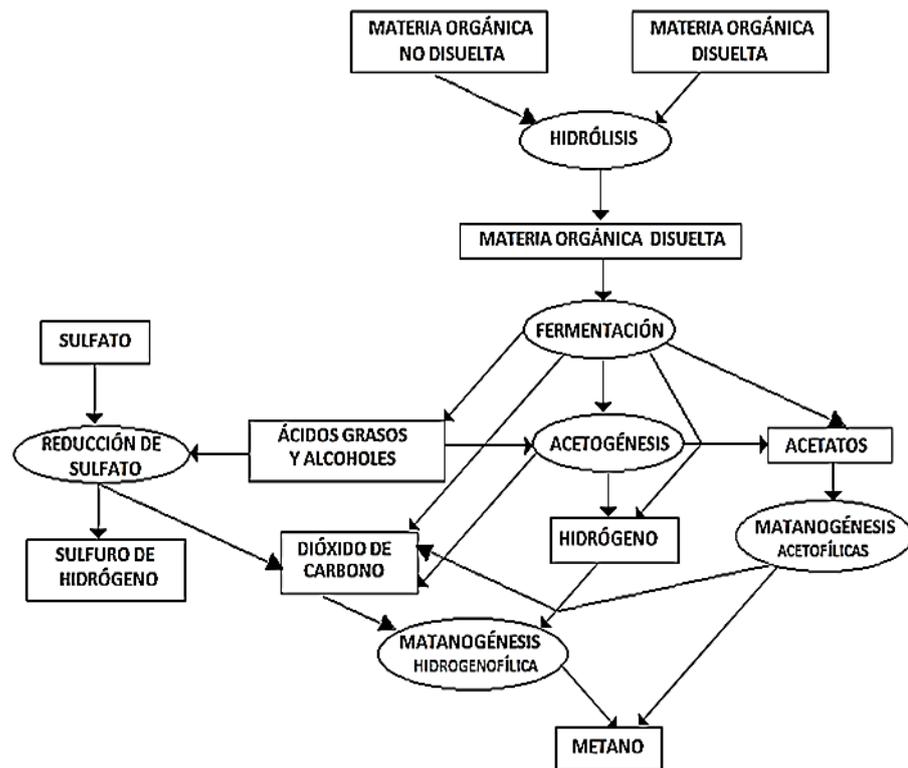


Figura 8. Fases de degradación anaerobia de RSU
Fuente: (Tchobanoglous *et al.*, 1996).

1.1.17.4. Conformación además particularidades de biogás

Biogás es combinación de gases conformada por:

- Metano (CH₄): Representa entre el 40% y el 70% del volumen.
- Dióxido de carbono (CO₂): Conforman entre 30% y 60% del volumen.
- Otros gases: Constituyen entre el 1% y el 5% del volumen; incluyen hidrógeno (H₂) en un rango de 0% a 1% del volumen, sulfuro de hidrógeno (H₂S) en un rango de 0% a 3% del volumen, y trazas de vapor de agua.

Al igual que con otro gas, diversas de propiedades distintivas de biogás dependen de presión y temperatura, e igualmente se afectan por contenido de humedad. Factores principales para particularizar biogás:

- Cómo varía volumen en función de cambios en temperatura además de presión.
- Cómo varía valor calorífico en respuesta a cambios en presión, temperatura, y/o contenido de agua.

- Cómo varía contenido de vapor de agua con cambios en presión y/o temperatura.

Valor calorífico de biogás es aproximadamente de 6 kWh m^3 , significa que un m^3 de biogás equivale a medio litro de combustible diésel.

Es importante destacar que el biogás es inflamable además de explosivo. Si no se vacía adecuadamente, puede dispersarse sin control en relleno y también puede invadir lotes adyacentes, lo que puede provocar explosiones o incendios. Se han registrado eventos en los que biogás se llegó a infiltrar en sótanos de inmuebles o en sistemas de alcantarillado, causando explosiones.

Si el metano (CH_4) alcanza concentraciones entre el 5% y el 15%, se vuelve explosivo, mientras que en concentraciones superiores al 15%, se vuelve inflamable. Otros efectos perjudiciales del biogás incluyen su dispersión en suelo, en el cual metano puede perjudicar raíces de plantas al interferir con su suministro de oxígeno y aire. La exposición prolongada al metano también puede tener efectos tóxicos en los seres humanos, como los trabajadores del relleno o los recicladores que trabajan en él. Asimismo, metano posee un impacto elevado como gas de efecto invernadero, contribuyendo al calentamiento global y afectando tanto a la atmósfera como al clima.

- **Aerobia**

En esta fase, el oxígeno presente en el aire atrapado entre los espacios de los residuos enterrados se agota rápidamente, lo que lleva a.

- **Anaerobia**

En contraste, en la fase predominante del relleno sanitario, donde no hay circulación de aire ni oxígeno, se generan cantidades notables de CH_4 y CO_2 , junto con pequeñas cantidades de gases con olores penetrantes como ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) además mercaptanos.

Metano es particularmente importante debido a su potencial explosivo además de inflamable si se acumula en aire entre un 5% y un 15% en

volumen. Estos gases se acumulan en áreas vacías en relleno y pueden escapar a través de grietas en el terreno o la cubierta.

La acumulación de metano dentro del relleno y su migración hacia áreas circundantes puede representar peligros de explosión. Por lo que, se brinda como recomendación pertinente ventilación de este gas, aunque en rellenos más pequeños este problema puede no ser tan significativo (Tchobanoglous, 1994).

1.1.18. Higiene y seguridad laboral

1.1.18.1. Concepto de higiene y seguridad

Conforme la Ley N°27314 Ley General de Residuos Sólidos, se detalla la seguridad ocupacional como las medidas o condiciones que garantizan la salud y la integridad física de todos los trabajadores en el desarrollo de sus labores, específicamente enfocadas en la prevención de accidentes laborales y enfermedades profesionales. Este aspecto se encuentra principalmente dentro del ámbito de la seguridad social y las condiciones generales del trabajo, según lo estipulado en la legislación.

El código laboral de la República del Perú, en su Título V Capítulo I sobre Higiene y Seguridad Ocupacional, establece lo siguiente:

Prendas y equipos de seguridad

1. Prendas El uso de prendas de seguridad se realizará de acuerdo con un cuadro específicamente creado para los trabajadores, tanto para los obreros como para aquellos de empresas subcontratadas.

2. Equipos de seguridad

- Verificadores de ausencia de tensión
- Dispositivos temporales de puesta a tierra y en cortocircuito
- Detectores de gases para el control de atmósferas tóxicas y/o explosivas

- Cualquier otro equipo necesario para la tarea específica a realizar, como cascos anti-impacto, calzado de seguridad con punta de acero, guantes protectores, gafas anti-impacto y respiradores.

1.2. Antecedentes

Pellón *et al.* (2009), se encontró un alto contenido de elemento orgánico manifestados términos de DQO además de DBO5 en épocas de lluvia como en períodos secos, con una aglomeración promedio geométrico de coliformes fecales entre 104 hasta 105 NMP/100mL. No se observaron significativas diferencias entre LX provenientes de diversos valorados vertederos. Basándose en el balance hídrico, estimó promedio de 42 m³/d de LX durante tiempo de lluvias y mínimo de 13 m³/d en la temporada seca, cifras comparables con hallazgos reportados en literatura. Tecnología empleada consiste en tanque séptico, seguido de filtro anaerobio y sistema de lagunas, asegurando merma de contaminante principal, manifestado en términos DQO además DBO5, de 2011 a 75 mg/L además 902 a 30 mg/L, correspondientemente, así como erradicación de microorganismos patógenos, certificando final disposición pertinente de desecho analizado.

Corena (2008), generación de LX en relleno sanitario es 0.03 L/s, aumentando a 0.15 L/s durante la temporada de lluvias. Recirculación se lleva a cabo de forma diaria durante horas de alta exposición solar y temperaturas entre 30 hasta 40 °C, generalmente de 10:00 a.m. hasta 4:00 p.m., cerca de 6 horas. El lapso de retención hidráulica en piscinas varía según época del año, siendo de 15 a 20 días durante las lluvias y en condiciones de baja radiación solar. Durante este período, se trata el LX en piscinas con antioxidantes para sostener un pH neutro, utilizando cal. Los lodos resultantes de la sedimentación de los LX se tratan con cal para una rápida solidificación; estos lodos se utilizan para el compostaje interno en relleno y, si son crecidamente contaminantes, se devuelven a las celdas del relleno y se esparcen nuevamente en el entorno natural mediante un buldózer.

Giraldo (1997), en líneas generales, se han obtenido rendimientos excelentes con la tecnología para eliminación de gran parte de contaminantes en los LX. Sin embargo, se visualiza que estas ejecuciones fueron mayormente para LX con concentrados de DBO congruentemente bajas, inferiores de 1000 mg/L, en otras palabras, LX más antiguos o aquellos que han sido sometidos a pretratamiento previo. Esto considera como concentraciones bajas de forma relativa, dado que LX de rellenos sanitarios en naciones

en desarrollo suelen tener reuniones mucho más altas, de orden de decenas de miles de miligramos por litro, en otras palabras, entre 10 hasta 40 veces más aglomerados que reportados en literatura técnica. Por lo tanto, se debe considerar precaución al aplicar tecnología directamente a estos LX más concentrados, puntualmente en países en desarrollo. Además, se destaca como una ventaja frecuente de la ósmosis inversa el bajo consumo energético en comparación con demás tecnologías como evaporación o oxidación biológica.

Aliaga (2010), se observa que al aplicar el proceso Fenton a la muestra, se genera merma de MO, siendo pH óptimo de trabajo 4. Se encontró que, a 2 concentraciones diferentes de peróxido de hidrógeno, se obtuvo una merma similar de MO, pero cuando pH acrecentaba a 5 con dosis acrecentadas de peróxido, merma MO era inferiormente notable. Tratamiento de Coagulación - Floculación, se obtuvieron mejores resultados con coagulante que posee cloruro férrico, produciendo una superior merma de MO. Por otro lado, el coagulante que posee sulfato de aluminio, siendo utilizado por primera vez, requiere una mayor investigación para conseguir resultados mejores. Los tratamientos de Coagulación - Floculación lograron reducir cerca de 55% de sólidos en suspensión en ejemplar de agua, lo que detalla eficacia de coagulantes para mermar el parámetro.

Para Teca (2013), procedimiento de coagulación/floculación implica eliminación de DQO además de partículas suspendidas por medio de agregado de sustancias químicas (coagulantes). Este proceso implicó ser bastante pertinente para eliminación de DQO, pero inferiormente efectivo para erradicación de sólidos en total suspensión, dado a concentraciones bajas de suspendidos sólidos en LX estudiados, lo que explica su eficiencia baja de remoción. Se determinó que dosis pertinentes de procedimiento de coagulación/floculación se hallan en rango de 200 hasta 450 ppm de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ como coagulante asimismo 100 ppm de polímero aniónico de poliacrilamida como floculante. Se lograron óptimas remociones, alcanzando el 75.39% para DQO asimismo 55.48% para turbidez, lo que convierte a estos aditivos tensioactivos (ATA) en los pertinentes entre probados en análisis para tratamiento de LX.

Méndez *et al.* (2010), concluyeron que los LX producidos por proceso Fenton se eliminan de manera más eficiente por medio filtración que por sedimentación. Los lapsos de contacto pertinentes fueron de 5 minutos para erradicación de DQO y 1 hora para erradicación de coloración. Se determinó que relaciones mejores para $[\text{Fe}^{2+}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$

asimismo $[DQO]/[H_2O_2]$ fueron 0.6 además de 9, correspondientemente. Máxima eficiencia en remoción posterior de procedimiento de adsorción fue 98.9% para DQO además 100% para coloración. Índice final de biodegradabilidad consiguiendo posterior de pruebas de Fenton-adsorción: 0.24.

García *et al.* (2008), la combinación de procesos propuesta por SITRA, S.L. para tratar los LX de la Planta de Reciclaje y Compostaje de Onda ha demostrado ser altamente eficaz y robusta. La adaptación de cada proceso de calidad del agua a tratar y su configuración en línea han potenciado su efecto sinérgico. Los altos rendimientos del sistema han garantizado el vertido continuo de LX tratado al cauce durante todo el período de operación. Este tratamiento eficiente y robusto de los LX de RSU representa una mejora significativa en la gestión medioambiental de los Residuos Sólidos Urbanos. La eficaz eliminación de la carga contaminante, gracias a la innovadora aplicación y combinación de procesos, no solo permite el vertido de 60 m³/día de agua depurada al dominio público hidráulico con total garantía de calidad, sino que también abre la posibilidad de regenerar y reutilizar estas masas de agua en su lugar de origen.

Chávez (2011), sometió el LX de la ciudad de Chihuahua a tren de tratamiento conformado por 4 fases. Estas involucraron procedimientos de coagulación/floculación/sedimentación por medio de coagulante no orgánico, adsorción con carbón activado, oxidación química por medio de reactivo Fenton asimismo membranas de ósmosis inversa. Ajustaron circunstancias óptimas de operación en cada etapa para maximizar remoción de principal parámetro, la demanda química de oxígeno (DQO). Asimismo, se caracterizó remoción de otros parámetros básicos posterior de cada fase de tratamiento, como el nitrógeno total, sólidos totales (ST), demanda biológica de oxígeno (DBO5) además de sales disueltas totales (SDT). Después de completar el tren de tratamiento, se lograron remociones totales del 92%, 68%, 63%, 46% además de 45% para DQO, DBO5, nitrógeno general, ST además SDT, correspondientemente.

De acuerdo con Cobos y Costa (2011), se recolectó LX del relleno sanitario manual de Nauta para valorar su genotoxicidad. Lombrices adultas de *Eisenia foetida* fueron expuestas a diversas concentraciones del LX (1:1, 1:2, 1:10, 1:100 y 1:1000) durante 7, 14 y 21 días. Posteriormente, se consiguieron celomocitos de lombrices para anotar cometas generados. Los hallazgos indican significativas diferencias ($p < 0,05$) en cuánta de cometas generados entre diferentes días de tratamiento y concentraciones valoradas.

Se visualiza mayor daño genotóxico en celomocitos de *Eisenia foetida* con concentraciones más altas de LX y mayor tiempo de exposición. Se atribuye el efecto genotóxico a presencia de iones metálicos en LX. Para reducir este efecto, se sugiere el uso de preparadas mezclas con almidón de plátano-sulfato de aluminio y arcillas con particularidades coagulantes para tratamiento de LX, como alternativa de tratamiento físico en la región. En resumen, LX del relleno sanitario manual de Nauta detalla efectos genotóxicos en los celomocitos de *Eisenia foetida*.

Mendez (2008), valoró eliminación de tensioactivo LAS sódico mediante técnicas fotoquímicas además de fisicoquímicas. Su estudio analizó degradación de compuesto por medio adsorción con carbón activado, foto-oxidación además de ozonización catalizada. Se comparó eficiencia de convencionales técnicas de oxidación asimismo procesos de avanzada oxidación, utilizando sustancias elevadamente oxidantes como perclorato de sodio, permanganato de potasio, ozono además de dióxido de cloro. Se probaron composiciones de sistemas como ozono/carbón activado, ozono/peróxido de hidrógeno, luz ultravioleta/peróxido de hidrógeno, hierro divalente/peróxido de hidrógeno además luz ultravioleta/tiosulfato de potasio. Variables de interés fueron pH, concentración de agente oxidante además tipo de radiación. El autor llega a concluir que sistemas de avanzada oxidación ayudan a degradación de composiciones surfactantes con superiores eficiencias a 70%, incluso hasta combinaciones de nula o baja toxicidad.

El grupo de Mortazavi et al. de Universidad Modares Tarbiat (Irán) efectuó un análisis para evaluar la eliminación de sodio dodecil sulfato (SDS) mediante un sistema de aireación extendida cíclica. Este método, denominado ICEAS (Sistema de Aireación Extendida de Ciclo Intermitente), se consideró innovador para este tipo de tratamientos. La investigación se centró en determinar el puntaje porcentual de remoción de surfactante aniónico SDS de residuales aguas, con concentraciones de surfactante que variaron entre 20 hasta 400 mg/L y un requerimiento químico de oxígeno de 260 mg/L. Según investigadores, se determinó que un tiempo de tratamiento de 2 horas logra una remoción cercana al 98%.

Huerga (2005), presenta tres trabajos independientes que comparten un mismo efecto: ejecución de tecnologías limpias en tratamiento de aguas industriales residuales, específicamente en tres sectores productivos: el sector textil, de formulación de bienes que poseen tensioactivos además sector tratamiento de superficies. Estos trabajos se

centran en empleo de técnicas de concentración además de separación, como ósmosis inversa, electrodiálisis, evaporación además de cristalización, las cuales se consideran tecnologías limpias debido a la no presencia de producción de residuos. Este enfoque permite incluir el procedimiento de consecución de KNO_3 en grupo de procedimientos limpios.

Rodríguez *et al.* (1997), La Comunidad de Madrid ha logrado depurar la totalidad de aguas residuales antes de devolverlas a ríos, como parte de sus esfuerzos por promover el consumo sostenible y cuidar los recursos hídricos. Sin embargo, ahora busca mejorar aún más calidad del agua tratada. Con el fin de preservar estos recursos de manera ambientalmente sostenible, se ha lanzado el plan "madrid dpura", que se implementará entre 2005 y 2010. Este plan requiere inversión de 600 millones de euros asimismo se enfoca en 3 áreas principales. En primer lugar, se busca mejorar correspondientes sistemas de depuración. Asimismo, se llevarán a cabo trabajos para reutilizar el agua tratada de 30 plantas depuradoras y se construirán infraestructuras requeridas para distribuirla. Para finalizar, se enfocará en reutilización de lodos resultantes de depuración. Por medio de "madrid dpura", se espera reciclar entre 30 hasta 40 hectómetros cúbicos de agua depurada anualmente, que se destinarán al riego de áreas verdes públicas, usos industriales y limpieza de calles en más de 50 municipios, beneficiando a 2,500,000 habitantes.

Carvajal (2012), la fotocatalisis heterogénea se presenta como un método eficaz para descomponer asimismo mineralizar tensioactivos aniónicos en aguas residuales de diversas fuentes. La técnica se ha combinado con otras convencionales, lo que ha resultado en mejoras en la velocidad de las reacciones químicas y una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes. Aunque tratamiento convencional de residuales aguas con tensioactivos suele involucrar procesos biológicos en sedimentación primaria, se han analizado otras opciones, como la fotocatalisis. En este artículo se examinan estudios relevantes y destacan diversas bondades sobre otros métodos de tratamiento. Se centra en caso de industria textil en valenciana, donde el fin principal es reciclamiento de mayor cuantía posible de agua depurada para reutilización en proceso de producción. Dado que recurso hídrico en ciudad en la que se halla la entidad no es ilimitado asimismo actual consumo de $1,000 \text{ m}^3/\text{día}$ es ampliamente acrecentado, se propone valorización de ácido nítrico presente en los vertidos de área tratamiento de superficies, transformándolo en fertilizante, específicamente en representación de nitrato potásico.

Baños agotados de decapado con nítrico pueden tratarse por medio de proceso físico-químico bajo circunstancias óptimas de pH, empleando KOH como un agente alcalino. Esta metodología produce efluente que carece de metales pesados asimismo presenta aglomeraciones significativas de nitrato potásico, alcanzando aproximadamente un 24%, lo que lo convierte en un potencial fertilizante líquido. Además del efluente, se genera un residuo compuesto por hidróxidos metálicos y cristales de KNO_3 . La pérdida de nitrato potásico, mayormente en forma de residuo junto con hidróxidos metálicos, sugiere como opción al proceso físico-químico la incorporación gradual de baño agotado durante enjuague, tratándolos colectivamente (Carvajal, 2012).

Montenegro (2015), evaluó el impacto ambiental de un detergente considerado ecológicamente suave en comparación con otros disponibles en el mercado. La investigación tuvo lugar en una lavadora industrial del Hotel Quito y consideró varios aspectos, como la eliminación y reducción de manchas, el poder de blanqueamiento y la suavidad de las telas. Además, se llevó a cabo un análisis fisicoquímico del agua residual, evaluando parámetros como pH, la aglomeración de oxígeno disuelto, la demanda química y bioquímica de oxígeno (DBO5), y el contenido de fosfatos.

Se determinó la biodegradabilidad de los detergentes mediante merma de aglomeración de oxígeno disuelto, así como su solubilidad en agua y su capacidad espumante. Todos estos datos se tabularon para compararlos con las regulaciones del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y determinar cuál detergente cumplía mejor con los estándares vigentes.

Oyama *et al.* (2004), utilizaron fotocatalisis heterogénea con TiO_2 para descomponer detergente comercial en una dispersión acuosa de fotocatalizador. Este detergente, conformado por surfactante aniónico además de agentes blanqueadores, fue tratado con irradiación solar directa y aire. Resultados mejores de degradación se lograron bajo siguientes experimentales condiciones: 6 g/L de dióxido de titanio, una tasa de circulación de 4,91 L/min y un pH de 4,9. El monitoreo de cinética de reacción ayudó a detectar comportamiento de primer orden. Además, el análisis involucró valoración de cómo pH, la cuantía de fotocatalizador además de tasa de circulación afecta cinética de global reacción de detergente.

Los coagulantes químicos con cargas opuestas a las de los sólidos en suspensión se introducen en el agua para neutralizar las cargas negativas de los sólidos no sedimentables, como la arcilla y las orgánicas sustancias que causan color. Una vez que se neutraliza carga, partículas pequeñas suspendidas pueden aglomerarse. Estas partículas ligeramente más grandes se denominan microflóculos y no son perceptibles a simple vista. El agua que envuelve a estos microflóculos recién formados luciría clara. Si no es así, significa que la coagulación no se ha completado y parte de la carga de partículas aún no se ha neutralizado, por lo que puede ser necesario añadir más coagulantes químicos (Stechemesser y Dobiáš, 2005).

Según teoría de doble capa eléctrica además de regla de Schultze-Hardy, se argumenta que agentes coagulantes deben poseer positivas cargas opuestas al ión predominante de potencial en las partículas presentes en aguas residuales (normalmente negativas). Además, se sostiene que, a mayor carga, mejores serán las propiedades coagulantes del agente. Entre las variables cruciales que influyen en este proceso se incluyen el tipo de coagulante utilizado, la cantidad aplicada, el pH del medio y el tiempo de agitación empleado durante la mezcla del coagulante con el agua residual (Hernández, 1994).

En 1984, los autores, en apoyo con Dr. Jan Chudoba de Instituto de Tecnología Química de Praga, efectuaron publicación de libro "Fundamentos Teóricos de Algunos Procesos para Purificación de Aguas Residuales", con fin de proporcionar ayuda a expertos de habla hispana que efectuaban investigaciones de doctorado en República de Checoslovaquia. Dos años más tarde, lanzó la edición segunda de esta obra. Para atender necesidades crecientes de expertos en campo, los autores efectuaron publicación en Cuba en 1991 el texto "Procesos para el Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Industriales", centrado principalmente, como detalla su título, en procesos biológicos para tratamiento de aguas residuales. Después de 12 años, se detalla esta edición segunda con el mismo objetivo (Menendez y Perez, 2013).

Proceso de coagulación-floculación se presenta como un método valioso para separar partículas finas de naturaleza coloidal que exhiben estabilidad alta en el agua. Sin embargo, para lograr parámetros óptimos de operación en este proceso, es necesario establecerlos mediante experimentación. En este estudio, se lleva a cabo simulación de procedimiento de coagulación-floculación de residuo proveniente de fase de degradación biológica en planta de tratamiento de residuos de Entidad Textil "Desembarco del



Granma" de Villa Clara. El fin es valorar posibilidad de reemplazar el residuo actualmente utilizado en práctica de asignatura de Operaciones y Procesos Unitarios IV (OPU-IV) en el tercer año de Ingeniería Química y en tratamiento químico-físico de residuos en Maestría de Ingeniería en Saneamiento Ambiental. Esto se debe a que el residuo presenta características inadecuadas en términos de seguridad y salud (Cabrera *et al.*, 2009).

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

2.1. Identificación de problema

En Puno, uno de los pertinentes desafíos ambientales principales está relacionado con Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados en hogares, mercados e industrias. El manejo inadecuado de estos residuos no solo afecta la salud de la población, sino también contribuye a la contaminación del aire, del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas, que son utilizadas como fuentes de agua potable.

Los lixiviados (LX) son la parte líquida que se filtra por medio de RS dispuestos en vertederos, extrayendo materiales en suspensión o disueltos (Tchobanoglous, 1994). Su composición está influenciada por diversos factores, como la composición de los residuos sólidos, el método de operación del vertedero y las condiciones climáticas locales. Esta composición varía conforme edad del vertedero e historia previa al instante de muestreo.

El biogás producido en los vertederos sanitarios puede capturarse mediante sistema de recogida de biogás, que generalmente lo quema a través de quemadores. Opcionalmente, el gas recuperado puede ser utilizado de diversas formas, como la generación de electricidad mediante generadores de combustión interna, microturbinas o turbinas. Igualmente puede ser empleado como combustible en calentadores de agua y demás instalaciones. (Colmenares & Bonilla, 2007).

El impacto ambiental en el componente hídrico debido a los LX generados en vertederos de RS se atribuye a las elevadas concentraciones de diversos contaminantes presentes en el líquido contaminante, como compuestos orgánicos, ácidos orgánicos, nitrógeno amoniacal, metales pesados además de sales metálicas. Estos contaminantes, al ser liberados en el medio ambiente, llegan afectar además alteran el normal funcionamiento

de micro y macroecosistemas, perturbando ciclo de vida trófica, que se fundamenta en asociaciones alimentarias.

Procedimiento de contaminación de las superficiales aguas además de subterráneas (acuíferos) causado por LX se enfoca en transferencia de contaminantes en entorno, lo cual está influenciado por propiedades físicas asimismo químicas de LX, permeabilidad del suelo y otras características hidrogeológicas de zona presumida.(Desjardins, 1992).

El manejo inadecuado de servicios de recogida, transporte, tratamiento además de almacenamiento de residuos, así como la presencia de almacenamientos clandestinos, la baja participación de la población, la falta de programas educativos, la escasa difusión de los problemas ambientales asociados, la ausencia de programas de reutilización y reciclaje de RS, y la final disposición inadecuada de RS, contribuyen al detrimento del entorno y pueden provocar contaminación de aguas subterráneas, además de generar problemáticas de salud en la comunidad de Puno.

Ante este panorama, el principal objetivo de esta investigación es caracterizar LX que provienen de vertedero de RS urbanos de Puno. Para lograr esto, se considerarán variables como el pH, las revoluciones por minuto (rpm) y la concentración de tensioactivos. Respecto a los gases, se analizarán variables como la temperatura, la acidez y el contenido de sólidos.

2.2. Enunciados de problema

2.2.1. General

¿En qué medida se demostrará que tratamiento de gases y LX proveniente de botadero de residuos sólidos urbanos de ciudad de Puno, por medio de método de proceso de adición de tensioactivos, eliminará contaminación de medio ambiente?

2.2.2. Específicos

- ¿En qué medida se caracterizará los LX y gases provenientes de botadero de residuos sólidos urbanos de ciudad de Puno, como materia orgánica, DQO y turbidez?

- ¿Cuáles son los tratamientos fisicoquímicos eficaces mediante método de proceso de adición de tensioactivos para tratar lixiviados producidos en botadero de la ciudad de Puno?
- ¿Cuál es el modelo matemático para proceso de tratamiento de lixiviados y gases producidos por residuos sólidos de botadero de la ciudad de Puno por aditivos de tensioactivos y seguridad en su tratamiento?

2.3. Justificación

Es fundamental tener en cuenta que los residuos sólidos, los gases y los LX no solo impactan en el entorno ambiental, sino también en la salud de las personas, lo que constituye un problema no solo desde una perspectiva ecológica, sino también sanitaria, especialmente debido al crecimiento constante en su generación.

En la actualidad, la Municipalidad Distrital de Puno enfrenta graves dificultades en gestión de RS, siendo una de las causas principales la carencia de un relleno sanitario adecuado y controlado, siendo actualmente un simple botadero donde hay recolectores de residuos como papeles, plásticos en condiciones inhumanas, existen gran cantidad de animales como cerdos, ovejas en condiciones totalmente deplorables consumiendo basura.

Otro problema grave es la gran cantidad de LX y gases generados y expuestos al medio ambiente originando peligros para los obreros de dicho botadero, así como la contaminación del subsuelo con el peligro de contaminar el agua de la capa freática.

El impacto ambiental adverso está estrechamente vinculado con contaminación de recursos hídricos, el aire, el suelo, el paisaje y, sobre todo, salud humana. El almacenamiento de residuos conlleva problemas como olores desagradables y la proliferación de vectores responsables de diversas enfermedades infecciosas y contagiosas.

La colaboración de la comunidad en gestión de RS es limitada, ya que se percibe erróneamente que este problema es responsabilidad exclusiva de las autoridades municipales. La educación de todos los involucrados en el proceso, incluidas las autoridades, los productores y generadores de residuos, y especialmente la comunidad en

general, desempeña un papel crucial en la solución de este serio problema y en la consecución de un desarrollo sostenible

El tratamiento de LX que provienen de vertedero de Puno, en el cual se disponen los residuos sólidos urbanos (RSU), es de suma importancia, y se busca emplear tecnologías de procesos innovadoras y alternativas a los tratamientos convencionales.

El propósito de esta investigación es identificar y posiblemente proponer una alternativa para el tratamiento de los gases y LX del vertedero de la ciudad de Puno, mediante un enfoque fisicoquímico que emplea el método de adición de tensioactivos.

2.4. Objetivos

2.4.1. General

Demostrar que el tratamiento de lixiviados y gases provenientes del botadero de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Puno, mediante el método de proceso de adición de tensioactivos, eliminará la contaminación del medio ambiente.

2.4.2. Específicos

- Caracterizar los lixiviados y gases provenientes de botadero de residuos sólidos urbanos ubicado en el área Sur Oeste del cerro Cancharani de la ciudad de Puno, como la materia orgánica, DQO y turbidez
- Determinar los tratamientos fisicoquímicos eficaces mediante método de proceso de adición de tensioactivos para tratar lixiviados generados en botadero de la ciudad de Puno.
- Determinar la cinética y modelo matemático para proceso de tratamiento de los gases y lixiviados generados por residuos sólidos de botadero de la ciudad de Puno por la adición de tensioactivos y la seguridad en su tratamiento.

2.5. Hipótesis

2.5.1. General

Tratamiento de lixiviados y gases provenientes de botadero de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Puno, por medio de método de proceso de adición de tensioactivos, eliminará contaminación de medio ambiente



2.5.2. Específica

- Conociendo características de RS urbanos como materia orgánica, DQO y la turbidez proveniente de botadero localizado en zona Sur Oeste de cerro Cancharani de Puno se particulariza LX y gases
- Conociendo la cantidad de LX producidos en botadero de ciudad de Puno se determinará los tratamientos fisicoquímicos eficaces por medio de método de adición de tensioactivos.
- Para tratamiento de gases y LX de RS por proceso de adición de tensioactivos, se determina cinética y modelo matemático y seguridad en su tratamiento.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar estudio

Este análisis se efectuó en Laboratorio de Control de Calidad de Aguas de Facultad de Ingeniería Química de UNA en Puno, ubicado a una altitud de 3814 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura ambiente promedio de aproximadamente 13 a 15 °C.

- Las muestras de LX fueron recolectadas en el vertedero de RS urbanos situado en zona suroeste del cerro Cancharani en Puno.
- Análisis de LX del vertedero se efectuaron en laboratorios ya indicados.
- Parte experimental, utilizando método de adición de tensioactivos, se efectuó en Laboratorio previamente detallado.

3.1.1. Localización

Provincia : Puno
Departamento : Puno
Dirección : Av. Sesquicentenario N° 1150

3.2. Población

En este estudio, se considera como materia prima el LX que procede del vertedero de RS urbanos de Puno, así como la cuantía de gases generados por descomposición de MO en zona suroeste de cerro Cancharani, Puno. Recolectaron muestras en 5 puntos diferentes para asegurar la representatividad del caudal efluente.

3.3. Muestra

Muestras de LX crudo fueron obtenidas del vertedero de RS urbanos, durante el período comprendido entre febrero de 2018 y julio de 2018.



Figura 9. Lugar del botadero de residuos sólidos – Cancharani - Puno

Sector: Cancharani

- Distrito: Puno
- Provincia: Puno
- Departamento: Puno

Se efectuó el muestreo acatando pautas detalladas en DS N° 012 - 2009- MINAM, que ratifica límites máximos permisibles (LMP) de efluentes de infraestructuras de RS, específicamente en lo referente a la toma de muestras en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Conforme a estas directrices, las muestras deben ser analizadas de inmediato tras su recolección.

En el caso de un muestreo integral, una vez que se ha agregado el ejemplar, se llena una botella de 300 mL de capacidad hasta desbordarse durante 10 segundos, evitando entrada de aire atmosférico y sin agitarla. Posteriormente, se tapa la botella de forma inmediata para prevenir formación de burbujas, y se procede a su análisis de manera inmediata (Garay *et al.*, 1993).



Con el fin de garantizar la representatividad de la muestra, se seleccionaron sitios con un flujo constante. La ubicación de puntos de muestreo fue determinada en función de los problemas identificados y los objetivos establecidos para el estudio.

Tabla 6
Toma ejemplares LX de R.S.U. – Cancharani

Ejemplar	Hora	Cuantía ejemplar (mL)
1	8 horas	300
2	8,30 horas	300
3	9,00 horas	300
4	9,30 horas	300
5	10,00 horas	300
6	10,30 horas	300
7	11 horas	300
8	11,30 horas	300

3.3.1. Protocolo toma muestras para LX

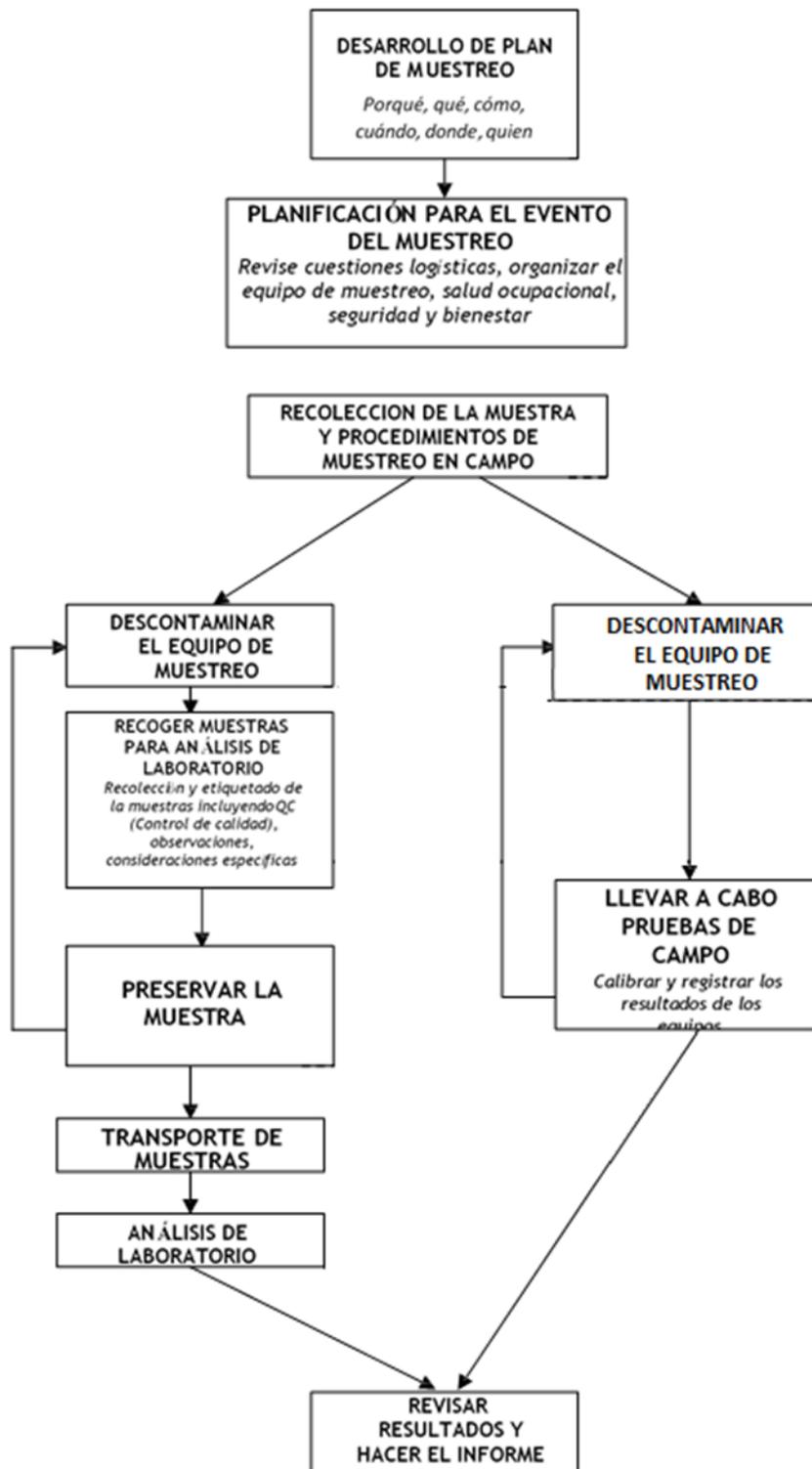


Figura 10. Pasos para muestreo LX
Fuente: (Duncan *et al.*, 2007).

3.4. Método de investigación

El vídeo ofrece una manera pertinente de respaldar su argumento. Al efectuar clic en "Vídeo en línea", puede insertar código para incrustar vídeo deseado. Igualmente puede usar término clave para indagar en línea vídeo que optimice se ajuste al documento.

Para darle un aspecto profesional a su documento, Word ofrece opciones como encabezados, páginas de portada, pies de página además de diseños de cuadro de texto que se llegan a complementar. Por ejemplo, puede añadir portada coincidente, encabezado además de barra lateral. Simplemente efectúe clic en "Insertar" asimismo seleccione elementos deseados de diversas galerías.

Temas además de estilos ayudan a sostener la coherencia visual de su documento. Al seleccionar un nuevo tema en la pestaña "Diseño", imágenes, gráficos además de gráficos SmartArt modificarán para adaptarse al nuevo estilo. Al ejecutar estilos, los títulos se ajustarán para complementar el tema nuevo.

Para ahorrar tiempo en Word, se han agregado botones nuevos que surgen donde se necesitan. Por ejemplo, al hacer clic en una imagen, saldrá un botón de alternativas de diseño junto a ella para cambiar su ajuste en el documento. Trabajar con tablas también es más fácil: simplemente haga clic la ubicación en la cual desee añadir columna o fila y luego efectúe clic en el signo más que aparecerá.

Lectura igualmente facilita con vista de lectura nueva. Abarcaría partes de documentación asimismo enfocarse en texto notable. Además, si requiere contener lectura previa de llegar al final, Word brindará recordatorio en el cual dejó la lectura, inclusive en otros aparatos.

3.5. Detalle de métodos por propósitos específicos

3.5.1. Caracterización de LX además de gases provenientes de botadero de RS urbanos localizado en zona Sur Oeste del cerro Cancharani Puno, como materia orgánica, DQO y turbidez

3.5.1.1. Constitución y formación de control de LX en vertedero

En este estudio se empleó el líquido que se desprende en vertedero de RS urbanos "Cancharani" en Puno. Este líquido tiene un volumen total de 53,000 m³ y cubre un área superficial de aproximadamente

4,200 m². En el año 2017, producción per cápita de residuos por individuo en Puno fue 0.791 kg, lo que resultó en un promedio diario de 86.82 toneladas de residuos sólidos urbanos depositados en el vertedero (Fuente: Estudios de Municipalidad Provincial de Puno, abril de 2018).

La conformación de RS de Puno incluye 46.54% de contenido de humedad, que da lugar a un efluente (Fuente: Estudios de Municipalidad Provincial de Puno, abril de 2018).

Por otro lado, proceso de descomposición anaeróbica ocurre rápidamente, lo que provoca cambios en MO. Parte de esta materia se convierte primero en líquido y luego en gas. En este instante, cualquier agua que proviene de precipitación o infiltración percolará por medio de desechos, llevando consigo sólidos en suspensión asimismo composiciones orgánicas en solución. La composición heterogénea, con acrecentado contaminante potencial, se conoce como líquidos percolados o LX. Tabla 7 detalla primordiales contaminantes generados por vertedero.

El volumen de LX se halla principalmente determinado por la cantidad de precipitación pluvial. No únicamente escorrentía beneficia a su generación, sino que igualmente lluvias que caen dentro de área del vertedero aumentan su cantidad, ya sea de forma directa sobre residuos depositados o a través de mayor infiltración en el terreno por medio de grietas.

En regiones con climas lluviosos, el agua se filtra en las celdas de los vertederos, pudiendo saturar desechos confinados además producir LX con elevadas concentraciones de elementos contaminantes.

Para estimar la generación de LX, se empleó una tabla desarrollada por Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica DED, que proporciona datos de producción de aguas LX en diversas situaciones (ver anexo 3, ítem 9).

El LX se particulariza por su escasa biodegradabilidad, detallada mediante vinculación DBO/DQO, así como por color intenso marrón-negro. Igualmente se resalta su reunión de sulfatos además de amoniaco.

Se efectuó tratamiento de LX de vertedero de residuos sólidos urbanos a escala de laboratorio. La producción de ejemplares para estudio, tanto previo de proceso de agregado de tensioactivos como durante las pruebas experimentales, se realizó en Laboratorio de Control de Calidad de Aguas de Facultad de Ingeniería Química de UNA en Puno

Tabla 7

Particularización físico-química LX de R.S.U.

Elemento	Resultado
Fierro	45 (mg/L)
Sulfatos	90 (mg/L)
Nitratos	5 (mg/L)
Amoniaco	0,36 (mg/L)
DBO	27 (mg/L)
DQO	2900 (mg/L)
Materia orgánica	82,5 (mg/L)
pH	5 hasta 8,5
Temperatura	13,5 °C

Fuente: Informe ensayo- UCSM

El equipo utilizado para efectuar proceso de coagulación-floculación es ensayo de Jar. Este elemento consta de cuatro agitadores de varilla diversas que viran en equivalente rapidez. Palas agitadoras se hallan trazadas para depositar sedimentos en centro de fondo de vasos, con la capacidad de moverse hacia arriba y hacia abajo sin detener el motor. Además, cuenta con una pantalla de iluminación ubicada detrás de vasos.

Coagulantes empleados en proceso coagulación-floculación son $Al_2(SO_4)_3$ compuesto con tensioactivo dodecil benceno Na_2SO_4 .

Tabla 8
Generación aguas lixiviadas en relleno sanitario

Tipo de relleno	Producción de aguas LX (% precipitación pluvial)	Producción de aguas LX (m ³ /ha*día)		
		Precipitación 700 mm/año	Precipitación 1500 mm/año	Precipitación 3000 mm/año
Manual	60	11,51	24,66	49,32
Compactado con maquinaria liviana	40	7,67	16,44	32,88
Compactado con maquinaria pesada	25	4,79	10,27	20,55

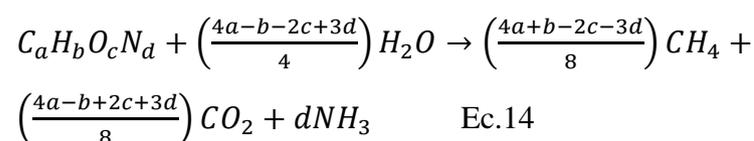
Fuente: Servicio Alemán Cooperación Social – Técnica DED 2011

Estimación de cuantía LX se consideró puntaje porcentual de precipitación pluvial y conforme a factor de producción en m³/año. (anexo 3, ítem 9).

3.5.1.2. Cuantía de gas que produce descomposición de constituyentes orgánicos

Un vertedero de RS se concibe como sistema reactivo biológico, donde los desechos y el agua ingresan como componentes primordiales, además de los gases del vertedero asimismo el LX se consideran los principales productos. (Tchobanoglous, 1994).

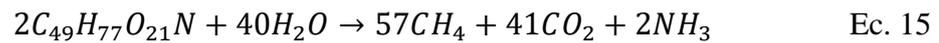
Para indicar volumen de gases liberados en el proceso de descomposición anaeróbica, se utilizó una fórmula generalizada de la forma C_a H_b O_c N_d. Luego, volumen total de gas se calculó empleando la correspondiente ecuación, asumiendo conversión total de residuos orgánicos biodegradables en CO₂ y CH₄. (cálculos anexo 3)



Se han efectuado los pertinentes cálculos (anexo 3, ítem 8).

3.5.1.3. Cálculo rápidamente descomponible de RS

Para cálculos se empleó correspondiente fórmula.



2030 720 912 1804 34

3.5.1.4. Cálculo lentamente descomponible de RS

Para cálculos se empleó correspondiente fórmula.



8120 2844 3664 7172 136

3.5.2. Determinación de tratamientos fisicoquímicos eficaces por medio de método de proceso de añadidura de tensioactivos para tratar LX producidos en botadero de Puno.

Proceso fisicoquímico empleado para erradicación de metales pesados además de sólidos en suspensión de LX, por medio de agregado de tensioactivos, consta de 3 fases:

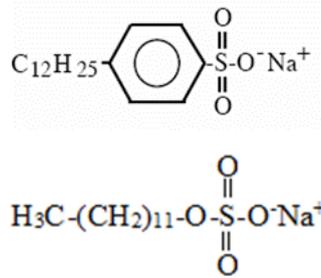
1. Ajuste de pH para inducir cambio en el equilibrio químico que inhiba solubilidad. El rango de pH pertinente para precipitación de LX se sitúa entre 8,5 hasta 12, logrando una eliminación efectiva de hierro con inferiores concentraciones a 1 mg/L en efluente tratado.
2. Coagulación, en donde elementos precipitados aglomeran constituyendo coágulos que permitan su sedimentación. El proceso se efectúa empleando Na_2SO_4 .

Añadidura de agente tensioactivo como agente precipitante, siendo de mayor eficacia el surfactante aniónico (dodecil bencén Na_2SO_4), que lega actuar como floculante.

Precipitación alcalina es método preferido debido a sus particularidades y bondades respecto a otros métodos.

Para este experimento se eligieron pertinentes elementos:

- a) Polielectrolito ($Al_2(SO_4)_3$) como coagulante $Al_2(SO_4)_3$
- b) Floculante, aditivo tensioactivo (Dodecil bencén Na_2SO_4)



Técnica de experimento de jarras (Jar Test) replica procedimientos de floculación o coagulación que facilitan remoción de metales suspendidos.

Método predominante para determinar el coagulante pertinente asimismo dosificación, así como otros parámetros como velocidad de agitación, el lapso composición, la temperatura además de pH. Es un conglomerado de recipientes a los cuales se les añaden diferentes cantidades de coagulantes. Estos recipientes son agitados simultáneamente por una serie de agitadores, generando una agitación vigorosa que asegura una mezcla homogénea. Para este propósito, se emplean vasos de precipitado equipados con agitadores y controladores de velocidad (ver figura 11), que incluyen un agitador cuya velocidad puede ajustarse entre 0-300 rpm, asegurando circunstancias de agitación uniformes. Agitador opera en vasos de precipitado transparentes de 1 litro capacidad, permitiendo la aplicación diferentes tratamientos y su comparación bajo circunstancias de agitación idénticas.



Figura 11. Instalación experimental para experimentos coagulación-floculación

Efectuaron ensayos precipitación en circunstancias pertinentes que detallan pertinentemente:

Tabla 9

Circunstancias operación en experimentaciones coagulación-floculación

Coagulación	Floculante
30-100 mg/L $Al_2(SO_4)_3$) (10 %)	20 mg/L dodecil bencén Na_2SO_4
Rapidez agitación: 20 hasta 150 rpm	Rapidez agitación: 25 rpm
Lapso:15 min	Lapso:12 min

Método seguido fue el correspondiente:

1. Se efectuó la preparación de 8 ejemplares de 50 mL de LX en vasos precipitados con agitación.
2. Añadió gradualmente polielectrolito o coagulante (Na_2SO_4) a las muestras, miligramo a miligramo, hasta observar generación pertinente de coágulos. Agregaron diferentes dosis del mismo para conseguir concentraciones de 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 mg/L.

La agitación se conservó a 150 rpm por 15 min.

Tabla 10
Tratamiento agregado coagulante

Nº	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/L)	pH
1	20	8
2	30	8
3	50	8
4	60	8
5	70	8
6	80	8
7	90	8
8	100	8

Se procedió de la siguiente manera:

Se anotó aglomeración de sustancia utilizada además midió pH.

4. Posteriormente, se agregó dodecil benceno Na₂SO₄ como floculante en cada vaso de precipitados de equipamiento prueba de jarras, ajustando pH de cada muestra a valores diferentes (3, 5, 6, 7.2, 8.3, 9, 10, 11).

5. Se sacudió de manera rápida a 25 rpm por 12 minutos, registrando lapso necesario para la formación de flóculos.

7. Se permitió que las muestras sedimentaran durante 30 minutos y anotó pH en el cual se observó mejor constitución de coágulos. Una vez que precipitados se establecieron, decantó además filtró contenido de recipientes, y consideraron muestras para estudiar aglomeraciones asimismo absorbancia de hierro, DBO₅ y DQO.

Muestras fueron enviadas a Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de UCSM (Arequipa) para su análisis. Valoraciones de absorbancia además de aglomeración+ medidos se utilizaron para construir gráfica que representara el puntaje porcentual de merma de absorbancia en función de aglomeración de coagulante utilizado.

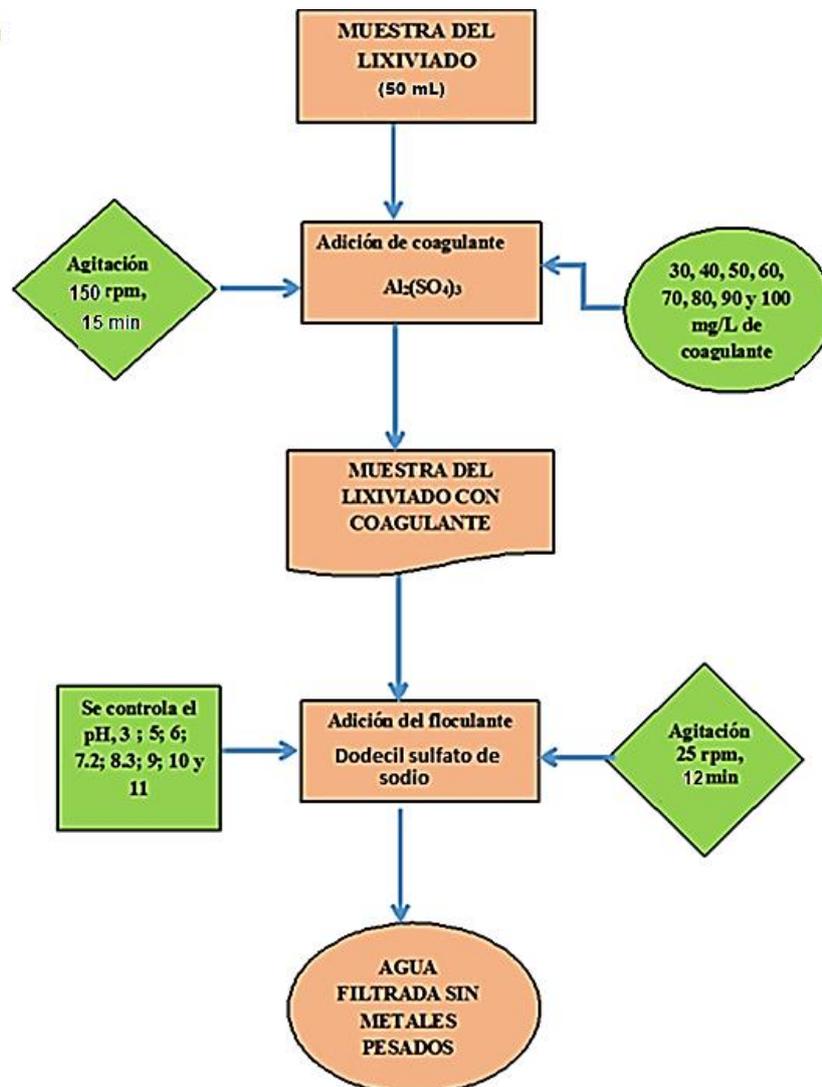


Figura 12. Diagrama flujo prueba de jarras

3.5.3. Establecer cinética y desarrollar un modelo matemático para procedimiento de tratamiento de los gases y LX producidos por RS de vertedero en Puno mediante la inclusión de tensioactivos y garantizar la seguridad en su tratamiento.

3.5.3.1. Cinética de adsorción

La evaluación cinética resulta fundamental para determinar condiciones pertinentes de funcionamiento de proceso a una escala mayor que la de laboratorio. En caso del proceso adsorción, parámetros cinéticos son esenciales para anticipar nivel adsorción además proporcionar datos

cruciales para diseño y la modelización de proceso (Krishnan y Anirudhan, 2002).

a. Curva de calibración

Utilizando los datos obtenidos del certificado de análisis de UCSM en Arequipa, se construyó curva de calibración. Tabla 11 presenta concentración además de absorbancia de muestras estándar de hierro. Figura 15 detalla estos puntos en un gráfico, así como regresión lineal y línea generada, con una longitud de onda del hierro de 248,3 nm.

Tabla 11
Información curva calibración Fe

	Concentración Fe (ppm)	Absorbancia	Fe
Blanco	0	0	
Estándar 1	0,1	0,0393	
Estándar 2	0,2	0,0605	
Estándar 3	0,4	0,0895	
Estándar 4	0,8	0,1311	
Estándar 5	1,2	0,1581	

Fuente: Informe ensayo- UCSM

b. Eficiencia recuperación de hierro

Se determinó eficiencia de recuperación del hierro utilizando correspondiente fórmula. Detalles de estimaciones se encuentran detallados en Anexo N°3.

$$\% = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (15)$$

En el cual:

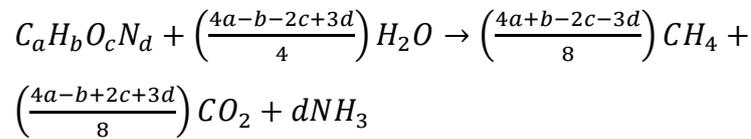
C_i= Concentración de inicio de metal en agua

C_f= Concentración final de metal en agua posterior precipitación alcalina

c. Cuantía de gas producido en el botadero de Cancharani

Se estimó el volumen de los gases liberados durante el proceso de descomposición anaeróbica utilizando una fórmula generalizada C_a H_b O_c

N_d. Luego, detalló total volumen de gas aplicando pertinente ecuación, asumiendo una completa conversión de biodegradables residuos orgánicos en CO₂ y CH₄.



3.5.3.2. Desarrollo de modelo matemático por experimento además de estadística

a. Diseño factorial 2^k

Es una técnica estadística que facilita la planificación eficaz de la experimentación, permitiendo determinar la importancia de la variable independiente evaluada (Y), así como el impacto de sus interacciones, con un mínimo número de ensayos. Esto resulta en la obtención de modelo matemático empírico, que sirve como fundamento para posterior procedimiento de optimización.

En nuestro estudio, se empleó programa Statgraphics Centurión XVI para el desarrollo matemático experimental.

En este contexto, factores se optimizarán por medio de experimentos factoriales generales, considerando 3 factores con 2 niveles cada uno.

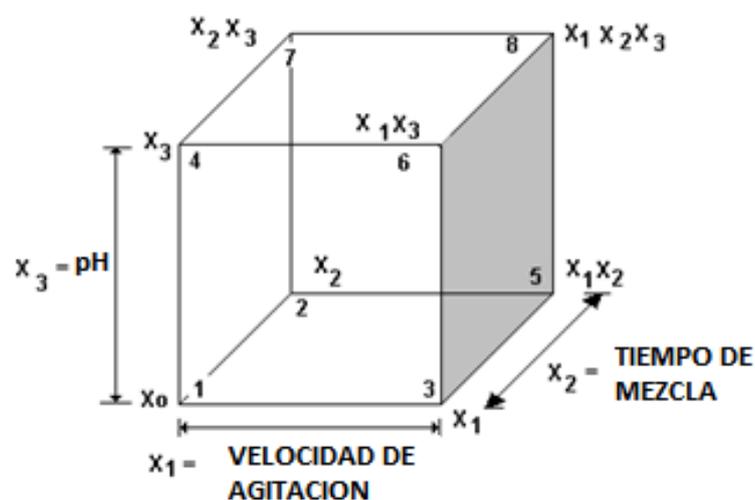


Figura 13. Esquematización de diseño factorial 2³

Para calcular el tamaño de muestra o cantidad de ensayos en diseño factorial total, se utiliza correspondiente fórmula:

$$N = 2^k$$

En el cual:

N = Cantidad total experimentos

k = Cantidad variables

En nuestro caso, como mencionamos anteriormente, estamos llevando a cabo un experimento que implica tres factores con dos niveles cada uno. Por lo tanto, se necesitarán:

$$\text{Cantidad ensayos} = N^k = 2^3 = 8 \text{ ensayos}$$

Modelo factorial supone diversa linealidad además debe ser capaz de anunciar de manera precisa la totalidad de puntos del diseño, involucrando punto central. Por lo tanto, seleccionamos tres variables que, según pruebas exploratorias preliminares, tienen un impacto en la mejora de recuperación de metales por precipitación alcalina. Las variables: velocidad agitación, pH además de lapso de residencia en reactor.

Para indicar efecto de estas 3 variables en rendimiento de recuperación de metales, se efectuaron preliminares pruebas experimentalmente para establecer niveles en cada variable, los cuales se detallan tabla 12.

b. Detección de variables de trabajo

Hemos logrado optimizar eficientemente el proceso, identificando los rangos de trabajo más favorables. Nos hemos enfocado en base a elementos además de niveles definidos en a tabla 12:

Tabla 12

Variable naturales-información diseño experimental

Elemento	Representación	UND	Nivel (-) inferior	Nivel (+) superior
Velocidad agitación	X ₁	rpm	25	150
pH	X ₂	Escalar	3	12
Tiempo	X₃	minutos	5	20

c. Diseño factorial experimental

Formulación además de propósito

Diseño factorial 2³ que involucra 3 elementos o variables primarias (pH, velocidad además de tiempo), además cada factor con 3 niveles (k = 3), formula correspondiente matemático modelo:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_1X_3 + b_6X_2X_3 + b_7X_1X_2X_3$$

En el cual:

Y = V. respuesta Rendimiento

X₁, X₂, X₃ = V. codificadas entrada de
velocidad, pH además de tiempo.

X₁X₂, X₁X₃, X₂X₃ = Interacción 3 variables principales
,X₁X₂X₃

Primero encontró valoraciones de X₁, X₂ y X₃ correspondiente a variables de ingreso de procedimiento, posteriormente valores b₀, b₁, b₂, b₃ B₇ (estimadores coeficientes de regresión) pertinente a variable respuesta Rendimiento extracción [Y].

d. Rendimiento recuperación del hierro

Variable respuesta de diseño factorial se expresa en términos del puntaje porcentual de rendimiento de hierro recuperado, fue calculado de correspondiente forma:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

En el cual:

W_1 = Peso inicio Fe

W_2 = Peso Fe recuperado

Tabla 13

Estimación % rendimiento diseño factorial

N° ¿	W_1 (mg)	W_2 (m g)	Rendimiento %
1	45	10,876	24,17
2	45	11,389	25,31
3	45	8,658	19,24
4	45	6,214	13,81
5	45	6,840	15,20
6	45	4,396	9,77
7	45	3,838	8,53
8	45	1,395	3,10

Siguiendo detallado, diseño factorial abarca 08 corridas experimentales combinadas previamente, lo que brinda una perspectiva sobre efectos de variables, permitiendo visualizar hallazgos finales.

e. Matriz diseño

Tabla 14

Matriz diseño factorial $2^3 = 8$

N° prueba	Diseño	Combinación niveles			Variable Respuesta (rendimiento %) "y"
		X_1	X_2	X_3	
1	[1]	25	3,0	5	24,17
2	a	150	3,0	5	25,31
3	b	25	3,0	20	19,24
4	ab	150	3,0	20	13,81
5	c	25	12	5	15,20
6	ac	150	12	5	9,77
7	bc	25	12	20	8,53
8	abc	150	12	20	3,10

Valores de tabla 14 detallamos cantidad de experimentales pruebas a efectuar (efectuando combinaciones de valores máximo además de

mínimo de 3 factores detallados). Para diseño 2^3 se posee 8 experimentales pruebas.

Diseño que acata circunstancia de ortogonalidad en sumatoria de vectores X_1, X_2, X_3 de su producto es 0. (Montgomery 1996).

Hallazgos además de estimaciones se ven en anexo 6.

f. Seguridad en su tratamiento

Las actividades diarias llevadas a cabo por los trabajadores de la municipalidad y los residentes que viven en vertedero de Puno representan constantes riesgos para su salud, dado que carecen de un sistema de tratamiento de los LX que incluya una infraestructura de captación, piscinas de almacenamiento y un sistema de bombeo que garantice la salud de las personas que residen allí. A continuación, se mencionan algunas actividades que ponen en peligro a los habitantes:

✓ Movimiento repetitivo:

Los hallazgos señalan que tareas de segregación de RS, aglomeración de plástico asimismo levantamiento de material en tolva de entrada al vertedero de la ciudad de Puno exponen a los trabajadores a un nivel de riesgo inaceptable debido al trabajo repetitivo.

En labores de aglomeración de plástico además de carga de material en tolva de entrada, exposición a labor repetitiva se origina principalmente por la ausencia de pausas para reposar y empleo de fuerza durante el proceso.

Por otro lado, en segregación de RS, la exposición a labor repetitiva resulta de adoptar forzadas posturas en manos además de brazos, así como de escasas de pausas para reposar.

Conforme con Morais (2010), la segregación de RS, los colaboradores se ven obligados a efectuar labores a pie que conllevan acciones repetitivas, como inclinarse sobre la mesa además hacer torsiones múltiples de columna lumbar para clasificar los reciclables en sus respectivos contenedores. Estas demandas físicas suponen riesgos ergonómicos

significativos, especialmente dado que las jornadas laborales son continuas además de largas, sin programados intervalos para reposar.

✓ Manejo manual de carga

Los hallazgos de valoración efectuada mediante método MAC se presentan en Tabla 15, evidenciando que la totalidad de tareas analizadas necesitan actividades correctivas. Elementos que impactaron fueron peso de carga y método utilizado para su manipulación. Además, se observó que los colaboradores no recibieron capacitación en ergonomía para levantamiento manual de cargas, y no detallaron límites de peso para las mismas.

De acuerdo con reglamentos generales de seguridad e higiene en centro de labores, es obligatorio proporcionar y usar los equipos de protección necesarios para realizar ciertas tareas.

Entre las medidas de protección personal para los trabajadores, los empleadores tienen la responsabilidad de suministrar lo siguiente:

- a. Máscaras o caretas respiratorias (gafas protectoras).
- b. Anteojos y protectores faciales adecuados para proteger contra la proyección de partículas sólidas, líquidas o gaseosas.
- c. Anteojos y protectores especiales contra radiaciones luminosas o calor peligroso.
- d. Máscaras y cascos metálicos para proteger contra cualquier tipo de proyección violenta o caída de material pesado.

g. Norma OHSAS 18001

Se presenta como una guía para los sistemas de seguridad y salud ocupacional. Surgió en 1999 como especificación destinada a establecer los requisitos que los promotores consideraban esenciales para Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (SGSSO) con rendimiento satisfactorio. Su objetivo principal es permitir que organización que lo implementa controle riesgos a los que están expuestos sus colaboradores debido a su actividad laboral.

Enríquez y Sánchez (2006) este sistema tiene el potencial de garantizar la protección de los trabajadores y mejorar el desempeño laboral.

La normativa es ejecutable a cualquier entidad que quiera:

- a. Detallar sistema de gestión de SSO para mermar riesgos en sus tareas.
- b. Efectuar, sostener además optimizar constantemente desempeño de gestión en SSO.
- c. Asegurar conformidad y acatamiento de normativa de SSO detallada.
- d. Exponer conformidad de Sistema de Gestión de SSO.
- e. Obtener la certificación de su sistema de gestión SSO, concedida por entidad externa.

Tabla 15

Resultados exposición por elementos ergonómicos

Valoración movimiento repetitivo conforme metodología OCRAS Checklist			
Proceso	Tarea	Puntuación	Significado*
Segregación de Residuos Sólidos	Segregación de desechos re aprovechables y no re aprovechables	18,53	No aceptable. Nivel medio.
Aglomeración plástico	Aglomerado plástico	11,3	No aceptable - Nivel leve
Peletización plástico	Carga material en tolva de ingreso	11,7	No aceptable - Nivel leve
Exposición manejo manual carga conforme método MAC			
Proceso	Actividad	Puntaje/Categoría	Significado
Aglomeración plástico	Almacenaje producto terminado	14 / 3	Se requieren acciones correctivas pronto

Fuente: (Teca, 2013).

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultado

4.1.1. Caracterización de LX, materia orgánica y DQO

Los datos sobre el efluente tratado utilizando el proceso de precipitación bajo las condiciones de operación óptimas se presentan en la tabla 16.

Tabla 16
Particularización físico-química LX de R.S.U.

Elemento	Muestra sin tratamiento	Resultados Muestra tratada
Fierro	45 (mg/L)	2,309 (mg/L)
Nitratos	5 (mg/L)	1 (mg/L)
Sulfatos	90 (mg/L)	11 (mg/L)
amoniacó	0,36 (mg/L)	0,07 (mg/L)
Materia orgánica	82,5 (mg/L)	1,45 (mg/L)
DQO	2900 (mg/L)	34 (mg/L)
PH	5 hasta 8,5	12
Temperatura	13,5°C	12 °C

Fuente: Reporte experimento- UCSM

LX se distingue por su biodegradabilidad baja, indicada como vinculación DBO/DQO, y su coloración oscura, que tiende al marrón-negro. Además, resalta su alta concentración de amoniacó y sulfatos.

Se realizó tratamiento de los LX dl vertedero de RS urbanos a nivel de laboratorio, junto con los cálculos para estimar la cantidad de gases generados.

4.1.2. Tratamientos fisicoquímicos eficaces por medio de método de proceso agregado de tensioactivos.

Tratamiento para reducir el LX que se encuentra en RS urbanos de Puno se efectuó por medio de procedimiento coagulación asimismo floculación, empleando $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante e igualmente dodecil benceno Na_2SO_4 como floculante.

El objetivo principal fue evaluar las condiciones óptimas para realizar procedimiento de coagulación empleando $Al_2(SO_4)_3$ como correspondiente elemento coagulante. Para lograrlo, realizaron varios experimentos de coagulación en LX con diferentes concentraciones, las cuales se obtuvieron a través de distintas pruebas.

VARIABLES DE OPERACIÓN UTILIZADAS EN LA TOTALIDAD DE DILUCIONES FUERON DOSIS DE COAGULANTE (EN UN RANGO DE 30 HASTA 100 mg/L), VELOCIDAD DE AGITACIÓN (ENTRE 20 Y 150 rpm), EL TIEMPO DE MEZCLA (ENTRE 3 Y 12 MINUTOS) Y EL pH (DESDE 3 HASTA 12), CON EL FIN DE DETERMINAR SUS EFECTOS EN PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTADOS.

Tabla 17
Concentración hierro remanente de ejemplar estudiada con ATA (dodecil bencén Na_2SO_4)

N° Muestra	Dosis (mg/L)	Concentración Fe (mg/L)	% recuperación Fe
1	20	2,309	94,86
2	40	2,263	94,97
3	50	2,209	95,09
4	60	2,160	95,20
5	70	2,1015	95,33
6	80	1,980	95,60
7	100	1,885	95,81
8	120	2,020	95,51

Fuente: Informe ensayo- UCSM

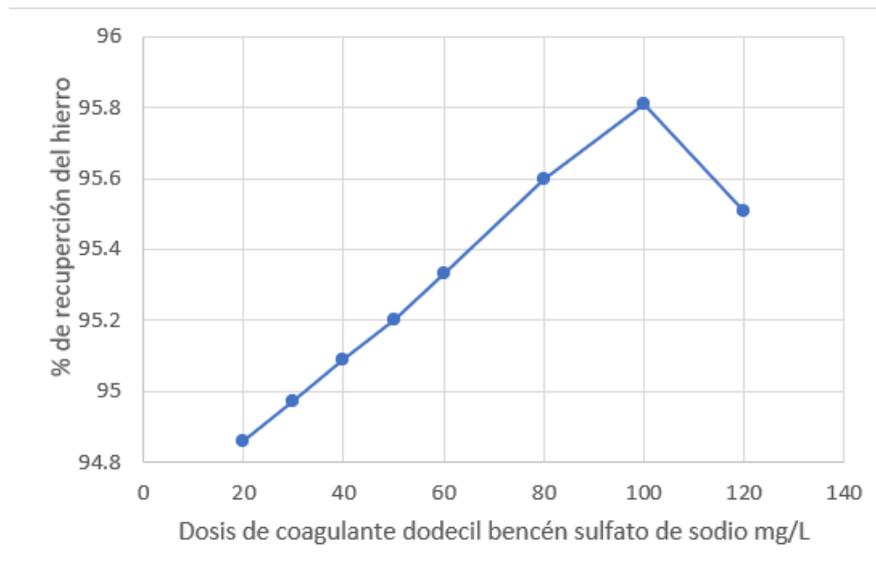


Figura 14. Eficiencia recuperación Fe con aditivotensioactivo (dodecil bencén sulfato de sodio)

Gráfica presenta puntaje porcentual de recuperación de hierro después de proceso de floculación además de coagulación, empleando $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante asimismo dodecil bencén Na_2SO_4 como floculante. Se observa que se logra recuperación máxima de 95.81 % con dosis coagulante de 100 mg/L, equivalente a recuperación de 43,11 mg/L. Detalles sobre información empleada se encuentran en anexo 3.

De acuerdo con Pellón et al. (2009), no se encontraron significativas diferencias entre LX que provienen de vertederos evaluados diferentes. Partiendo de balance hídrico, se estimó una cantidad LX de 42 m³/día en tiempo de lluvias, con mínimo de 13 m³/día en tiempo seco, cifras comparables con hallazgos conseguidos en literatura.

Tecnología empleada consiste en un sistema de sistema de lagunas, filtro anaerobio además de tanque séptico que asegura merma del primordial contaminante, indicado en elementos de DQO además de DBO5, de 2011 a 75 mg/L y 902 a 30 mg/L correspondientemente, así de erradicación de microorganismos patógenos, certificando disposición adecuada de desecho analizado.

Según Giraldo (1997), se han obtenido beneficios pertinentes con esta tecnología para remover gran parte de contaminantes. Además, se visualiza que esta

tecnología ha sido aplicada principalmente en LX con aglomeraciones de DBO bajas de forma relativa, inferiores a 1000 mg/L, en otras palabras, LX antiguos o que han sido sometidos a algún tipo de pretratamiento previo.

Según Dianderas (2011), técnica oxidación bacteriana utilizada en tratamiento de minerales sulfurados auríferos se basa en actividad eficaz de bacteria Thiobacillus Ferrooxidans para oxidación ejemplares de azufre mermadas a sulfato, para transformar ion ferroso en ion férrico. Las bacterias poseen un punto isoeléctrico alrededor de 4.0 hasta 5.0 y prosperan en un rango de temperatura de 28 a 35 grados Celsius.

En cuanto al tratamiento de coagulación-floculación, coagulante que ha mostrado mejores hallazgos es aquel que posee exclusivamente cloruro férrico, ya que genera elevada reducción de MO. El empleo de coagulante que también contenga sulfato de aluminio es una novedad, por lo que se recomienda continuar analizando con él para conseguir hallazgos óptimos.

En los procedimientos de coagulación-floculación, se visualizada merma de cerca 55 % sólidos en suspensión en ejemplar de agua, detalla que los coagulantes son apropiados para mermar el parámetro, conforme Aliaga (2010).

Conforme Teca (2013), procedimiento coagulación/floculación implica eliminación de DQO además de partículas suspendidas por medio de añadidura de sustancias químicas (coagulantes). Se determinó que dosis pertinente para proceso se hallan en rango de 200 hasta 450 ppm de $Fe_2(SO_4)_3$ como coagulante asimismo 100 ppm de polímero aniónico de poliacrilamida como floculante. Mayores eliminaciones conseguidas fueron del 75,39 % para la DQO y del 55,48 % para turbidez, indica que ATA fueron más eficaces entre probados en análisis para tratamiento de LX.

4.1.3. Cinética y modelo matemático para procesamiento tratamiento de gases y LX producidos por RS de botadero de ciudad de Puno.

4.1.3.1. Curva de calibración para la cinética

Según la información recopilada y suministrada por medio de certificado de análisis de UCSM, se elabora curva de calibración.

Tabla 18
Información para curva calibración Fe

	Aglomeración Fe (ppm)	Absorbancia	Fe
Blanco	0	0	
Estándar 1	0,1	0,0393	
Estándar 2	0,2	0,0605	
Estándar 3	0,4	0,0895	
Estándar 4	0,8	0,1311	
Estándar 5	1,2	0,1581	

Fuente: Informe ensayo- UCSM

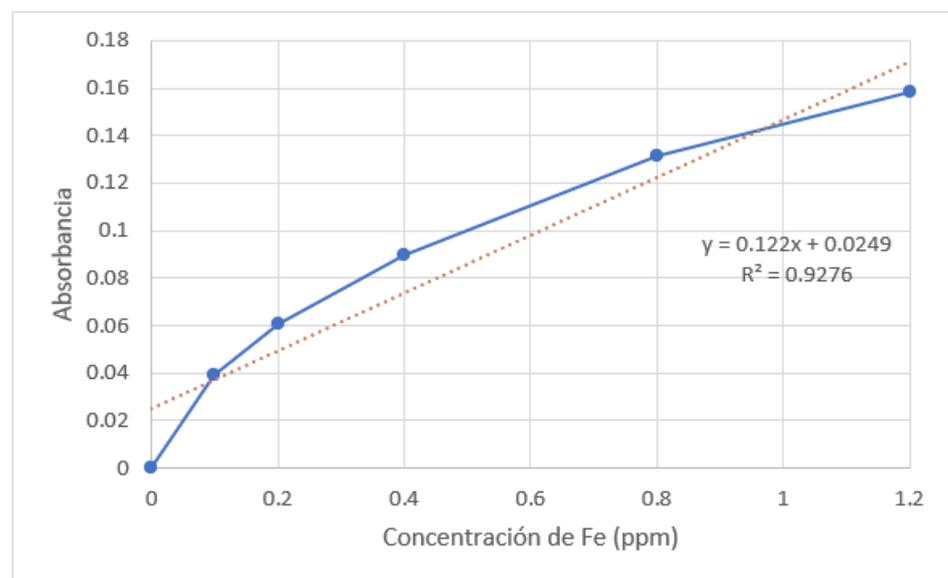


Figura 15. Curva calibración, línea tendencia de Fe

Representa curva de calibración y trazó línea de tendencia con fin de mostrar ecuación lineal además de valor de coeficiente de regresión lineal, que es del 92,76 %. Esto sugiere que procedimiento de recuperación de hierro es efectivo y se encuentra en parámetros esperados.

4.1.3.2. Eficiencia recuperación metales

Tabla 19

Valores eficiencia recuperación de hierro con dodecibencén Na_2SO_4

N° muestras	pH	Eficiencia recuperación hierro (%)
1	9	95,09
2	9,5	95,2
3	10	95,33
4	10,5	95,6
5	11	95,81
6	11,5	95,09

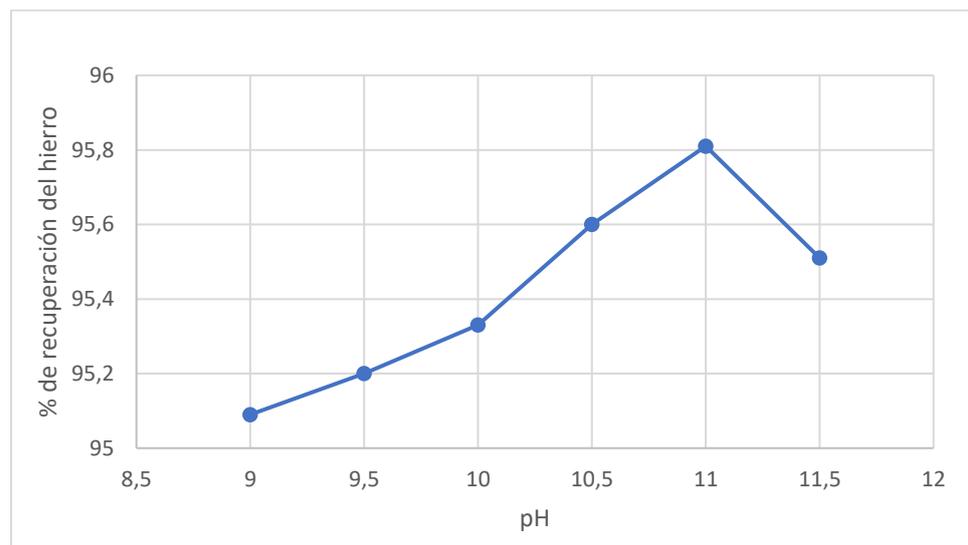


Figura 16. Eficiencia recuperación hierro con dodecil bencén Na_2SO_4 .

El método experimental de floculación-coagulación logra una recuperación de hierro del 95,11 %

4.1.3.3. Cuantía de gas que se produce descomposición constituyentes orgánicos

Un vertedero de desechos sólidos puede ser comparado con reactor bioquímico, donde agua además de residuos ingresan como componentes primordiales, mientras que los gases y el LX se generan como productos principales.

La cantidad de gases emitidos durante el proceso de descomposición anaeróbica se estimó para el CO₂ y el CH₄, y los detalles de las estimaciones se simbolizan en anexo 3.

a) Rápidamente descomponible MO

$$\text{CH}_4 = 1010,68 \text{ m}^3$$

$$\text{CO}_2 = 724,68 \text{ m}^3$$

b) Lentamente descomponible MO

$$\text{CH}_4 = 260,54 \text{ m}^3$$

$$\text{CO}_2 = 184,86 \text{ m}^3$$

Se han realizado los cálculos (anexo 3).

4.1.3.4. Determinación de modelo matemático

Es esencial asegurar una agitación adecuada tanto durante la dosificación de agente coagulante como durante proceso de formación además de crecimiento de flóculo. En estudio del LX, se investigó el efecto de la rapidez de agitación. En ambas situaciones, se mantuvieron constantes correspondientes circunstancias: un lapso de mezcla de 3 minutos además de aplicación de coagulante de 30 hasta 100 mg/L, mientras que rapidez de agitación se varió entre 20 y 100 rpm. Hallazgos mostraron una eliminación del 95,11 % del hierro (consultar tabla 6).

El tiempo necesario para la formación de flóculos fue 8,4 segundos cuando se utilizó dodecil bencén sulfato de sodio como floculante.

Procedimiento de coagulación está influenciado por varias características físico-químicas del LX, siendo el pH uno de los factores más significativos.

El pH, en conjunto con dosis de coagulante, son principales determinantes en proceso de coagulación, ya que afectan a todos los equilibrios de hidrólisis que ocurren debido a la adición de catión metálico.

La influencia del pH es crucial, ya que la adición del catión metálico tiende a reducir automáticamente el pH, con una mayor reducción a dosis más altas de coagulante y en elevada medida cuando alcalinidad de agua es baja.

Con el fin de comprender mejor influencia del pH en procedimiento de coagulación de LX de RS municipales, se llevó a cabo un modelo matemático mediante experimentación además de análisis estadístico. Conforme detalla en anexo 6, se encontró que un pH de 7.25 resultó en una elevada velocidad de eliminación de hierro (87.5 rpm) durante lapso de 12.5 minutos, con un rendimiento del 14.89 %.

La fórmula de regresión generada se ajusta a información experimental, proporcionando una descripción del sistema en análisis.

Validez de modelo de regresión matemático se confirma por concordancia entre valores predichos por modelo y hallazgos experimentales.

En consecuencia, se deduce que pH es variable con mayor influencia en procedimiento de erradicación de tensioactivo.

Coefficiente correlación $R^2 = 95,86$ lo que detalla que procedimiento de remoción de LX de RS de Puno se lleva a cabo de manera adecuada y precisa.

$$Y = 33.3133 - 0.0303*Velocidad - 0.826944*pH - 0.7655*Tiempo$$

4.1.3.5. Seguridad en su tratamiento

Se identifican la necesidad de implementar medidas correctivas en las actividades de segregación de RS realizadas por individuos del botadero de Cancharani en Puno. De igual modo, se evidencia la necesidad de tomar acciones correctivas en el proceso de recolección, aglomeración y peletización del plástico, lo cual requiere la intervención de Municipalidad de Puno. Previo a implementación de estas acciones correctivas, es crucial realizar una evaluación exhaustiva del riesgo asociado a movimientos repetitivos mediante el uso del Checklist Ocrá.



Durante la recolección de muestras de LX en periodos de lluvia y de sequía, se siguieron estrictamente las normas de seguridad e higiene, tal como se puede observar en las imágenes proporcionadas en el anexo 5.

CONCLUSIONES

- Caracterización de LX revela manifestación de hierro con concentración de 45 mg/L, MO con 82,5 mg/L además DQO con 2900 mg/L. Durante procedimiento de precipitación para recuperación de metal, se determinó que el dodecil bencén sulfato de sodio es el agente precipitante más eficaz, debido a la cantidad de iones H^+ presentes en su molécula. Es crucial mantener una agitación constante para garantizar una suspensión homogénea durante este proceso. Técnica de precipitación alcalina para erradicación de hierro del LX generado por RS de Puno ha arrojado resultados satisfactorios en términos de recuperación de hierro. En este proceso, se utilizó $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante además de dodecil bencén Na_2SO_4 como floculante. Se llega a concluir que pH es variable con mayor relevancia en proceso precipitación alcalina para recobro de hierro.
- El tratamiento del LX del botadero, que inicialmente contenía una concentración de hierro de 45 mg/L, mediante método de coagulación y floculación ha logrado recuperar concentración de 2,309 mg/L, con un rendimiento del 95,11%, utilizando dodecil bencén sulfato de sodio como floculante. Durante proceso recuperación de hierro por precipitación alcalina, se determinaron los parámetros físico-químicos óptimos, incluyendo velocidad de sacudida de 150 rpm, lapso de 12,5 minutos, y pH de 7,5, empleando $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante. La cantidad total de gases generados en el botadero ubicado en Cancharani-Puno es..:

$$CH_4 = 1271,22 \text{ m}^3$$

$$CO_2 = 909,54 \text{ m}^3$$

- Cinética proceso de tratamiento de LX revela que coeficiente de vinculación alcanzado fue del 95,86%, lo que sugiere que la eliminación del LX de RS de Puno se está efectuando de manera efectiva y adecuada. Esto se respalda con el correspondiente modelo matemático obtenido...

$$Y = 33.3133 - 0.0303 * \text{Velocidad} - 0.826944 * \text{pH} - 0.7655 * \text{Tiempo}$$



RECOMENDACIONES

- Es fundamental fomentar la adopción del método coagulación-floculación para recobro de metales pesados e implementación en distintos vertederos de RS urbanos de Puno.
- Se sugiere realizar una evaluación de viabilidad y compatibilidad de tratamiento por medio de coagulación-floculación seguido de tratamiento biológico posterior. Este último sería la alternativa con mayor probabilidad para descomponer fracción restante de MO en efluente tratado. Se recomienda realizar un análisis toxicidad y detección de compuestos orgánicos principales en efluente final para explorar probables composiciones de los tratamientos.
- Es aconsejable llevar a cabo estudios definitivos para la construcción de un vertedero sanitario controlado que aborde tanto la gestión de LX como la generación de gases. Esto permitiría aprovechar la cantidad de metano generado como una fuente de energía renovable.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliaga, S. (2010). *Aplicación del proceso Fenton y coagulación - floculación para la regeneración de aguas depuradas. (Proyecto de tesis)* (Universidad Técnica Industrial de Zaragoza). Universidad Técnica Industrial de Zaragoza, Zaragoza, España. Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/5122/files/TAZ-PFC-2010-193.pdf>
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. México D. F.: McGraw Hill Interamericana Editores S.A.
- Aziz, S. Q., Aziz, H. A., Yusoff, M. S., Bashir, M. J. K., & Umar, M. (2010). Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study. *Journal of Environmental Management*, 91(12), 2608–2614. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.042>
- Bautista, P., Mohedano, A. F., Gilarranz, M. A., Casas, J. A., & Rodriguez, J. J. (2007). Application of Fenton oxidation to cosmetic wastewaters treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 143(1–2), 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.004>
- Cabrera, X., Fleites, M., & Contreras, A. (2009). FLOCULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA TEXTIL " DESEMBARCO DEL GRANMA " A ESCALA DE Introducción. *Tecnología Química*, XXIX, núm, 64–73.
- Canepa, L., & Maldonado, V. (2004). *Tratamiento de agua para consumo Humano - Plantas de filtración Rápida, Manual Teoría*. Lima: CEPIS/OPS.
- Cárdenas, Y. A. (2000). *Tratamiento de agua, coagulación y floculación*. Lima: SEDAPAL.
- Carvajal, J. S. (2012). Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales. *Producción + Limpia*, 6(2), 92–107. Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/133/68>
- Castillo, M. (1994). *Diagnostico y carcterización de los líquidos percolados del botadero de basura Zámbez. Quito. (Tesis de maestría)*. Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador.



- Chávez, W. M. (2011). *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, México. (Tesis de maestría)* (Centro de Investigación en Materiales Avanzados). Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Chihuahua, México. Recuperado de [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/Wendy Margarita Chávez Montes MCTA.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/WendyMargaritaChavezMontesMCTA.pdf)
- Cheryan, M. (1988). Introduction, Membrane chemistry, structure and function, Membrane properties. En *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*. Pennsylvania: Technomic Publishing Company, Inc.
- Cobos, M., & Costa, M. (2011). *Lixiviado de residuos sólidos del relleno sanitario manual de Nauta y su genotoxicidad en Eisenia foetida "lombriz roja". (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, San Martín, Perú.
- Collazos, H. (2013). *Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios* (4ta Ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/473726957/Diseno-y-Operacion-de-Rellenos-Sanitarios-pdf>
- Colmenares, W., & Bonilla, S. (2007). *Generacion Y Manejo De Gases*. 1–33. Recuperado de <https://docplayer.es/350531-Generacion-y-manejo-de-gases-en-sitios-de-disposicion-final.html>
- Corbitt, R. A. (2003). *Manual de referencia de la ingeniería ambiental*. Madrid: McGraw Hill.
- Corena, M. (2008). *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios. (Tesis de grado)* (Universidad de Sucre). Universidad de Sucre, Sucre, Colombia. Recuperado de <http://www.ods.org.pe/material-de-consulta/37-sistemas-de-tratamientos-para-lixiviados-generados-en-rellenos-sanitarios-colombia/file>
- Desjardins, R. (1992). *Tratamiento del Agua*.
- Duncan, D., Harvey, F., Walker, M., & Quality, A. water. (2007). *Water and wastewater sampling*. Environment Protection Authority.
- Eckenfelder, W. (1989). *Industrial Water Pollution Control* (2da Ed.). New York: Mc



Graw Hill Interamericana Editores S.A.

- Ehrigh, H. (1992). *Cantidad y contenido de lixiviados de desechos domésticos*. Santiago: Proyecto CEPIS/GTZ.
- Enríquez, A., & Sánchez, J. M. (2006). *La norma OHSAS 18001: utilidad y aplicación práctica*. España: Fundación Confemetal.
- Garay, J., Panizzo, L., Lesmes, L., Ramirez, G., & Sanchez, J. (1993). *Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-Químicos y Contaminantes Marinos* (3ra Ed.). Cartagena: Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Recuperado de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas.pdf>
- García, M., Pardío, J., Arroyo, P., & Fernández, V. (2008). Dinámica familiar y su relación con hábitos alimentarios. *Estudios sobre las Culturas Contemporáneas*, XIV(27), 9–46. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/316/31602702.pdf>
- Giraldo, E. (1997). *Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios por osmosis inversa*. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Halim, A. A., Aziz, H. A., Johari, M. A. M., & Ariffin, K. S. (2010). Comparison study of ammonia and COD adsorption on zeolite, activated carbon and composite materials in landfill leachate treatment. *Desalination*, 262(1–3), 31–35. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.036>
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). *Tratamiento y eliminación de lixiviados*. Ingeniería Ambiental. Mexico D.F.: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- Hernández, A. (1994). *Depuración de aguas residuales* (3a ed.). Suniman: Editora Paramimbo.
- Huerga, E. (2005). *Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnologías limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes. (Tesis doctoral)* (Universitat de Valencia). Universitat de Valencia, Valencia, España. Recuperado de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/9490/huerga.pdf>

- Irwin, T. (2008). *Floculadores, fundamentos "Engineer's Guide to Water and Wastewater*. Philadelphia: Mixers.
- Jiang, W., Zhang, W., Li, B., Duan, J., Lv, Y., Liu, W., & Ying, W. (2011). Combined fenton oxidation and biological activated carbon process for recycling of coking plant effluent. *Journal of Hazardous Materials*, 189(1–2), 308–314. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.037>
- Krishnan, K. A., & Anirudhan, T. S. (2002). Uptake of Heavy Metals in Batch Systems by Sulfurized Steam Activated Carbon Prepared from Sugarcane Bagasse Pith. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 41(20), 5085–5093. <https://doi.org/10.1021/ie0110181>
- Ley N° 27314. (2000). *Ley General de Residuos Sólidos*. Lima: Ministerio del Ambiente. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-residuos-solidos>
- López, L. D. (2011). *Diagnóstico, caracterización y propuesta de tratamiento de lixiviados generaos en el relleno sanitario de la ciudad de Ambato. (Tesis de grado)*. Universidad de Cantabria, Santander, España.
- Mackenzier, D. L. (2005). *Ingeniería y ciencias ambientales*. Madrid: Mc Graw Hill Interamericana Editores S.A. Recuperado de <https://libreria.tirant.com/es/libro/ingenieria-y-ciencias-ambientales-9789701049785>
- Mendez, J. D. (2008). *Eliminación del surfactante dodecibencensulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y fotooxidación. (Tesis doctoral)* (Universidad de Granada). Universidad de Granada, Granada, España. Recuperado de <https://digibug.ugr.es/handle/10481/1916>
- Méndez, R. I., Pietrogiovanna, J. A., Santos, B., Sauri, M. R., Giácoman, G., & Castillo, E. R. (2010). Determinación de la dosis óptima de reactivo fenton en un tratamiento de lixiviados por fenton-adsorción. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 26(3), 211–220.
- Menendez, C., & Perez, J. M. (2013). Procesos para el tratamiento biologico de aguas residuales industriales. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

- Montenegro, R. R. (2015). *Evaluación de la incidencia en el medio ambiente entre un detergente líquido biodegradable y varios detergentes convencionales en máquinas de lavado industrial. (Tesis de pregrado)* (Universidad Tecnológica Equinoccial). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/5839>
- Morais, V. (2010). *Na Usina De Triagem E Compostagem De Resíduos Sólidos Em Turvolândia – Mg Na Usina De Triagem E Compostagem De Resíduos Sólidos Em Turvolândia – Mg. (Tesis de maestría)*. University José do Rosário Vellano, Alfenas, Brazil.
- Murguia, M. C., Cabrera, M. I., Guastavino, J. F., & Grau, R. J. A. (2005). New oligomeric surfactants with multiple-ring spacers: Synthesis and tensioactive properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 262, 1–3. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11336/26623>
- Myers, D. (2006). *Myers (2006) - Surfactant science and technology* (3ra Ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Recuperado de <http://press.crosa.com.tw/wp-content/uploads/2016/11/Surfactant-Science-and-Technology-Third-Edition.pdf>
- Oyama, T., Aoshima, A., Horikoshi, S., Hidaka, H., Zhao, J., & Serpone, N. (2004). Fotocatálisis solar, fotodegradación de un detergente comercial en dispersiones acuosas de TiO₂ bajo irradiación solar. *Solar Energy*, 77(5), 525–532. <https://doi.org/0.1016/j.solener.2004.04.020>
- Parra, C. P. (2006). *Digestión anaerobia del lixiviado de residuos sólidos. Quito. (Tesis de maestría)*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Pellón, A., López, M., Espinosa, M. del C., & Escobedo, R. (2009). Tecnología para el tratamiento de lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos. *Tecnología Química*, XXIX, XXIX. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543761014.pdf>
- Qiang, Z., Chang, J.-H., & Huang, C.-P. (2003). Electrochemical regeneration of Fe²⁺ in Fenton oxidation processes. *Water Research*, 37(6), 1308–1319. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00461-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00461-X)
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & 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>
- Richter, C., & Canepa, L. (1992). *Manual Diseño, criterios para el diseño de Flocculadores y sedimentadores*. Lima: CEPIS, Perú.
- Rodrigo, J., & Rodrigo, M. E. (2014). Desarrollo y aplicación de modelos de evaluación de la producción de lixiviados en vertederos de residuos sólidos urbanos. *Paramedicine*, 1–2. <https://doi.org/10.13140/2.1.2475.4564>
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. M. (1997). Informe de vigilancia tecnológica: Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. *Proceedings of the Air & Waste Management Association's Annual Meeting & Exhibition*.
- Stechemesser, H., & Dobiáš, B. (2005). Coagulation and flocculation. *Coagulation and Flocculation, Second Edition*, 1–862. <https://doi.org/10.1680/bwtse.63341.061>
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1996). *Gestión Integral de Residuos Sólidos* (Vol. I y V). Madrid: Mc Graw Hill Interamericana Editores S.A.
- Tchobanoglous, George. (1994). *Gestión integral de residuos solidos*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de http://virtual.urbe.edu/librotexto/363_728_5_TCH_1/indice.pdf
- Teca, D. E. (2013). *Estudio De Seleccion De Aditivos Tensoactivos Para El Tratamiento De Los Lixiviados Generados En El Relleno Sanitario Del Canton Antonio Ante, Provincia De Imbabura. (Tesis de grado)* (Universidad Central del Ecuador). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjAg72-IKb0AhXBSzABHddsCJEQFnoECAMQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.dspace.uce.edu.ec%2Fbitstream%2F25000%2F1993%2F1%2FT-UCE-0012-268.pdf&usg=AOvVaw33nBLisR_IBmDsFCaeTcFn
- UNEP. (2016). Industria Turística. *Estudios Industriales*, 1–41.
- Wehenpohi, G., López, A., Sánchez, R., & Reyes, O. (2006). *Guía para la elaboración*



de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Recuperado

de

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10647/Astorga_Capajaña_Elvis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ziyang, L., Youcai, Z., Tao, Y., Yu, S., Huili, C., Nanwen, Z., & Renhua, H. (2009). Natural attenuation and characterization of contaminants composition in landfill leachate under different disposing ages. *Science of The Total Environment*, 407(10), 3385–3391. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.01.028>

ANEXOS

Anexo 1. Marco Legal

- Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM)
- Ley General de residuos sólidos. No 27314; emitida el 21 de julio del 2000.
- Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, aprobado mediante Decreto Legislativo No. 613.
- Reglamento para el Control Sanitario de las Playas y Establecimientos Conexos, Decreto Supremo No 98-60-DGS, del 7 de octubre de 1960.
- Reglamento para la disposición de basuras mediante el empleo del método del relleno sanitario, Decreto Supremo No 6-STN, del 9 de noviembre de 1964.
- Reglamento de inocuidad del agua y alimentos y del tratamiento de desechos en el transporte nacional e internacional. Decreto Supremo No 012-77-SA, del 13 de octubre de 1977.
- Reglamento de Aseo Urbano, Decreto-Supremo No 033-81-S A, del 9 de diciembre de 1981, modificado por el Decreto Supremo No 037-83-SA, del 28 de septiembre de 1983.
- Normas a las cuales se ceñirá la crianza y/o engorde de cerdos desde el punto de vista sanitario, Decreto Supremo No 034-85-SA, del 25 de julio de 1985.
- Resolución Ministerial NQ 535-97-SA/DM, Código de Principios Generales de Higiene.
- Decreto Supremo No 88-67-DCS, Reglamento para apertura y control sanitario de plantas industriales de conformidad con el artículo No 160 del título "X" de la ley No 13270 de promoción industrial.
- Decreto Supremo No 034-85-SA, Reglamento de Aseo Urbano.
- Anteproyecto de Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Residuos Peligrosos, del 3 de julio del 2002.

Anexo 2. Tablas resultados

Tabla 20

Constituyentes orgánicos biodegradables rápido además lentamente en RSM.

Componentes desechos orgánicos	Rápidamente biodegradable	Lentamente biodegradable
Desechos comida		
Diarios		
Papel oficina		
Cartón	Si	
Plásticos	Si	Si
Textil	Si	Si
Goma	Si	Si
Cuero		Si
Desechos jardín		Si
Madera		Si

Fuente: Tchobanoglous G. –Theisen H. (1997) “Gestión Integral de Residuos Sólidos”

Anexo 3. Estimaciones proyectadas población Puno

Es de gran relevancia estimar población futura de comunidad al menos para los próximos 5 hasta 10 años, con el propósito de estimar cuantía de RS que se deberán disponer día a día y además por año a lo extenso del período de vida útil de botadero. Tabla 21 proporciona la información básica al respecto.

Para proyectar la población, se empleó modelo de crecimiento geométrico, con puntaje porcentual de desarrollo de 1,3% por año (índice crecimiento para Puno conforme INEI). La correspondiente ecuación ayuda estimar requerimientos para siguientes 10 años.

$$Pf = Po (1 + r)^n \quad \text{Ec. 1}$$

En la cual:

Pf = Futura Población

Po = Actual Población

r = Tasa crecimiento de población

n = (t final – t inicial) intervalo años

t = variable tiempo (en años)

- Año Primero $P_1 = 139\,816$
- Año Segundo $P_2 = 139\,816 (1+0,013)^1 = 141\,634$
- Año Tercero $P_3 = 139\,816 (1+0,013)^2 = 143\,475$

Tabla 21 se detalla total proyección de población.

Tabla 21

Proyección población de Puno

Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Población (hab)	139 816	141634	143475	145340	147229	149143	151082	153046	155036	157051

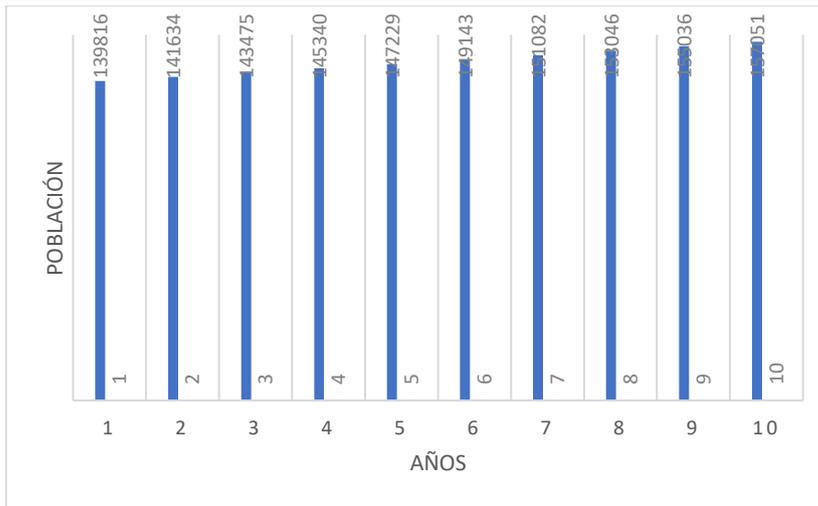


Figura 17. Proyección población de Puno

1. GENERACIÓN RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES (RSM)

a) Análisis creación RSM se efectuó detallando parámetros definidos por CONAM en su Guía para Formulación de Planes Integrales de Gestión de Residuos Sólidos (PIGARS), con adaptaciones realizadas para ajustarse a condiciones específicas detalladas y proporcionadas por INEI.

- Poblacion 2017 = 139 816
- Producción percapita de RS (PPC) = 0,67 kg
- Cuantía general RSM

$$\text{RSM} = \text{Población} \times \text{PPC}$$

$$\text{RSM} = 139\ 816 \text{ hab.} \times 0,67 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

$$\text{RSM} = 93677 \text{ kg/día}$$

2. GENERACIÓN RS DE CIUDAD DE PUNO

Estimación de producción de desechos en sector residencial es predominantemente importante en Puno, ya que las demás actividades son incipientes y su contribución a la cantidad total de residuos sólidos municipales (RSM) no es significativa, excepto en los casos de los mercados y la afluencia de visitantes, particularmente en áreas turísticas.

Es esencial estimar la cantidad de desechos que la población genera utilizando producción per cápita. Esta información sobre cantidad de RS producidos y recolectados en Puno es fundamental para determinar la eficacia del programa general de gestión de RS, que

abarca aspectos como el almacenamiento, la recolección, la transferencia, las oportunidades de reutilización además de disposición final.

Tabla 22
conformación RS de Puno

COMPONENTES	Residen. RS Ton/día	Comerc. RS Ton/día	Rest.. RS Ton/día	Educa. RS Ton/día	Mercados RS Ton/día	Barrido Calles Ton/día	Hospit. RS Ton/día	TOTAL RS Ton/día
ORGÁNICOS								
Desechos Comida	3,7	2,5	3,5	2,4	4,0	7,3	2,67	26,17
Papel	1,32	1,2	1,4	0,1	0,5	0,5	0,5	5,52
Cartón	2,5	2,01	1,51	1,0	1,4	1,0	2,1	11,52
Plástico	2,5	3,5	2,07	1,2	1,2	2,5	1,19	14,16
Textil	0,85	0,68	0,34	0	0,5	0,3	0,73	3,40
Madera	0,6	0,57	0	0	0,82	0,44	0	2,43
INORGÁNICOS								
Vidrio	2,15	2,5	2,5	0,32	0,11	0	2,5	10,08
Latas hojalata	0,4	0,05	0,4	1,4	0,05	1,4	1,34	5,04
Aluminio	0,24	2,4	0	0	0	0	0	2,64
Otros Metales	0,71	0,92	0	0	0	0,05	0	1,68
Cenizas, Suciedad, etc	1,05	2,5	3,5	2,4	0,24	1,35	0	11,04
Total	16,02	18,83	15,22	8,82	8,82	14,84	11,03	93,67

Un factor esencial para planificar adecuadamente procesos de almacenaje, recogida, reutilización además de final disposición en PPC. El indicador relaciona cuantía de población con tareas comerciales, entidades, de educación además de limpieza pública.

Tabla 22 proporciona elemento de producción por actividad y creación total de RS de Puno, los cuales serán estimados durante desarrollo del análisis.

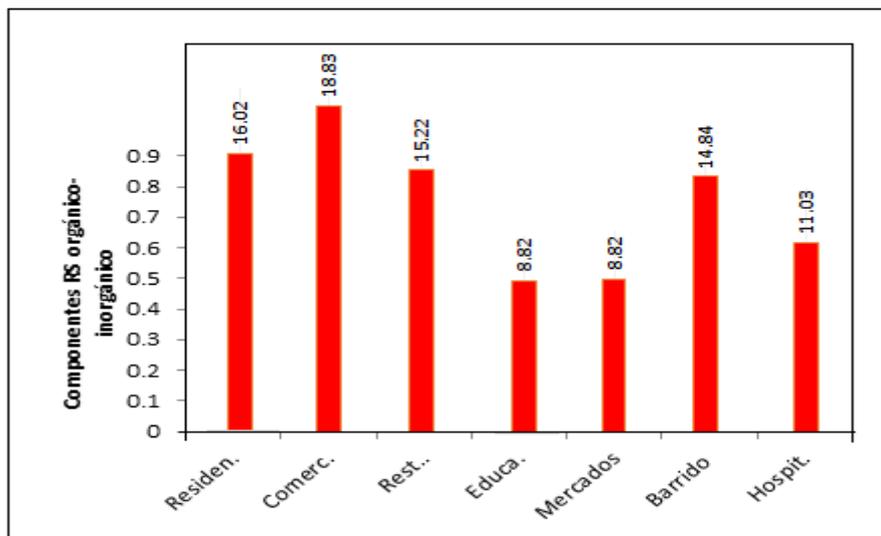


Figura 18. Conformación de RS de la ciudad de Puno

3. DENSIDAD

La densidad, que es la relación entre el peso y el volumen de los residuos sólidos (kg/m³), es un factor crucial para determinar la capacidad de carga de sistemas de disposición final de residuos. Para establecer la densidad de los residuos en Puno, se sigue el correspondiente procedimiento:

- Se utiliza recipiente cilíndrico con una capacidad de 200 litros.
- Se selecciona una bolsa previamente registrada además pesada al azar, y vacía su contenido en cilindro. Este proceso se repite hasta que cilindro esté lleno.
- Se mide la altura libre, la altura total de cilindro además de diámetro, y anota estos datos para calcular la densidad de desechos sueltos.
- Se levanta ligeramente cilindro y se deja caer, luego se compacta lo más probable con un pisón u otro elemento semejante.
- Se mide nuevamente altura libre, altura general de cilindro además de diámetro, y se anota para calcular la densidad de desechos compactados.
- Se repite este proceso con la totalidad de muestras disponibles.
- Densidad se calcula utilizando fórmula proporcionada.

Densidad, o peso volumétrico, de Residuos Sólidos Municipales (RSM) es un parámetro crucial en diseño de sistemas final disposición de desechos. En región, los valores densidad para la basura suelta oscilan entre 300 y 600 kilogramos por metro cúbico, lo que indica que son superiores que los valores típicos en naciones industrializadas.

Se calcula densidad de RS urbanos en Puno siguiendo el siguiente procedimiento:

$$\rho = \frac{m}{v} = S$$

En el cual:

Masa RSM=93677 kg

Volumen = 169,84 m³

Densidad =?

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{kg}{m^3} \quad \text{Ec.3}$$

$$\rho = \frac{93677 \text{ kg}}{169,84 \text{ m}^3} = 551,53 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

4. PPC DE RS PROYECTADO (PPC)

La cuantía de RS generados diariamente por población de 9800 habitantes de Puno, cuya producción se estimó e:

$$ppc = \frac{\text{Cantidad de residuos}}{\text{población}} \quad \text{Ec.4}$$

$$ppc = \frac{93677 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{139\ 816 \text{ habitantes}} = 0,670 \text{ kg/hab. día}$$

$$ppc_1 = 0,670 \text{ kg/día}$$

$$ppc = ppc_1 + (1 \%) \quad \text{Ec.5}$$

Utilizando fórmula 5, realiza proyección de desechos PC para próximos 10 años. Se prevé que PPC acrecentará en un 1% cada año. Por lo tanto, para el segundo, tercer año, etc. se llevará a cabo la proyección correspondiente:

$$ppc_2 = ppc_1 + (1 \%) = 0,670 \times (1,01) = 0,6767 \text{ kg/hab/día}$$

$$ppc_3 = 0,6767 + (1 \%) = 0,6767 \times (1,01) = 0,6834 \text{ kg/hab/día}$$

Y de manera continua se procede a calcular para periodos siguientes (columna 2 tabla 23). Creación por año obtiene al multiplicar producción diaria de RS (ppc) por 365 días.

$$DSd = \frac{0,670 \text{ kg}}{\text{hab} - \text{día}} * 139\ 816 \text{ hab} = 93676,72 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Información proyectada se visualizan en tabla 23, columnas 3, 4 además de 5

Tabla 23
Generación RS de Puno

Año	Población (hab)	PPC kg/hab-día	CUANTÍA DE RS		
			kg /día Diaria	Ton Anual	Ton/año Acumulado
			3	4	5
2017	139816	0,6700	93677	34189,55	34189,55
2018	141634	0,6834	96792	35329,32	69518,87
2019	143475	0,6902	99026	36144,65	105663,52
2020	145340	0,6971	101314	36980,52	142644,05
2021	147229	0,7041	103663	37837,33	180481,38
2022	149143	0,7111	106057	38710,29	219191,67
2023	151082	0,7182	108502	39605,08	258796,75
2024	153046	0,7254	111014	40522,14	299318,89
2025	155046	0,7327	113603	41464,80	340783,69
2026	157051	0,7400	116215	42419,47	383203,16

5. VOLUMEN DE RS

Con base en información proporcionada en tabla 23, se determinó volumen total RS de Puno. Este volumen total de residuos sólidos es crucial para planificar adecuadamente las rutas de recolección, la frecuencia y cantidad de unidades de recogida, así como cantidad y la capacidad de los contenedores necesarios. Además, es fundamental para diseñar la infraestructura requerida para la disposición final de los residuos, calcular la vida útil de relleno sanitario a elaborar y determinar el área necesaria.

Columna 6 de tabla 24 se calculó considerando densidad además de masa diaria, conforme a:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{m}{\rho}$$

$$v = \frac{93677 \text{ Kg/día}}{551,53 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 169,84 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

6. MATERIAL DE COBERTURA

Se refiere a tierra requerida para cubrir residuos compactados recientemente, calculada como el 20% del volumen de basura compactada recientemente (según la fórmula 6, columna 7 tabla 24):

$$m. c. = V_{\text{diario compactado}} \times (0,20 \text{ ó } 0,25) \quad \text{Ec.6}$$

- Año primero $m. c. = 169,84 \times 0,20 = 33,97$
- Año segundo $m.c. = 33,97 \times 1,01 = 34,31$

Asimismo, se genera proyección para correspondientes años.

Tabla 24
Generación volumen de RS de Puno

Año	VOLUMEN RS					
	Compactados			Botadero		
	Diario	m.c.	Anual	m.c.	(DS+ m.c.)	Acumulado
	m ³	m ³ /día	m ³	m ³ /año	Anual (m ³ /año)	m ³
6	7	8	9	10	11	
2017	169,84	33,97	61991,6	511,00	3027.63	61991,6
2018	175,49	34,31	64053,85	514,65	5604.13	126045,45
2019	179,54	34,65	65532,10	525,60	8245.94	191577,55
2020	183,69	34,99	67046,85	536,55	10938.52	258624,40
2021	187,95	35,34	68601,75	551,15	13150.69	327226,15
2022	192,29	35,70	70185,85	562,10	15959.24	397412,00
2023	196,72	36,06	71802,80	573,05	19402.49	469214,80
2024	201,28	36,42	73467,20	584,00	22347.09	542682,00
2025	205,97	36,78	75179,05	598,60	25358.81	617861,05
2026	210,71	37,15	76909,15	613,20	28443.05	694770,20

7. PROPIEDADES QUÍMICAS

El conocimiento de composición química de elementos presentes en RS resulta fundamental para valorar posibles estrategias de procesamiento asimismo recuperación en el futuro.

1. Composición química

Utilizando composición elemental de RS de Puno como referencia, se ha obtenido composición química necesaria para analizar opciones de procesamiento además recuperación. Para realizar estos cálculos, se emplearon las fórmulas empíricas detalladas en página 24. (Tchobanoglous G. –Theisen H. 1997).

Formulas químicas empíricas de totalidad RS producidos

Formula química con azufre

Sin agua **C₅₈₆ H₉₃₄ O₂₄₈ N₁₂ S** (estimación base seca)

C ₅₈₆	H ₉₃₄	O ₂₄₈	N ₁₂	S	P.A.
					32 x 1 = 32
					14 x 12 = 168
					16 x 248 = 3968
					1 x 934 = 934
					12 x 586 = 7032

					12134 kg

Generan estimaciones para indicar composición química de RS municipales con información de tabla 25 peso seco (kg/día), la composición rápida y lentamente descomponible de cada elemento de RS se detalla en tabla 26.

- Carbono en desechos de comida

12134 kg ----- 7032 kg de C

264 kg ----- X

$$X = \frac{7032 * 264}{12134}$$

X= 152.99 kg de C

- Carbono en cartón

12134 kg ----- 7032 kg

264 kg ----- X

$$X = \frac{7032 * 264}{12134}$$

X= 250,35 kg

Asimismo se estiman elementos orgánicos además de inorgánicos en kg.

Tabla 25
Conformación química base seca

COMPONENTES	Peso Húmedo kg/día	Peso Seco kg/día	Conformación kg				
			C	H	O	N	S
ORGÁNICOS							
desechos Comida	880	264	152,99	20,32	86,33	3,65	0,69
Cartón	460	432	250,35	33,25	141,27	5,98	1,14
Papel	970	921	533,74	70,89	301,18	12,75	2,43
Plásticos	310	304	176,18	23,40	99,41	4,209	0,80
Textiles	100	90	52,16	6,93	29,43	1,246	0,24
Madera	50	40	23,18	3,08	13,08	0,55	0,11
Sub total	2770	2052	1188,61	157,87	670,71	28,39	5,41
INORGÁNICOS							
Vidrio	190	186	107,79	14,32	60,82	2,57	0,491
Latas hojalata	210	204	118,23	15,70	66,71	2,82	0,538
Aluminio	110	108	62,59	8,31	35,32	1,49	0,285
Otros Metales	70	68	39,41	5,23	22,24	0,94	0,179
Cenizas, Suciedad, etc.	460	423	245,14	32,56	138,33	5,86	1,115
Sub total	1040	989	573,16	76,12	323,42	13,68	2,608
Total	3810	3016	1747,86	232,15	986,28	41,76	7,954

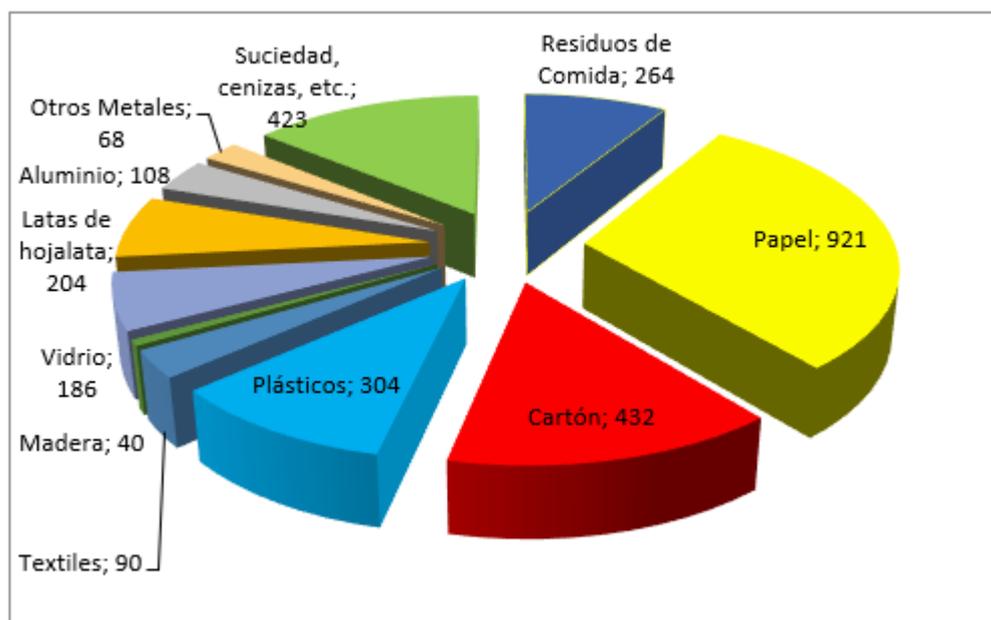


Figura 19. Conformación física de RS en base seca

Composición molar de elementos de descomposición lenta y rápida se calcula para establecer fórmulas químicas sin azufre, utilizando tabla 25

Tabla 26

Elementos de RSM de forma además lentamente descomponibles

COMPONENTES	Peso Seco kg/día	Conformación kg				
		C	H	O	N	S
Descomponible de forma rápida						
Desechos Comida	264	152,99	20,3210	86,3319	3,6551	0,69622
Cartón	432	250,35	33,2526	141,270	5,9812	1,13927
Papel	921	533,74	70,8928	301,180	12,751	2,42887
Total	1613	937,097	124,466	528,783	22,388	4,26438
Lentamente descomponible						
Plásticos	304	176,18	23,40	99,41	4,209	0,80
Textiles	90	52,16	6,93	29,43	1,246	0,24
Madera	20	23,18	3,08	13,08	0,55	0,11
Total	414	251,52	33,41	141,92	6,005	1,15

Para cálculos de composición molar emplea.

$$n = \frac{m}{P.M.}$$

En el cual:

n = cantidad moles

m = masa en g

P.M. = peso molecular

1. Realizan estimaciones correspondientes para diversos elementos, como por ejemplo carbono descomponible lentamente, para el cual se llevan a cabo los siguientes pasos:

$$n = \frac{251}{12,01} = 20,94$$

2. Se procede con cálculo de composición molar de restantes elementos, cuales se encuentran especificados en tabla 27.

Tabla 27
Conformación molar de elementos

	C	H	O	N	S
g/mol	12,01	1,01	16	14,01	32,06
Rápidamente descomponible	78,026	123,233	33,048	1,598	0,133
Lentamente descomponible	20,94	33,079	8,870	0,428	0,035

Las tablas siguientes que detallan la fracción orgánica son de suma importancia, ya que con la información obtenida en estas tablas se podrá calcular fórmula empírica de RSy la cuantía de gas que producirán. (Tabla 28)

Tabla 28
Cálculos determinar relaciones normalizadas

Componente	Relación mol (nitrógeno =1)	
	Descomponible Rápido	Descomponible Lentamente
C	48,827	48,925
H	77,117	77,287
O	20,680	20,724
N	1,0	1,0

3. Estimaciones se efectuado con información de tabla 3.11 de correspondiente forma:

Para carbono se posee:

$$c = \frac{\text{Peso del carbono } \left(\frac{g}{mol}\right)}{\text{Peso dl nitrogeno } \left(\frac{g}{mol}\right)} = \frac{78,026}{1,598} = 48,827$$

De forma similar, se realizan los cálculos para los otros componentes, los cuales están especificados en la tabla 14, a partir de la cual se derivan correspondientes fórmulas.

4. Formulas químicas sin azufre:

Descomponible Rápidamente $C_{48,827}H_{77,117}O_{20,680}N$

Descomponible Lentamente $C_{48,925}H_{77,724}O_{20,724}N$

Formulas químicas a emplear:

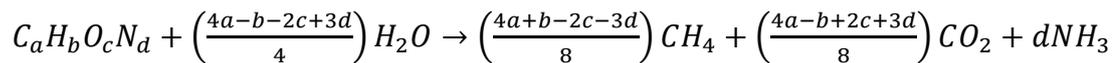
Descomponible Rápidamente $C_{49}H_{77}O_{21}N$

Descomponible Lentamente $C_{49}H_{78}O_{21}N$

8. CUANTÍA DE GAS QUE ELABORA DESCOMPOSICIÓN DE CONSTITUYENTES ORGÁNICOS

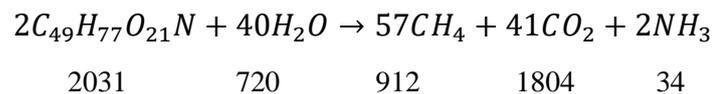
Se considera un relleno sanitario de RS como tipo de reactor bioquímico, donde desechos y agua son las primordiales entradas, además gases del vertedero y el LX son las salidas principales.

El volumen de gases generados en descomposición anaerobia se llega a estimar utilizando una generalizada fórmula de $C_aH_bO_cN_d$, y luego se estimó volumen total de gas empleando la correspondiente ecuación, asumiendo que desechos orgánicos biodegradables se convierten completamente en CO_2 además de CH_4 .



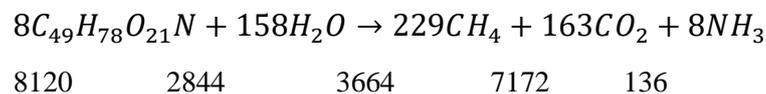
8.1. Estimación rápidamente descomponible de RS

Para cálculos se empleó la correspondiente ecuación.



8.2. Estimación lentamente descomponible de RS

Para estimaciones se empleó la correspondiente ecuación.



8.3. Estimación volumen de metano y CO2 generado.

Se detalló gases de metano y CO2 de correspondiente forma:

Los pesos específicos son:

$$CH_4 = 0,717 \text{ kg/m}^3$$

$$CO_2 = 1,978 \text{ kg/m}^3$$

c) Descomponible Rápidamente de MO

$$\text{Metano} = \frac{(912 \text{ kg})(1613 \text{ kg})}{(2030 \text{ kg})(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 1010,68 \text{ m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(1804 \text{ kg})(1613 \text{ kg})}{(2030 \text{ kg})(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 724,68 \text{ m}^3$$

d) Descomponible Lentamente de MO

$$\text{Metano} = \frac{(3664 \text{ kg})(414 \text{ kg})}{(8120 \text{ kg})(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 260,54 \text{ m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(7172 \text{ kg})(414 \text{ kg})}{(8120 \text{ kg})(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 184,86 \text{ m}^3$$

9. COMPOSICIÓN Y FORMACIÓN DE CONTROL LX EN VERTEDERO

El LX es un líquido que se llega a filtrar por medio de RS además de extraer materiales suspensión o disueltos. En gran parte de rellenos sanitarios, el LX se compone principalmente del líquido que ingresa al vertedero desde externas fuentes, puntualmente el agua proveniente de humedad de residuos, lluvia asimismo infiltraciones hacia celda de disposición. La cuantía de LX está principalmente determinada por precipitación pluvial. Tanto escorrentía como lluvias que llegan a caer sobre área de vertedero contribuyen a su generación, ya sea mediante precipitación directa sobre desechos depositados o mediante acrecentamiento de infiltración por medio de grietas en terreno.

En regiones con clima lluvioso, el agua se infiltra en celdas de los rellenos sanitarios, saturando desechos confinados además generando LX con elevadas aglomeraciones de elementos contaminantes.

Para estimar generación de lixiviados, se empleó una tabla desarrollada por Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica (DED), que proporciona datos sobre la producción de aguas LX en diferentes situaciones.

Tabla 29
Elaboración de aguas LX en relleno sanitario

Clase relleno	Generación aguas LX (% precipitación)	Generación aguas LX		
		Precipitación 700 mm/año	Precipitación 1500 mm/año	Precipitación 3000 mm/año
Manual	60	11,51	24,66	49,32
Compactado por maquinaria liviana	40	7,67	16,44	32,88
Compactado por maquinaria pesada	25	4,79	10,27	20,55

Fuente: Servicio Alemán de Cooperación Social – Técnica DED 2011

- La estimación del volumen de lixiviado se basó en el puntaje porcentual de lluvia y se calculó mediante un elemento de generación expresado en metros cúbicos por año.
- Precipitación por año en Puno : 638,4 mm

- Zona por año del relleno (Has) : = (1312,00 m²)
- Tipo relleno en Puno: Relleno manual

- Estimación lixiviado

- a) Precipitación pluvial x % de la precipitación (dato de tabla 29)

$$638.4 \text{ mm} \times 0,60 = 383,04 \text{ mm}$$

- b) (a) x (el área calculado)

$$383,04 \text{ mm} \times 1311.97 \text{ m}^2 = 502,53 \text{ m}^3/\text{año}$$

Cantidad de lixiviado= 502,53 m³/año

- La eficiencia de recuperación de hierro se estimó con correspondiente ecuación:

$$\% = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

En el cual:

Ci= concentración inicial de metal en agua

Cf= concentración final de metal en agua posterior de precipitación alcalina

Como:

Ci de hierro = 45 mg/L

Cf conforme Tabla 19 tratado con Ca(OH)₂

$$\% = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

$$1. \quad \% = \frac{45 - 2.825}{45} \times 100 = 94,35$$

$$2. \quad \% = \frac{45 - 2,63}{45} \times 100 = 97,70$$



$$3. \quad \% = \frac{45-2,209}{45} \times 100 = 95,09$$

$$4. \quad \% = \frac{45-2,160}{45} \times 100 = 95,20$$

$$5. \quad \% = \frac{45-2,101}{45} \times 100 = 95,33$$

$$6. \quad \% = \frac{45-1,980}{45} \times 100 = 95,60$$

$$7. \quad \% = \frac{45-1,885}{45} \times 100 = 95,81$$

$$8. \quad \% = \frac{45-2,020}{45} \times 100 = 95,51$$

Anexo 4. Otros

Check List OCRA

El Check List OCRA es un recurso diseñado para evaluar el peligro vinculado a la labor repetitiva, especialmente enfocado en los trastornos músculo-esqueléticos en los miembros superiores del cuerpo.

Derivado de método **OCRA** generado por autores mismos, este método se centra en medir la posibilidad de presencia de trastornos músculo-esqueléticos en un periodo puntual, considerando factores como repetitividad, posturas no adecuadas, fuerzas aplicadas, forzados movimientos y escasos de descansos o lapsos de recuperación, a lo extenso del tiempo de tareas del colaborador. Asimismo, toma en cuenta demás factores que influyen como vibraciones, exposición al frío y ritmos de labores.

Sin embargo, aplicación de método OCRA puede resultar compleja y laboriosa debido al grado de detalle de hallazgos y la cantidad de información necesaria para llevar a cabo los cálculos requeridos. En contraste, el Check List OCRA, una versión abreviada del método OCRA, permite obtener una evaluación básica del riesgo por movimientos repetitivos de los miembros superiores con menos esfuerzo, proporcionando una indicación inicial del riesgo y señalando la necesidad de realizar estudios más detallados si es necesario. Se ha observado una alta correlación entre hallazgos conseguidos por ambos métodos, lo que ha llevado a que el Check List OCRA sea considerado el recurso más pertinente para una primera valoración de riesgo, como se establece en norma ISO/NP TR 12295.

Características

El método Check List OCRA lleva a cabo minucioso análisis de elementos de peligro vinculados al puesto de labores. Para determinar grado de peligro, se examinan individualmente los diversos elementos de riesgo, considerando el tiempo durante el cual cada uno está presente en la tarea en relación con el tiempo total. Cada factor de riesgo se evalúa en base a escalas que pueden variar, comúnmente entre 1 y 10, aunque algunas pueden tener valores más altos. A partir de puntuaciones de estos factores se calcula Índice Check List OCRA (ICKL), una medida numérica que ayuda a categorizar peligro como Óptimo, Aceptable, Muy Ligero, Ligero, Medio o Alto. Esta categorización orienta la implementación de acciones correctivas, como optimizaciones en puesto, supervisión médica o formación puntual para colaboradores.

En generales términos, método valora peligro de puestos basándose en ocupación estándar de 8 horas por labores (peligro de puesto a completa jornada). No obstante, dado que un colaborador puede ocupar el puesto por menos horas, trabajar en diversos puestos en jornada o rotación entre diversos puestos, se puede estimar peligro al que se halla expuesto colaborador ponderando el peligro de cada puesto por el tiempo dedicado a cada uno. Por lo tanto, el método permite evaluar el riesgo asociado a un puesto individual, a un conjunto de puestos y, por ende, el riesgo de exposición para un trabajador que ocupa un solo puesto o que rota entre varios puestos.

El método Check List OCRA concede una importancia fundamental al tiempo. La evaluación del riesgo se basa en el tiempo durante el cual los elementos de peligro están presentes en actividades efectuadas en puesto. Además, se reconoce que no la totalidad

de desempeñadas en puesto son requeridamente repetitivas, por lo que método considera duración real de labor repetitiva. Asimismo, se toma en cuenta el lapso real de ocupación de puesto por parte del colaborador, así como lapso de pausas y descansos en análisis.

Una particularidad de método Check List OCRA es simplicidad además de rapidez en ejecución en cotejo con método OCRA. Valoración de puesto con ciclo de labor de unos 15 segundos puede completarse en 3 hasta 4 min. Para ciclo de 15 min, lapso de valoración acercarse a 30 minutos, involucrando actividades extras como registro de datos (videos, software, mapas de riesgo, etc.).

Además, estimación de factores de peligro de forma no dependiente proporciona puntajes individuales para cada uno, lo que ayuda al evaluador comprender su contribución al peligro total y orientar proceso de optimización de circunstancias del puesto.

Aplicación del método

Su objetivo es indicar valor de Índice Check List OCRA (ICKL) y, partiendo del valor, categorizar peligro como Óptimo, Aceptable, Muy Ligero, Ligero, Medio o Alto. El ICKL se estima utilizando correspondiente fórmula:

$$\text{ICKL} = (\text{FR} + \text{FF} + \text{FFz} + \text{FP} + \text{FC}) \cdot \text{MD}$$

ICKL se determina mediante la suma de 5 elementos, subsiguientemente ajustada por **multiplicador de duración (MD)**. Como paso inicial antes de calcular cada factor y el multiplicador de duración, es esencial tener en cuenta, partiendo de datos organizativos de trabajo, Tiempo neto de trabajo repetitivo (**TNTR**), y lapso neto del ciclo de labores. En siguientes apartados se explicará cómo estimar **TNTR**, el Tiempo neto del ciclo (**TNC**), así cada factor y multiplicador de ecuación.

- **FR** Factor **recuperación**.
- **FF** Factor **frecuencia**.
- **FFz** Factor **fuerza**.
- **FP** Factor **posturas y movimientos**.
- **FC** Factor **riesgos adicionales**.
- **FD** Multiplicador **duración**.

Estimación de Tiempo Neto de Trabajo Repetitivo (TNTR)

Antes de proceder estimación de diversos elementos además de multiplicadores para determinar Índice de Checklist OCRA, es fundamental estimar **TNTR además TNC**.

TNTR representa lapso en el que colaborador lleva a cabo acciones repetitivas en su puesto, y proporciona un índice preciso del riesgo asociado con movimientos repetitivos. El TNTR se calcula restando del tiempo total de labores en puesto las pausas, las actividades no repetitivas realizadas durante el turno, lapsos de descanso y cualquier otro tiempo de no actividad.

$$\text{TNTR} = \text{DT} - [\text{TNR} + \text{P} + \text{A}]$$



La fórmula, **DT** representa lapso en minutos de turno o lapso que el colaborador ocupa puesto durante jornada laboral. **TNR** es lapso de labores no repetitivo, medido en minutos, que el colaborador dedica a actividades no repetitivas como limpieza o reposición. **P** representa lapso en minutos de pausas que efectúa colaborador mientras desarrolla el cargo, mientras que **A** es lapso de pausa para almuerzo, también en minutos.

Una vez que se conoce tiempo de trabajo no repetitivo (TNTR), es probable estimar **TNC**. El TNC se define como lapso de ciclo de labores si únicamente se consideran actividades repetitivas efectuadas en puesto. La fórmula para calcular el TNC es.

$$\mathbf{TNC = 60 \cdot TNTR / NC}$$

En el cual TNC está manifestado en segundos, y **NC** representa cantidad de ciclos de labores que el colaborador efectúa en puesto.

Anexo 5. Foto toma de ejemplar de LX botadero de RSU.Cancharani -Puno



Figura 20. RS botadero



Figura 21. LX botadero Cancharani



Figura 22. Lixiviados en el botadero Cancharani



Figura 23. LX en botadero Cancharani



Figura 24. Toma muestras LX de RS en botadero Cancharani-Puno

Anexo 6. Fotos análisis LX en laboratorio de FIQ-UNA

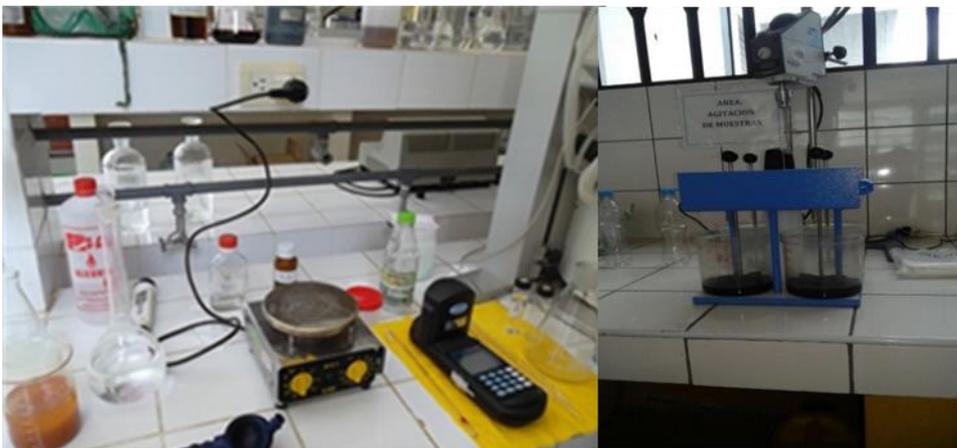


Figura 25. Materiales, equipamientos además de reactivos empleados análisis. FIQ-UNA



Figura 26. Muestra LX laboratorio



Figura 27. Pesando el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$



Figura 28. Tomando pH LX



Figura 29. Preparando concentración de LX para procedimiento coagulación



Figura 30. Muestra LX preparados



Figura 31. Formación floculo pasado 15 min



Figura 32. Preparando filtración de LX



Figura 33. Filtración ejemplar tratado con papel filtro 0,45 μ



Figura 34. Filtración ejemplar tratado con papel filtro 0,45 μ .



Figura 35. Cotejo blanco con ejemplar tratado

Anexo 7. Efecto estimado Y

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	14.8912	0.736978	
A:Velocidad	-3.7875	1.47396	1.0
pH	-7.4425	1.47396	1.0
C:Tiempo	-11.4825	1.47396	1.0

Errores estándar fundamentado en error total con 4 g.l.

Se presentan estimaciones para cada efecto e interacciones estimadas. Además, proporciona error estándar de cada efecto, que mide error de muestreo. Es importante destacar que factor inflación de varianza (V.I.F.) mayor es equivalente a 1.0. En diseño ortogonal perfectamente, la totalidad de elementos tendrían un valor de 1. Factores de 10 o más suelen interpretarse como indicadores de una seria confusión entre los efectos.

Coef. regresión Y

Coefficiente	Estimado
constante	33.3133
A:Velocidad	-0.0303
B:pH	-0.826944
C:Tiempo	-0.7655

Se presenta expresión de regresión que ha sido ajustada a datos. Fórmula de modelo ajustado

$$Y = 33.3133 - 0.0303 * \text{Velocidad} - 0.826944 * \text{pH} - 0.7655 * \text{Tiempo}$$

Resultado Estimado Y

	<i>Observado</i>	<i>Ajustado</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
<i>Fila</i>	<i>Valor</i>	<i>Valor</i>	<i>para Media</i>	<i>para Media</i>
1	24.17	26.2475	22.1551	30.3399
2	25.31	22.46	18.3676	26.5524
3	19.24	18.805	14.7126	22.8974
4	13.81	15.0175	10.9251	19.1099
5	15.2	14.765	10.6726	18.8574
6	9.77	10.9775	6.88513	15.0699
7	8.53	7.3225	3.23013	11.4149
8	3.1	3.535	-0.557368	7.62737

Este conjunto de datos proporciona información sobre valores de Y producidos por medio de modelo ajustado.

- (1) Valores observados Y, si los hay.
- (2) Valores predichos Y utilizando modelo ajustado.
- (3) Intervalos confianza de 95.0% para promedio de respuesta.

Cada entrada brinda correspondencia a valoraciones de experimentales elementos en fila particular de conglomerado de información.

Camino Máximo Ascenso Y

			Predicción para
Velocidad	pH	Lapso	Y
87.5	7.5	12.5	14.8912
88.5	7.64148	12.8638	14.4655
89.5	7.78296	13.2276	14.0397
90.5	7.92444	13.5914	13.6139
91.5	8.06592	13.9552	13.1881
92.5	8.20741	14.319	12.7623

Esta ventana muestra la ruta de máximo descenso o ascenso, que parte del centro de región experimental actual y representa el camino a lo largo del cual respuesta estimada se modifica de forma rápida con pequeñas variaciones en experimentales factores. Este camino señala áreas propicias para llevar a cabo adicionales experimentos si el propósito es acrecentar o mermar la variable Y. En este momento, se han producido 6 puntos al cambiar la Velocidad en acrecentamientos de 1.0.

Respuesta Optimizar

Fin: maximizar Y

Valor óptimo = 26.2475

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Velocidad	25.0	150.0	25.0
pH	3.0	12.0	3.0
Tiempo	5.0	20.0	5.0

Se presenta composición de factores que optimiza variable Y dentro de región especificada.

Análisis Varianza Y

Fuente	Suma Cuadrados	Gl	Cuadrado promedio	Razón-F	Valor-P
A:Velocidad	28.6903	1	28.6903	6.60	0.0620
B:pH	263.696	1	263.696	60.69	0.0015
C:Tiempo	110.782	1	110.782	25.50	0.0072
Error total	17.3804	4	4.34509		
Total (corr.)	420.548	7			

R-cuadrada = 95.8672 %

R-cuadrada (ajustada g.l.) = 92.7676 %

Error estándar est. = 2.08449
Error absoluto promedio = 1.23187
Estadístico Durbin-Watson = 2.68901 (P=0.8180)
Autocorrelación residual Lag 1 = -0.474112

Tabla ANOVA descompone variabilidad Y en componentes individuales para cada efecto, evaluando significancia estadística de cada uno al comparar cuadrado medio con una estimación de error experimental. En análisis, se observa que dos efectos poseen valor p inferior a 0.05, lo que detalla que son diferentes de forma significativa de cero con nivel confianza de 95.0%.

Estadístico R-cuadrado detalla que modelo ajustado indica 95.8672% de variabilidad en Y. Para cotejar modelos con desigual número de variables independientes, se utiliza el estadístico R-cuadrado ajustado, el cual es del 92.7676%. Además, error estándar de estimado revela desviación estándar de desechos: 2.08449.

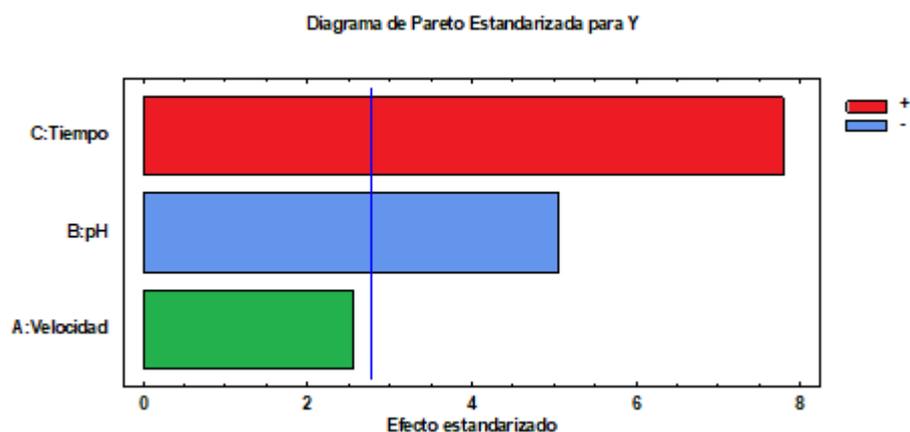


Figura 36. Parapeto estandarizado Y

Detalla estimados efectos e interacciones entre variables: pH, velocidad además de tiempo. Se destaca que el pH es la variable con mayor significancia para respuesta, debido a que cualquier modificación en él llega a afectar variable respuesta

Y de manera más pronunciada. La línea azul demarca rango de variación de sistema. Las coloraciones en figura indican la representatividad de variables además de combinaciones. Además, no observan señales de correlación serial en residuos.

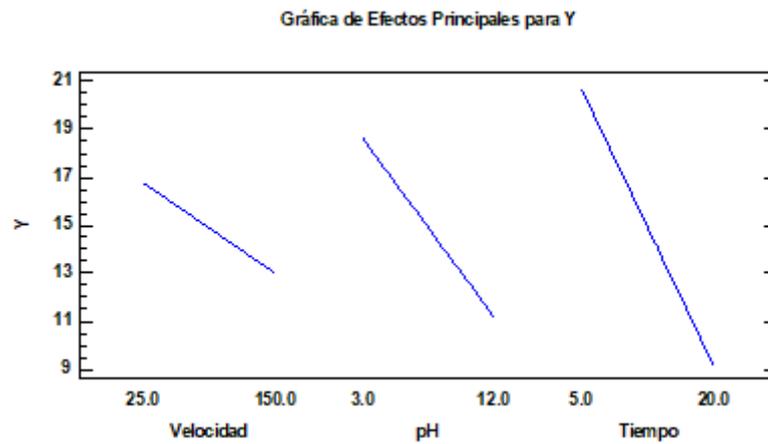


Figura 37. Principales efectos Y

Figura 13, se evidencia ausencia de interacción de factores, lo que detalla que estas variables no poseen dependencia. Este patrón se alinea con la superficie de respuesta, indicando que las pendientes relacionadas con todas variables son negativas.

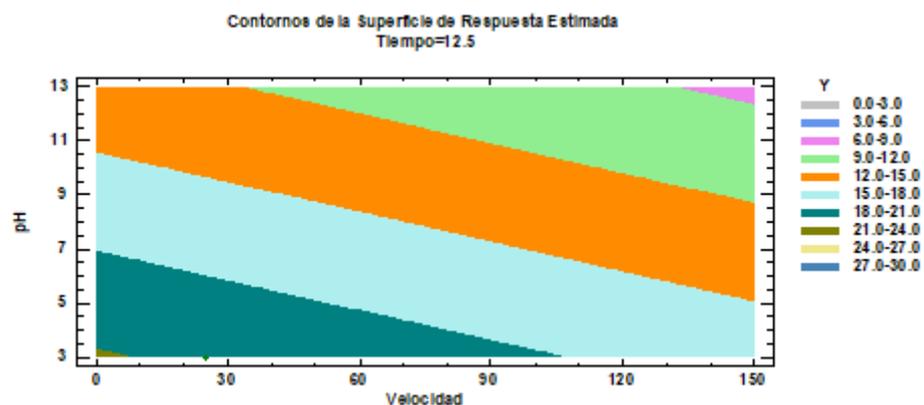


Figura 38. Contornos Superficie Respuesta Estimada

Al observar se muestra niveles constantes, podemos deducir lo siguiente: El tiempo óptimo es de 13 minutos, mientras que la velocidad es de 100 revoluciones por minuto y el pH es de 11.

Esta representación visual ilustra una tendencia ascendente, detallando áreas propicias para efectuar adicionales ensayos si el propósito es acrecentar o mermar rendimiento.

Por ejemplo, en caso de recuperación de Fe, los mejores resultados se identifican mediante el color verde, correspondiente a valores de rendimiento entre el 25% y el 28%.

Anexo 8. Normas de seguridad e higiene

Se exponen unas pautas generales para manejar los residuos de manera segura.

- Antes de colocar un residuo en un contenedor, verifica que sea el adecuado y esté etiquetado correctamente.
- Mantén los contenedores cerrados y ábrelos solo el tiempo necesario para depositar los residuos.
- Si tienes dudas sobre cómo clasificar un residuo o posibles reacciones, ponlo en un contenedor separado y no mezcles.
- Vierte los residuos en los contenedores correspondientes de manera lenta y controlada, deteniéndote si notas algo anormal, como la formación de gases o un aumento de la temperatura.
- No llenes los contenedores más del 80% de su capacidad para evitar derrames.
- Coloca los contenedores en el suelo para evitar caídas y mantenlos alejados de fuentes de calor y zonas de paso.
- Usa equipos de protección personal adecuados para evitar el contacto directo con los residuos.
- Trata los residuos cuyas propiedades desconoces con precaución máxima.
- Asegúrate de tener hojas de seguridad de los productos químicos utilizados en el laboratorio.
- Evita manipular residuos solo y no mezcles líquidos inmiscibles, ya que complicaría su tratamiento posterior.
- No compactes residuos sólidos.
- Transporta contenedores grandes con carretillas para evitar roturas, derrames y lesiones.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGIAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD



Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe ☑ http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA-PERU



INFORME DE ENSAYO
N° DE INFORME: ANA16E16.002784B

Nombre del Cliente : Yesica Chura Laura
Dirección del Cliente : Av. Sesquicentenario N° 1150 – Puno
RUC : NO CORRESPONDE
Condición del Muestreado : POR EL CLIENTE
Descripción : MUESTRA DE LIXIVIADO P1
Tamaño de la Muestra : 200 mL
Fecha de Recepción : 17/07/2018
Fecha de Inicio de Ensayo : 18/07/2018
Fecha de Emisión de Informe : 20/07/2018
Página : 1

I. ANALISIS FÍSICO – QUIMICO:

ANALISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE METALES TOTALES (mg/L) Determination of metals and trace elements in Water and Wastes by Inductively Coupled-tomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7	
Hierro (Fe)	45
Sulfatos	90
Nitratos	5
Amoniaco	0,35
DBO ₅	2000
DQO	2900
Materia orgánica	82,5
pH	5-8.5

OBSERVACIONES:

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL – DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto.
Este documento no debe ser reproducido, sin la autorización escrita del laboratorio de Ensayo y Control de Calidad.

Qc. Ricardo Flores Volianque
COP. 00524
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGIAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA-PERU



INFORME DE ENSAYO
N° DE INFORME: ANA16E16.002784B

Nombre del Cliente : Yesica Chura Laura
Dirección del Cliente : Av. Sesquicentenario N° 1150 – Puno
RUC : NO CORRESPONDE
Condición del Muestreado : POR EL CLIENTE
Descripción : MUESTRA DE LIXIVIADO TRATADO P2
Tamaño de la Muestra : 200 mL
Fecha de Recepción : 17/07/2018
Fecha de Inicio de Ensayo : 18/07/2018
Fecha de Emisión de Informe : 20/07/2018
Página : 1

II. ANALISIS FÍSICO – QUIMICO:

ANALISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE METALES TOTALES Determination of metals and trace elements in Water and Wastes by Inductively Coupled-tomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7	
Hierro (Fe)	2,309 (mg/L)
Sulfatos	11 (mg/L)
Nitratos	1 (mg/L)
Amoniaco	0,07 (mg/L)
DBO ₅	27 (mg/L)
DQO	34 (mg/L)
Materia orgánica	1,45 (mg/L)
pH	12

OBSERVACIONES:

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL – DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto.
Este documento no debe ser reproducido, sin la autorización escrita del laboratorio de Ensayo y Control de Calidad.

D^o. Ricardo Flores Volante
CCFC 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD





DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Yesica Chura Laura
identificado con DNI 44148114 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

MAESTRIA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL ;

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS Y GASES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL BOTADERO
DE LA CIUDAD DE PUNO MEDIANTE EL PROCESO DE ADITIVOS TENSIOACTIVOS ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 17 de Mayo del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Yesica Chura Laura,
identificado con DNI 44148114 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

MAESTRIA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS Y GASES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL BOTADERO

DE LA CIUDAD DE PUNO MEDIANTE EL PROCESO DE ADITIVOS TENSIOACTIVOS”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 17 de Mayo del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella