

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO DE
RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE PUNO CON
SURFACTANTES ANIÓNICOS**

TESIS

PRESENTADA POR:

ELVIS ASTORGA CAPAJAÑA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS
SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE PUNO CON SURFACTANTES ANIÓNICOS**

TESIS PRESENTADA POR:
ELVIS ASTORGA CAPAJAÑA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO QUÍMICO



APROBADA POR:

PRESIDENTE:


M.Sc. JANETTE ROSARIO RAMOS PINEDA

PRIMER MIEMBRO:


Ing. WILLIAM EDWARD ZENTENO ZENTENO

SEGUNDO MIEMBRO:


M.Sc. RENE JUSTO QUISPE FLORES

DIRECTO/ASESOR:


M.Sc. CIRO HERNAN VERA ALATRISTA

ÁREA: Tecnología ambiental

TEMA: Tratamiento de lixiviados de botadero de residuos sólidos

LÍNEA: Tecnología ambiental y recursos naturales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 21 de diciembre del 2018

DEDICATORIA

Con inmenso respeto, cariño y amor a Dios por concederme el milagro divino de la vida; por guiar mis pasos por el sendero del bien, por protegerme en todo momento y sobre todo por tocar la puerta de mi corazón y permitirme gozar de la vida.

Con eterno agradecimiento y cariño a mi padre Emilio Astorga, quien guió mis pasos con sus sabios consejos y sus actitudes, pues siempre estuvo en el momento preciso para corregirme, alentarme en los momentos de tropiezos, llorar y celebrar mis logros; le estoy infinitamente agradecido por brindarme el apoyo incondicional y desmedido, por su sacrificio abnegado, su esfuerzo, su apoyo emocional y económico, y su gran cariño que permitió culminar mi formación profesional.

Con mucho amor y recuerdo a mi madre Delia Capajaña quien me enseñó a tomar decisiones y enfrentar las adversidades de la vida, gracias mamita por toda tu enseñanza, por darme la vida; siempre te recordaré con mucho amor.

Con inmenso cariño a toda mi familia, mis abuelitos, tíos, tías, primos, primas, amigos y amigas por alentarme en los momentos de tropiezos por ser mis consejeros, por escucharme y guiarme; les estoy muy agradecido a cada uno de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Mi especial gratitud y reconocimiento:

A mi alma mater Universidad Nacional del Altiplano - Puno por darme la oportunidad de formarme profesionalmente y haberme acogido durante estos cinco años de estudio.

A mi escuela y facultad de Ingeniería Química, al cuerpo de docentes, a quienes siempre les tendré un profundo respeto y admiración por impartirme conocimientos necesarios para desempeñarme como profesional.

Con profundo cariño y agradecimiento a mi Director y Asesor de Tesis: M.Sc. Ciro Hernán Vera Alatrística, por su constante orientación, apoyo, paciencia, entrega, acertados consejos durante el desarrollo y la culminación del presente trabajo de investigación que me permiten alcanzar mis objetivos.

Con profundo agradecimiento a los miembros del Jurado: M.Sc. Janette Rosario Ramos Pineda, Ing. William Edward Zenteno Zenteno y M.Sc. René Justo Quispe Flores, por brindarme su valioso tiempo, acertadas correcciones, orientaciones y consejos estructurales para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

ELVIS ASTORGA

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS	8
INDICE DE TABLAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.2. OBJETIVOS	16
1.2.1. Objetivo general.....	16
1.2.2. Objetivos específicos	16
II. REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1. MARCO TEÓRICO	17
2.1.1. Surfactantes aniónicos	17
2.1.2. Tensioactivo tipo alquil benceno sulfonato lineal (LAS) o (dodecil benceno sulfato de sodio).....	17
2.1.3. Residuos Sólidos.....	18
2.1.4. Generación de residuos sólidos.....	19
2.1.5. Composición de los residuos sólidos urbanos	19
2.1.5.1. Orgánicos	19
2.1.5.2. Inorgánicos.....	20
2.1.6. Propiedades Físicas de los RSU.....	20
2.1.6.1. Contenido de Humedad	20
2.1.6.2. Volumen.....	21
2.1.6.3. Densidad	22
2.1.7. Propiedades Químicas.....	22
2.1.7.1. Composición Química	22
2.1.8. Reacciones en el proceso del relleno sanitario	23

2.1.8.1.	Reacciones físicas	24
2.1.8.2.	Reacciones Químicas	24
2.1.8.3.	Reacciones biológicas	24
2.1.9.	El lixiviado.....	25
2.1.9.1.	Características	26
2.1.9.2.	Formación de lixiviados.....	27
2.1.9.3.	Composición de los lixiviados	30
2.1.9.4.	Estimación de la generación de lixiviados.....	31
2.1.10.	Tratamiento de lixiviados	32
2.1.10.1.	Recirculación	32
2.1.10.2.	Tratamiento fisicoquímico de coagulación/floculación.....	34
2.1.10.3.	Desestabilización de partículas	35
2.1.10.4.	Adsorción.....	36
2.1.10.5.	Oxidación Química	38
2.1.10.6.	Membranas.....	39
2.1.11.	Coagulación	39
2.1.11.1.	Teoría de la coagulación	41
2.1.11.2.	Coagulantes.....	41
2.1.12.	Floculación.....	42
2.1.12.1.	Tipos de floculadores	44
2.1.12.2.	Parámetros que influyen en la floculación.....	45
2.2.	MARCO CONCEPTUAL	46
2.2.1.	Botadero.....	46
2.2.2.	Disposición final	46
2.2.3.	Generador.....	47
2.2.4.	Gestión de residuos sólidos.....	47
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
3.1.	LUGAR DE ESTUDIO	48
3.2.	MATERIALES	48
3.2.1.	Materia prima.....	48
3.2.2.	Instrumentos de laboratorio	48

3.2.3.	Materiales de Laboratorio	49
3.2.4.	Reactivos.....	49
3.3.	MÉTODO EXPERIMENTAL.....	50
3.3.1.	Técnicas de muestreo	50
3.3.2.	Protocolo para la toma de muestras para lixiviados	51
3.4.	DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS	53
3.4.1.	Caracterización del lixiviado proveniente del botadero de residuos sólidos urbanos del cerro Cancharani de la ciudad de Puno, como la materia orgánica, DQO y turbidez	53
3.4.2.	Determinación de los parámetros óptimos de velocidad, pH, y tiempo de retención en la tecnología propuesta, mediante el método de adición de tensioactivos para tratar los lixiviados generados en el botadero de la ciudad de Puno	55
3.4.3.	Determinar el modelo matemático para el proceso de tratamiento de lixiviados generados por los residuos sólidos del botadero de la ciudad de Puno.	59
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1.	RESULTADOS	64
4.1.1.	Caracterización del Lixiviado, materia orgánica y DQO	64
4.1.2.	Parámetros óptimos de velocidad de agitación, pH y tiempo de retención en la tecnología propuesta, mediante el método de adición de tensioactivos	65
4.1.3.	El modelo matemático para el proceso de tratamiento de lixiviados generados por los residuos sólidos del botadero de la ciudad de Puno.....	68
V.	CONCLUSIONES	70
VI.	RECOMENDACIONES.....	71
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	ANEXOS	75

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fórmulas Desarrolladas de DSS (dodecil benceno sulfato de sodio) LAS	17
Figura 2. Formación de lixiviados	29
Figura 3. Naturaleza de un soluto	33
Figura 4. Esquema del proceso de Coagulación/floculación	34
Figura 5. Doble capa eléctrica	35
Figura 6. Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa.....	40
Figura 7. Aglomeración de partículas coloidales empleando floculante	43
Figura 8. Pasos para el muestreo de lixiviados	52
Figura 9. Instalación experimental para el ensayo de coagulación.....	57
Figura 10. Diagrama de flujo de la prueba de jarras.....	59
Figura 11. Esquemmatización del diseño factorial 23	60
Figura 12. Eficiencia de recuperación de Fe con aditivo Tensioactivo (Dodecil benceno sulfato de sodio).....	66
Figura 13. Eficiencia de recuperación de hierro con dodecil benceno sulfato de sodio.	68
Figura 14. Proyección de la población de la ciudad de Puno	78
Figura 15. Composición de Residuos Sólidos de la ciudad de Puno	80
Figura 16. Composición física de residuos sólidos en base seca.....	87
Figura 17. Pareto estandarizado para Y	93
Figura 18. Efectos principales para Y	93
Figura 19. Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada	94

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Perfil de evaluación de LAS	18
Tabla 2. Contenido de humedad	21
Tabla 3. Cálculo del volumen	22
Tabla 4. Datos típicos sobre la composición del lixiviado de rellenos nuevos y maduros	30
Tabla 5. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario	32
Tabla 6. Toma de muestras del Lixiviado de R.S.U. – Cancharani	51
Tabla 7. Caracterización físico-química de los lixiviados de los R.S.U.	54
Tabla 8. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario	55
Tabla 9. Condiciones de operación en los experimentos de coagulación-floculación ...	57
Tabla 10. Tratamiento de adición de coagulante	58
Tabla 11. Variables naturales-datos del diseño experimental.....	61
Tabla 12. Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial	63
Tabla 13. Matriz de diseño factorial $2^3 = 8$	63
Tabla 14. Caracterización físico-química de los lixiviados de los R.S.U.	64
Tabla 15. Concentración de hierro remanente de la muestra tratada con aditivo tensioactivo (dodecil benceno sulfato de sodio)	66
Tabla 16. Valores de eficiencia de recuperación de hierro con Dodecil benceno sulfato de sodio	68
Tabla 17. Constituyentes orgánicos rápidamente y lentamente biodegradables en los R.S.M.	76
Tabla 18. Proyección de la población de la Ciudad de Puno.....	78
Tabla 19. Composición de Residuos Sólidos de la ciudad de Puno	79
Tabla 20. Generación de residuos sólidos de la ciudad de Puno	83
Tabla 21. Generación del volumen de residuos sólidos de la ciudad de Puno	85
Tabla 22. Composición química en base seca	87
Tabla 23. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario	89

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es el tratamiento de lixiviados del vertedero de residuos sólidos urbanos, ubicados en el sector de Cancharani de la ciudad de Puno, mediante el proceso de aditivos surfactantes, utilizando como coagulante el sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y como floculante el dodecil benceno sulfato de sodio. Los parámetros físico-químicos del lixiviado de desechos sólidos urbanos contienen hierro (45 mg/L), que excede los valores máximos permitidos por la Ley General de Aguas. Las variables operativas que se modificaron en todas las diluciones fueron el pH (de 5 a 12) y la dosis de coagulante (de 20 a 120 mg/L), los experimentos se realizaron variando la velocidad de agitación (25 a 150 rpm) y el tiempo de mezcla (5 a 20 min.), para establecer sus influencias en los procesos probados, los resultados fueron que se redujo a 2,095 mg/L de Fe (recuperación del 95.34%) con dodecil benceno sulfato de sodio como floculante. Para establecer la influencia que el pH ejerce en el proceso de coagulación-floculación del lixiviado de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Puno, el modelo matemático se llevó a cabo mediante experimentación y estadísticas, el pH óptimo es 11.5, con un tiempo de coagulación de 12.5 minutos y una velocidad de agitación de 25 rpm. La validez del modelo de regresión matemática se demuestra mediante los valores encontrados por el modelo matemático con las variables: velocidad de agitación (v), tiempo de agitación (t) y pH. Por lo tanto, se concluye que el pH es la variable más importante en el proceso de recuperación de hierro.

Palabras clave: Lixiviado, residuos sólidos, surfactante, coagulación, floculación.

ABSTRACT

The objective of this research is the treatment of leachate from the landfill of solid urban waste, located in the Cancharani sector of the city of Puno, through the process of surfactant additives, using aluminium sulphate $Al_2(SO_4)_3$ as coagulant and sodium dodecyl benzene sulphate as flocculant. The physical-chemical parameters of the urban solid waste leachate contain iron (45 mg/L), which exceeds the maximum values allowed by the General Water Law. The operative variables that were modified in all the dilutions were the pH (from 5 to 12) and the coagulant dose (from 20 to 120 mg/L), the experiments were carried out varying the agitation speed (25 to 150 rpm) and the mixing time (5 to 20 min.), to establish its influences in the tested processes, the results were that it was reduced to 2,095 mg/L of Fe (recovery of 95.34%) with dodecyl benzene sodium sulfate as flocculant. In order to establish the influence of the pH on the coagulation-flocculation process of the leachate from urban solid waste in the city of Puno, the mathematical model was carried out by means of experimentation and statistics, the optimum pH is 11.5, with a coagulation time of 12.5 minutes and an agitation speed of 25 rpm. The validity of the mathematical regression model is demonstrated by the values found by the mathematical model with the variables: agitation velocity (v), agitation time (t) and pH. Therefore, it is concluded that pH is the most important variable in the iron recovery process.

Keywords: Leachate, solid waste, surfactant, coagulation, flocculation.

I. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Puno se desarrolla a orillas del lago Titicaca, tiene una población estimada de 135 288 habitantes y una densidad poblacional de 60,8 habitantes/km². Rodeada de geo-formas positivas y negativas con cotas que van desde los 3 812 a 4 050 m.s.n.m., lo cual dificulta en cierta manera el manejo de los residuos sólidos (Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2017).

La Ley General de Residuos Sólidos N° 27314, promulgada el 20 de julio del 2000, establece los derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar la gestión y manejo de estos, con la finalidad de minimizar, prevenir riesgos ambientales y protección de la salud. La gestión de residuos sólidos domiciliarios, comerciales y de aquellas actividades que generen residuos similares a estos, son responsabilidad de los gobiernos locales; por otro lado, los residuos generados por actividades de construcción y de transporte son de responsabilidad del ministerio de transporte y comunicación; finalmente los residuos generados por actividades de atención de salud son de responsabilidad del ministerio de salud (Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2017).

Como consecuencia inevitable de la existencia de botaderos, tiene lugar la generación de lixiviados; ya que los residuos en los botaderos se descomponen a través de una serie de procesos físico-químicos y biológicos. Durante este proceso de descomposición, se forma un efluente líquido debido a la percolación del agua de lluvia a través del lecho de residuos, que disuelve los diferentes componentes que constituyen los residuos sólidos allí depositados. De esta manera se genera un residuo acuoso denominado lixiviado contaminado con una elevada carga de materia orgánica, metales pesados, nitrógeno amoniacal y/o sales inorgánicas, con un intenso color negro/marrón, un desagradable olor y elevada toxicidad (Wehenpohi, López Trujillo, Sánchez, & Reyes Martínez, 2000).

Una de las principales características de las sociedades avanzadas en la década de los noventa es la importancia y prioridad asignada a las cuestiones ambientales. Problemas como el crecimiento imparable de los desechos sólidos, los vertidos industriales incontrolados o el efecto invernadero por combustión energética, son cuestiones relevantes en las actuales agendas políticas tanto a nivel nacional como internacional.

Esta prioridad ha puesto en primera línea de debate el uso de instrumentos económicos de regulación como parte de las políticas ambientales y, como una categoría destacada dentro de ellos, el diseño y aplicación de nuevas figuras impositivas con dicha finalidad (Dianderas Juvenal, 2011).

La coagulación y la floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua en los que compuestos como sales metálicas y/o hidróxidos como la cal, son agregadas al efluente con la finalidad de desestabilizar la materia coloidal y causar una aglomeración de pequeñas partículas hasta alcanzar tamaños considerables y formar flóculos, que son más fácilmente eliminados por gravedad. En la formación de flóculos influyen la concentración de aluminio, el tipo y concentración de los aniones y el pH. En la efectividad del proceso influyen la concentración y dosificación del coagulante, el pH del agua y la fuerza iónica así como la concentración y naturaleza de los compuestos orgánicos (Dianderas Juvenal, 2011).

El presente trabajo de investigación trata sobre el tratamiento de lixiviados proveniente del botadero de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Puno, mediante el proceso de adición de tensioactivos, caracterizando los lixiviados, materia orgánica y DQO, definiéndose la tecnología propuesta, dando a conocer los parámetros óptimos de tiempo, temperatura y pH en la tecnología propuesta y la determinación del modelo matemático para el tratamiento de lixiviados de los residuos sólidos.

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- (Alexis Arrechea, López Torres, Espinosa Lloréns, & Escobedo Acosta, 2009). Los resultados obtenidos mostraron el elevado contenido de materia orgánica expresado en términos de DQO y DBO₅ tanto en época de avenida como en estiaje, con media geométrica de concentración de coliformes fecales entre 104 y 105 NMP/100mL. Se comprobó que no existen diferencias significativas entre los lixiviados provenientes de los diferentes vertederos evaluados (α : 0,05). A partir del balance hídrico se obtuvo un estimado de 42 m³/día de lixiviado (época de avenida) con un mínimo de 13 m³/día (estiaje).

La tecnología se distingue por lo siguiente: tanque séptico - filtro anaerobio - sistema de lagunas, con la que se garantiza la reducción del principal contaminante, expresado en términos de DQO y DBO₅ de 2011 a 75 mg/L y de 902 a 30 mg/L respectivamente,

así como de microorganismos patógenos, asegurando además la disposición final del residuo tratado.

- (Giraldo, 1997). En general se reportan unos excelentes rendimientos de la tecnología para la remoción de la mayoría de los contaminantes. Igualmente se observa que las aplicaciones han sido para lixiviados con concentraciones de DBO relativamente bajas, menores a 1000 mg/l, es decir, lixiviados viejos, o lixiviados a los cuales se les ha realizado un pretratamiento previo. Se habla de concentraciones relativamente bajas, porque dentro de los rangos de DBO de los lixiviados de rellenos sanitarios de países en desarrollo se tienen concentraciones en los lixiviados jóvenes del orden de las decenas de miles de miligramos por litro, es decir, entre 10 y 40 veces más concentrados. Se debe entonces tener cautela en la aplicación de la tecnología de manera directa a lixiviados jóvenes, especialmente de aquellos que se encuentran en los países en desarrollo. Otra ventaja que se reporta con frecuencia en el caso de la ósmosis inversa son los bajos consumos energéticos que requiere la tecnología cuando se compara con otras tecnologías como la oxidación biológica o la evaporación.
- (Dianderas Juvenal, 2011). La técnica de oxidación bacteriana empleada para el tratamiento de minerales sulfurados auríferos se fundamenta en la acción efectiva de la bacteria *Thiobacillus Ferrooxidans* para oxidar especies reducidas de azufre a sulfato, y para oxidar el ion ferroso a ion férrico. El *Thiobacillus Ferrooxidans* es eficaz en ambiente ácido, aeróbico, móvil y quimioautotráfico y se presenta en forma de bastoncitos de 1-2 cm de largo por 0.5-1.0 cm de ancho. Presentan punto isoelectrico entorno de 4.0 – 5.0 y se desenvuelven en el intervalo de temperatura de 28 – 35 °C. La fuente de energía fundamental para el *Thiobacillus Ferrooxidans* es el ion Fe^{+2} , pudiendo ser utilizados también el azufre y sus formas reducidas. Usa nutrientes básicos para su metabolismo a base de N, P, K, Mg y Ca, como elementos del trazo.
- (Aliaga Simorte, 2010). Cuando a la muestra se le aplica el proceso Fenton se produce una disminución de la materia orgánica, el pH de trabajo óptimo es 4, debido a que las dos concentraciones de peróxido de hidrógeno a las que se realizaba el tratamiento se producía una reducción de materia orgánica similar; sin embargo cuando el pH aumentaba a 5, a dosis altas de peróxido la reducción de materia orgánica era menos visible.

En el tratamiento de Coagulación – Flocculación con el coagulante que mejor resultados se obtienen es con el que contiene únicamente cloruro férrico, ya que produce una mayor disminución de la materia orgánica; el que además contiene sulfato de aluminio es la primera vez que se usa, por tanto se debería seguir investigando con él para obtener mejores resultados.

En ambos tratamientos de Coagulación - Flocculación se ha producido una reducción de aproximadamente un 55 % de los sólidos en suspensión en la muestra de agua, lo que muestra que ambos coagulantes resultan efectivos para disminuir este parámetro.

- (Cuchimaque Lugo, Vargas Fiallo, & Ríos Reyes, 2002). En el presente trabajo de investigación se comprueba la eficiencia en la remoción de Fe y Mn de aguas naturales por el empleo de un medio adsorbente que consiste de zeolita natural (clinoptilolita), recubierta con Fe_2O_3 y MnO_2 a partir de FeCl_3 y MnSO_4 , respectivamente. La zeolita por su gran capacidad de intercambio de cationes es un excelente soporte de estos óxidos. El mecanismo de la remoción es por adsorción-oxidación de estos metales sobre la superficie de la capa de óxido que cubre el grano de zeolita. En las pruebas de remoción mediante un sistema de filtración se estudiaron las variables pH, concentraciones de Fe y Mn, caudal en el afluente y altura de la capa de la zeolita, resultando las dos últimas ser las de mayor relevancia en la remoción. Se utilizaron concentraciones de 1,0-7,0 mg/L para Fe y de 0,5-3,0 mg/L para Mn, en un rango de pH de 6,0-8,0. La eficiencia de la remoción disminuye con el aumento en la concentración de Fe, especialmente a valores de pH altos ($> 7,5$), por la formación de precipitados de Fe_2O_3 causando aceleración en la saturación del medio. No se obtuvo una diferencia significativa sobre la remoción con el empleo de los dos tipos de recubrimiento, aunque a altas concentraciones de estos metales, con la capa de Fe_2O_3 se obtuvieron porcentajes de remoción un poco mayores, pero la desventaja es que con este tipo de óxido se obtuvo menor corrida de los filtros por la saturación del medio.
- (Teca Gavilanes, 2013). El proceso de coagulación/floculación consiste en la remoción de DQO y partículas suspendidas mediante la adición de sustancias químicas (coagulantes); resultó considerablemente eficiente para la remoción de DQO, pero poco eficiente para la remoción de sólidos en suspensión total, dado que los lixiviados estudiados poseen bajas concentraciones de sólidos suspendidos, lo cual explica la baja

eficiencia de remoción. Las dosis óptimas del proceso de coagulación/floculación se encuentran en el intervalo de 200-450 ppm de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ como coagulante y 100 ppm de polímero aniónico de poliacrilamida como floculante. Las mejores remociones alcanzadas fueron 75.39 % para la DQO y 55.48 % para la turbidez, por lo que resultaron los aditivos tensioactivos más eficientes entre los probados en el estudio para el tratamiento de los lixiviados.

- (Méndez et al, 2009). En su estudio sobre Determinación de la Dosis Óptima de Reactivo Fenton en un Tratamiento de Lixiviados por Fenton-Adsorción. En su proceso concluyó, los generados por el proceso Fenton se remueve más eficientemente mediante filtración que por sedimentación. Los tiempos de contacto óptimos en dicho trabajo fueron de 5 min para la remoción de la DQO y una hora para la remoción de color. Las mejores relaciones para $[\text{Fe}^{2+}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ y $[\text{DQO}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ fueron 0.6 y 9, respectivamente. La eficiencia máxima de remoción después del proceso de adsorción fue de 98,9 % para la DQO y 100 % para el color. El índice de biodegradabilidad final alcanzado después de las pruebas de Fenton-Adsorción fue de 0,24.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Demostrar la recuperación de hierro de los lixiviados provenientes del botadero de residuos sólidos de la ciudad de Puno, mediante la utilización de surfactante aniónico.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los lixiviados provenientes del botadero de residuos sólidos urbanos ubicado en el área sur oeste del cerro Cancharani de la ciudad de Puno.
- Establecer los parámetros óptimos de velocidad de agitación, tiempo de agitación y pH.
- Determinar el modelo matemático para el proceso de recuperación de hierro con adición de surfactante aniónico en el tratamiento de lixiviados de residuos sólidos urbanos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Surfactantes aniónicos

¿Qué son los surfactantes aniónicos?

Los surfactantes aniónicos se disocian en un anión anfifilo y un catión, el cual es en general un metal alcalino o un amonio cuaternario.

A este tipo pertenecen los detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfonatos, los jabones (sales de sodio de ácidos grasos), los agentes espumantes como el lauril sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato, los dispersantes del tipo lignosulfonatos, etc.

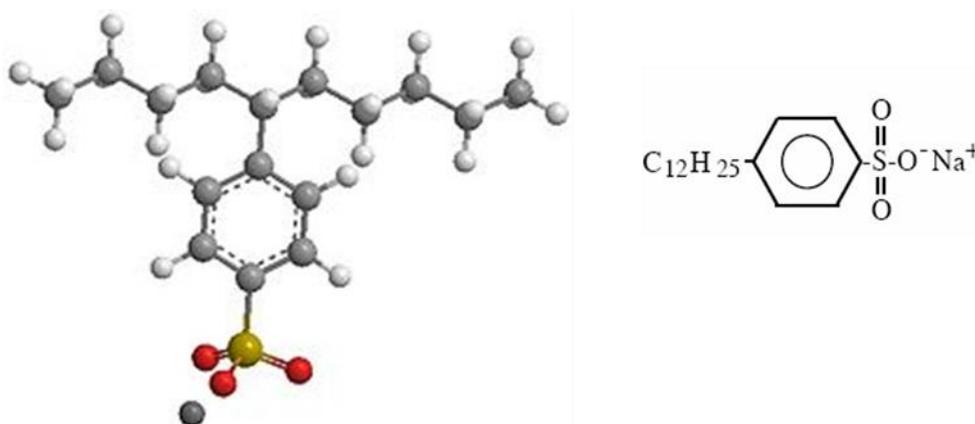


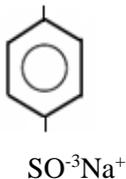
Figura 1. Fórmulas Desarrolladas de DSS (dodecil benceno sulfato de sodio) LAS

2.1.2. Tensioactivo tipo alquil benceno sulfonato lineal (LAS) o (dodecil benceno sulfato de sodio)

La familia de los tensioactivos tipo alquilbencilsulfonatos lineales (LAS) constituye probablemente la más importante debido a su amplia aplicabilidad, rentabilidad y nivel de consumo general. La molécula LAS contiene un anillo aromático sulfonado en la posición para y unido a una cadena alquílica lineal en cualquier posición excepto los carbonos terminales. La cadena alquílica carbonada tiene típicamente 10 a 14 átomos de carbono y la linealidad de la cadena alquílica varía entre 87 a 98% (Murguía, Cabrera, Guastavino, & Grau, 2005).

El LAS constituye el componente principal de la mayoría de los detergentes en productos de consumo doméstico para lavandería y limpieza en concentraciones hasta 25% y hasta 30% en productos comerciales, con la excepción de un producto informado al 45% en forma sólida concentrada que es mecánicamente dispensado en solución diluida para el lavado de vajilla. Estos compuestos tienen muchos usos como agentes humectantes, emulsionantes, espumantes, en productos agrícolas, pigmentos, pinturas (Myers, 2006).

Tabla 1. Perfil de evaluación de LAS

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 ₁₀₋₁₃ Alkylbenzene sulfonic acid, sodium salt 69669-44-9 C ₁₀₋₁₄ Alkyl deriv benzene sulfonic acid, sodium salt 85117-50-6 C ₁₀₋₁₄ Monoalkylbenzene sulfonic acid, sodium salt 90194-45-9 C ₁₀₋₁₃ Alkyl deriv benzene sulfonic acid, sodium salt 127184-52-5 C _{10-13-sec} Alkyl deriv benzene sulfonic acid, sodium salt
Category Name	Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
Structural Formula	This Structure of a C ₁₂ -LAS is representative of the category $CH_3(CH_2)_5CH(CH_2)_4CH_3$ 

Fuente: UNEP PUBLICATIONS, (2005). Revised document submitted U.S.A.

2.1.3. Residuos Sólidos

Son los restos de las actividades humanas, considerados por sus generadores como inútiles, indeseables o desechables. Se presentan en estado sólido, semisólido o semilíquido (es decir, con un contenido líquido insuficiente para que este material pueda fluir libremente) (Tchobanoglous et al., 1995).

2.1.4. Generación de residuos sólidos

Los residuos sólidos urbanos normalmente incluyen todos los residuos de la población con excepción de los residuos industriales y agrícolas.

Según (Collazos, 2008). Los residuos sólidos se clasifican según su biodegradabilidad de la siguiente manera:

- Fácilmente degradables: materia orgánica.
- Moderadamente degradables: papel, cartón y otros productos celulósicos.
- Difícilmente degradables: trapo, cuero, caucho y madera.
- No degradable: metal, plástico, piedra, tierra, otros.

2.1.5. Composición de los residuos sólidos urbanos

(Tchobanoglous et al., 1995). Identifica en una base másica o volumétrica los distintos componentes de los residuos, usualmente los valores de composición de residuos sólidos se describen en términos de porcentaje en masa, también en base húmeda y contenidos como materia orgánica, papeles y cartones, plásticos, textiles, vidrios, metales, etc.

La utilidad de conocer la composición de residuos sirve para una serie de fines, entre los que se pueden destacar estudios, reciclaje, factibilidad de tratamiento, investigación, identificación de residuos, estudio de políticas de gestión y manejo.

2.1.5.1. Orgánicos

Residuos de Comida: Residuos de la manipulación, preparación, cocción y consumo de comida

Papel: Periódicos usados, papel de alta calidad, revistas, papel mezclado, papel térmico de fax, etc.

Cartón: Cartón/kraft usado y reciclable.

Plásticos: PET (botellas de gaseosa), PE-HD (recipientes de agua y leche y botellas para detergentes), plásticos mezclados (no seleccionados), otros plásticos (PVC, PE-LD, PP y PS) plástico de película.

Textiles: Ropa, trapos etc.

Goma: Todas las clases de productos de goma, excluyendo neumáticos de vehículos motorizados.

Cuero: Zapatos, abrigos, casacas, tapicería.

Residuos de Jardín: Recortes de césped, hojas, poda de árboles y arbustos.

Madera: Materiales residuales de la construcción.

Misceláneos: Pañales desechables, cabello, pelo de animales menores, plumas, etc.

2.1.5.2. Inorgánicos

Vidrio: Vidrio de recipientes (blanco, ámbar, verde, azul), vidrio plano.

Latas de hojalata: Envases de conservas, leche evaporada, etc.

Aluminio: Envases de bebidas, aluminio secundario (Ollas, tapas, chapas, etc.).

2.1.6. Propiedades Físicas de los RSU

Las propiedades físicas más importantes son: El contenido de humedad, el volumen y el peso específico (Tchobanoglous et al., 1995).

2.1.6.1. Contenido de Humedad

El contenido de humedad de los residuos sólidos emplazados en el vertedero da origen a la generación de lixiviados, los que se ven incrementados en época de avenidas; dichos lixiviados al no ser tratados producen contaminación en los cuerpos de agua subterráneos y superficiales, y en los suelos.

Para el cálculo del contenido de humedad de los residuos sólidos, se ha utilizado el método peso-húmedo y la siguiente ecuación (1):

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

Dónde:

M = Contenido de humedad en porcentaje

W = Peso inicial de la muestra

d = Peso de la muestra después de secarse

En la tabla 2 se muestra la estimación del peso seco para poder aplicar la ecuación (1).

Tabla 2. Contenido de humedad

Componentes	RSU Total Ton/día	Porcentaje en Peso	Contenido de humedad porcentaje	Peso seco Ton/día
ORGÁNICOS				
Residuos de Comida	36.67	49.08	70	11
Papel	6.55	8.76	6	6.15
Cartón	1.33	1.78	5	1.26
INORGÁNICOS				
Vidrio	1.11	1.49	2	1.09
Latas de hojalata	1.31	1.76	3	1.27
Aluminio	0.11	0.15	2	0.11

Fuente: (Tchobanoglous et al., 1995).

2.1.6.2. Volumen

El volumen total de los residuos sólidos que genera la ciudad de Puno, permitirá el diseño adecuado de rutas, frecuencia y número de unidades de recolección, número y capacidad de contenedores, el diseño de infraestructura necesaria para la disposición final y el cálculo de la vida útil.

Tabla 3. Cálculo del volumen

Componentes	RS Total húmedo Ton/día	Peso específico típico Kg/m ³	Volumen m ³
ORGÁNICOS			
Residuos de Comida	36.67	291	126
Papel	6.55	89	73.54
Cartón	1.33	50	26.6
INORGÁNICOS			
Vidrio	1.11	196	5.68
Latas de hojalata	1.31	89	14.74
Aluminio	0.11	160	0.7
Otros Metales	0.21	320	0.64
Suciedad, cenizas, etc.	12.16	481	25.27

Fuente: (Tchobanoglous et al., 1995).

2.1.6.3. Densidad

Teniendo en cuenta el peso total de los residuos sólidos y el volumen calculado, se calcula el peso específico de los residuos sólidos como recogidos:

$$\rho = \frac{kg}{m^3}$$

2.1.7. Propiedades Químicas

La información sobre la composición química de los componentes que conforman los residuos sólidos es importante para evaluar una futura opción de procesamiento y recuperación

2.1.7.1. Composición Química

Tomando como base la composición elemental de los residuos sólidos de la ciudad de Puno, se ha obtenido la composición química que permitirá evaluar las opciones de procesamiento y recuperación.

Los resultados nos permitirán definir las fórmulas químicas empíricas del total de generación, con las fórmulas químicas que a continuación se detallan (Tchobanoglous et al., 1995).

Formulas químicas empíricas del total de residuos sólidos generados

✓ **Formulas químicas sin azufre:**

Sin Agua $C_{49} H_{79} O_{21} N$

Con Agua $C_{49} H_{185} O_{75} N$

✓ **Formula química con azufre**

Sin agua $C_{586} H_{934} O_{248} N_{12} S$

Con Agua $C_{586} H_{2194} O_{885} N_{12} S$

Formulas químicas empíricas de la fracción orgánica

✓ **Formulas químicas sin azufre:**

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

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

✓ **Formula química con azufre**

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

Con Agua $C_{291} H_{1124} O_{486} N_{0.7} S_{14}$

2.1.8. Reacciones en el proceso del relleno sanitario

Una vez generados los residuos sólidos y luego de la disposición final de los mismos en el relleno sanitario, se produce la liberación del agua propia de los desechos y la filtración a través de la capa de desechos que se encuentran en estado de descomposición, disolviendo materiales biológicos y componentes químicos, los cuales posteriormente serán objeto de transformaciones físicas, químicas y biológicas de forma interrelacionada y simultánea, dependiendo del tipo de tratamiento, y la caracterización de los componentes.

2.1.8.1. Reacciones físicas

Las reacciones físicas de mayor importancia que se presentan en un relleno sanitario son:

- Difusión lateral de los gases en el relleno y emisión de gases del relleno al ambiente circundante.
- Movimiento del lixiviado dentro y hacia abajo del relleno a través del suelo.
- Asentamiento causado por la consolidación y descomposición del material vertido (López, 2011).

El lixiviado se produce en los poros de aire del relleno, interfiriendo así en la migración de gases (Tchobanoglous et al., 1995).

2.1.8.2. Reacciones Químicas

Las reacciones químicas más importantes de un relleno sanitario son:

- Disolución y arrastre en suspensión de los elementos materiales de los desechos, y de productos de conversión biológica en los líquidos que se filtran a través de los desechos.
- Evaporación de compuestos químicos y de agua en el gas del relleno.
- Absorción de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en el material vertido.
- Deshalogenación de oxidación-reducción de compuestos orgánicos.
- Reacciones de oxidación-reducción que afectan a metales y a la solubilidad de las sales metálicas (López, 2011).

2.1.8.3. Reacciones biológicas

Las más importantes reacciones biológicas que ocurren en los rellenos sanitarios son aquellas asociadas con la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos, y que evolucionan produciendo gases y eventualmente líquidos. El proceso de descomposición biológica se inicia de forma aeróbica, durante un corto período de tiempo, inmediatamente después de la evacuación de los desechos, en razón del oxígeno del aire atrapado dentro de la porosidad después de la compactación; como dicho aire no es

renovado, rápidamente se agota el oxígeno y la descomposición procede en condiciones anaeróbicas; en esta etapa la materia orgánica se transforma principalmente en dióxido de carbono, metano y cantidades de traza de amoníaco y ácido sulfhídrico (Collazos, 2008).

2.1.9. El lixiviado

Es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto materia en suspensión como disuelta, generalmente se da en ambos casos. Este líquido es comúnmente hallado o asociado a rellenos sanitarios, en donde, como resultado de las lluvias percolando a través de los desechos sólidos y reaccionando con los productos en descomposición, químicos, y otros compuestos, es producido el lixiviado. Si el relleno sanitario no tiene sistema de recogida de lixiviados, éstos pueden alcanzar las aguas subterráneas y causar problemas medioambientales o de salud.

Típicamente, el lixiviado es tóxico, ácido, rico en ácidos orgánicos, iones sulfato y con altas concentraciones de iones metálicos comunes, especialmente hierro. El lixiviado tiene un olor bien característico, difícil de ser confundido y olvidado (Tchobanoglous et al., 1995).

Los peligros de los lixiviados son debido a altas concentraciones de contaminantes orgánicos y nitrógeno amoniacal, microorganismos patógenos y sustancias tóxicas que pueden estar presente, son a menudo citadas como las más importantes; pero el contenido de microorganismos patógenos se reduce rápidamente en el tiempo en los rellenos sanitarios, aplicándose esto último al lixiviado fresco.

Geológicamente es el proceso de eliminación de los constituyentes solubles de una roca, sedimento, suelo, escombrera, por las aguas de infiltración.

La mezclas de residuos que el hombre produce y consume en gran medida son uno de los factores para que den origen a dicho líquido "lixiviado" ya que al unirse los residuos y los líquidos que emanan, se filtran a los mantos acuíferos provocando la contaminación del agua y los suelos, los cuales con el transcurso del tiempo dejaran de producir por la contaminación de los mismos (Tchobanoglous et al., 1995).

2.1.9.1. Características

Las características de los lixiviados se representan comúnmente por los parámetros básicos: DQO, DBO₅, relación DBO₅/DQO, pH, conductividad, ST, SDT, SST, nitrógeno total y metales pesados.

- DQO: Es el parámetro más crítico para el tratamiento de lixiviados. La DQO es considerada como la cantidad total de la reducción de materiales en muestras acuosas. Es conocido poco acerca de la contribución exacta de cada componente al total del valor de la DQO debido a la complejidad de los lixiviados de un relleno sanitario. Sin embargo, es necesario investigar la composición de la DQO en los lixiviados ya que puede ayudar a mejorar la comprensión de la distribución, comportamiento ambiental y destino de cada componente individual (Tchobanoglous et al., 1995).

Las diferencias en los valores de DQO pueden deberse a: el diseño del relleno sanitario, la composición de los RSU, las características del sitio y la edad del relleno sanitario. Las pruebas de DQO miden el carbón orgánico total con excepción de ciertos compuestos aromáticos, tales como el benceno, el cual no es oxidado completamente con la reacción. La prueba de DQO es una reacción de oxidación-reducción, la cual reduce sustancias tales como sulfuros, sulfitos e ion férrico (Qarani et al., 2010).

- DBO₅: Es el parámetro más utilizado en la caracterización de la contaminación de agua residual y agua superficial. La determinación de DBO₅ involucra la medición de oxígeno disuelto usado por los microorganismos durante la oxidación bioquímica de la materia orgánica (Qarani et al., 2010).

La relación DBO₅/DQO indica la edad del lixiviado. Generalmente la relación DBO₅/DQO para un lixiviado joven es más alta que el de un lixiviado maduro derivado de una estabilización. Una baja relación DBO₅/DQO indica que el lixiviado es estable y difícil de degradar biológicamente. Por lo tanto, las técnicas fisicoquímicas son recomendadas en el tratamiento de lixiviado estable (Qarani et al., 2010).

- pH: El pH de un lixiviado varía de acuerdo a la edad del lixiviado. Tal como lo describe (Tchobanoglous et al., 1995). El pH del lixiviado disminuye hasta 5 o menos por la

presencia de ácidos orgánicos durante la fase ácida, incrementando después hasta un valor de 8 durante la fase de maduración.

- Conductividad eléctrica: La conductividad eléctrica en medios líquidos (disolución) está relacionada con la presencia de sales en solución, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar energía eléctrica si se somete el líquido a un campo eléctrico.
- Sólidos totales (ST): La división de los contaminantes en SDT y SST es fundamental ya que muchos tratamientos solo son efectivos contra uno de ellos. Los sólidos que pasan a través de un filtro apropiado son definidos como los SDT, mientras que los sólidos que son retenidos por el filtro son los SST.

La velocidad de degradación de los contaminantes en un relleno sanitario es propensa a ser afectada por muchos factores, tales como la temperatura, las condiciones geológicas, el clima local, los hábitos de vida de la población y el proceso de operación del relleno sanitario (Ziyang L. et al., 2009, págs. 3385-3391).

2.1.9.2. Formación de lixiviados

Cuando el agua proveniente de precipitaciones pluviales y escorrentías, fluye a través de los desechos sólidos compactados y almacenados en un relleno sanitario, supera la capacidad de campo, se produce un líquido de aspecto desagradable, de mal olor, rico en elementos contaminantes, de elevada carga orgánica, conocido como lixiviado, que en conjunto con la degradación aerobia y anaerobia de la materia orgánica, disuelve sustancias y arrastra partículas contenidas en los desechos sólidos, y que al desplazarse verticalmente, si no se dispone de una adecuada impermeabilización del suelo, potencialmente podría llegar al subsuelo y contaminar las aguas subterráneas (Corbitt, 2003). (Ehrigh, 1992).

Los lixiviados se originan de dos fuentes principales en el área del relleno:

- a) Lixiviado producto del líquido o humedad propia de los residuos y humedad intersticial por los diversos tratamientos o bien generado por descomposición de materia orgánica presente.
- b) Lixiviado producto de fuentes externas.
 - A partir de agua de lluvia que cae directamente sobre los desechos sólidos.
 - Agua que se mueve horizontal al suelo y que llega directamente al relleno sanitario.
 - Contacto directo de las aguas subterráneas con los residuos por la elevación del nivel freático.
 - Aporte o derrame de líquidos en el relleno sanitario.

En este contexto el lixiviado es la cantidad de agua en exceso sobre la capacidad de retención de humedad del material en el relleno sanitario. Los factores que influyen en la formación de estos son:

- Agua disponible: Precipitación pluvial, presencia de agua superficial, recirculación de lixiviados e irrigación de la cobertura.
- Características de la cubierta de los residuos: Tipo de suelo y vegetación, grado de compactación del material de cubierta y pendientes de las superficies finales.
- Características del tipo de residuos: Compactación, composición y contenido de humedad de los residuos cuando fueron dispuestos.
- Impermeabilización empleada: Tipo de material empleado (natural o artificial), tanto en el fondo como en la cubierta final del confinamiento.

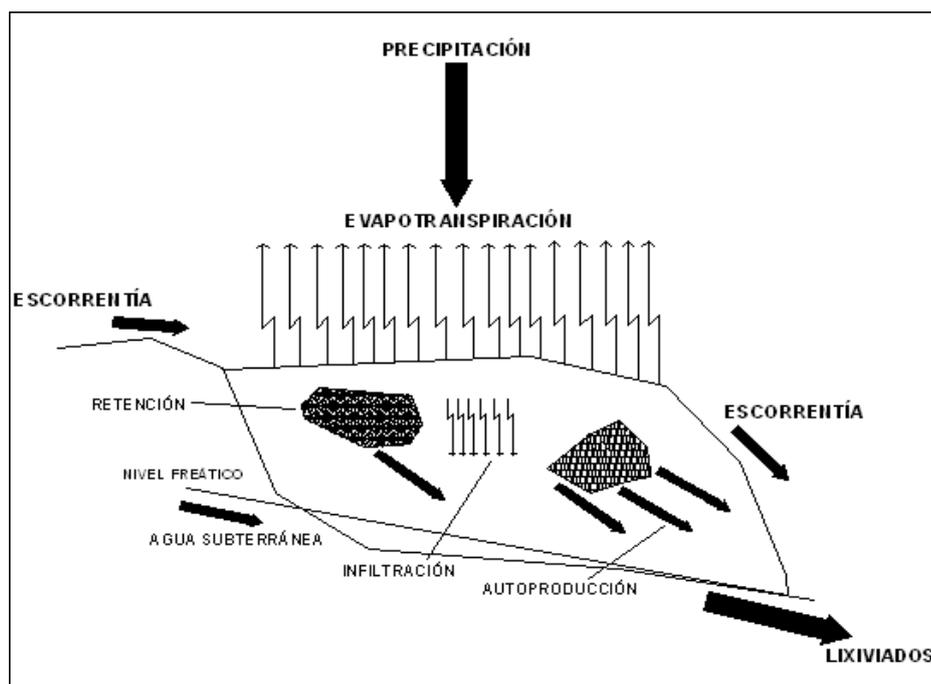


Figura 2. Formación de lixiviados

La masa contaminante que produce un relleno sanitario depende de la concentración de los elementos en el lixiviado, fruto de los diferentes desechos que en él se depositan, ya que estos irán sufriendo transformaciones, y del volumen de lixiviado generado en el tiempo. Las características y las tasas de generación de los lixiviados son específicas para cada sitio y tipo de desecho, ya que dependen de la composición de los desechos sólidos dispuestos en el lugar, de la temperatura, la humedad y el pH de los mismos, y de la calidad y cantidad del agua que logra pasar hacia la zona donde se encuentra la basura (Collazos, 2008).

Un relleno sanitario constituye un reactor bioquímico donde las entradas son residuos y agua, en tanto que las salidas principales son gases y líquido lixiviado como resultado de la conservación biológica de la mayoría de componentes orgánicos, durante la estabilización de los desechos sólidos (Parra Caymayo, 2006, págs. 121-123).

El conocimiento de los orígenes, la generación y los tipos de residuos sólidos, así como los datos sobre la composición y las tasas de generación, son antecedentes básicos muy importantes en la toma de decisiones en lo que se refiere a proyección y diseño de los sistemas de manejo y disposición final (Tchobanoglous et al., 1995).

2.1.9.3. Composición de los lixiviados

El lixiviado está constituido (ver tabla 4) por una corriente acuosa que ha emergido o atravesado los residuos sólidos y que contiene disueltos, en suspensión o en forma de emulsión materiales lixiviados o extraídos de los desechos sólidos (Corbitt, 2003).

Tabla 4. Datos típicos sobre la composición del lixiviado de rellenos nuevos y maduros

Componente	Relleno nuevo (< 2 años)		Relleno maduro (> 10 años)
	Intervalo	Típico	
DBO₅	2000 – 30000	10000	100 – 200
Carbono Orgánico Total (COT)	1500 – 20000	6000	80 – 160
DQO	3000 – 60000	18000	100 – 500
STS	200 – 2000	500	100 – 400
Nitrógeno Orgánico	10 – 800	200	80 – 120
Nitrógeno Amoniacal	10 – 800	200	20 – 40
Nitrato	5 – 40	25	5 – 10
Fósforo Total	5 – 100	30	5 – 10
Fósforo en ortofosfato	4 – 80	20	4 – 8
Alcalinidad como CaCO₃	1000 – 10000	3000	200 – 1000
Potencial Hidrógeno	4,5 – 7,5	6	6,6 – 7,5
Dureza total como CaCO₃	300 – 10000	3500	200 – 500
Calcio	200 – 3000	1000	100 – 400
Magnesio	50 – 1500	250	50 – 200
Potasio	200 – 1000	300	50 – 400
Sodio	200 – 2500	500	100 – 200
Cloruro	200 - 3000	500	100 – 400
Sulfato	50 - 1000	300	20 – 50
Hierro Total	50 – 1200	60	20 – 200

* Todas las unidades están en miligramos por litro, excepto el pH.

Fuente: (Tchobanoglous et al., 1995).

2.1.9.4. Estimación de la generación de lixiviados

La generación de lixiviado en un relleno sanitario está directamente relacionada con las condiciones climatológicas (precipitación, temperatura, humedad, evapotranspiración, radiación solar, etc.), propiedades del suelo, humedad de los residuos y la metodología de trabajo del relleno sanitario, siendo importante la estimación del lixiviado a generarse porque será la base de cálculo para los sistemas de drenaje a construirse, y el sistemas de tratamiento que se pueda aplicar a dichos lixiviados.

- ✓ Criterio practico para estimar la generación de lixiviados en un relleno sanitario Manual y Mecanizado.

La generación de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial y de la humedad propia de los residuos sólidos en proceso de descomposición al interior del relleno sanitario, por consiguiente, calcularemos la generación por la precipitación y la generación por humedad de los residuos, sumamos estos valores y esta será la cantidad aproximada de lixiviados que tendremos que manejar en el relleno sanitario (Tchobanoglous et al., 1995).

Casi todos los residuos sólidos sufren cierto grado de descomposición, pero es la fracción orgánica la que presenta los mayores cambios. Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos.

La descomposición o putrefacción natural de la basura produce un líquido mal-oliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado.

Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de basura aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los residuos sólidos, razón principal por lo que deben ser interceptadas y desviadas para evitar el incremento de lixiviado; de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación del agua subterránea.

Para la estimación de la generación de lixiviados se utiliza el cuadro de producción de aguas lixiviadas, en situaciones diferentes, desarrollado por el Servicio Alemán de Cooperación Social - Técnica DED – Deutscher Entwicklungsdienst; este considera que la cantidad de las aguas lixiviadas que se producen en un relleno sanitario depende de los

siguientes factores: de la precipitación, el área del relleno, el modo de operación (relleno manual o compactado con maquinaria, sistema de compactación) y el tipo de basura.

Tabla 5. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario

Tipo de relleno	Producción de aguas lixiviadas (% de la precipitación)	Producción de aguas lixiviadas (m ³ /ha*día)		
		Precipitación 700 mm/año	Precipitación 1500 mm/año	Precipitación 3000 mm/año
Relleno normal	60	11.51	24.66	49.32
Relleno compactado con maquinaria liviana	40	7.67	16.44	32.88
Relleno compactado con maquinaria pesada	25	4.79	10.27	20.55

Fuente: (Municipalidad de Loja, 2009).

2.1.10. Tratamiento de lixiviados

2.1.10.1. Recirculación

Regresar los lixiviados a la parte más alta del relleno sanitario ha sido muy utilizada en los años pasados ya que es una de las opciones disponibles de tratamiento menos costosas (Renous, Givaudan, Poulain, Dirassouyan, & Moulin, 2008). Cuando se recircula el lixiviado, se diluyen y atenúan los compuestos producidos por la actividad biológica, y por otras reacciones químicas y procesos físicos que se producen dentro del vertedero, por ejemplo, los ácidos orgánicos sencillos presentes en el lixiviado se convertirán en CH₄ y CO₂.

Por la subida del pH dentro del vertedero cuando se produce CH₄, los metales se precipitarán y serán retenidos dentro del vertedero. Un beneficio extra del reciclaje de los lixiviados es la recuperación del gas de vertedero que contiene CH₄. Normalmente la tasa de producción del gas es mayor en sistemas para la recirculación de lixiviado. Para evitar la emisión incontrolada de gases de vertedero cuando se recicla el lixiviado para su tratamiento, se debería equipar el vertedero con un sistema para la recuperación del gas. Finalmente será necesario recoger, tratar y evacuar el lixiviado residual. En vertederos grandes, quizás será necesario proporcionar instalaciones para el almacenamiento de los

lixiviados (Tchobanoglous et al., 1995). Sin embargo; (Renous et al., 2008) argumenta que la recirculación de los lixiviados puede tener efectos adversos cuando se recirculan grandes cantidades de éstos ya que se puede presentar efectos de saturación, encharcamientos y condiciones ácidas. Cuando existe saturación de lixiviados al recircularse, éstos pueden impedir la migración de los gases de vertedero lo que conlleva a un aumento en la presión interna del vertedero propiciando condiciones de operación inseguras.

Uno de los tratamientos fisicoquímicos es el proceso de clarificación primaria, el cual se basa en experiencias de coagulación/floculación como fenómeno de superficie. Para el efecto se utiliza aditivos coagulantes y floculantes de efecto tensoactivo. La tensión superficial se encuentra en función de la concentración y naturaleza de un soluto.

Los solutos tensoactivos negativos son los compuestos iónicos como el NaCl , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , que se diferencian entre sí por su densidad de carga.

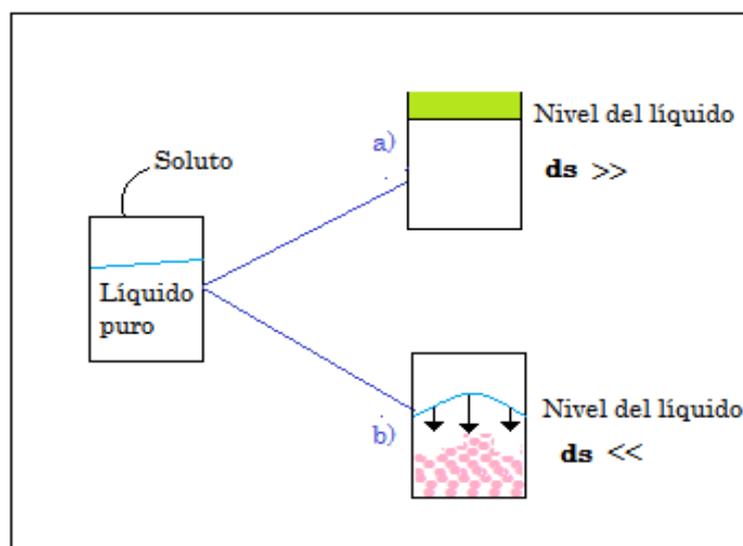


Figura 3. Naturaleza de un soluto

La figura 3 muestra que en el caso “a” (color verde) existe mayor área de superficie, entonces el soluto se concentra en la superficie; y en el caso “b” (color rosado) existe menor área de superficie, porque el soluto se concentra en el fondo y contrae el área de superficie.

2.1.10.2. Tratamiento fisicoquímico de coagulación/floculación

Los lixiviados, en diferente composición, contienen material suspendido, estos sólidos pueden sedimentar en reposo o son sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad, como los coloides. Cada partícula de los coloides, son estables debido a una serie de cargas de igual signo sobre su superficie causando el efecto de repulsión de dos partículas vecinas, como se repelen dos polos magnéticos, todo esto impide el choque de las partículas para formar masas mayores, llamadas flóculos. Causando que las partículas no sedimenten.

La coagulación/floculación es un procedimiento químico y físico por el cual las partículas demasiado pequeñas se desestabilizan y se aglomeran para acelerar su asentamiento, esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado (Henry & Heinke, 1999).

Modelo químico del proceso de coagulación/floculación

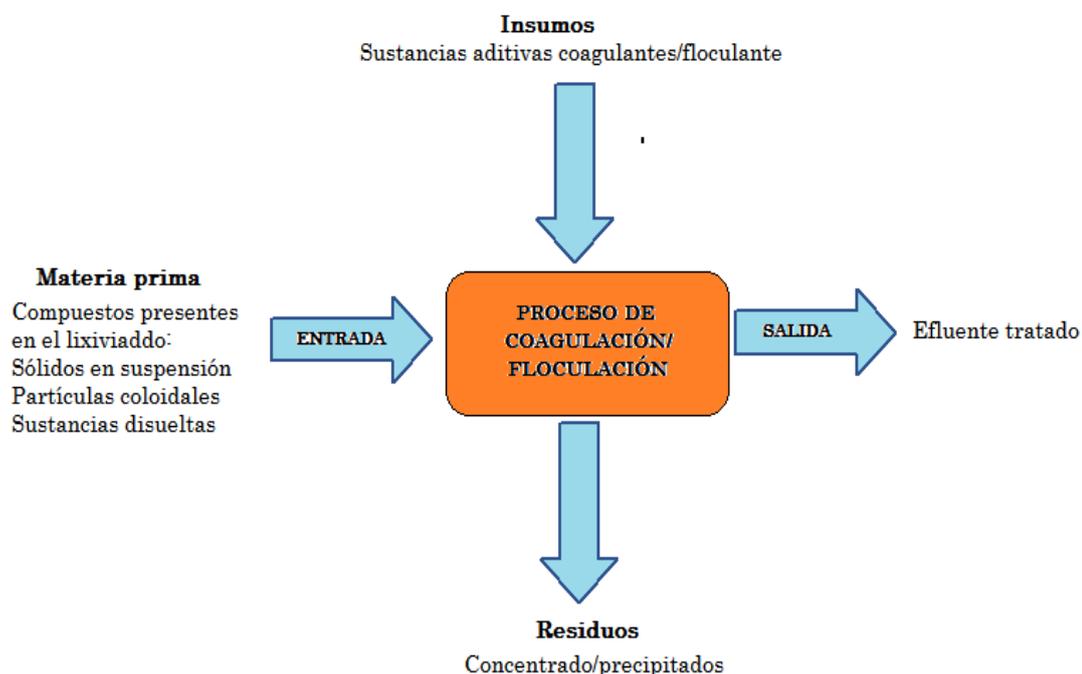


Figura 4. Esquema del proceso de Coagulación/floculación

2.1.10.3. Desestabilización de partículas

Una suspensión coloidal se forma cuando una sustancia es insoluble en el medio y sus partículas son muy pequeñas y se dispersan en él. Ciertas sustancias orgánicas se consideran solubles pero no forman soluciones reales, sino dispersiones coloidales. Por su tamaño tan pequeño, el área superficial con relación a su masa es muy grande, como resultado de esta gran área predominan los fenómenos de superficie. La masa de las partículas coloidales es tan pequeña que los efectos gravitacionales no tienen importancia. Toda partícula coloidal está eléctricamente cargada, la carga varía su magnitud de acuerdo a la naturaleza del material coloidal y puede ser positiva o negativa. La estabilidad de los coloides depende de su carga eléctrica. Los de signo igual se repelen y no dejan formar aglomerados de muchas partículas. Por su gran superficie, los coloides son adsorbentes poderosos. La adsorción preferencial o selectiva, donde se adsorben algunas clases de partículas según su carga, es la base fundamental de la estabilidad de algunas dispersiones coloidales. Las partículas coloidales poseen un exceso de carga superficial, adquirida mediante procesos de ionización de varios grupos funcionales o de adsorción de otros iones presentes en el medio de dispersión. Este exceso de carga superficial afecta a la distribución de iones del entorno, de modo que los iones de signo distinto son atraídos hacia la superficie mientras que los del mismo signo son repelidos. Este fenómeno termodinámico, da lugar a una distribución de carga alrededor de la partícula cuya estructura adopta la forma de doble capa eléctrica como se ilustra en la Figura 5.

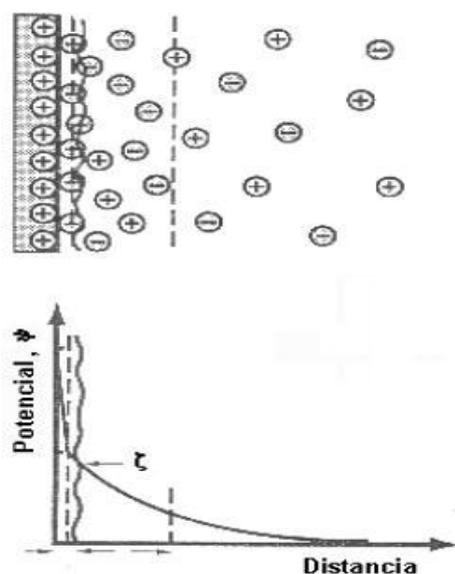


Figura 5. Doble capa eléctrica

Se le denomina doble capa puesto que puede considerarse formada por dos regiones con propiedades claramente diferenciadas: una primera región más próxima a la superficie, formada por iones firmemente ligados a esta y relativamente de poco espesor, denominada capa rígida, y una segunda capa más extendida, en donde el efecto termodinámico permite un movimiento iónico más dirigido denominado capa difusa y que realmente constituye una atmosfera iónica.

El potencial eléctrico en la superficie de separación de ambas capas, viene determinado por las características de los iones adsorbidos en la capa rígida, la cual puede cambiar con la naturaleza del medio. Puede demostrarse que, a lo largo de la capa difusa, el potencial eléctrico disminuye aproximadamente de modo exponencial con la distancia r . Lo anterior puede ser representado mediante la siguiente ecuación (2).

$$\varphi(r) = \varphi_0 \exp(-kr) \text{ Ec. (2)}$$

La capa difusa puede comprimirse apreciablemente al aumentar la concentración de electrolito, disminuyendo así la estabilidad de la partícula coloidal frente a posibles procesos de agregación, lo que facilita la aparición de procesos de coagulación/floculación/sedimentación. El coloide coagula cuando la compresión de la doble capa alcanza un tamaño crítico tal que hace que predominen las fuerzas de atracción sobre las fuerzas de repulsión entre las partículas. La desestabilización de partículas puede ser alcanzada por tres mecanismos:

- (1) Compresión de la doble capa por la adición de un electrolito
- (2) Adsorción y neutralización de la carga.
- (3) Cambio en la concentración de los iones que determinan el potencial (Eckenfelder, 1989, págs. 302-304).

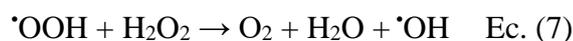
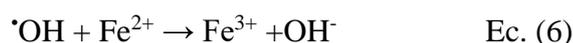
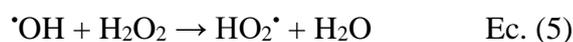
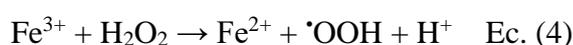
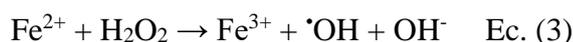
2.1.10.4. Adsorción

El proceso de adsorción consiste, en términos generales, en la captación de sustancias solubles presentes en la interfase de una solución. Esta interfase puede hallarse entre un líquido y un gas, un sólido, o entre dos líquidos diferentes. El tratamiento del agua residual con carbón activado (CA) suele estar considerado como un proceso de refinado de aguas que ya han recibido un tratamiento biológico normal. En este caso, el carbón se emplea para eliminar parte de la materia orgánica disuelta. Asimismo, es posible eliminar

parte de la materia particulada también presente, dependiendo de la forma en que entran en contacto el carbón y el agua. El proceso de adsorción tiene lugar en tres etapas: macro-transporte, micro-transporte y sorción. El macro-transporte engloba el movimiento por advección y difusión de la materia orgánica a través del líquido hasta alcanzar la interfase líquido-sólido. Por su parte, el microtransporte hace referencia a la difusión del material orgánico a través del sistema de macroporos (>50 nm) del carbón activado hasta alcanzar las zonas de adsorción que se hallan en los microporos (<2 nm) y submicroporos de los gránulos de carbón activado. La adsorción se produce en la superficie del granulo y en sus macroporos y mesoporos (2-50 nm), pero el área superficial de estas zonas del CA es tan pequeña comparada con el área de los micro y submicroporos, que la cantidad de material adsorbido en ellos se considera despreciable. El uso del término sorción se debe a la dificultad de diferenciar la adsorción física de la adsorción química, y se emplea para describir el mecanismo por el cual la materia orgánica se adhiere al CA. El equilibrio se alcanza cuando se igualan las tasas de adsorción y desorción, momento en el que se agota la capacidad de adsorción del carbón. La capacidad teórica de adsorción de un determinado contaminante por medio del carbón activado se puede determinar calculando su isoterma de adsorción. La cantidad de adsorbato que puede retener un adsorbente es función de las características y de la concentración del adsorbato y de la temperatura. En general, la cantidad de materia adsorbida se determina como función de la concentración a temperatura constante, y la función resultante se conoce con el nombre de isoterma de adsorción. Las fórmulas más frecuentemente empleadas para el tratamiento de los datos experimentales de la isoterma fueron desarrolladas por Freundlich, por Langmuir, y por Brunauer, Emmet y Teller (Isoterma BET). De las cuatro formulaciones, la más empleada para describir las características de adsorción del carbón activado empleado en el tratamiento de aguas residuales son las isotermas de Freundlich y Langmuir. Las isotermas de adsorción son esenciales para la descripción de como la concentración de adsorbato interactúa con el medio de adsorción y son útiles para optimizar el uso de un medio como adsorbente. Por lo tanto, las ecuaciones empíricas de los modelos de isotermas de Freundlich y Langmuir son importantes para la interpretación y predicción de los datos de adsorción.

2.1.10.5. Oxidación Química

Los procesos de oxidación química han sido ampliamente utilizados en la descomposición de compuestos orgánicos peligrosos. El peróxido de hidrogeno (H_2O_2) en la presencia de un catalizador (ej. Fe) genera radicales hidroxilo ($\cdot OH$) los cuales reaccionan con el material orgánico reduciéndolo de acuerdo al siguiente mecanismo de reacción:



El Fe^{3+} producido es un coagulante potente para la remoción de constituyentes de alto peso molecular por la adsorción en los flóculos formados de $Fe(OH)_3$ a un pH neutro (Jiang et al., 2011, págs. 308-3014).

Las aplicaciones costo-eficiencia de la oxidación química sugieren una oxidación parcial de los compuestos orgánicos refractarios para hacerlos más biodegradables. La oxidación con H_2O_2 es comúnmente realizado a pH de 3.5 ya que corresponde a la tasa máxima de formación de radicales libres en los sistemas H_2O_2 - Fe^{2+} , donde Fe^{2+} (conocido también como reactivo Fenton) es utilizado como catalizador (Eckenfelder, 1989).

2.1.10.6. Membranas

La filtración es definida como la separación de dos o más componentes de un fluido basados principalmente en la diferencia de tamaños. El papel principal de una membrana es actuar como una barrera selectiva. Esto permite el paso de ciertos componentes y la retención de otros en una mezcla de compuestos. Por lo tanto, ya sea el permeado o la fase retenida se enriquecen en uno o más componentes. En este sentido, la membrana se puede definir como la región discontinua interpuesta entre dos fases, o como la fase que actúa como barrera para prevenir el movimiento de masa regulando o restringiendo el paso de una o más especies a través de ella. La membrana puede estar en fase gaseosa, líquida o sólida o combinaciones de estas. Las membranas pueden ser clasificadas por:

- a) La naturaleza de la membrana – natural o sintética.
- b) La estructura de la membrana porosa o no porosa, sus características morfológicas o como membranas líquidas.
- c) La aplicación de la membrana – separación en fase gaseosa, gas-líquido, líquido-líquido, etc.
- d) Mecanismo de acción de la membrana – de adsorción y difusa, intercambio de iones, osmótica, o no selectiva (inerte).

Las membranas pueden también modificar las especies del permeado física o químicamente (con intercambio iónico o membranas bio-funcionales), conducir una corriente eléctrica, evitar el empapamiento (ej. En aplicaciones empacadas o revestidas), o regular la tasa de permeado (en una tecnología de descarga). Por lo tanto, las membranas pueden ser pasivas o reactivas, dependiendo de la habilidad de alterar la naturaleza química de las especies en el permeado. Los grupos iónicos y los poros de la membrana le confieren propiedades permeables o semipermeables.

2.1.11. Coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina

una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos.

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada.

En esta figura 6 se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

Este proceso se usa para:

- Eliminación de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Eliminación de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.

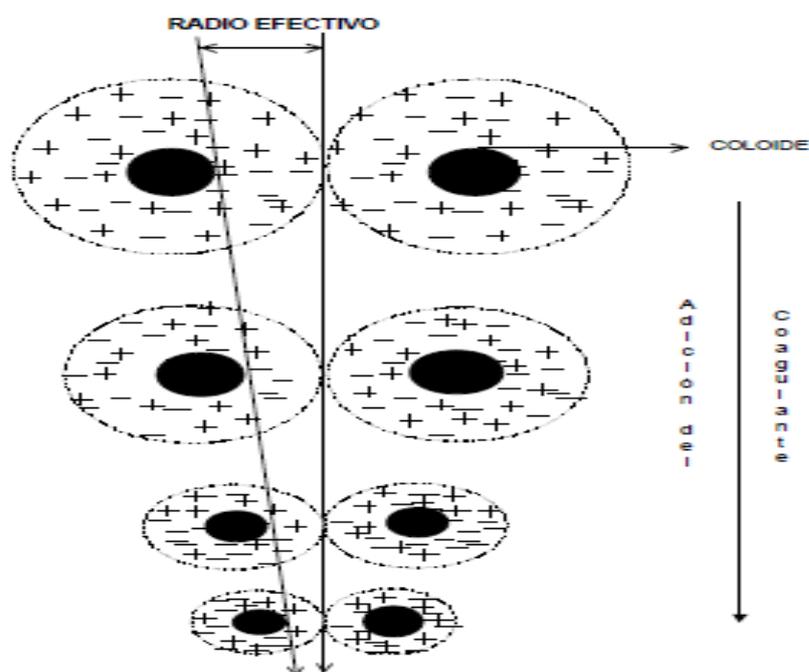


Figura 6. Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa

2.1.11.1. Teoría de la coagulación

Las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales, poseen cargas eléctricas. Estas cargas generan fuerzas de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Es por esto que dichas partículas no se sedimentan. El conjunto formado por estas partículas constituye un sistema coloidal, formado por una doble capa de iones, el cual es sometido a un potencial en la superficie inferior del doble lecho, denominado potencial Z. El problema en la coagulación consiste en disminuir el potencial Z por uno de los siguientes métodos:

- Coagulación por neutralización de la carga.
- Coagulación por disminución del espesor de la doble capa (distancia d).

El fenómeno de la desestabilización se efectúa mediante una serie de reacciones químicas bastante complejas, de las cuales algunas no se han podido entender lo suficiente.

Dentro de esas reacciones se encuentran las que se efectúan con las diversas formas de alcalinidad, por lo cual su contenido disminuye. Además, algunas de estas reacciones producen CO₂, cuyo efecto consiste fundamentalmente en el incremento de la acidez del agua y por consiguiente la disminución del pH.

2.1.11.2. Coagulantes

Los coagulantes son componentes químicos que al adicionarse al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del ella, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando. Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floculante son:

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.
- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Cloruro Férrico.
- e) Sulfato Férrico.

- f) Sulfato Ferroso.
- g) Poli-electrolitos (Como ayudantes de floculación).

Los más utilizados son las sales de Aluminio; al adicionarlas al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro.

2.1.12. Floculación

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar de tamaño y pesos necesarios para sedimentar con facilidad, estos flóculos inicialmente pequeños, al juntarse crean aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y porosa. Así se formaría, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, un floc suficientemente grande y pesado como para sedimentar.

Mientras la coagulación se debe principalmente a una acción química, la floculación se origina y se realiza como consecuencia del transporte de partículas desestabilizadas dentro del agua. La floculación tiene dos objetivos:

- Reunir los coloides desestabilizados para formar agrupaciones de partículas o flóculos con peso específico superior al del agua.
- Compactar los flóculos para disminuir su grado de hidratación y conseguir características adecuadas tales como mayor peso y buena consistencia para su fácil remoción.

La floculación puede ser producida por:

- a) El movimiento browniano de las partículas del agua. La floculación producida por

este movimiento se denomina pericinética. Es demasiado lenta y por tanto no tiene interés práctico en el tratamiento de aguas aunque puede ser importante para explicar la denominada autofloculación

- b) El movimiento inducido del agua mediante suministro externo de energía. Esta floculación se denomina ortocinética y se debe a gradientes de velocidad originados por disipación de energía mecánica o hidráulica. En esta forma se consigue que las partículas se muevan con diferentes velocidades, lo cual aumenta su probabilidad de contacto.

En la figura 7 se observa que en la floculación, el floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos más grandes fácilmente sedimentables.

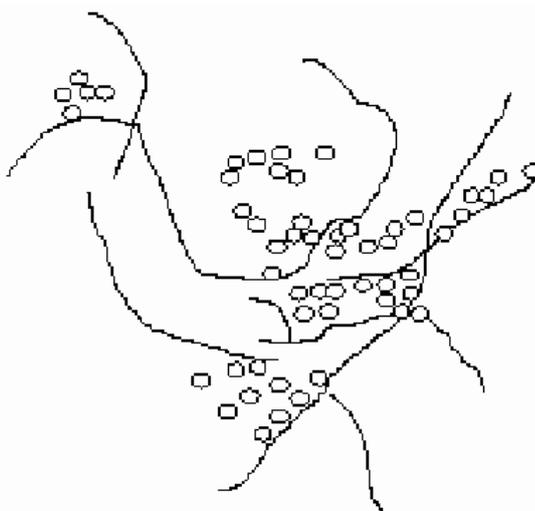


Figura 7. Aglomeración de partículas coloidales empleando floculante

Puede suceder que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo suficientemente grande como para sedimentar con la rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados, tal como se muestra en la figura anterior.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe. La floculación no solo incrementa

el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso. La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación.

2.1.12.1. Tipos de floculadores

✓ (Cárdenas, 2000). Clasificó los floculadores en lentos y rápidos.

✓ (Cánepa, 2000). Los clasifica de la siguiente forma:

De potencia, que a su vez se dividen en hidráulicos y mecánicos y contacto de sólidos, siendo el más conocido el de manto de lodos.

(Cárdenas, 2000). Informa que los más utilizados son los de potencia, y en nuestro país son los hidráulicos, por el bajo consumo energético y la facilidad de mantenimiento, mientras que en países industrializados es muy común el uso de floculadores mecanizados.

Los floculadores hidráulicos, son aquellos que aprovechan la energía del agua para realizar las operaciones de coagulación y floculación. Sin embargo tienen la desventaja por poseer menor posibilidad de control.

✓ (Aliaga Simorte, 2010). Los clasifica en:

- **Minerales:** por ejemplo la sílice activada. Se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.
- **Orgánicos:** son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético.

Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales) y derivados de la celulosa. Su eficacia es relativamente pequeña.

Los de origen sintético, son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se le denominan poli-electrolitos.

Según el carácter iónico de estos grupos activos, se distinguen:

- Polielectrolitos no iónicos: son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.
- Polielectrolitos aniónicos: Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos).
- Polielectrolitos catiónicos: caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino.

La selección del polielectrolito adecuado se hará mediante ensayos Jar-test.

En general, la acción de los polielectrolitos puede dividirse en tres categorías:

- En la primera, los polielectrolitos actúan como coagulantes rebajando la carga de las partículas. Puesto que las partículas del agua residual están cargadas negativamente, se utilizan a tal fin los polielectrolitos catiónicos.
- La segunda forma de acción de los polielectrolitos es la formación de puentes entre las partículas. El puente se forma entre las partículas que son adsorbidas por un mismo polímero, las cuales se entrelazan entre sí provocando su crecimiento.
- La tercera forma de actuar se clasifica como una acción de coagulación formación de puentes, que resulta al utilizar polielectrolitos catiónicos de alto peso molecular. Además de disminuir la carga, estos polielectrolitos formarán también puentes entre las partículas.

2.1.12.2. Parámetros que influyen en la floculación

- **Concentración y naturaleza de las partículas:** La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas (Aliaga Simorte, 2010).

- **Tiempo de detención:** La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades (Aliaga Simorte, 2010).
- **Gradiente de velocidad:** Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados (Aliaga Simorte, 2010).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Botadero

Lugar de acumulación inapropiada de residuos sólidos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios o ambientales. Carecen de autorización sanitaria (Ley N° 27314. Ley General de Residuos Sólidos, 2000).

Un botadero es el lugar donde se disponen los residuos sólidos sin ningún tipo de control; los residuos no se compactan ni cubren diariamente y eso produce olores desagradables, gases y líquidos contaminantes. Muchas veces en los botaderos existen recicladores y criadores de cerdos que ponen en riesgo la salud y contaminan el ambiente.

2.2.2. Disposición final

Procesos u operaciones para tratar o disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura (Ley N° 27314. Ley General de Residuos Sólidos, 2000).

2.2.3. Generador

Persona natural o jurídica que en razón de sus actividades genera residuos sólidos, sea como productor, importador, distribuidor, comerciante o usuario. También se considerará como generador al poseedor de residuos sólidos peligrosos, cuando no se pueda identificar al generador real y a los gobiernos municipales a partir de las actividades de recolección (Ley N° 27314. Ley General de Residuos Sólidos, 2000).

2.2.4. Gestión de residuos sólidos

Toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos de ámbito nacional, regional y local (Ley N° 27314. Ley General de Residuos Sólidos, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación por el proceso de coagulación-floculación utilizando surfactante aniónico, se ejecutó en el Laboratorio de Control de Calidad de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA – Puno. Que está a 3827 m.s.n.m. y la temperatura ambiental aproximada está a temperatura ambiente.

- Las muestras se tomaron del botadero de residuos sólidos urbanos del cerro Cancharani - PUNO.
- Los análisis del lixiviado del botadero se han llevado a cabo en los laboratorios de Ensayo y Control de Calidad de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas de la Universidad Católica de Santa María, de la Ciudad de Arequipa.
- La parte experimental por el método de proceso de adición de surfactante aniónico, los cuales se realizaron en el laboratorio de Control y Calidad de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química UNA – Puno.
- Ubicación:
 - Provincia : Puno
 - Departamento : Puno
 - Dirección : Av. Sesquicentenario N° 1150

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materia prima

Los lixiviados del botadero de los residuos sólidos de la ciudad de Puno, ubicados en el área sur oeste del cerro Cancharani.

3.2.2. Instrumentos de laboratorio

- ✓ Equipo “Jar-Test” FP4 Portable Flocculator Marca VELP SCIENTIFICA (0-200) rpm.
- ✓ pH-metro, Marca FISHER SCIENCE EDUCATION.

- ✓ pH-metro, Marca PASCO.
- ✓ Equipo de filtración, papel Filtro de 0,45 μ m.
- ✓ Balanza analítica, Marca METTLER TOLEDO AB2 04 Max. 210g Min. 10 mg.
- ✓ Termómetro digital Marca FISHER SCIENCE EDUCATION.

3.2.3. Materiales de Laboratorio

- ✓ Fiolas de 100 mL, Clase A.
- ✓ Vasos de precipitado de 100, 400, 1000 mL.
- ✓ Matraces Erlenmeyer de 100, 250 mL.
- ✓ Pipetas volumétricas (5mL, 10mL, 15mL y 25 mL).
- ✓ Baguetas de vidrio.
- ✓ Embudo de vidrio de vástago largo.
- ✓ Espátula de acero inoxidable.
- ✓ Piscetas.
- ✓ Buretas.
- ✓ Papel filtro.
- ✓ Soporte de madera para embudos.

3.2.4. Reactivos

- ✓ Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.
- ✓ Agua destilada.
- ✓ Dodecil benceno sulfato de sodio.

3.3. MÉTODO EXPERIMENTAL

3.3.1. Técnicas de muestreo

En el presente trabajo la materia prima se considera al lixiviado procedente del botadero de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Puno producidos por la cantidad de residuos orgánicos, ubicado en el área sur oeste del cerro Cancharani – Puno, donde se han tomado muestras en cinco puntos distintos de manera que se obtenga una muestra representativa del caudal efluente.



Toma de muestra
Punto 1



Toma de muestra
punto 2 - 3



Toma de muestra
punto 4



Toma de muestra
punto 5

Las muestras de Lixiviado bruto se tomaron directamente del botadero de residuos sólidos urbanos, en el mes de julio del 2018.

Se realiza el muestreo de acuerdo a la RM-273-2013-VIVIENDA; PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES, toma y preservación de muestras. Las muestras deben ser analizadas inmediatamente se toman.

Si el muestreo es integral, tan pronto se ha integrado la muestra se ha sumergido la botella de 300 mL de capacidad y se llenó la botella hasta rebosar aproximadamente 10 segundos sin permitir la entrada de aire atmosférico, sin agitar, tapándolo inmediatamente para evitar la formación de burbujas, se analiza inmediatamente (Garay, 1993).

Para que la muestra sea representativa, se optó por sitios con un flujo constante; el sitio de muestreo se seleccionó de acuerdo con los problemas planteado y los objetivos a cumplir.

Tabla 6. Toma de muestras del Lixiviado de R.S.U. – Cancharani

N° de muestra	Hora	Cantidad de muestra (mL.)
1	08:00	300
2	08:30	300
3	09:00	300
4	09:30	300
5	10:00	300
6	10:30	300
7	11:00	300
8	11:30	300

Fuente: Elaboración propia

La tabla 6 muestra el promedio de las muestras tomadas en ocho puntos estratégicos, en cada punto se han tomado de uno a dos muestras, cuyo resultado es la mostrada en la tabla anterior.

3.3.2. Protocolo para la toma de muestras para lixiviados

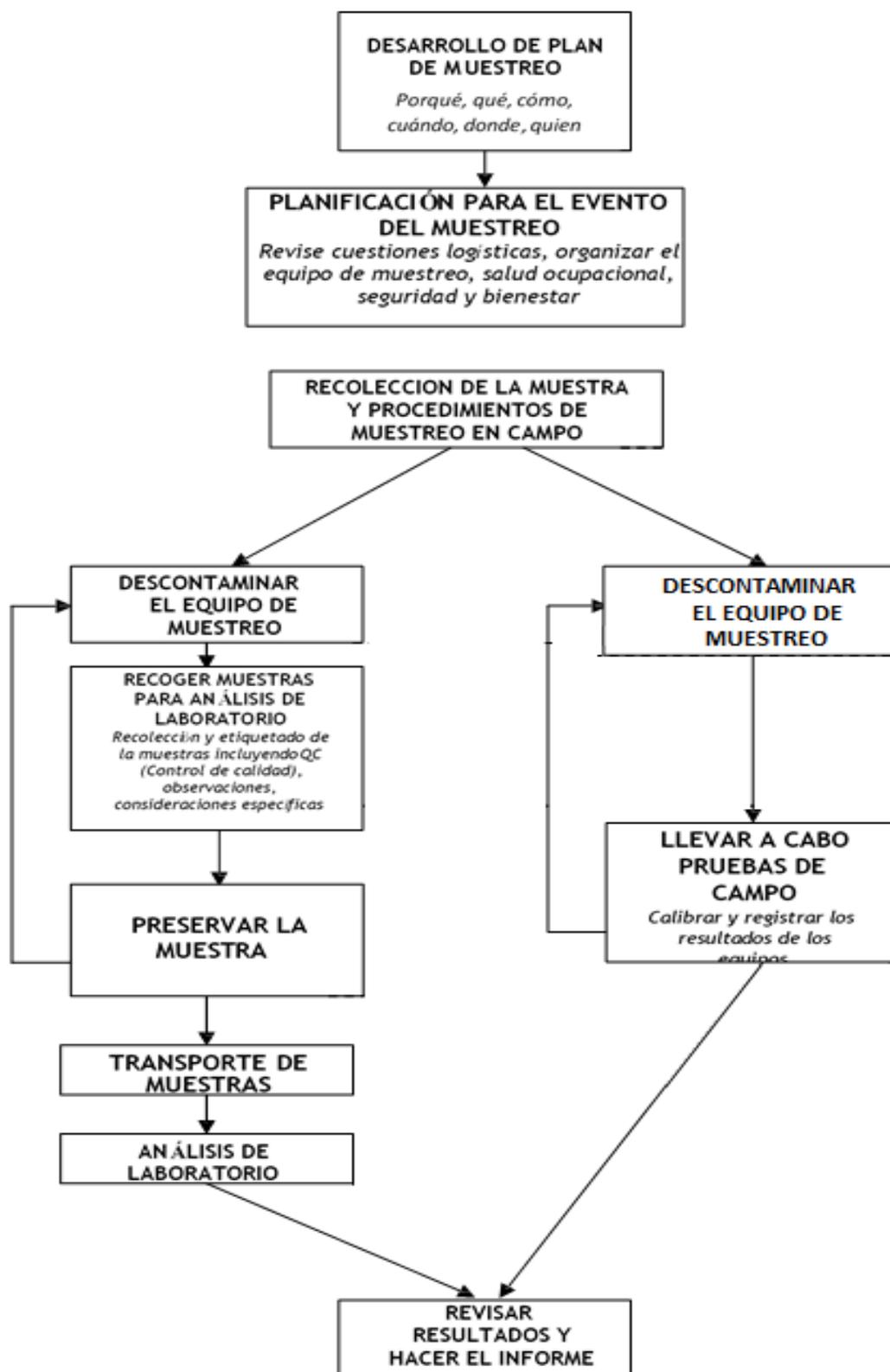


Figura 8. Pasos para el muestreo de lixiviados

Fuente: (Duncan, Hervey, & Walker, 2007)

3.4. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.4.1. Caracterización del lixiviado proveniente del botadero de residuos sólidos urbanos del cerro Cancharani de la ciudad de Puno, como la materia orgánica, DQO y turbidez

- Composición y formación del lixiviado en el vertedero.

Los lixiviados empleados en este trabajo proceden del botadero de residuos sólidos urbanos “Cancharani” de la Ciudad de Puno, el botadero posee un área superficial de, aproximadamente, 4 000 m², siendo su volumen total de 53 000 m³. La generación media de residuos por habitante y día en la ciudad de Puno es de 0,791 kg en el año 2017; recibándose diariamente en el botadero 86,82 toneladas de RSU como promedio. (Estudios Municipalidad Provincial de Puno).

La composición de los residuos sólidos que genera la ciudad de Puno, contiene un 46.54% de humedad que da origen a un efluente.

Por otra parte, la descomposición anaeróbica actúa rápidamente produciendo cambios en la materia orgánica, parte de la cual primero es convertida en líquido y luego de este a gas, es en este momento cualquier agua proveniente de infiltración o precipitación lixiviará los residuos arrastrando consigo sólidos en suspensión y compuestos orgánicos en solución, esta mezcla heterogénea de un elevado potencial contaminante es lo que se denomina lixiviados o líquidos percolados, la tabla 7, muestra los principales contaminantes que genera el vertedero.

El volumen de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial. No solo la escorrentía puede generarlo, también las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación directa sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno.

En climas lluviosos se produce la infiltración del agua en las celdas de rellenos sanitarios, pudiendo llegar a saturar los residuos confinados y generar lixiviados con altas concentraciones de materiales contaminantes.

Para la estimación de la generación de lixiviados se utilizó la tabla de producción de aguas lixiviadas en situaciones diferentes, desarrollado por el Servicio Alemán de Cooperación Social – Técnica DED.

El lixiviado se caracteriza principalmente por su baja biodegradabilidad (expresada como la relación DBO/DQO) y su intenso color marrón-negro. También destaca su concentración en amoníaco y en sulfatos.

Se llevó a cabo el tratamiento de lixiviados del botadero de RSU a escala de laboratorio. La preparación de las muestras para su análisis, antes del proceso de adición de tensioactivos y posteriormente las muestras de la parte experimental, se desarrollaron en el Laboratorio de Control de Calidad de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA - Puno.

Tabla 7. Caracterización físico-química de los lixiviados de los R.S.U.

Componente	Resultado
Fierro	45 (mg/L)
Sulfatos	90 (mg/L)
Nitratos	5 (mg/L)
Amoniaco	0,35 (mg/L)
DQO	2900 (mg/L)
Materia orgánica	82.5 (mg/L)
pH	5 - 8.5
Temperatura	13,5 °C

Fuente: Informe de ensayo- Universidad Católica de Santa María (ver ANEXO F).

El equipo que se empleó para realizar el tratamiento de coagulación-floculación es un Jar test. Este dispositivo consiste en una serie de 4 agitadores de varilla múltiples que giran a la misma velocidad. Las palas agitadoras están diseñadas para apilar los sedimentos en el centro del fondo de los vasos, pudiéndose subir y bajar, sin parar el motor. Dispone de pantalla de iluminación detrás de los vasos.

El coagulante utilizado para el tratamiento de coagulación-floculación es: sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$); combinado con el tensioactivo dodecil benceno sulfato de sodio como floculante.

Tabla 8. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario

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

- Para el cálculo de la cantidad de lixiviado se tomó en cuenta el porcentaje de precipitación pluvial y en función de un factor de generación en m³/año.
- Precipitación anual en Puno: 638.4 mm.
- Área anual del botadero (Has): 0,1312 = 1311.97 m².
- Calculo de la cantidad de lixiviado en el botadero de Puno.

3.4.2. Determinación de los parámetros óptimos de velocidad, pH, y tiempo de retención en la tecnología propuesta, mediante el método de adición de tensioactivos para tratar los lixiviados generados en el botadero de la ciudad de Puno

El tratamiento fisicoquímico utilizado en este proceso para la eliminación de metales pesados y sólidos en suspensión de los lixiviados mediante la adición de tensioactivos para tratar los lixiviados generados en el botadero y formación de los correspondientes hidróxidos, tiene tres etapas:

- 1) Ajuste del pH, para provocar un desplazamiento del equilibrio químico que no favorezca la solubilidad. El pH óptimo para la precipitación de lixiviado está comprendida entre 8.5 y 12, obteniendo buenos rendimientos de eliminación de estos

metales con concentraciones inferiores a 1 mg/L en el efluente tratado.

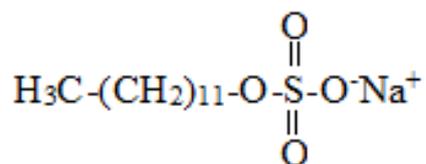
- 2) Coagulación, mediante la cual los elementos precipitados se unen formando coágulos, que favorecen su decantación, para lo cual se utiliza el sulfato de aluminio.

Adición de un aditivo tensioactivo como precipitante, siendo el más eficaz el surfactante aniónico (dodecil benceno sulfato de sodio), que actúa como floculante.

La precipitación alcalina es el método utilizado en esta tesis gracias a las características y las ventajas que presenta sobre otros métodos.

Para esta prueba se seleccionaron las siguientes sustancias:

- a) Polielectrolito (sulfato de aluminio) como coagulante $Al_2(SO_4)_3$.
- b) Floculante, aditivo tensioactivo (Dodecil benceno sulfato de sodio).



La prueba de jarras (Jar - Test) simula los procesos de coagulación o floculación que promueven la recuperación de metales suspendidos.

Es el método más utilizado para la determinación del coagulante óptimo y su dosis, además de otros parámetros como velocidad de agitación, tiempo de mezcla, temperatura y pH. Consiste en una serie de recipientes a los que se adicionan distintas dosis de coagulantes. Una serie de agitadores se introducen simultáneamente en dicha serie de recipientes, produciendo una agitación fuerte, que genera una mezcla íntima, se ha utilizado vasos de precipitado, con equipo de agitación y control de la velocidad (foto 5), que consiste sencillamente en un agitador de velocidad graduable entre 0–300 rpm, con un motor que garantizó la igualdad en las condiciones de agitación. El agitador actúa sobre los vasos de precipitado transparente de 1 litro de capacidad, de modo que al vaso se pueda aplicar diferentes tratamientos y compararlos bajo las mismas condiciones de agitación.



Figura 9. Instalación experimental para el ensayo de coagulación

Se realizaron los experimentos de precipitación en las condiciones óptimas que se indican en la tabla siguiente:

Tabla 9. Condiciones de operación en los experimentos de coagulación-floculación

COAGULACION	FLOCULANTE
20-120 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ (10 %)	20 mg/L de dodecil benceno sulfato de sodio
Velocidad de agitación: 20-150 rpm	Velocidad de agitación: 25 rpm
Tiempo:15 min	Tiempo:12 min

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- 1) Se prepararon ocho muestras de 50 mL de muestra de lixiviado en un vaso de precipitados con agitación.
- 2) Se adicionó a la muestra el polielectrolito o coagulante (sulfato de aluminio) miligramo a miligramo hasta que se observó una buena formación de coágulos (se añadió diferentes dosis del mismo de forma que las concentraciones sean 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 y 120 (mg/L).
- 3) La agitación fue de 150 rpm durante 15 minutos.

Tabla 10. Tratamiento de adición de coagulante

Nº de Pruebas	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/L)	pH
1	20	6
2	30	6
3	40	6
4	50	6
5	60	6
6	80	6
7	100	6
8	120	6

Fuente: Elaboración propia

Se registró esa concentración de la sustancia utilizada y se midió el pH.

- 4) Luego en cada uno de los vasos de precipitados del equipo de prueba de jarras, se adicionó dodecil benceno sulfato de sodio como floculante, ajustando el pH de cada muestra a un pH distinto (5, 6, 7.2, 8.3, 9, 10,11).
- 5) Se mezcló rápidamente a 25 rpm durante 12 minutos, se registró el tiempo en el que se formaron los flóculos.
- 6) Se dejó sedimentar por 30 minutos y se registró el pH al cual había una mejor formación de coágulos, una vez que se formaron los precipitados, se decantó y filtró el contenido de los contenedores, y se tomaron muestras para analizar sus concentraciones y absorbancia para el hierro, DBO₅, DQO.

Las muestras se enviaron para su análisis al Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, los valores de absorbancia y concentración medidos se construye una gráfica donde se represente el porcentaje de reducción de absorbancia frente a la concentración de coagulante empleado.

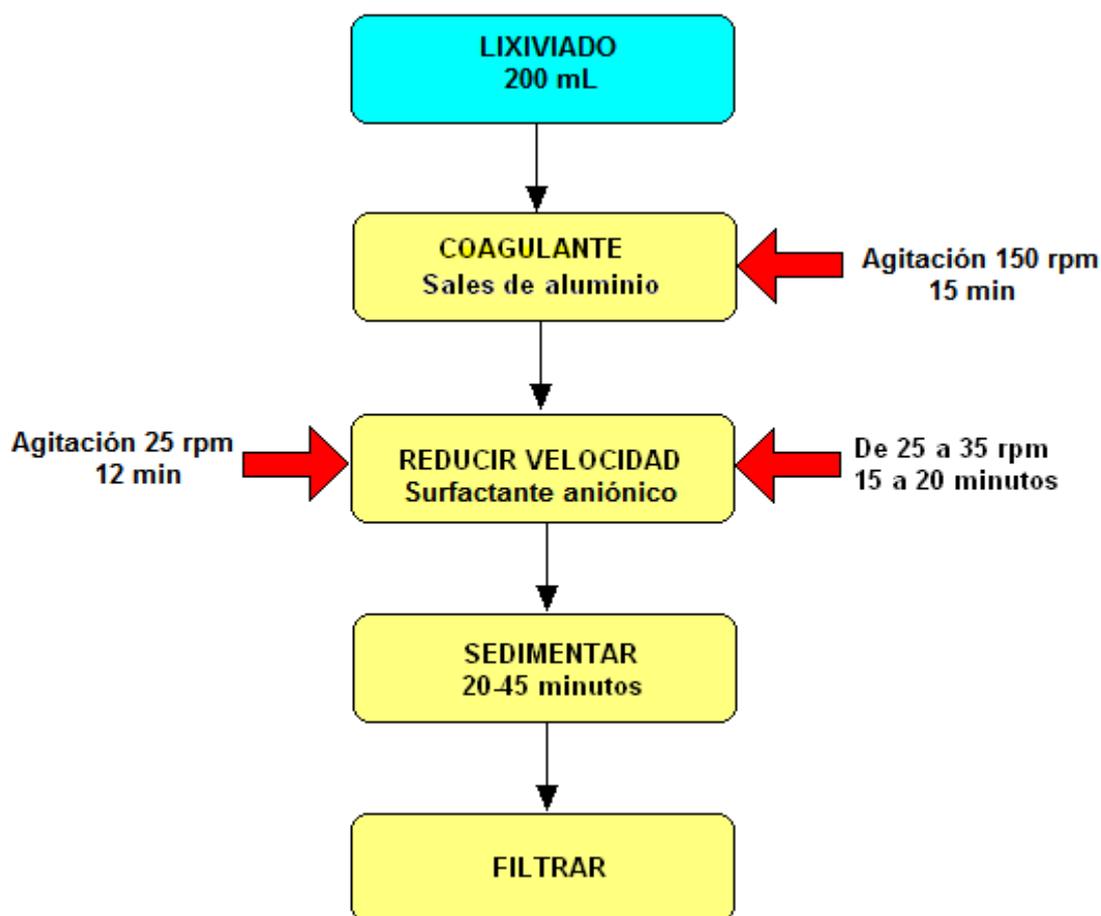


Figura 10. Diagrama de flujo de la prueba de jarras

3.4.3. Determinar el modelo matemático para el proceso de tratamiento de lixiviados generados por los residuos sólidos del botadero de la ciudad de Puno.

a) Eficiencia de recuperación de metales

La eficiencia de recuperación del hierro se calculó con la siguiente ecuación: Los cálculos se observan en el anexo C.

$$\% = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad \text{Ec. (10)}$$

Dónde:

C_i = Concentración inicial del metal en el agua

C_f = Concentración final del metal en el agua después de la precipitación alcalina

b) Desarrollo del modelo matemático por experimentación y estadística.

a. Diseño factorial 2^k

El diseño factorial de experimentos es una técnica estadística que permite planificar eficientemente la experimentación de modo que con un número mínimo de ensayos se logre determinar la significancia de cada una de las variables independientes evaluadas, el efecto de sus interacciones y se obtiene un modelo matemático empírico, que constituye la base para un proceso posterior de optimización.

Para el desarrollo matemático experimental se ha utilizado el programa Statgraphics Centurión XVI.

Para nuestro caso los factores serán optimizados en experimentos factoriales generales, tomándose en cuenta tres factores con dos niveles.

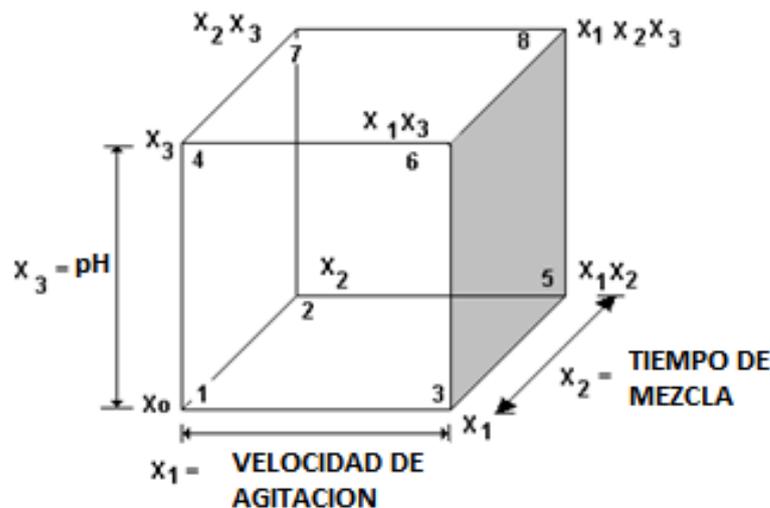


Figura 11. Esquematación del diseño factorial 2^3

Para la determinación de la muestra o número de experimentos, en un diseño factorial completa se da la siguiente ecuación:

$$N = 2^k \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

N = Número total de experimentos

k = Número de variables

En nuestro caso, como hemos mencionado, se realiza un experimento que depende de tres factores y se plantea dos niveles, por lo que se requerirán:

Número de experimentos = $N^k = 2^3 = 8$ experimentos.

El modelo factorial asume cierta linealidad y debe predecir adecuadamente todos los puntos de diseño, incluyendo el central. Por lo que elegimos 3 variables que según muestras pruebas exploratorias intervienen y mejoran la recuperación de metales por precipitación alcalina. Estas variables son: velocidad de agitación, pH y tiempo de residencia en el reactor.

Puesto que se desea determinar el efecto de las tres variables sobre el rendimiento de la recuperación de metales, para ello experimentalmente se realizaron pruebas preliminares para determinar los niveles de cada variable, las que se indican en la siguiente tabla.

b. Identificación de las variables de trabajo

Se ha efectuado la optimización eficaz del proceso, encontrando los rangos de trabajo más óptimos de dicho proceso, se trabajó en función a los factores y niveles establecidos en la tabla 11:

Tabla 11. Variables naturales-datos del diseño experimental

FACTOR	SIMBOLO	UNIDAD	NIVEL (-) INFERIOR	NIVEL (+) SUPERIOR
Velocidad de agitación	X ₁	Rpm	25	150
pH	X ₂	Escalar	6	12
Tiempo	X ₃	Minutos	5	20

Fuente: Elaboración propia

c. Diseño factorial experimental

- Formulación y propósito

Para un diseño factorial 2^3 para tres factores o variables originales (velocidad de agitación, pH y tiempo de agitación) y cada factor con tres niveles $k = 3$ se tiene el siguiente modelo matemático:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_1X_3 + b_6X_2X_3 + b_7X_1X_2X_3 \quad \text{Ec. (12)}$$

Dónde:

Y = Variable respuesta rendimiento

X_1, X_2, X_3 = Variables codificadas de entrada de velocidad, pH y tiempo

$X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3, X_1X_2X_3$ = Interacciones entre las tres variables principales

Primero se halló los valores de X_1, X_2 y X_3 en función a las variables de entrada del proceso y luego los valores $b_0, b_1, b_2, b_3, \dots, b_7$ (estimadores de los coeficientes de regresión) en función a la variable respuesta rendimiento de extracción (Y).

d. Rendimiento de recuperación de metales

La variable respuesta del diseño factorial se cuantifica en el porcentaje de rendimiento de hierro recuperado, el cual se determinó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{w_2}{w_1} \times 100 \quad \text{Ec. (13)}$$

Dónde:

W_1 = Peso inicial de Fe

W_2 = Peso de Fe recuperado

Tabla 12. Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial

N° DE PRUEBAS	W ₁	W ₂	RENDIMIENTO
	(mg)	(mg)	%
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

Fuente: Elaboración propia

Conforme a lo establecido, el diseño factorial es de 08 corridas experimentales previamente combinadas, lo que nos da una visión de los efectos de las variables que permitirá visualizar los efectos y resultados finales.

e. Matriz de diseño

Tabla 13. Matriz de diseño factorial $2^3 = 8$

N° DE PRUEBAS	DISEÑO	COMBINACIÓN DE NIVELES			VARIABLE RESPUESTA (RENDIMIENTO %) "Y"
		X ₁	X ₂	X ₃	
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

Fuente: Elaboración propia

Con los valores de la tabla 13 determinamos el número de pruebas experimentales a realizar (combinando los valores máximo y mínimo de tres factores establecidos). Para un diseño 2^3 se tiene 8 pruebas experimentales.

Diseño que cumple la condición de ortogonalidad en tanto la sumatoria de sus vectores X₁, X₂, X₃ de su producto es cero.

Los resultados y cálculos se ven en el anexo D.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Caracterización del Lixiviado, materia orgánica y DQO

Se realizó el análisis químico del lixiviado del botadero de la ciudad de Puno, las mismas que contienen 45 (mg/L) de Fe y otros componentes, esta cantidad de metal supera los límites máximos permitidos en la normatividad Peruana.

El proceso de tratamiento del lixiviado se realizó por coagulación-floculación, utilizando el surfactante aniónico como floculante, los datos se observan en la tabla 14.

Tabla 14. Caracterización físico-química de los lixiviados de los R.S.U.

Componente	Muestra sin tratar	Muestra tratada
Fierro	45 (mg/L)	2,095 (mg/L)
Sulfatos	90 (mg/L)	11 (mg/L)
Nitratos	5 (mg/L)	1 (mg/L)
amoniaco	0,35 (mg/L)	0,07 (mg/L)
DQO	3000 (mg/L)	34 (mg/L)
Materia orgánica	80.2 (mg/L)	1.45 (mg/L)
PH	5 – 8.5	11
Temperatura	13,5 °C	12 °C

Fuente: Informe de ensayo - Universidad Católica de Santa María de Arequipa
(ver ANEXO F).

El lixiviado se caracteriza principalmente por su baja biodegradabilidad (expresada como la relación DBO/DQO) y su intenso color marrón-negro. También destaca su concentración en amoniaco y en sulfatos.

Se llevó a cabo el tratamiento de los lixiviados del botadero de RSU a escala de laboratorio.

Según (Alexis Arrechea, López Torres, Espinosa Lloréns, & Escobedo Acosta, 2009), se comprobó que no existen diferencias significativas entre los lixiviados provenientes de los diferentes vertederos evaluados.

A partir del balance hídrico se obtuvo un estimado de 42 m³/día de lixiviado (época de avenida) con un mínimo de 13m³/d (estiaje).

La tecnología se distingue por lo siguiente: tanque séptico - filtro anaerobio - sistema de lagunas, con la que se garantiza la reducción del principal contaminante, expresado en términos de DQO y DBO₅ de 2011 a 75 mg/L y de 902 a 30 mg/L respectivamente así como de microorganismos patógenos, asegurando además la disposición final del residuo tratado

4.1.2. Parámetros óptimos de velocidad de agitación, pH y tiempo de retención en la tecnología propuesta, mediante el método de adición de tensioactivos

El tratamiento para la reducción de lixiviado presente en los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Puno se hizo mediante el proceso de coagulación y floculación utilizando como coagulante sulfato de aluminio y como floculante el aditivo tensioactivo (dodecil benceno sulfato de sodio).

El objetivo final es la evaluación de las mejores condiciones para llevar a cabo el proceso de coagulación utilizando Al₂(SO₄)₃ como coagulante, Para ello, se han realizado diversos experimentos de coagulación sobre el lixiviado con distintas concentraciones, que se consiguieron haciendo diferentes.

Las variables de operación que se utilizaron en todas las diluciones fueron, dosis de coagulante (de 20 a 120 mg/L), se varió la velocidad de agitación (20-150 rpm), el tiempo de mezcla (5 - 25 min.) y el pH (de 5 a 12), con objeto de establecer sus influencias en los procesos ensayados.

Tabla 15. Concentración de hierro remanente de la muestra tratada con aditivo tensioactivo (dodecil benceno sulfato de sodio)

Nº Muestra	Dosis (mg/L)	Concentración de Fe (mg/L)	% Recuperación de Fe
1	20	2,039	94,86
2	30	2,055	94,9
3	40	2,065	94,96
4	50	2,035	95,01
5	60	2,037	95,07
6	80	2,046	95,20
7	100	2,095	95,34
8	120	2,086	95,14

Fuente: Informe de ensayo- Universidad Católica de Santa María de Arequipa

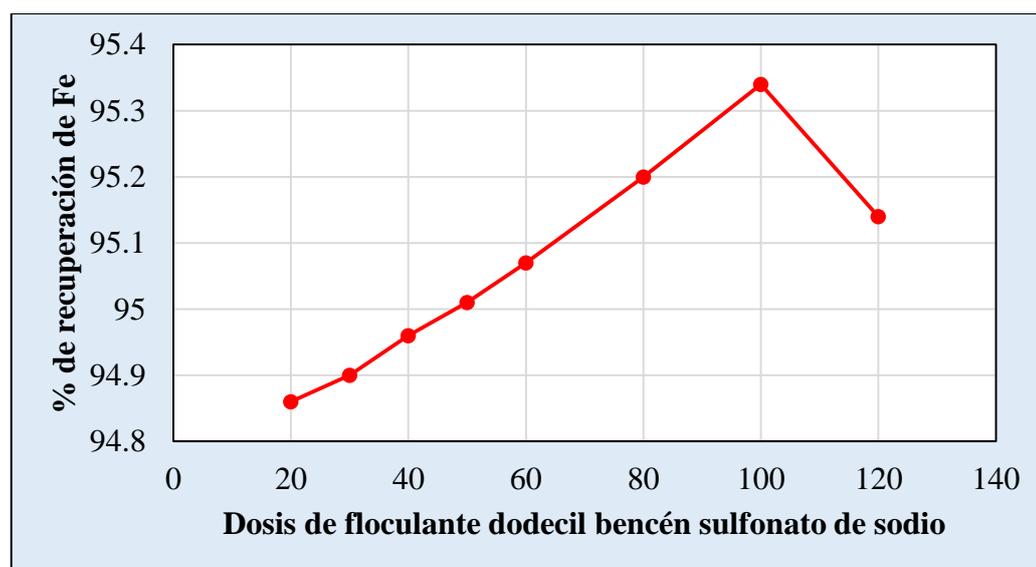


Figura 12. Eficiencia de recuperación de Fe con aditivo Tensioactivo (Dodecil benceno sulfato de sodio)

La figura 12 muestra el porcentaje de recuperación de hierro luego del proceso de coagulación y floculación utilizando sulfato de aluminio como coagulante y dodecil benceno sulfato de sodio como floculante, alcanzando un máximo de recuperación de 95.34 % para una dosis de coagulante de 100 mg/L, lo cual corresponde a una recuperación de 42,905 mg/L. Los datos utilizados se observan en el anexo C.

Según (Giraldo, 1997). En general se reportan unos excelentes rendimientos de la tecnología para la remoción de la mayoría de los contaminantes. Igualmente se observa que las aplicaciones han sido para lixiviados con concentraciones de DBO relativamente bajas, menores a 1000 mg/l, es decir, lixiviados viejos, o lixiviados a los cuales se les ha realizado un pretratamiento previo.

Para (Dianderas Juvenal, 2011). La técnica de oxidación bacteriana empleada para el tratamiento de minerales sulfurados auríferos se fundamenta en la acción efectiva de la bacteria *Thiobacillus Ferrooxidans* para oxidar especies reducidas de azufre a sulfato, y para oxidar el ion ferroso a ion férrico. Presentan punto isoeléctrico entorno de 4.0 – 5.0 y se desenvuelven en el intervalo de temperatura de 28 – 35 °C.

En el tratamiento de Coagulación – Floculación con el coagulante que mejor resultados se obtienen es con el que contiene únicamente cloruro férrico, ya que produce una mayor disminución de la materia orgánica; el que además contiene sulfato de aluminio es la primera vez que se usa, por tanto se debería seguir investigando con él para obtener mejores resultados.

En ambos tratamientos de Coagulación - Floculación se ha producido una reducción de aproximadamente un 55 % de los sólidos en suspensión en la muestra de agua, lo que muestra que ambos coagulantes resultan efectivos para disminuir este parámetro.

Según (Teca Gavilanes, 2013). El proceso de coagulación/floculación consiste en la remoción de DQO y partículas suspendidas mediante la adición de sustancias químicas (coagulantes); resultado que las dosis óptimas del proceso de coagulación/floculación se encuentran en el intervalo de 200-450 ppm de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ como coagulante y 100 ppm de polímero aniónico de poliacrilamida como floculante. Las mejores remociones alcanzadas fueron 75.39 % para la DQO y 55.48 % para la turbidez, por lo que resultaron los aditivos tensioactivos más eficientes entre los probados en el estudio para el tratamiento de los lixiviados.

4.1.3. El modelo matemático para el proceso de tratamiento de lixiviados generados por los residuos sólidos del botadero de la ciudad de Puno.

- **Eficiencia de recuperación de metales**

Tabla 16. Valores de eficiencia de recuperación de hierro con Dodecil benceno sulfato de sodio

N° de muestras	pH	Eficiencia de recuperación de hierro (%)
1	8.5	94.86
2	9	94.9
3	9.5	94.96
4	10	95.01
5	10.5	95.07
6	11	95.2
7	11.5	95.34
8	12	95.14

Fuente: Elaboración propia

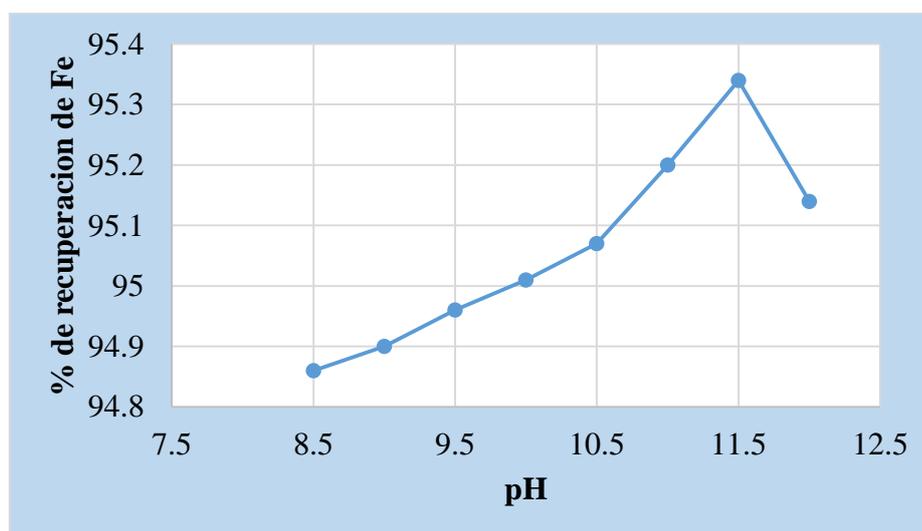


Figura 13. Eficiencia de recuperación de hierro con dodecil benceno sulfato de sodio

El porcentaje de recuperación de hierro a través del método experimental de floculación-coagulación es del 95,34 % para un pH de 11.5.

- **Determinación del modelo matemático**

Una adecuada agitación es necesaria tanto en el momento de dosificación del agente coagulante como en el proceso de formación y engorde del flóculo. En el lixiviado se estudiaron la influencia de la velocidad de agitación. En ambos casos se fijaron las siguientes condiciones: tiempo de mezcla 12,5 minutos y dosis de coagulante 20 a 120 mg/L, y se varió la velocidad de agitación en el rango 20-150 rpm. Los resultados fueron que se eliminó el 95.34 % del hierro. (Ver tabla 15).

El tiempo de formación de los flóculos es de 12,5 minutos con el Dodecil benceno sulfato de sodio como floculante.

El proceso de coagulación depende de una serie de características físico-químicas del lixiviado y muy especialmente del pH. El pH junto con la dosis de coagulante, son los factores que más influyen de cuantos intervienen en el proceso de coagulación. Su influencia es determinante ya que afecta a todos los equilibrios de hidrólisis que se producen, como consecuencia de la adición de catión metálico. Otra de las causas por las que el pH es tan determinante en el proceso, es que la adición del catión metálico provoca una reducción automática del pH, tanto mayor cuanto más alta sea la dosis del coagulante, y en mayor grado cuanto menor sea la alcalinidad del agua. Con objeto de establecer la influencia que el pH ejerce en el proceso de coagulación del lixiviado de los residuos sólidos municipales, se efectuó el modelo matemático por experimentación y estadística, Según se observa en el anexo D, el pH es 11,5 conlleva a una mayor velocidad de eliminación del hierro (25 rpm) a un tiempo de 12,5 min y rendimiento de 95,34 %.

La ecuación de regresión generada representa a los datos experimentales que le dieron origen y describe el sistema bajo estudio. La validez del modelo de regresión matemático queda demostrada por la similitud de los valores hallados por el modelo matemático y los resultados experimentales. Por consiguiente se concluye que el pH, es la variable más significativa en el proceso de eliminación del Fe. El coeficiente de correlación obtenido fue de $R^2 = 95,86$ por ciento, nos indica que el proceso de remoción de lixiviado de los residuos sólidos de la ciudad de Puno es correcta y la más adecuada.

$$Y = 33.3133 - 0.0303 * Velocidad - 0.826944 * pH - 0.7655 * Tiempo \quad \text{Ec. (14)}$$

V. CONCLUSIONES

- ✓ En la caracterización de los lixiviados se determina la presencia de hierro con 45 mg/L, materia orgánica con 80,2 mg/L y DQO con 3000 mg/L.

En el proceso de coagulación-floculación para la recuperación del hierro del lixiviado producido en el botadero de la ciudad de Puno, se ha utilizado como coagulante el sulfato de aluminio y como floculante el surfactante aniónico, dando buenos resultados al recuperar el hierro. Durante el proceso se ha demostrado que el pH, es la variable más significativa en el proceso de coagulación-floculación.

- ✓ La concentración máxima de hierro de 45 mg/L presente en el lixiviado del botadero de residuos sólidos de la ciudad de Puno, ha sido tratado por el método de coagulación y floculación, este proceso ha permitido una recuperación de 42.905 mg/L de hierro, tratado con dodecil benceno sulfato de sodio, con un porcentaje de recuperación y rendimiento del 95.34 %.

Los parámetros físico-químicos evaluados en el proceso de recuperación del hierro por el método de precipitación alcalina alcanzaron una velocidad de agitación óptima de 25 rpm, un tiempo de 12,5 minutos a un pH de 11,5 utilizando sulfato de aluminio como coagulante.

- ✓ El modelo matemático nos indica que la ecuación de regresión generada representa a los datos experimentales que le dieron origen y describe el sistema bajo estudio, donde el coeficiente de correlación obtenido fue de $R^2 = 95,86$ por ciento. La validez del modelo de regresión matemático queda demostrada por la similitud de los valores hallados por el modelo matemático y los resultados experimentales. Por consiguiente se concluye que el pH, es la variable más significativa en el proceso de recuperación del hierro.

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

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda llevar a cabo un estudio sobre la viabilidad y compatibilidad del tratamiento mediante el proceso de coagulación-floculación con un post-tratamiento biológico con otros procesos como el de oxidación avanzada o Fenton, un posterior tratamiento biológico sería la opción más favorable para la degradación de la fracción final de la materia orgánica presente en el efluente tratado. Un estudio de la toxicidad así como la identificación de los compuestos orgánicos presentes mayoritariamente en el efluente final serían útiles con el fin de estudiar las opciones de combinación de ambos tratamientos.

- ✓ En cuanto a la composición del lixiviado, se sugiere realizar otra vez una caracterización más detallada, debido a que no se especifica de manera adecuada los demás componentes del lixiviado, es importante hacer esto debido a que este componente es muy alto.

- ✓ Es necesario promover la creación de un relleno sanitario controlado, de tal manera que dentro de sus instalaciones se trate el lixiviado por diferentes medios y así no contaminar el medio ambiente.

La Facultad de Ingeniería Química y la Universidad como institución científica y técnica deben seguir promoviendo el desarrollo de trabajos de tesis e investigación sobre tratamiento de lixiviados en los diferentes botaderos del departamento de Puno.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul , A., Azmi, M., Abdul, H., & Shah, K. (2010). *Comparison study of ammonia and COD adsorption on zeolite, activated carbon and composite materials in landfill leachate treatment, Journal of desalination* (Vol. 262).
- Alexis Arrechea, P., López Torres, M., Espinosa Lloréns, M., & Escobedo Acosta, R. (2009). Tecnología para el Tratamiento de Lixiviados Provenientes de Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos. *Departamento de Estudios sobre Contaminación Ambiental (DECA), Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC)*.
- Aliaga Simorte, S. (2010). Aplicación del proceso fentón y coagulación - floculación para la regeneración de aguas depuradas. En D. d. Ambiente. Zaragoza.
- Anoop, K., & Airuddhan , T. (2002). *Uptake of heavy metals in batch systems by sulfurized steam activated carbon prepared from sugarcane bagasse pith, industry Engineering Chemistry Research*.
- Cánepa, C. (2000). *Tipos de Floculadores*.
- Cárdenas. (2000). *Floculadores*. México.
- Castillo Pazmiño, M. (1994). *Diagnóstico y caracterización de los líquidos percolados del botadero de basura Zámbriza*. Tesis Magister, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito.
- Collazos, H. (2008). *Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios* (Tercera ed.). Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Corbitt, R. A. (2003). *Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental*. España: McGraw Hill.
- Cuchimaque Lugo, C., Vargas Fiallo, L. Y., & Ríos Reyes, C. A. (2002). Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por Adsorción-Oxidación sobre clinoptilolita. En *Facultad de Ingeniería Química*. Medellín, Antioquía, Colombia.
- Dianderas Juvenal, C. (2011). *Biolixiviación o Lixiviación Bacteriana*. Tesis para el Grado de Magíster, UNSD-Chile.
- Duncan, D., Hervey, F., & Walker, M. (2007). *Regulatory monitoring and testing Australian water asterwater sampling*. South Australia.
- Eckenfelder, W. (1989). *Industrial Water Pollution Control* (Segunda ed.). Estados Unidos: McGraw Hill.
- Ehrigh, H. (1992). Cantidad y contenido de lixiviados de desechos domésticos. (*Proyecto CEPIS/GTZ*).

- Garay. (1993). *Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-Químicos y Contaminantes Marinos*. Centro de Investigación Oceanográficas e Hidrográficas, Cartagena.
- Giraldo, E. (1997). Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios por Ósmosis Inversa. *Universidad de los Andes*.
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). *Tratamiento y Eliminación de Lixiviados*. Ingeniería Ambiental. México DF: Prentice Hall.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)*. (2017). Obtenido de Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI): <https://www1.inei.gob.pe/>
- 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, 308-314.
- Ley N° 27314. Ley General de Residuos Sólidos*. (2000). Lima, Perú.
- Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo*. (2017). Perú.
- López, L. (2011). Diagnóstico, caracterización y propuesta de tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Ambato. (*Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental*). Universidad de Cantabria - Escuela de Ingeniería Civil y Ambiental, Ambato, España.
- Méndez Novelo, R. I., Pietro Giovanna Bronca, J. A., Santos Ocampo, B., Sauri Riancho, M. R., Giacomán Vallejos, G., & Castillo Borges, E. R. (2009). *Determinación de la dosis óptima de reactivo Fentón en un tratamiento de lixiviados por Fentón-Adsorción*. Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería, Mérida, Yucatán, México.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Guía Ambiental para Rellenos Sanitarios* (Vol. I). Lima, Perú.
- Municipalidad de Loja. (2009). *Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales*. Loja: Servicio Alemán de Cooperación Social - Técnica Dirección de Higiene. Obtenido de www.ded.org.ec; www.municipioloja.com; edecu@porta.net; iml@loja.telconet.net.
- Murguía, M., Cabrera, M., Guastavino, J., & Grau, R. (2005). *New oligomeric surfactants with multiple-ring spacers: Synthesis and tensioactive properties*. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 7.
- Myers, D. (2006). *Surfactant Science and Technology* (Tercera ed.). (J. Wiley, Ed.) New Jersey , U.S.A.: J. & S. Wiley. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2

- Parra Caymayo, C. P. (2006). Digestión anaerobia del lixiviado de residuos sólidos. (*Tesis para optar el título de Máster en Ingeniería Ambiental*). Escuela Politécnica Nacional - Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito, Ecuador.
- Qarani, S., Abdul, H., Suffiani, M., Bashir, M., & Umar, M. (2010). Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study. *Journal of Environmental Management*.
- Renous, Givaudan, J., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). *Landfill leachate treatment: Review and opportunity* (Vol. 150). Journal of hazardous materials.
- RM-273-2013-VIVIENDA. *Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*. (2013). Lima, Perú.
- Servicio Alemán de Cooperación Social. (2011). *Técnica DED*. Alemania.
- Tchobanoglous, G. (1995). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. España: McGraw-Hill.
- Teca Gavilanes, D. E. (2013). *Estudio de selección de aditivos tensioactivos para el tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario del Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura*. Tesis, Quito, Ecuador.
- Wehenpohi, G., López Trujillo, A., Sánchez, R., & Reyes Martínez, O. (2000). En S. d. Ecología, *Guía en Elaboración de Planes Maestros para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales (Pmgirsm)*. México.
- Ziyang L., Y., 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, Since of the total environment* (Vol. 407).

ANEXOS**ANEXO A. MARCO LEGAL**

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 N° 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 N° 012-77-SA, del 13 de octubre de 1977.

Reglamento de Aseo Urbano, Decreto-Supremo N° 033-81-S A, del 9 de diciembre de 1981, modificado por el Decreto Supremo N° 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 N° 034-85-SA, del 25 de julio de 1985.

Resolución Ministerial N° 535-97-SA/DM, Código de Principios Generales de Higiene.

Decreto Supremo N° 88-67-DCS, Reglamento para apertura y control sanitario de plantas industriales de conformidad con el artículo N° 160 del título "X" de la ley N° 13270 de promoción industrial.

Decreto Supremo N° 034-85-SA, Reglamento de Aseo Urbano.

Anteproyecto de Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Residuos Peligrosos, del 3 de julio del 2002.

ANEXO B. CONSTITUYENTES ORGÁNICOS BIODEGRADABLES

Tabla 17. Constituyentes orgánicos rápidamente y lentamente biodegradables en los R.S.M.

Componentes de residuos orgánicos	Rápidamente biodegradable	Lentamente biodegradable
Residuos de comida	Si	
Periódicos	Si	
Papel de oficina	Si	
Cartón	Si	
Plásticos		Si
Textiles		Si
Goma		Si
Cuero		Si
Residuos de jardín		Si
Madera		Si

Fuente: (Tchobanoglous, 1995) “Gestión Integral de Residuos Sólidos”

ANEXO C. CÁLCULOS PROYECTADOS DE LA POBLACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO

ANEXO C.1 Cálculos proyectados de la población de la ciudad de puno

Resulta de suma importancia estimar la población futura que tendrá la comunidad por lo menos entre los próximos 5 a 10 años, a fin de calcular la cantidad de RSM que se deberá disponer diaria y anualmente a lo largo de la vida útil del relleno sanitario.

Para la proyección de la población se adoptó un crecimiento geométrico, para el cálculo se utilizó una tasa de crecimiento del 1,3 % anual (índice de crecimiento para la ciudad de según Puno según el INEI), la siguiente ecuación nos permitir estimar las necesidades para los próximos 10 años.

$$P_f = P_0 (1 + r)^n \quad \text{Ec. (15)}$$

Dónde:

P_f = Población futura

P_0 = Población actual

r = Tasa de crecimiento de la población

n = (t final – t inicial) intervalo en años

t = variable tiempo (en años)

Primer año: $P_1 = 135\,288$

Segundo año: $P_2 = 135\,288 (1+0,013)^1 = 137\,047$

Tercer año; $P_3 = 135\,288 (1+0,013)^2 = 138\,828$

En la tabla 18 se puede apreciar el total de la proyección de la población.

Tabla 18. Proyección de la población de la Ciudad de Puno

n	Año	Población (hab.)
1	2017	135288
2	2018	137047
3	2019	138828
4	2020	140633
5	2021	142461
6	2022	144313
7	2023	146189
8	2024	148090
9	2025	150015
10	2026	151965

Fuente: Elaboración propia 2018

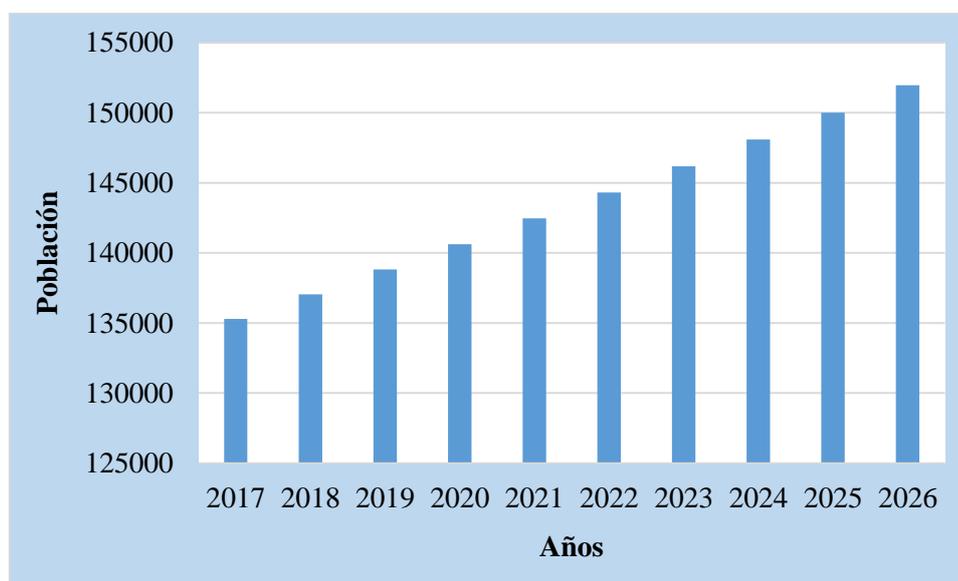


Figura 14. Proyección de la población de la ciudad de Puno

ANEXO C.2 Generación de residuos sólidos municipales (RSM)

El estudio de generación de RSM se realizó de acuerdo a los parámetros establecidos por el CONAM, en su guía PIGARS con algunas consideraciones hechas para adecuarse a las condiciones reales presentadas y que son presentadas por el INEI.

- Población 2017 = 135 288
- Producción per cápita de residuos sólidos (PPC) = 0,67 Kg/hab-día
- Cantidad total de RSM

$$RSM = Población * PPC$$

$$\text{RSM} = 135\,288 \text{ hab} * 0,67 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

$$\text{RSM} = 90\,643 \text{ kg/día}$$

ANEXO C.3 Generación de residuos sólidos de la ciudad de Puno

De la generación y composición de los desechos que serán manejados en Puno, el cálculo de producción en el sector residencial es predominante, siendo las demás actividades incipientes que su consideración no alcanza a afectar de manera apreciable la cantidad total de RSM, salvo los provenientes de los mercados y de los visitantes, cuando existen atractivos turísticos.

Es conveniente estimar las cantidades de residuos que la población genera a través de la producción per cápita.

La cantidad de residuos sólidos generados y que se recolectaron en la ciudad de Puno, son de suma importancia para determinar el cumplimiento del programa general de gestión de residuos sólidos (almacenamiento, recolección, transferencia, posibilidades de reutilización y disposición final).

Tabla 19. Composición de Residuos Sólidos de la ciudad de Puno

COMPONENTES	Residen. RS Ton/día	Comerc. RS Ton/día	Rest. RS Ton/día	Educa. RS Ton/día	Mercad. RS Ton/día	Barrido Calles Ton/día	Hospit. RS Ton/día	TOTAL RS Ton/día
ORGÁNICOS								
Residuos de 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
Plásticos	2,5	3,5	2,07	1,2	1,2	2,5	1,19	14,16
Textiles	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 de 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
Suciedad, cenizas, 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

Fuente: Elaboración propia

La tabla 19 muestra el factor de producción por actividad y la generación total de residuos sólidos de la ciudad de Puno, los mismos que serán calculados en el transcurso del trabajo de investigación.

Una variable necesaria para dimensionar los procesos de almacenamiento, recolección, posibilidades de reutilización y la disposición final es la llamada producción per-cápita (ppc). Este parámetro asocia el tamaño de la población y las actividades comerciales, institucionales, educativas y de limpieza pública.

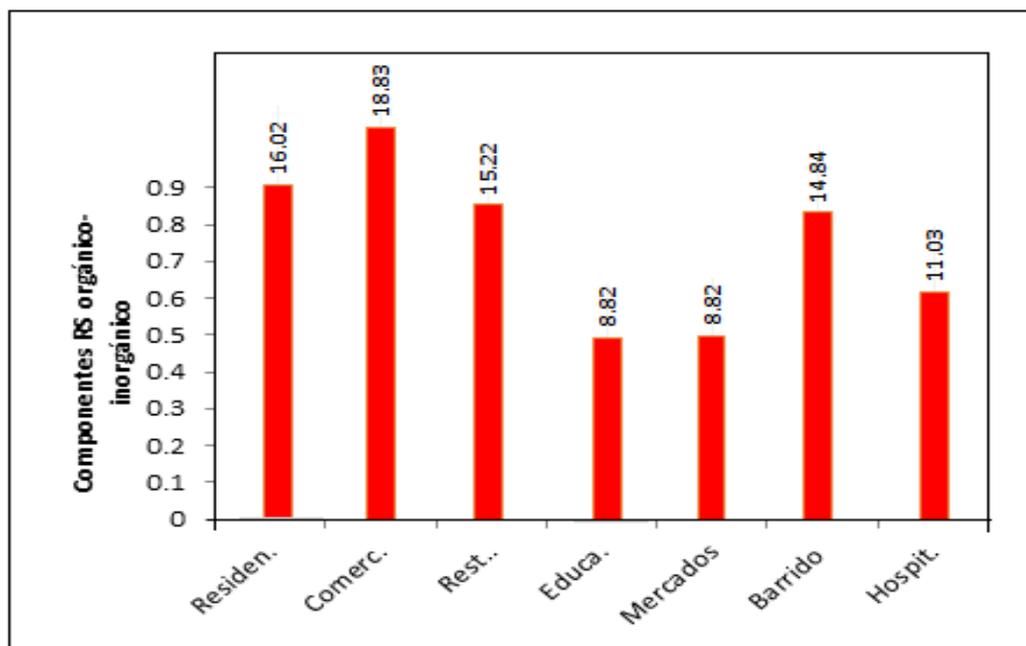


Figura 15. Composición de Residuos Sólidos de la ciudad de Puno

ANEXO C.4 Densidad

Siendo la densidad una relación del peso de los residuos sólidos con respecto a su volumen (kg/m^3), es importante identificar la densidad de los residuos sueltos y los residuos compactados. Para ello es necesario realizar el siguiente procedimiento:

- Acondicionar un recipiente cilíndrico de 200 litros de capacidad.
- Tomar al azar cualquier bolsa ya registrada y pesada y se proceder a vaciar su contenido en el cilindro, así sucesivamente hasta que el cilindro se llene.
- Medimos altura libre, altura total del cilindro y diámetro. Se registra esta información para el cálculo de densidad de los residuos sueltos.
- Levantamos un poco el cilindro y lo dejamos caer y procedemos a compactarlo lo

más posible con un pisón o elemento similar.

- Medimos altura libre, altura total del cilindro y diámetro. Se registra esta información para el cálculo de los residuos compactados.
- Se repite el mismo procedimiento hasta terminar con todas las muestras.
- El cálculo de la densidad se realiza empleando la siguiente fórmula.

La densidad o el peso volumétrico de los RSM es otro parámetro importante para el diseño del sistema de disposición final de residuos. En la Región, se tienen valores de entre 300 y 600 kilogramos por metro cúbico para la basura suelta, es decir, en el recipiente; tales valores son mayores que los que presentan los países industrializados.

Se determina la densidad de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Puno de acuerdo a lo siguiente:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. (15)}$$

Dónde:

Masa de los RSM = 90 643 kg

Volumen = 169,84 m³

Densidad =?

$$\rho = \frac{90643}{169,84} = 533,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

ANEXO C.5 Producción per cápita (PPC) de los residuos sólidos proyectado

La cantidad diaria de residuos sólidos que genera la población de 139 816 habitantes de la ciudad de Puno cuya generación se estimó en:

$$\text{ppc} = \frac{\text{Cantidad de residuos}}{\text{población}} \quad \text{Ec. (16)}$$

$$ppc = \frac{90643 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{135288 \text{ pobladores}} = 0,670 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

$$ppc_1 = 0,670 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

$$ppc = ppc_1 + (1\%) \quad \text{Ec. (17)}$$

Con la ecuación 5 se efectúa la proyección de los residuos per cápita para los siguientes 10 años. Se estima que la producción per cápita aumentara en 1 % anual. Entonces, para el segundo, tercer año es:

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

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

Y así sucesivamente se calcula para los demás años (columna 2 de la tabla 20)

La producción anual se calcula multiplicando la producción diario de residuos sólidos (ppc) por los 365 días del año.

$$ppc = 0,67 \frac{\text{kg}}{\text{pob} - \text{día}} * 135288 \text{ pob} = 90642,96 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Los datos proyectados se observan en la tabla 20 columnas 3, 4 y 5.

Tabla 20. Generación de residuos sólidos de la ciudad de Puno

Año	Población	PPC	CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS		
	(hab)	kg/hab-día	Diaria	Anual	Acumulado
			kg /día	Ton	Ton/año
	1	2	3	4	5
2017	135288	0,6700	93677	34189,55	34189,55
2018	137047	0,6834	96792	35329,32	69518,87
2019	138828	0,6902	99026	36144,65	105663,52
2020	140633	0,6971	101314	36980,52	142644,05
2021	142461	0,7041	103663	37837,33	180481,38
2022	144313	0,7111	106057	38710,29	219191,67
2023	146189	0,7182	108502	39605,08	258796,75
2024	148090	0,7254	111014	40522,14	299318,89
2025	150015	0,7327	113603	41464,80	340783,69
2026	151965	0,7400	116215	42419,47	383203,16

Fuente: Elaboración propia 2018

ANEXO C.6 Volumen de los residuos sólidos

Con los datos obtenidos en el cuadro 21 anexo C.7 se dedujo el volumen total de los residuos sólidos de Puno.

El volumen total de los residuos sólidos que genera la ciudad de Puno, permite el diseño adecuado de rutas y frecuencia y número de unidades de recolección, número y capacidad de contenedores y el diseño de infraestructura necesaria para la disposición final y el cálculo de la vida útil del relleno sanitario a construir, además sirve para el cálculo del área requerida.

La columna 6 de la tabla 6 se ha calculado teniendo en cuenta la densidad y la masa diaria de acuerdo a lo siguiente:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad ; \text{ despejando la Ec. (15)}$$

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

$$v = \frac{90643 \text{ Kg/día}}{533.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 175,46 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

ANEXO C.7 Material de cobertura

Es la tierra necesaria para cubrir los residuos recién compactados y se calcula como 20% del volumen de basura recién compactado (ecuación 6, columna 7), de la tabla 6, así:

$$m. c. = V_{\text{diario compactado}} * (0,20 \text{ o } 0,25) \quad \text{Ec. (18)}$$

$$\text{Para el primer año m.c.} \quad = 175,46 * 0,20 = 33,97$$

$$\text{Para el segundo año m.c.} \quad = 33,97 * 1,01 = 34,31$$

De igual manera se efectúa la proyección para los siguientes años.

Tabla 21. Generación del volumen de residuos sólidos de la ciudad de Puno

Año	VOLUMEN DESECHOS SÓLIDOS					
	Compactados				Botadero	
	Diario	m.c.	Anual	m.c.	(DS+ m.c.) Anual	Acumulado
	m ³	m ³ /día	m ³	m ³ /año	(m ³ /año)	m ³
	6	7	8	9	10	11
2017	175,46	33,97	61991,6	511,00	3027.63	61991,6
2018	177,49	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

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C.8 Propiedades químicas

La información sobre la composición química de los componentes que conforman los residuos sólidos es importante para evaluar una futura opción de procesamiento y recuperación.

ANEXO C.8.1 Composición Química

Tomando como base la composición elemental de los residuos sólidos de la ciudad de Puno, se obtuvo la composición química que permitirá evaluar las opciones de procesamiento y recuperación, utilizando las formulas empíricas que a continuación se detallan, las formulas químicas empíricas para efectuar estos cálculos se encuentran en el marco teórico de propiedades químicas.

✓ **Formulas químicas empíricas del total de residuos sólidos generados**

- Formula química con azufre

Sin agua $C_{586} H_{934} O_{248} N_{12} S$ (para cálculo en 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

Se efectúan los cálculos en peso seco kg/día para determinar cada componente de los residuos sólidos que se muestran en la tabla 22.

- Para el carbono en los residuos de comida

12134 kg ----- 7032 kg de C
 264 kg ----- X

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

$$X = 152.99 \text{ kg de C}$$

- Para el carbono en el cartón

12134 kg ----- 7032 kg
 264 kg ----- X

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

$$X = 250.35 \text{ kg}$$

De igual manera se calculan los componentes orgánicos e inorgánicos en kilogramos.

Tabla 22. Composición química en base seca

COMPONENTES	Peso Húmedo	Peso Seco	COMPOSICIÓN (kg)				
	kg/día	kg/día	C	H	O	N	S
ORGÁNICOS							
Residuos de 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 de 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
Suciedad, cenizas, 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

Fuente: Elaboración propia

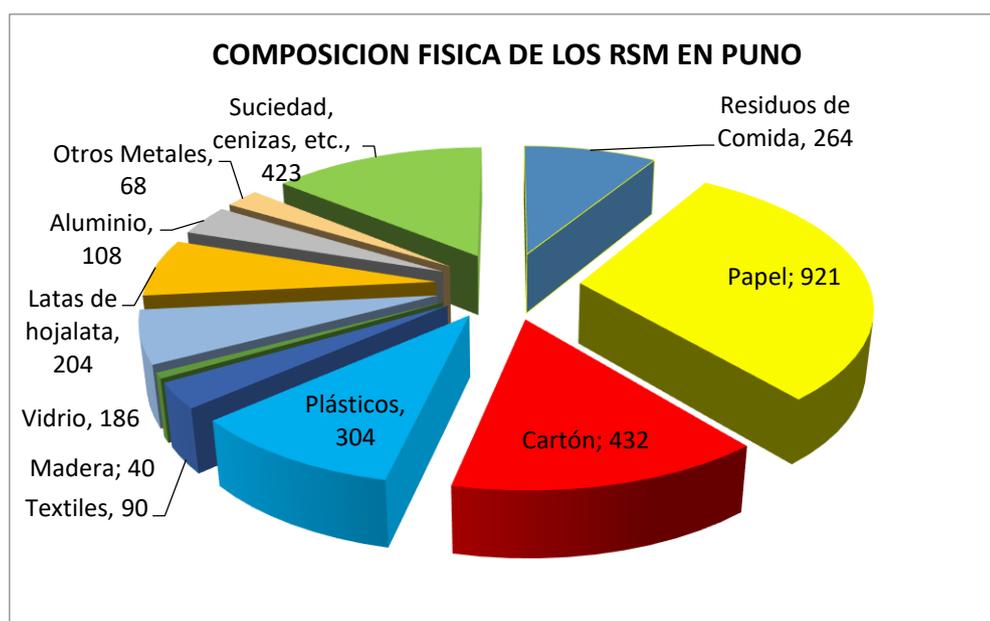


Figura 16. Composición física de residuos sólidos en base seca

Se calcula la composición molar de los elementos lentamente y rápidamente descomponibles, para determinar las formulas químicas sin azufre.

ANEXO C.9 Composición y formación del control del lixiviado en el vertedero

El lixiviado es el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión.

En la mayoría de los rellenos sanitarios el lixiviado está formado por el líquido que entra en el vertedero desde fuentes externas, fundamentalmente el agua aportada por la humedad de los residuos, por la lluvia y por infiltraciones hacia la celda de disposición.

El volumen de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial. No solo la escorrentía puede generarlo, también las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación directa sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno.

En climas lluviosos se produce la infiltración del agua en las celdas de rellenos sanitarios, pudiendo llegar a saturar los residuos confinados y generar lixiviados con altas concentraciones de materiales contaminantes.

Para la estimación de la generación de lixiviados se utilizó la siguiente tabla de producción de aguas lixiviadas en situaciones diferentes, desarrollado por el Servicio Alemán de Cooperación Social – Técnica DED.

Tabla 23. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario

Tipo de relleno	Producción de aguas lixiviadas (% de la precipitación)	Producción de aguas lixiviadas		
		Precipitación	Precipitación	Precipitación
		700 mm/año	1500 mm/año	3000 mm/año
Relleno manual	60	11,51	24,66	49,32
Relleno compactado por maquinaria liviana	40	7,67	16,44	32,88
Relleno compactado por maquinaria pesada	25	4,79	10,27	20,55

Fuente: (Servicio Alemán de Cooperación Social, 2011).

- Para el cálculo de la cantidad de lixiviado se tomó en cuenta el porcentaje de precipitación pluvial y en función de un factor de generación en m³/año.

Precipitación anual en Puno: 638.4 mm

Área anual del relleno (Has): 0,1312 = (1311.97 m²)

Tipo de relleno en la ciudad de Puno: Relleno manual

- Cálculo del lixiviado.

$$638,4 \text{ mm} * 0,60 = 383,04 \text{ mm}$$

$$383,04 \text{ mm} * 1311,97 \text{ m}^2 = 502,53 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

$$\text{Cantidad de lixiviado} = 502,53 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

ANEXO D. DISEÑO EXPERIMENTAL

ANEXO D.1 Efectos estimados para Y

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	14.8912	0.736978	
A: Velocidad	-3.7875	1.47396	1
B: pH	-7.4425	1.47396	1
C: Tiempo	-11.4825	1.47396	1

Errores estándar basados en el error total con 4 g.l.

La tabla anterior muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo.

ANEXO D.2 Coeficiente de regresión para Y

Coeficiente	Estimado
Constante	33.3133
A: Velocidad	-0.0303
B: pH	-0.82694
C: Tiempo	-0.7655

La ecuación del modelo ajustado es:

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

ANEXO D.3 Resultados Estimados para Y

	Observados	Ajustados	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Fila	Valores	Valores	para Media	para Media
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

Esta tabla contiene información acerca de los valores de Y generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- 1) Los valores observados de Y (si alguno)
- 2) El valor predicho de Y usando el modelo ajustado
- 3) Intervalos de confianza del 95.0% para la respuesta media

Cada ítem corresponde a los valores de los factores experimentales en una fila específica de su archivo de datos.

ANEXO D.4 Camino de Máximo Ascenso para Y

Velocidad	pH	Tiempo	Predicción para 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

La tabla anterior indica el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica

buenas características para ejecutar experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o decrementar Y. Actualmente 6 puntos se han generado cambiando Velocidad en incrementos de 1.0.

ANEXO D.5 Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 26.2475

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Velocidad	25	150	25
pH	3	12	11,5
Tiempo	5	20	12,5

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores la cual maximiza Y.

ANEXO D.6 Análisis de Varianza para Y

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Velocidad	28.6903	1	28.6903	6.6	0.062
B:pH	263.696	1	263.696	60.69	0.0015
C:Tiempo	110.782	1	110.782	25.5	0.0072
Error total	17.3804	4	4.34509		
Total (corr.)	420.548	7			

- R-cuadrada = 95.8672 %
- R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 92.7676 %
- Error estándar del est. = 2.08449
- Error absoluto medio = 1.23187
- Estadístico Durbin-Watson = 2.68901 (P=0.8180)
- Auto correlación residual de Lag 1 = -0.474112

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 95.8672% de la variabilidad en Y. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2.08449.

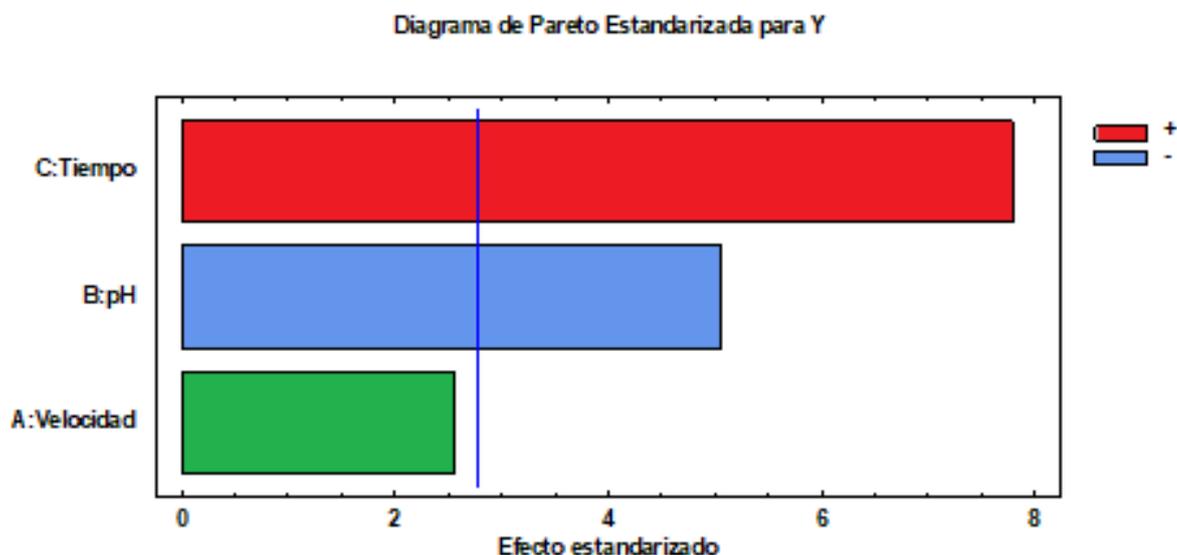


Figura 17. Pareto estandarizado para Y

Esta figura muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones, entre las variables, pH, tiempo y velocidad, la más significativa para la variable respuesta es el pH, cualquier cambio en ésta afecta a la variable respuesta Y en mayor grado.

La línea azul indica el margen sobre el que varía el sistema.

Los colores indican cuan representativos son las variables y sus combinaciones.

No hay indicios de correlación de serie en los residuos.

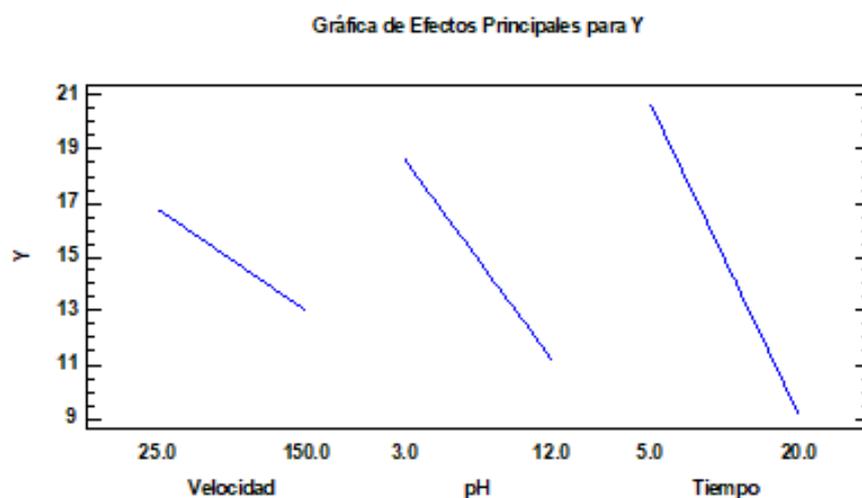


Figura 18. Efectos principales para Y

En la figura 18 se puede visualizar que no existe interacción entre los factores, por lo que estas variables son independientes lo que corresponde a la superficie respuesta, nos indica que la pendiente correspondiente a las variables todas son negativas.

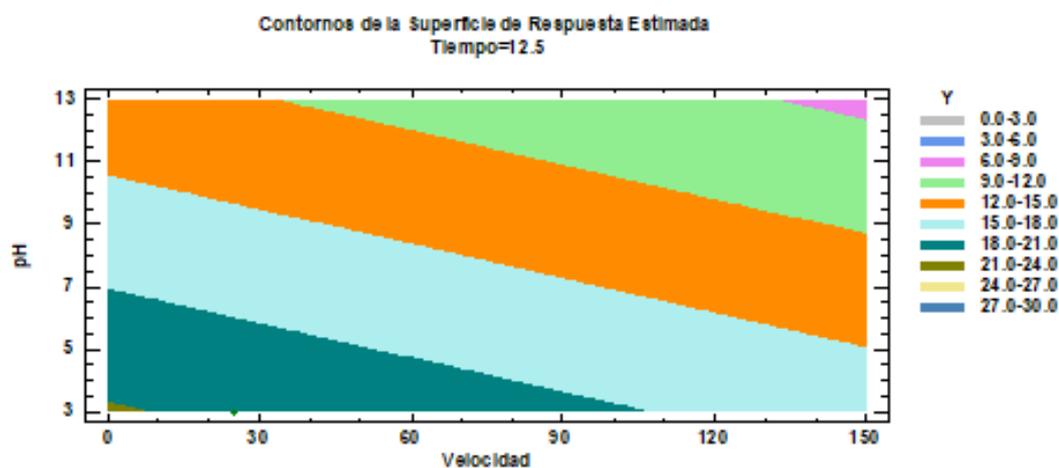


Figura 19. Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada

Visualizando el gráfico (isolíneas) 22, podemos interpretar lo siguiente: El valor óptimo para el tiempo es 12,5 minutos y que está a una velocidad de 25 rpm y un pH de 11. Este Indica localizaciones buenas para ejecutar experimentos adicionales si su objetivo es aumentar o disminuir el rendimiento.

ANEXO E. R.M. N° 273-2013-VIVIENDA**ANEXO E.1 PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS
EFLUENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS O MUNICIPALES****6. METODOLOGÍA****6.1 PUNTOS DE MONITOREO**

Los puntos de monitoreo deben guardar concordancia, respecto a la evaluación del efluente residual, según lo especificado en el instrumento de gestión ambiental.

Los puntos de monitoreo serán dos: en la entrada de la PTAR y en el dispositivo de salida de la PTAR, pudiendo incorporarse un punto adicional, entre el dispositivo de la salida de la PTAR y el punto de vertido ante la posibilidad de la incorporación o conexión de otras descargas, lo cual quedará a criterio de la autoridad sectorial ambiental competente.

6.1.1 Agua residual cruda (afluente), entrada a la PTAR

Se ubicará un punto de monitoreo en el ingreso del agua residual cruda a la PTAR, después de la combinación de los distintos colectores de agua residual que descargan a la obra de llegada a la PTAR o, en su defecto, al ingreso a cada módulo de tratamiento, según sea el diseño del ingreso a la PTAR. En todos los casos el punto de monitoreo debe ubicarse en un lugar que evite la interferencia de sólidos de gran tamaño en la toma de muestras, por lo que debe ubicarse preferentemente después del proceso de cribado de las aguas residuales.

6.1.2 Agua residual tratada (efluente), dispositivo de salida

Se ubicará un punto de monitoreo en el dispositivo de salida del agua residual tratada de la PTAR. En el caso de que la PTAR contara con más de un dispositivo de salida se ubicarán los puntos de monitoreo en cada uno de ellos, asegurando el monitoreo del total de los efluentes de la PTAR monitoreada. Este dispositivo de salida, puede ser el medidor de flujo, caja de registro, buzón de inspección u otra estructura apropiada que cumpla con las características detalladas en el capítulo 6.1.4.

6.1.3 Identificación del punto de monitoreo

Los puntos de monitoreo, deben ser identificados y reconocidos claramente, de manera que permita su ubicación exacta en los muestreos. En la determinación de la ubicación se utilizará el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), el mismo que se registrará en

coordenadas UTM y en el sistema WGS84. Una vez establecidos los puntos de monitoreo se debe colocar una placa de identificación para el reconocimiento de su ubicación.

El punto de monitoreo, no deberá cambiar a menos que se modifique su ubicación por alguna razón justificada. Se debe reportar la ubicación de los puntos de monitoreo y aplicar los procedimientos para su modificación de acuerdo a lo detallado en el Capítulo 9. Ver asimismo el Anexo N° I. Ubicación del Punto de Monitoreo.

6.1.4 Características del punto de monitoreo

Los puntos de monitoreo deben tener las siguientes características:

- permitir que la muestra sea representativa del flujo;
- estar localizados en un punto donde exista una mejor mezcla y estar preferentemente cerca al punto del aforo;
- para la medición del afluente, el punto de monitoreo debe estar antes del ingreso de agua de recirculación, si existiera;
- ser de acceso fácil y seguro, evitando caminos empinados, rocosos, vegetación densa y fangos;
- contar con una placa de identificación incluyendo la denominación del punto de monitoreo.

Si no existe un lugar apto para la toma de muestras, el titular de la PTAR instalará la infraestructura necesaria para que el punto de control cumpla con estas características.

6.2 PARÁMETROS DE CALIDAD

Los parámetros sujetos al monitoreo de los efluentes de las PTAR son los indicados en el D.S. N° 0032010-MINAM para los cuales se fija los Límites Máximos Permisibles. Estos son los siguientes:

- Aceites y Grasas
- Coliformes Termotolerantes
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Demanda Química de Oxígeno
- pH
- Sólidos Totales Suspendidos
- Temperatura

Estos parámetros se monitorearán en el agua residual cruda (afluente) y en el agua residual tratada (efluente), tomando en todos los casos muestras simples.

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el D.S. N° 003-2010-MINAM, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

6.3 FRECUENCIA DE MONITOREO

La frecuencia de monitoreo se establece para medir los cambios sustanciales que ocurren en determinados periodos de tiempo, a fin de realizar el seguimiento periódico respecto a las variaciones de los parámetros fisicoquímicos, orgánicos, microbiológicos ligados al agua residual cruda y tratada de la PTAR.

En el Anexo N° II. Frecuencia de monitoreo se establece la frecuencia de monitoreo para cada parámetro en función al caudal de operación actual de la PTAR (promedio diario). Esta frecuencia de monitoreo es aplicable siempre y cuando el instrumento de gestión ambiental aprobado de la PTAR no requiera una frecuencia mayor. De otro lado, el MVCS podrá modificar esta frecuencia cuando existan indicios razonables de daño a la salud o al medio ambiente.

6.4 DESARROLLO DEL MONITOREO

El Monitoreo se desarrollará conforme al presente documento y será realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual – INDECOPI. El trabajo de campo se inicia con la preparación de materiales (incluido material de laboratorio), equipos e indumentaria de protección. Asimismo, se deberá contar con las facilidades de transporte y logística para el desarrollo del trabajo de campo.

6.4.1 Preparación de materiales y equipos

Tiene como objetivo cubrir todos los elementos indispensables para llevar a cabo un monitoreo de forma efectiva, por lo que es importante preparar con anticipación los materiales de trabajo, solución amortiguadora de pH, formatos (registro de datos de campo, etiquetas para las muestras de agua residual y cadena de custodia). Asimismo, se debe contar, sin carácter limitante, con los materiales y equipos de muestreos operativos y debidamente calibrados, que se señalan a continuación.

a) Materiales

- Fichas de registro de campo
- Cadena de custodia
- Papel secante
- Cinta adhesiva
- Plumón indeleble
- Frascos debidamente etiquetados (ver Anexo N° V)
- Cajas térmicas (pequeña y grande)
- Hielo u otro refrigerante
- Bolsas de poliburbujas u otro material de embalaje adecuado
- Piseta
- Agua destilada y/o desionizada
- Solución amortiguadora de pH
- Preservantes químicos a emplearse en el campo para la preservación de las muestras para la determinación de DQO, aceites y grasas, etc.
- Pipeta
- Cronómetro
- Reloj
- Cinta métrica
- Vaso o probeta graduado de 1 L
- Papel aluminio
- Cuerda de nylon de 0,5 a 1 cm de diámetro de longitud suficiente para manipular los baldes de muestreo en los puntos de monitoreo

b) Equipos

- GPS para la identificación inicial del punto de monitoreo
- pH-metro con función de registro de temperatura
- Cámara fotográfica

c) Indumentaria de protección

- Botines de seguridad
- Gafas de seguridad

- Guantes de jebe antideslizantes con cubierta de antebrazo
- Guantes de látex descartables
- Casco
- Arnés para profundidades mayores a 1,50 metros
- Respirador con cartucho para gases y polvo
- Mascarilla descartable

6.4.2 Precauciones durante el monitoreo

Se establece las siguientes consideraciones para prevenir daños personales y de materiales y equipos durante el desarrollo del monitoreo de los afluentes y efluentes de la PTAR:

1. Si el acceso al punto de muestreo es profundo (mayor a 1,50m), está prohibido el ingreso para la toma de muestra. En tales casos, recoger las muestras con ayuda de un brazo telescópico o con un recipiente con lastre sujeto a una soguilla pero guardando las medidas de seguridad (uso de arnés, chalecos flotadores, máscara antigases, etc.).
2. Si el punto de muestreo está confinado es necesario ventilarlo antes de realizar la toma de muestra en un período mínimo de una hora. Es necesario, además, usar un equipo de respiración autónoma.
3. Utilizar zapatos antideslizantes y cascos.
4. Después del monitoreo, es necesario cambiarse la indumentaria utilizada durante el mismo, para prevenir contaminación a terceros.

En general se debe tener conocimiento de lo siguiente:

1. El peligro de explosión causado por la mezcla de gases explosivos en el sistema de alcantarillado.
2. El riesgo de envenenamiento por gases tóxicos, por ejemplo, Sulfuro de Hidrógeno (H₂S) o Monóxido de Carbono (CO).
3. El riesgo de sofocación por la falta de oxígeno.
4. El riesgo de enfermedades causadas por organismos patógenos presentes en las aguas residuales.
5. El riesgo de heridas físicas debidas a caídas y deslizamiento.
6. El riesgo de ahogamiento.
7. El riesgo de impacto causado por objetos que puedan caer.

6.4.3 Muestreo

El objetivo del muestreo es tomar una muestra representativa del afluente y efluente de la PTAR, para analizar los parámetros establecidos.

Al llegar al punto de monitoreo, se deben realizar las acciones que se describen a continuación.

6.4.3.1 Ubicación del punto de monitoreo

La toma de muestras se realizará únicamente en los puntos de monitoreo debidamente marcados con las placas de identificación (véase Capítulo 6.1.3).

6.4.3.2 Cuidados y acondicionamiento

En canales o albañales, se debe tomar la muestra a un tercio del tirante de la superficie, evitando tomar las muestras cerca de la superficie o del fondo.

En la toma de muestras se debe evitar partículas grandes, sedimentos y/o material flotante que se haya acumulado en el punto de muestreo. En caso no sea posible tomar las muestras después del proceso de cribado, se debe tomar la muestra evitando recolectar los sólidos de gran tamaño.

6.4.3.3. Medición de parámetros en campo y registro de información

Los parámetros de campo son: pH y temperatura, además de la medición y registro de caudal. A fin de obtener la confiabilidad de los datos se requiere:

- Equipo portátil calibrado (pH-metro), con registro de la calibración y mantenimiento. Debe realizarse la verificación del equipo antes del inicio del trabajo de campo y calibrar el equipo, de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante.
- Las mediciones no deben ser realizadas directamente en el flujo de aguas residuales, se debe tomar una muestra simple en un recipiente apropiado y limpio. La determinación de pH y temperatura, debe realizarse en forma inmediata a la toma de muestra.
- Realizar la medición y registro del caudal del afluente y efluente durante el período de muestreo.
- La información recabada de la medición de parámetros de campo, así como el caudal del afluente y efluente se debe ingresar en el formato de Registro de Datos de Campo que se muestra en el Anexo N° IV. Registro de Datos de Campo.

- Registrar las características del agua residual (sólidos, color, olor, etc.), así como eventuales características anómalas de los puntos de monitoreo, en el formato del Anexo N° IV Registro de datos de campo. Esta información puede complementarse con una foto.

6.4.3.4 Toma de muestras de agua, preservación, etiquetado, rotulado y transporte

La toma de muestras simples de agua residual debe ser realizada por laboratorios acreditados ante el INDECOPI. Las muestras serán recolectadas y preservadas teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados. En este caso seguir las instrucciones generales de preservación, embalaje y transporte de las muestras, mostradas en el Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo, así como las instrucciones de etiquetado mostradas en el Anexo N° V. Etiqueta para muestras de agua residual.

Se recomienda etiquetar o rotular los frascos preferentemente antes de la toma de muestras de agua.

El personal responsable deberá colocarse los guantes descartables antes del inicio de la toma de muestras de agua residual y desecharlos luego de culminado el muestreo en cada punto; es importante los cuidados en el manejo de los reactivos de preservación por tratarse de sustancias peligrosas.

En todo momento evitar tomar la muestra tomando el frasco por la boca.

a) Toma de muestras de agua residual

Las características de los recipientes, volumen requerido (dependerá del laboratorio) y tipo de reactivo para preservación de la muestra se contemplan en el Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para monitoreo.

Se recomienda utilizar frascos de plástico o vidrio de boca ancha con cierre hermético y limpio. El tipo de frasco dependerá del parámetro a analizar.

Se debe preparar los frascos a utilizar en el muestreo, de acuerdo con la lista de parámetros a evaluar.

b) Preservación de muestras

Una vez tomada la muestra, se deberá incorporar, en caso que el parámetro lo requiera, el reactivo de preservación que se agregaría preferentemente in-situ después

de la toma de la muestra de agua. Ver Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo.

c) Etiquetado y rotulado de las muestras de agua

Los frascos deben ser etiquetados y rotulados, con letra clara y legible. De preferencia debe usarse plumón de tinta indeleble y cubrir la etiqueta con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información:

1. Nombre de PTAR y denominación del punto de monitoreo.
2. Número de muestra (referido al orden de toma de muestra).
3. Fecha y hora de la toma de muestra.
4. Preservación realizada, tipo de reactivo de preservación utilizado.
5. Operador del muestreo.

Ver formato para las etiquetas de muestras, Anexo N° V. Etiquetas de muestras de agua residual.

d) Llenado del formato de Cadena de Custodia

Llenar el formato de cadena de custodia indicando los parámetros a evaluar, tipo de frasco, tipo de muestra de agua (agua residual cruda, agua residual tratada), volumen, número de muestras, reactivos de preservación, condiciones de conservación, operador del muestreo y otra información relevante. Ver el Anexo N° VI. Cadena de Custodia.

e) Conservación y Transporte de las Muestras

Las muestras de agua residual recolectadas, preservadas y rotuladas, deben colocarse en una caja de almacenamiento térmica con refrigerante (ice pack), para cumplir con la recomendación de temperatura indicada en el Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua y preservación de las muestras para el monitoreo. En el caso de utilizar hielo, colocar éste en bolsas herméticas para evitar fugas de la caja donde se transportan las muestras de agua. Asimismo, se debe evitar roturas en el caso de frascos de vidrio durante el transporte de muestras, utilizando bolsas de poliburbujas, de embalaje o de cualquier otro material.

El envío de muestras perecibles (coliformes, DBO5 y otros) al laboratorio para su análisis, debe cumplir con el tiempo establecido en las recomendaciones para la preservación y conservación y éstas deben ir acompañadas de su respectiva cadena de custodia (ver Anexos N° III y VI).

Transportar las muestras hasta el laboratorio, adjuntando el formato de cadena de custodia.

Al finalizar las actividades de muestreo, los equipos deben mantenerse en óptimo estado de limpieza y en buenas condiciones de funcionamiento. Debe contarse con un registro de mantenimiento de cada instrumento, a fin de llevar el control del equipo, reemplazo de baterías y cualquier problema de lectura o calibración irregular al usar las sondas o electrodos.

Es importante considerar los tiempos desde el inicio del muestreo hasta la llegada al laboratorio con el objetivo de cumplir con el tiempo requerido según los Requisitos para Toma de Muestra y Preservación (Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo).

6.4.3.5 Método de ensayo

Los métodos de ensayo para el producto agua residual deberán estar acreditados por el INDECOPI SNA o cualquier Organismo de acreditación firmante de acuerdos de Reconocimiento Multilateral (MLA) de la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC) o que pertenezcan a un Instituto Nacional de Metrología que participe satisfactoriamente de las intercomparaciones reconocidas por el BIPM (Bureau International des Poids et Measures). Preferentemente, mientras no exista una norma nacional, los laboratorios a ser utilizados deben contar con acreditación de los ensayos según el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA – AWWA – WEF 22nd Edition, o su actualización.

6.5 ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD

El aseguramiento y control de calidad son parte esencial de todo sistema de monitoreo. Comprende un programa de actividades (capacitación, calibración de equipos y registro de datos) que garantizan que la medición cumple normas definidas y apropiadas de calidad con un determinado nivel de confianza. Puede ser visto también como una cadena de actividades diseñadas para obtener datos confiables y precisos. Se aplicará la Norma NTP-ISO 5667-14, Guía para el aseguramiento de la calidad del muestreo de agua del ambiente y su manipulación.

6.5.1 Plan de aseguramiento de la calidad del monitoreo

El plan de aseguramiento de calidad del monitoreo de la entidad titular de la PTAR debe contener, como mínimo:

- Organización y responsabilidades de la Unidad o Laboratorio encargado del monitoreo (personal responsable de asegurar la ejecución de mediciones válidas).
- Procedimientos del muestreo en el campo, registro y tipos de control de calidad.
- Procedimiento de medición de parámetros de campo que incluye la calibración de los equipos de campo.
- Registro de datos de campo y procedimiento del llenado de la cadena de custodia.

6.5.2 Recolección de muestras

La etapa de recolección de muestras es de trascendental importancia, para lo cual se deberán adoptar los cuidados necesarios para el equipamiento y acondicionamiento del material de muestreo, así como el procedimiento para la medición de parámetros de campo como temperatura y pH. Los resultados de los mejores procedimientos analíticos serán inútiles si no se recolecta y manipula adecuadamente las muestras.

Los laboratorios acreditados deberán asegurar la correcta recolección de muestras que debe incluir:

- Que los frascos de muestreo sean los apropiados para cada parámetro (ver Anexo N° III. Requisitos para la toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo).
- Todos los registros y formatos para el monitoreo (registro de datos de campo, registro de cadena de custodia, etiqueta para muestra de agua residual, etc.), debidamente llenados con letra clara y legible.
- Mantener los registros de control actualizados de los equipos, para asegurar el mantenimiento y calibración de los mismos (bitácoras).

ANEXO F. FOTOGRAFÍAS

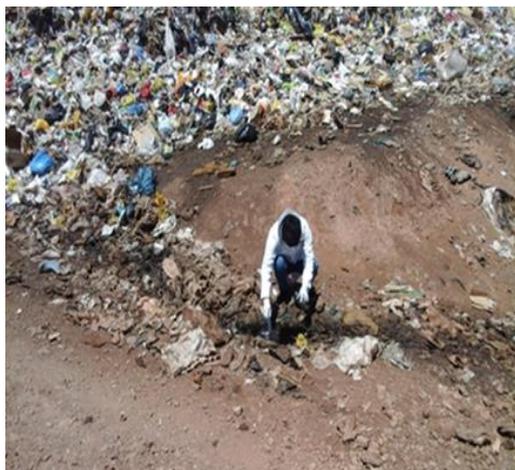
ANEXO F.1 Fotografías de la toma de muestras y análisis de laboratorio de lixiviados del botadero de RSU Cancharani – Puno.



Foto 1. Residuos sólidos en el botadero



Foto 2. Lixiviados en el botadero Cancharani



**Foto 3. Toma de muestras del lixiviado de los residuos sólidos en el botadero
Cancharani – Puno**



Foto 4. Preparando la concentración de lixiviado para el proceso de coagulación



Foto 5. Peso del sulfato de aluminio



Foto 6. Peso del floculante para incorporar al coagulo



Foto 7. Lixiviado



Foto 8. Lectura del pH del lixiviado



Foto 9. Lixiviado en el Jar Test

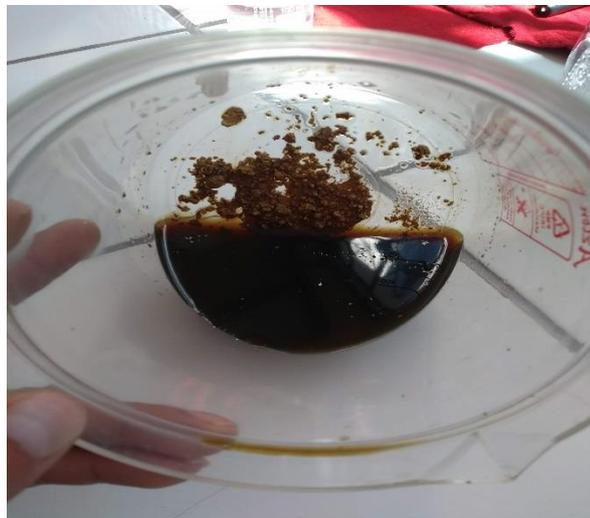


Foto 10. Lixiviado con el floculo



Foto 11. pH del lixiviado

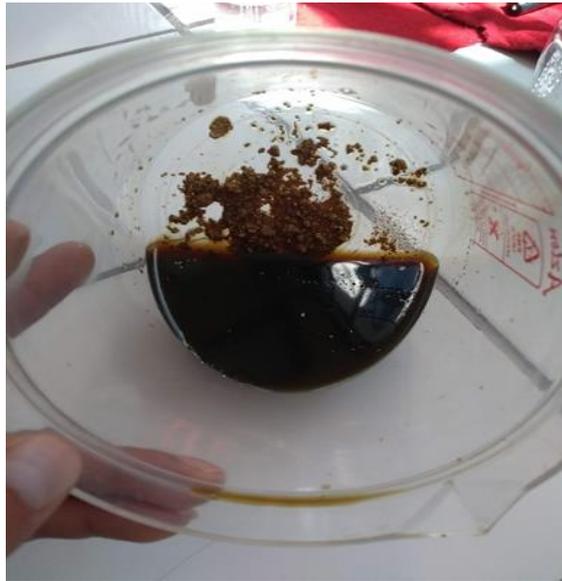


Foto 12. Muestra luego de flocularse



Foto 13. Filtrado del coagulado-floculado listo para el análisis correspondiente

ANEXO G. CERTIFICADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

ANEXO G.1 INFORME DE ENSAYO – MUESTRA DE LIXIVIADO P1



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 📄 Apto. 1350
 AREQUIPA-PERU



INFORME DE ENSAYO
N° DE INFORME: ANA36E16.002593B

Nombre del Cliente : Astorga Capajaña Elvis
Dirección del Cliente : Av. Sesquicentenario N° 1150 – Puno
RUC : NO CORRESPONDE
Condición del Muestreo : POR EL CLIENTE
Descripción : MUESTRA DE LIXIVIADO P1
Tamaño de la Muestra : 300 mL
Fecha de Recepción : 16/09/2018
Fecha de Inicio de Ensayo : 16/09/2018
Fecha de Emisión de Informe : 22/09/2018
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	3000
DQO	3000
Materia orgánica	80,2
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.

[Firma]
Claudio Ricardo Flores Volante
 CQFDA 00624
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD



ANEXO G.2 INFORME DE ENSAYO – MUESTRA DE LIXIVIADO TRATADO P2



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 📄 Apto. 1350
 AREQUIPA-PERU



INFORME DE ENSAYO
N° DE INFORME: ANA36E16.002615B

Nombre del Cliente : Astorga Capajaña Elvis
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 : 300 mL
Fecha de Recepción : 16/09/2018
Fecha de Inicio de Ensayo : 16/09/2018
Fecha de Emisión de Informe : 22/04/2018
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)	2,095 (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	11

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 Yollanque
 COP. 0011024
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD

