

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE UN MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO
DE DESECHOS LÍQUIDOS, PROVENIENTES DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS
REALIZADOS A AGUAS DE DISTINTO TIPO,
EN EL LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL**

**INFORME DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO DE GRADUACIÓN
(EPS FINAL)**

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR**

**HUGO RUBÉN BARRERA GUEVARA
ASESORADO POR LA INGA. QMCA. CARINA ELIZABETH PACAY**

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MAYO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ELABORACIÓN DE UN MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO
DE DESECHOS LÍQUIDOS, PROVENIENTES DE ANÁLISIS
FISICOQUÍMICOS REALIZADOS A AGUAS DE DISTINTO TIPO,
EN EL LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha octubre de 2009.


Hugo Rubén Barrera Guevara



LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL

Guatemala 17 de junio de 2,010

Ing. Williams Álvarez Mejía
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
USAC.

Respetable Ingeniero:

Por medio de la presente manifiesto tener conocimiento y haber revisado el informe final de EPS sobre la "Elaboración de un método para el tratamiento de desechos líquidos, provenientes de análisis fisicoquímicos realizados a aguas de distinto tipo, en el Laboratorio Biológico Industrial"; a cargo del estudiante Hugo Rubén Barrera Guevara.

Luego de que el estudiante Hugo Barrera realizó las correcciones sugeridas, me permito comunicarle que doy por aprobado el mencionado informe para ser sometido a revisión de acuerdo a lo establecido por la dirección a su cargo.

Agradeciendo su atención a la presente, quedo a sus respetables órdenes.

Atentamente,



Ing. Carina Paz de Franco
Coordinadora de Calidad

Carina Elizabeth Paz de Franco
INGENIERA QUÍMICA
COLEGIADA No 728



LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL

15 CALLE "A" 14-40, ZONA 10

PBX: (502) 2363-2334



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 01 de febrero de 2011
Ref.EIQ.TG.012.2011

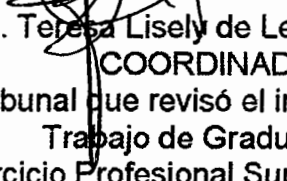
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-1322010-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del Trabajo de Graduación del Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario **HUGO RUBÉN BARRERA GUEVARA**, identificado con carné No.2003-12730, titulado: **ELABORACIÓN DE UN MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS, PROVENIENTES DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS REALIZADOS A AGUAS DE DISTINTO TIPO, EN EL LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL**, el cual ha sido asesorado por la Ingeniera Química Carina Elizabeth Pacay.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Barrera Guevara**, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final del
Trabajo de Graduación del
Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: Archivo





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS final) del estudiante **HUGO RUBÉN BARRERA GUEVARA** titulado: **“ELABORACIÓN DE UN MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS, PROVENIENTES DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS REALIZADOS A AGUAS DE DISTINTO TIPO, EN EL LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL”**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía; C.Dr.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, abril de 2011

Cc: Archivo
WGAM/ale





Guatemala, 15 de octubre de 2010.
Ref.EPS.D.1043.10.10.

Ing. Williams G. Alvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Alvarez Mejía.

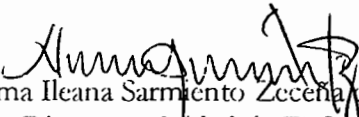
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ELABORACIÓN DE UN MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS, PROVENIENTES DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS REALIZADOS A AGUAS DE DISTINTO TIPO, EN EL LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Hugo Rubén Barrera Guevara**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora -Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena de Serrano
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ELABORACIÓN DE UN MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS, PROVENIENTES DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS REALIZADOS A AGUAS DE DISTINTO TIPO, EN EL LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Rubén Barrera Guevara**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, abril de 2011

/cc

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Generalidades, LABIND "Laboratorio Biológico Industrial"	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Residuos peligrosos.....	3
2.2. Clasificación de residuos.....	4
2.3. Características de peligrosidad de un residuo	6
2.4. Principios básicos en la gestión de residuos.....	9
2.5. Etapas generales en el envasado del recipiente.....	16
2.6. Manipulación, manejo de las sustancias químicas peligrosas.....	18
2.7. Reutilización - reciclado	19
2.8. Factores a considerar para la eliminación de residuos	22
2.9. Estabilización de desechos sólidos.....	23

2.10.	Técnicas para eliminación de residuos químicos peligrosos	23
2.10.1.	Adsorción	23
2.10.2.	Oxidación y reducción.....	25
2.11.	Coagulación y floculación	26
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	27
3.1.	Variables.....	27
3.2.	Delimitación del campo de estudio	28
3.3.	Recursos humanos disponibles	28
3.4.	Recursos materiales disponibles	28
3.4.1.	Material y equipo de seguridad:.....	29
3.4.2.	Reactivos	29
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	30
3.6.	Diagrama de flujo del procedimiento para el tratamiento.....	32
3.7.	Análisis estadístico	33
3.7.1.	Media aritmética.....	33
3.7.2.	Desviación estándar.	33
4.	RESULTADOS	35
4.1.	Procedimiento propuesto para el tratamiento de residuos físicoquímicos	38
4.2.	Tabulación de concentraciones iniciales, media aritmética, desviación estándar y resultados obtenidos correspondientes a las siete corridas de tratamiento realizadas a los residuos físicoquímicos	43

4.3.	Representación grafica del comportamiento de los resultados obtenidos del tratamiento de residuos fisicoquímicos.....	49
4.4.	Gráficas correspondientes a los resultados del agua resultante del lixiviado del sólido.....	54
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
6.	LOGROS OBTENIDOS	61
	CONCLUSIONES.....	63
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA	67
	APÉNDICE.....	69
	ANEXOS	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de flujo del proceso para elaborar el método de tratamiento de desechos	32
2.	Diagrama de flujo de las actividades del procedimiento propuesto para el tratamiento	38
3.	Gráfica (Arsénico: límite permitido 0.5 mg/L)	49
4.	Gráfica (Cromo VI: límite permitido 1 mg/L)	50
5.	Gráfica (Zinc: límite permitido 10 mg/L)	51
6.	Gráfica (Mercurio: límite permitido 0.1 mg/L)	52
7.	Gráfica (pH: límite permitido 6 - 8)	53
8.	Gráfica (Arsénico: límite permitido 0.5 mg/L)	54
9.	Gráfica (Cromo VI: límite permitido 1 mg/L)	55
10.	Gráfica (Zinc: límite permitido 10 mg/L)	56
11.	Gráfica (Mercurio: límite permitido 0.1 mg/L)	57
12.	Gráfica (pH: límite permitido 6 - 8)	58
13.	Relación de peligrosidad del pictograma de compuestos químicos	90
14.	Ejemplo de etiquetado de un compuesto químico	90
15.	Cursos y/o herramientas de ingeniería química	95
16.	Diagrama de Ishikawa o árbol de problemas	96

TABLAS

I.	Generalidades de sustancias incompatibles	17
II.	Reacciones peligrosas de ácidos	19
III.	Compuestos que reaccionan violentamente con el agua	20
IV.	Inflamación espontánea	21
V.	Variables principales para elaborar el procedimiento de tratamiento	27
VI.	Caracterización de los residuos	35
VII.	Volumen generado y de resguardo	36
VIII.	Composición de un lote de desecho para tratar	37
IX.	Procedimiento para el tratamiento de la actividad de oxidación de compuestos orgánicos	40
X.	Procedimiento para el tratamiento de la actividad de reducción de compuestos inorgánicos	40
XI.	Procedimiento para el tratamiento de la actividad de reducción de mercurio y sustancias solubles en agua en concentraciones bajas	41
XII.	Procedimiento para el tratamiento de la actividad de eliminación de ácido fosfórico, ácido benzoico, arsénico, amonio, metales pesados y la adición de floculante y coagulante	41
XIII.	Procedimiento para el tratamiento secundario "inmovilización de sólidos" para la actividad de la mezcla de residuos con cal, cemento y agua para la formación de un bloque rígido	42

XIV.	Concentraciones iniciales de componentes peligrosos	43
XV.	Resultados finales de las pruebas realizadas al agua supernatante producto del tratamiento de desechos	44
XVI.	Resultado finales del las pruebas realizadas al agua del lixiviado	45
XVII.	Media aritmética de los datos iniciales de la mezcla de desechos	46
XVIII.	Media aritmética de los datos finales del agua supernatante	47
XIX.	Media aritmética de los datos finales del lixiviado	47
XX.	Desviación estándar de los datos del agua supernatante	48
XXI.	Desviación estándar de los datos del lixiviado	48
XXII.	Comparación de los resultados del agua supernatante con los límites permitidos por el acuerdo gubernativo 236	61
XXIII.	Media aritmética de los resultados finales del lixiviado	62
XXIV.	Clasificación de peligrosidades químicas	89
XXV.	Pictogramas de peligrosidad	91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
mg	Miligramos
ml	Mililitros
L	Litro
DQO	Demanda química de oxígeno
E	Explosivo
F+	Extremadamente inflamable
T+	Muy tóxico
T	Tóxico
Xn	Nocivo
C	Corrosivo
Xi	Irritante
N	Peligroso para el medio ambiente
ORP	Potencial de oxidación redox
O	Comburente

GLOSARIO

Agua supernatante	Es el líquido que se encuentra por encima de un precipitado.
Almacenamiento	Depósito temporal de residuos tóxicos que no suponga ninguna forma de eliminación o aprovechamiento de los mismos.
Disolución	Mezcla homogénea, de una o más especies químicas, está formada por una fase dispersa llamada soluto y un medio disperso denominado disolvente.
Eliminación	Todo procedimiento como el vertido controlado, la incineración sin recuperación de energía, la inyección en el subsuelo y el vertido al mar, que no implique aprovechamiento alguno de los recursos.
Filtración	Proceso de separación de un sólido suspendido (precipitado) del líquido en el que está suspendido, al hacerlo pasar a través de un medio poroso por el cual el líquido puede penetrar fácilmente.

Frases R	Indicaciones de riesgo (del inglés: <i>risk</i>) en forma estandarizada según las reglamentaciones de la CE (en Alemania: reglamento sobre materiales peligrosos).
Frases S	Consejos de seguridad estandarizados (del inglés: <i>safety</i>) según las reglamentaciones de la CE (en Alemania: reglamentación sobre materiales peligrosos).
Incompatibilidad	Repugnancia que tiene una sustancia para unirse con otra, se caracteriza por reacciones inestables y violentas.
Inmovilización	Consiste en hacer inerte un sólido reactivo en un bloque sólido hecho de cemento y cal, para eliminar el peligro total al momento de hacer contacto con un agente externo.
Lixiviación	Consiste en la extracción de soluto de un sólido sumergido en un solvente a fin.
pH	Término que indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de la disolución.

Precipitación

Es la formación de un sólido en solución durante una reacción química. Cuando ocurre la reacción, el sólido formado se llama precipitado, y el líquido restante sobre el sólido, se llama supernatante.

Residuo químico

Aquel material sólido, líquido, gaseoso o pastoso que es el resultado de un proceso de producción, transformación, utilización o consumo de compuestos, complejos y elementos químicos.

Toxicidad

Es el daño directo que se produce en cualquier ser vivo, como resultado de la acción de una sustancia química. Su efecto puede tomar formas variadas como enfermedad, deformidad, modificaciones de comportamiento, cambios en la reproducción, daño genético o muerte.

RESUMEN

Se propone un procedimiento para el tratamiento de residuos fisicoquímicos, el cual pretende reducir la concentración de los componentes peligrosos que caracterizan al residuo, entre ellos se mencionan la reducción de concentraciones de arsénico, color, cromo VI, zinc, mercurio y estabilización de pH.

Los residuos son generados por ocho pruebas realizadas en el laboratorio de análisis fisicoquímicos “Laboratorio Biológico Industrial”; las pruebas que se estudiaron tienen por nombre determinaciones de hierro, manganeso, sulfatos, fosfatos, nitrógeno, nitratos, arsénico y demanda química de oxígeno (DQO).

Para establecer las concentraciones máximas para la eliminación de residuos, se hace la comparación con el Acuerdo Gubernativo 236-2006; así también se definen las fases del procedimiento de tratamiento, en donde se involucran reacciones de oxidación, reducción, adsorción, coagulación, floculación e inmovilización de sólidos.

El cálculo para determinar la medida en la cual existe reducción de la contaminación después del tratamiento, se obtiene por medio de un análisis al agua supernatante y un análisis al agua de la prueba de lixiviado, que se le realiza al precipitado inmovilizado para observar su comportamiento. Al finalizar el tratamiento se determinó que el agua supernatante y el agua del lixiviado cumplen con el Acuerdo Gubernativo 236 – 2006.

OBJETIVOS

General

Elaborar un procedimiento adecuado para tratar los desechos generados por los análisis químicos realizados a aguas de distinta procedencia, en los que se tienen la demanda química de oxígeno "DQO" y determinaciones como fósforo, nitrógeno, manganeso, sulfatos, nitratos, arsénico y hierro en el Laboratorio Biológico Industrial.

Específicos

1. Caracterizar el tipo de desecho que genera cada una de las ocho pruebas cubiertas en el estudio del proyecto de EPS.
2. Cuantificar el volumen del desecho que genera cada una de las ocho pruebas y clasificarla de mayor a menor.
3. Determinar experimentalmente el porcentaje de mezcla para un lote de desechos a tratar según la cantidad de desecho que se genera.

4. Formular un procedimiento que se adecúe a los desechos según la caracterización y compatibilidad de mezcla, tomando en cuenta los temas de estudio para el tratamiento de desechos en los que se tienen la oxidación, reducción, adsorción, coagulación, floculación e inmovilización de sólidos reactivos.

5. Determinar si el método propuesto logra reducir los desechos a concentraciones permitidas por el Reglamento de descargas y rehúso de aguas residuales y disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006 Artículo # 20, valores iniciales.

INTRODUCCIÓN

Con la formulación de un procedimiento para tratamiento de residuos se implementan una serie de pasos simples y consistentes, que a su vez reduce la contaminación a concentraciones aceptadas por las normas regidas por la ley.

Actualmente los residuos líquidos generados se almacenan para no ser desechados por el alcantarillado sin el tratamiento previo y que puedan dañar el medio ambiente. Los residuos son generados por análisis fisicoquímicos realizados al agua de distintas fuentes (domésticas e industriales). Los desechos que se incluyen en el desarrollo del procedimiento son ocho generadores de peligro que se identifican como la demanda química de oxígeno "DQO", así también, determinaciones de fósforo, nitrógeno, manganeso, sulfatos, nitratos, arsénico y hierro.

La clasificación de estos desechos se realiza únicamente separando cada prueba en un recipiente específico para la misma, obteniendo así ocho recipientes contenedores, para que la mezcla se realice, previo al momento de llevar a cabo el tratamiento.

El método se desarrolló tomando en cuenta una serie de etapas en las que involucra reacciones de neutralización, precipitación, oxidación, reducción, y fijación química (lodos).

El tratamiento presenta resultados por debajo de los parámetros permitidos por el Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo # 20, valores iniciales.

El cuerpo de este trabajo está conformado por cuatro partes; la primera se enfoca en los antecedentes del Laboratorio Biológico Industrial, la segunda lo conforma el marco teórico, en donde básicamente se hace la referencia para proceder a elaborar el método; la tercera está enfocada al proceso metodológico, los resultados y discusión de resultados de la fase de investigación y desarrollo del proyecto. La fase de investigación proporcionó las herramientas necesarias para ejecutar de manera satisfactoria el proyecto dando como punto final a la cuarta parte del trabajo, que se enfoca en las recomendaciones y conclusiones; aquí se definen los altibajos del proyecto y la aprobación del mismo. Por último encontramos el apéndice y anexos como material de apoyo.

1. ANTECEDENTES

1.1. Generalidades, LABIND “Laboratorio Biológico Industrial”

Desde 1973 ha realizado programas permanentes de vigilancia ambiental, creándose de 1980 el primer Laboratorio Biológico Industrial en Guatemala, Laboratorio LABIND (más allá del servicio y la calidad, creó su propio programa de control de calidad con la documentación e interpretación de resultados en conjunto).

LABIND es el primer laboratorio privado de análisis industriales en la región. Cuenta con más de 29 años de experiencia en el campo de control de calidad para alimentos, agua y ambiente. Tiene operaciones regulares en Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Panamá. Y está implementando la Norma ISO/IEC 17025 para la acreditación de métodos de ensayo.

Existen compuestos químicos que deben ser destruidos de alguna manera; en algunos casos, estos compuestos químicos son líquidos. Por ejemplo, varias entidades custodian pilas de materiales de agentes químicos peligrosos usados en análisis de aguas residuales. Estos agentes incluyen análisis de la demanda química de oxígeno (DQO), determinación de fósforo, nitrógeno, etc.

En Guatemala existe una tendencia a destruir estos agentes químicos de una manera eficiente y segura de acuerdo al convenio gubernativo No. 236 – 2006, DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS, éste surge por problemas debidos a la naturaleza altamente tóxica de ciertos compuestos y a la necesidad de eficiencia de destrucción total en focos de contaminación.

Han sido estudiados diversos modos de destrucción para estos agentes químicos, teniendo en cuenta su utilidad. Ejemplos de sistemas de destrucción sugeridos incluyen: la incineración, reacciones con sustancias químicas alcalinas (neutralización), tratamiento de la fase líquida a baja temperatura, tratamiento biológico, oxidación en aire húmedo, oxidación en agua super crítica, técnicas de pirolisis a baja presión y precipitación de lodos, etc. No obstante, cada uno de estos sistemas tiene inconvenientes técnicos o de eficiencia.

Por tanto, existe una necesidad de desechar de modo eficaz y seguro ciertos compuestos y agentes químicos líquidos. Modificaciones en la tecnología existente pueden proporcionar las respuestas a la creación de un sistema para manipular tales corrientes de residuos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Residuos peligrosos

Los residuos especiales exigen, en función de sus características físicas, químicas o biológicas, un proceso de tratamiento o eliminación especial. Aunque estadísticamente se conoce que la contribución de los residuos generados por los laboratorios químicos es únicamente del 1% respecto a todos los residuos generados por la actividad humana, no por esto su impacto puede considerarse negligible.

La Agencia de Protección Medioambiental (*Environmental Protection Agency, EPA*) de los Estados Unidos define los residuos peligrosos como: aquellos residuos o combinación de residuos que presentan un determinado riesgo, ya sea actual o potencial, para la salud humana o para otros organismos vivos, a causa de algunos de los cuatro motivos genéricos siguientes:

- a) no-degradabilidad y persistencia en el lugar de vertido
- b) posibilidad de efectos nocivos por efecto acumulativo
- c) posibilidad de sufrir transformaciones biológicas con agravamiento de sus efectos
- d) contenido elevado de componentes letales

Existen diversas causas considerables como fundamentales para que ciertos materiales sean clasificados como residuos a eliminar, sin impedir que puedan ser objeto de operaciones que lleven a recuperarlos, reciclarlos, reutilizarlos o bien utilizarlos para usos alternativos:

1. Productos caducados, que se rechazan sin haber analizado si conservan o no intactas sus propiedades originales
2. Materiales o productos que se han deteriorado accidentalmente (vertidos, etc.)
3. Sustancias que han perdido parte de sus características requeridas
4. Residuos procedentes de los procesos habituales del laboratorio
5. Productos sin uso, que ya no se utilizan porque son inadecuados

Los residuos generados en los laboratorios se caracterizan en general por su variedad (composiciones muy heterogéneas) y porque suelen generar en cantidades bajas y muy variables a lo largo del tiempo. Además, en la mayoría de los casos estos residuos acostumbran a presentar una toxicidad y/o una peligrosidad elevadas, lo que dificulta su gestión.

2.2. Clasificación de residuos

Según la Ley 6/1993 (DOGC de 28 de julio de 1993) se define:

- **Productor:** cualquier persona, física o jurídica, cuya actividad produzca residuos como productor inicial y cualquier persona, física o jurídica, que efectúe operaciones de tratamiento previo, de mezcla o de otro tipo que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de estos residuos.

- Poseedor: el productor de los residuos o la persona física o jurídica que los tenga en posesión y no tenga la condición de gestor de residuos.
- Gestión: la recogida, el transporte, el almacenamiento de los residuos, la valoración, la disposición del rechazo y la comercialización de los residuos, incluida la vigilancia de estas operaciones y de los lugares de descarga una vez clausurados o cerrados.

No se considera gestión de residuos la operación de reciclaje en origen de los residuos que se reincorporen al proceso productivo que los ha generado.

- Recogida: operación consistente en recoger, clasificar y/o agrupar residuos para transportarlos.
- Transporte: operación de traslado de los residuos desde el lugar de recogida hasta las plantas de reciclaje, tratamiento o disposición del rechazo.
- Almacenamiento: operación de depósito temporal de los residuos, previa a las operaciones de reciclaje, tratamiento o disposición del rechazo.
- Comercialización: operación de venta o transferencia de subproductos y materia o sustancias recuperables para reincorporarlas al proceso productivo.

- **Subproductos:** los residuos que se pueden utilizar directamente como materias primas de otras producciones o como substitutos de productos comerciales y que son recuperables sin necesidad de someterlos a operaciones de tratamiento.
- **Reciclaje:** las operaciones de recuperación de subproductos de los residuos.
- **Tratamiento:** operación o conjunto de operaciones de cambio de características físicas, químicas o biológicas de un residuo para reducir o neutralizar las sustancias peligrosas que contiene, recuperar materias o sustancias valorizables, facilitar su uso como fuente de energía o favorecer la disposición del rechazo.

2.3. Características de peligrosidad de un residuo

La Directiva 92/32/CEE (DOCE L de 5 de junio de 1992) sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas hace las definiciones siguientes:

- a) **Sustancias:** los elementos químicos y sus compuestos en estado natural o los obtenidos mediante cualquier proceso de producción, incluidos los aditivos necesarios para conservar la estabilidad del producto y las impurezas que resulten del proceso empleado. Quedan excluidos los disolventes que puedan separarse sin afectar la estabilidad ni modificar la composición.

- b) Preparados: las mezclas o soluciones compuestas por dos o más sustancias.

En esta misma Directiva se establece la siguiente clasificación de las sustancias y los preparados peligrosos en función de sus características de peligrosidad:

1. Explosivo (E): sustancias y preparados que, incluso en ausencia de oxígeno en el aire pueden reaccionar de forma exotérmica y rápida y pueden explotar. Corresponde a sustancias de tipo explosivo.
2. Comburente (O): sustancias y preparados que, en contacto con otras sustancias, especialmente con inflamables, producen una reacción fuertemente exotérmica. Corresponde a sustancias de tipo comburente.
3. Extremadamente inflamable (F+): sustancias que se inflaman muy fácilmente por la acción de una fuente de energía, incluso por debajo de 0°C. Corresponde a sustancias de tipo extremadamente inflamable.
4. Fácilmente inflamable (F): sustancias que se encienden en presencia de una llama, de una fuente de calor o por una chispa. Corresponde a sustancias de tipo fácilmente inflamable.
5. Inflamable: sustancias y preparados líquidos cuyo punto de ignición sea bajo. Corresponde a sustancias de tipo inflamable.

6. Muy tóxico (T+) y tóxico (T): sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades, pueden provocar efectos agudos o crónicos o incluso la muerte. Corresponde a sustancias de tipo tóxico, muy tóxico, carcinogénico, muta génicas y tóxicas para la reproducción.
7. Nocivo (Xn): sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden provocar efectos agudos o crónicos o incluso la muerte. Corresponde a sustancias de tipo nocivo, sensibilizante, carcinógeno (cancerígeno), muta génico y tóxico para la reproducción.
8. Corrosivo (C): sustancias y preparados que, en contacto con tejidos vivos, pueden ejercer una acción destructiva sobre éstos. Por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades pueden provocar efectos agudos o crónicos o incluso la muerte. Corresponde a sustancias de tipo corrosivo.
9. Irritante (Xi): sustancias y preparados no corrosivos que, en contacto con la piel o las mucosas, pueden provocar una reacción inflamatoria. Por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades pueden provocar efectos agudos o crónicos o incluso la muerte. Corresponde a sustancias de tipo irritante y sensibilizante.
10. Peligroso para el medio ambiente (N): sustancias y preparados que puedan presentar un peligro inmediato o futuro para el medio ambiente. Por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden provocar efectos agudos o crónicos o incluso la muerte. Corresponde a sustancias de tipo peligroso para el medio ambiente.

Aunque una misma clase nos indica diferentes sustancias y/o preparados peligrosos, los hay que no tienen una específica. Son los siguientes:

- **Sensibilizante:** sustancias y preparados que, por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción de hipersensibilización, de forma que una exposición posterior a esta sustancia o preparado de lugar a efectos negativos característicos.
- **Carcinógenos:** sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión y penetración cutánea, pueden producir cáncer o aumentar la frecuencia.
- **Muta génicos:** sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión y penetración cutánea, pueden producir defectos genéticos hereditarios o aumentar la frecuencia.
- **Tóxicos para la reproducción:** sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión y penetración cutánea, pueden producir efectos negativos no hereditarios en la descendencia, o aumentar la frecuencia, o afectar de forma negativa la función o capacidad reproductora masculina o femenina.

2.4. Principios básicos en la gestión de residuos

En la gestión de los residuos industriales los aspectos más importantes a tener en cuenta, según la normativa vigente, son:

- Los residuos industriales sólo se pueden entregar a tratadores autorizados expresamente por la junta de residuos para la gestión del tipo de residuos de que se trate;

- Es productor de un residuo el titular de la actividad que lo genera, y cualquiera que efectúe una manipulación de los residuos que ocasione un cambio en su naturaleza o composición;
- El productor de un residuo es responsable de los perjuicios que pueda causar el residuo, incluso si los ha entregado a un tratador autorizado en caso de que éste no pueda atender dicha responsabilidad;
- El productor es responsable del envasado y el etiquetado de los residuos y ha de vigilar el transporte hasta las instalaciones del tratador;
- El productor tiene la obligación de minimizar la producción de residuos. Está obligado a mantener un registro de todos los transportes de residuos que realice y ha de presentar una declaración anual en la cual consten las cantidades de residuos producidas, el tratamiento y el destino final;

Por lo que respecta a los residuos de los laboratorios, su gestión presenta una problemática diferenciada de los residuos industriales ya que se generan en pequeñas cantidades, presentan una gran variedad y una elevada peligrosidad tanto desde el punto de vista físico-químico como toxicológico y para el medio ambiente.

Si no se tratan y se acumulan en el laboratorio generan productos químicos peligrosos innecesarios. Además, a menudo no suelen estar adecuadamente envasados, identificados y almacenados. Por lo tanto la gestión de este tipo de residuos constituye un aspecto fundamental en la aplicación de criterios de calidad y gestión ambiental en el laboratorio, y además es una de las exigencias de aplicación de las buenas prácticas de laboratorio (BPL).

Su gestión debe basarse en los principios de minimización, reutilización, tratamiento y eliminación segura. Para gestionarlos correctamente se debe establecer un programa de gestión de residuos en el laboratorio que recoja todos los residuos generados, sean banales o peligrosos, incluyendo los reactivos caducados, los reactivos no caducados pero innecesarios, los materiales de un sólo uso contaminados o no, los patrones y todos aquellos materiales o productos que se hayan utilizado o generado en el laboratorio, como medicamentos, papel, guantes, etc. Los aspectos que pueden influir en la elección de un procedimiento de eliminación de residuos y que se deben tener en cuenta en el momento de elaborar el programa de gestión son, entre otros, los siguientes:

- El volumen de residuos generados
- La periodicidad de generación
- La facilidad de neutralización
- La posibilidad de recuperación, reciclaje o reutilización
- El coste del tratamiento y de otras alternativas
- La valoración del tiempo disponible

Se deberá tener en cuenta, también, diferentes aspectos en función del tipo de laboratorio y de la actividad que se realiza:

- Actividad del laboratorio (investigación, docencia, etc.)
- Relación de productos utilizados
- Técnicas instrumentales utilizadas
- Relación de operaciones y determinaciones analíticas que se efectúen en el laboratorio
- Organización del laboratorio

Así, un programa de gestión de residuos que incluya todos los residuos generados en el laboratorio debe incluir los apartados siguientes:

- a) **Inventario:** se debe confeccionar una relación de todos los residuos generados y mantenerla actualizada. Se debe conocer también la periodicidad de generación para poder establecer unos plazos de recogida y tratamiento razonables, con el fin de racionalizar el volumen de residuos acumulados y evitar costes suplementarios.
- b) **Recogida selectiva:** el sistema de recogida selectiva se establecerá en función de los grupos establecidos con provisión de contenedores adecuados a las características de los residuos e identificación y etiquetado de los envases y los contenedores.
- c) **Caracterización, selección y clasificación:** la recogida y la selección de los residuos son básicas en un programa de gestión y se deben evitar los riesgos debidos a una manipulación, un transporte o un almacenaje inseguro. Así mismo facilita el tratamiento que ha de efectuarse para su eliminación.

Todos los productos considerados como residuos deben estar clasificados e identificados en función de su peligrosidad (características físico-químicas, incompatibilidades, riesgos específicos y/o tratamiento y eliminación posteriores). De acuerdo con esto, todos los residuos han de ser etiquetados de forma que la etiqueta contenga suficiente información para garantizar una manipulación segura hasta en su disposición final: código de identificación, nombres químicos de los componentes principales, fecha de acumulación, riesgos que presenta el residuo mediante pictogramas.

- d) **Minimización/reducción/recuperación:** se han de valorar las opciones más adecuadas de recuperación (existen muchos procesos de recuperación de productos), de reciclaje o de reutilización de los productos químicos del laboratorio (experimentos consecutivos con los subproductos o bien utilización en otros centros mediante la generación de bolsas de subproductos de laboratorio); tratamiento adecuado en el mismo laboratorio o bien racionalización de las compras (optimización de los stocks), con el fin de reducir al máximo la generación de residuos. También pueden diseñarse experimentos de docencia o investigación a escala más reducida, o bien seleccionar reactivos de menos toxicidad.

- e) **Almacenaje:** los residuos nunca deben almacenarse en el mismo laboratorio, ya que esto aumentaría el riesgo. Por tanto, se debe disponer de un espacio separado del laboratorio destinado a almacén de residuos y equipado con los elementos de seguridad y extinción de incendios necesarios.

Además, se debe de disponer de recipientes especiales que permitan la recogida posterior en condiciones de seguridad. Los aspectos que ha de cumplir un envase son: resistencia al ataque químico, cierres seguros y pequeños y no más de 200 litros de capacidad. Este almacenamiento ha de realizarse de acuerdo con los grupos establecidos, evitando incompatibilidades y otras situaciones peligrosas que puedan incrementar el riesgo.

Han de tenerse en cuenta aquellos residuos que exigen una gestión diferenciada, como los cancerígenos y los radiactivos. En el almacén se ha de llevar un registro, donde se han de anotar las fechas de entrada y salida, y no se debe admitir ningún residuo si no está adecuadamente etiquetado.

- f) Normas y medidas de seguridad: el programa de gestión ha de incluir todas las informaciones relativas a la peligrosidad de los productos, las condiciones de manipulación, los tipos de envases, las incompatibilidades y las actuaciones en caso de derrames, vertidos o incendios y las emergencias, así como las medidas de protección tanto colectivas como individuales adecuadas a los productos a tratar. Estas normas deben estar recogidas por escrito y deberían seguirse estrictamente para prevenir posibles riesgos.
- g) Actuaciones en caso de accidente/incidentes: se han de dar todas las instrucciones de actuación en caso de vertidos o derrames, o de cualquier incidente que pueda producirse. Así mismo han de indicarse las pautas de actuación si hay una emergencia.

Además, el programa de gestión deberá contener los aspectos siguientes:

- Responsable o responsables: que supervisen y comprueben la correcta aplicación y la ejecución del programa e informen a la dirección del departamento, la unidad o el servicio.

- Nivel de recursos necesarios: se debe conocer y evaluar el coste del programa incluyendo todas las operaciones de gestión externa: recogida, transporte (ha de realizarse con una furgoneta que disponga de los dispositivos de seguridad necesarios), almacenaje en estaciones de transferencia y posterior tratamiento final (incineración, tratamiento físico-químico o bien vertido controlado).
- Formación e información sobre el programa: todo el personal ha de conocer la existencia y las características del programa de gestión de residuos adoptado, su ejecución y la responsabilidad que se derive. La información sobre el programa deberá proporcionarse por escrito.
- Vigilancia sobre el proceso: es obligación del productor de residuos, cuando estos estén destinados a tratamiento y/o gestión externa, comprobar que tanto la empresa encargada del transporte como la empresa tratadora estén reconocidas y autorizadas como tales por la administración y que se cumplan todos los requisitos administrativos (hojas de seguimiento, declaraciones de residuos, etc.).

Por otro lado existen unos grupos de residuos afectados por disposiciones legales específicas, como los residuos radiactivos, los residuos sanitarios, los residuos biológicos y los residuos con agentes cancerígenos. Esto implica que estos residuos han de gestionarse de forma diferenciada de acuerdo con las prescripciones legislativas específicas para cada tipo, ya que han de tener una identificación propia que permita reconocerlos claramente.

2.5. Etapas generales en el envasado del recipiente

Sabemos que las sustancias químicas peligrosas pueden causar efectos tóxicos a la salud. Además, muchos químicos peligrosos pueden causar reacciones violentas al mezclarse con agua, el aire, otros químicos, o materiales como madera y papel.

Las sustancias químicas que al mezclarse pueden causar una reacción violenta se llaman sustancias químicas incompatibles.

El término incompatible describe reacciones que no se desean y que no se planifican entre dos o más sustancias químicas o materiales.

Las reacciones violentas de las sustancias químicas incompatibles pueden resultar en un incendio o en una explosión. También pueden resultar en la:

- Formación de gases y vapores tóxicos peligrosos
- La formación de gases inflamables
- La producción de calor o presión ambiental

Es muy importante saber cuáles químicos son incompatibles. Esto nos indica cómo almacenarlos, sin que estallen o se incendien.

Tabla I. Generalidades de sustancias incompatibles

SUSTANCIAS	INCOMPATIBLE CON
Ácidos	Bases
Oxidantes	<ul style="list-style-type: none"> • Nitratos, compuestos halógenos, óxidos, peróxidos y flúor. • Cualquier reductor
Reductoras	Materiales inflamables, carburos, nitruros, hidruros, sulfuros, alquilmetales, aluminio, magnesio y circonio en polvo.
Ácido sulfúrico	Azúcar, celulosa, ácido perclórico, y permanganato de potasio, cloratos y sulfocianuros.
Ácidos fuertes	<ul style="list-style-type: none"> • Bases fuertes • Ácidos débiles que desprendan gases tóxicos

Fuente: Manual de gestión de los residuos especiales de la universidad de Barcelona.

2.6. Manipulación, manejo de las sustancias químicas peligrosas

2.6.1. Vertido

Recomendable para residuos no peligrosos y peligrosos, una vez reducida mediante neutralización o tratamiento adecuado.

El vertido se puede arrojar directamente a las aguas residuales o bien a un vertedero. Los vertederos deben estar preparados convenientemente para prevenir contaminaciones en la zona y preservar el medio ambiente.

2.6.2. Incineración

Los residuos son quemados en un horno y reducidos a cenizas. Es un método muy utilizado para eliminar residuos de tipo orgánico y material biológico. Debe controlarse la temperatura y la posible toxicidad de los humos producidos. La instalación de un incinerador sólo está justificada por un volumen importante de residuos a incinerar o por una especial peligrosidad de los mismos. En ciertos casos se pueden emplear las propias calderas disponibles en los edificios.

2.6.3. Recuperación

Este procedimiento consiste en efectuar un tratamiento al residuo que permita recuperar algún o algunos elementos o sus compuestos que su elevado valor o toxicidad hace aconsejable no eliminar. Es un procedimiento especialmente indicado para los metales pesados y sus compuestos.

2.7. Reutilización – reciclado

Una vez recuperado un compuesto, la solución ideal es su reutilización o reciclado, ya que la acumulación de productos químicos sin uso previsible en el laboratorio no es recomendable.

El mercurio es un ejemplo claro en este sentido. En algunos casos, el reciclado puede tener lugar fuera del laboratorio, ya que el producto recuperado (igual o diferente del contaminante originalmente considerado) puede ser útil para otras actividades distintas de las del laboratorio.

Tabla II. Reacciones peligrosas de los ácidos

ÁCIDOS	REACCIONA PELIGROSAMENTE CON	DESPRENDEN
Clorhídrico	Sulfúrico Hipocloritos Cianuros	Sulfuro de hidrógeno Cloro Cianuro de hidrógeno
Nítrico	Algunos metales	Dióxido de nitrógeno
Sulfúrico	Acido fórmico Acido oxálico Alcohol etílico Bromuro sódico Cianuro sódico Sulfocianuro sódico Ioduro de hidrógeno Algunos metales	Monóxido de carbono Monóxido de carbono Etano Bromo y dióxido de azufre Monóxido de carbono Sulfuro de carbonilo Sulfuro de hidrogeno Dióxido de azufre

Fuente: Manual de gestión de los residuos especiales de la universidad de Barcelona.

Existen compuestos que al tener contacto con el agua provocan reacciones violentas, estos deben ser manipulados con especial cuidado, tanto por algún aumento de temperatura, como por desprendimiento de gases o vapores inflamables o tóxicos, entre estos se encuentran los que muestra la siguiente tabla.

Tabla III. Compuestos que reaccionan violentamente con el agua

1. Ácidos fuertes anhídros
2. Alquilmetales y metaloides
3. Amiduros
4. Anhídridos
5. Carburos
6. Flúor
7. Fosfuros
8. Halogenuros de ácido
9. Halogenuros inorgánicos anhídridos
10. Halogenuros inorgánicos anhídridos
11. Hidróxidos alcalinos
12. Metales alcalinos
13. Óxidos alcalinos
14. Peróxidos inorgánicos
15. Hidruros

Fuente: Manual de gestión de los residuos especiales de la universidad de Barcelona.

Existen sustancias cuyo contacto con el aire o el oxígeno, generan al cabo de un tiempo lo que se conoce como inflamación espontánea. En algunos casos puede influir el nivel de humedad del aire, entre estos están.

Tabla IV. **Inflamación espontánea**

COMPUESTOS QUE REACCIONAN FUERTEMENTE CON EL AIRE Y EL OXÍGENO
1. Alquimetales y metaloides
2. Arsinas
3. Boranos
4. Fosfinas
5. Fósforo blanco
6. Fosfuros
7. Hidruros
8. Metales carbonilados
9. Metales finamente divididos
10. Nitruros alcalinos
11. Silenos
12. Silicianuros

Fuente: Manual de gestión de los residuos especiales de la universidad de Barcelona.

2.8. Factores a considerar para la eliminación de residuos

Los residuos generados en el laboratorio pueden tener características muy diferentes y producirse en cantidades variables, aspectos que inciden directamente en la elección del procedimiento para su eliminación.

Entre otros, se pueden citar los siguientes factores:

- Volumen de residuos generados
- Periodicidad de generación
- Facilidad de neutralización
- Posibilidad de recuperación, reciclado o reutilización
- Coste del tratamiento y de otras alternativas
- Valoración del tiempo disponible

Todos estos factores combinados deberán ser convenientemente valorados con el objeto de optar por un modelo de gestión de residuos adecuado y concreto. Así por ejemplo, si se opta por elegir una empresa especializada en eliminación de residuos, se debe concertar de antemano la periodicidad de la recogida y conocer los procesos empleados por la empresa, así como su solvencia técnica. La elección de una empresa especializada es recomendable en aquellos casos en que los residuos son de elevada peligrosidad y no les son aplicables los tratamientos generales habitualmente utilizados en el laboratorio.

2.9. Estabilización de desechos sólidos

La estabilización es un término general para describir técnicas o métodos, mediante los cuales los residuos peligrosos son convertidos en una forma más estable.

Normalmente, esto se logra mediante la adición de reactivos que mejoran el manejo y las características físicas del residuo, disminuyen la superficie a través de la cual se puede dar la liberación de los contaminantes, reduce o limita la solubilidad de cualquier contaminante presente en el residuo, y finalmente, reduce la toxicidad de los contaminantes, las dos técnicas que se utilizan para estabilizar desechos sólidos peligrosos son de encapsulamiento e inmovilización.

2.10. Técnicas para eliminación de residuos químicos peligrosos

2.10.1. Adsorción

La adsorción de una sustancia es su acumulación en una determinada superficie interfacial entre dos fases. El resultado es la formación de una película líquida o gaseosa en la superficie de un cuerpo sólido o líquido.

Considérese una superficie limpia expuesta a una atmósfera gaseosa. En el interior del material, todos los enlaces químicos (ya sean iónicos, covalentes o metálicos) de los átomos constituyentes están satisfechos. En cambio, por definición la superficie representa una discontinuidad de esos enlaces. Para esos enlaces incompletos, es energéticamente favorable el reaccionar con lo que se encuentre disponible, y por ello se produce de forma espontánea.

El carbón activado es un derivado del carbón que ha sido tratado para convertirlo en un material extremadamente poroso y por lo tanto posee un área superficial muy alta que torna muy eficiente los fenómenos de adsorción o las reacciones químicas.

Es un material que se caracteriza por poseer una cantidad muy grande de micro poros (poros menores que 2 nanómetros). A causa de su alta micro porosidad, un solo gramo de carbón activado posee un área superficial de aproximadamente unos 500 m².

El carbón activado se utiliza en la extracción de metales, la purificación del agua (tanto para la potabilización a nivel público como doméstico), en medicina, para el tratamiento de aguas residuales, clarificación de jarabe de azúcar, purificación de glicerina, en máscaras antigás, en filtros de purificación y en controladores de emisiones de automóviles, entre otros muchos usos.

2.10.2 Oxidación y reducción

La oxidación es una reacción química muy poderosa donde un compuesto cede electrones, y por lo tanto aumenta su estado de oxidación.

Se debe tener en cuenta que en realidad una oxidación o una reducción es un proceso por el cual cambia el estado de oxidación de un compuesto. Este cambio no significa necesariamente un intercambio de electrones. Suponer esto -que es un error común- implica que todos los compuestos formados mediante un proceso redox son iónicos, puesto que es en éstos compuestos donde sí se da un enlace iónico, producto de la transferencia de electrones.

En química, reducción es el proceso electroquímico por el cual un átomo o ion gana electrones. Implica la disminución de su estado de oxidación. Este proceso es contrario al de oxidación.

Cuando un ion o un átomo se reducen presenta estas características:

- Gana electrones
- Actúa como agente oxidante
- Es reducido por un agente reductor
- Disminuye su estado o número de oxidación

2.11. Coagulación y floculación

El proceso de floculación es precedido por la coagulación, por eso se suele hablar de los procesos de coagulación-floculación. Estos facilitan la retirada de las sustancias en suspensión y de las partículas coloidales.

- La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante, el cual neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí.
- La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en micro flóculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores.

Los factores que pueden promover la coagulación-floculación son: el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para que las partículas descendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo. Por otra parte el pH es un factor prominente en acción desestabilizadora de las sustancias coagulantes y floculantes.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Variables involucradas para el tratamiento de residuos tomadas a la entrada y salida del procedimiento.

Tabla V. **Variables tomadas en cuenta para el procedimiento de tratamiento**

VARIABLE
pH
Concentración (mol/L)
Tiempo (min)
Masa (Kg)
Potencial de oxidación redox (ORP mV)
Volumen (ml)

Fuente: Elaboración propia

3.2. Delimitación del campo de estudio

Se trabajo con ocho pruebas generadoras de contaminación al ambiente.

1. Determinación de hierro
2. Determinación de manganeso
3. Determinación de arsénico
4. Determinación de sulfatos
5. Determinación de fósforo
6. DQO
7. Determinación de nitratos
8. Determinación de nitrógeno

3.3. Recursos humanos disponibles

- Servicio técnico profesional (estudiante epesista)
- Técnicos del Laboratorio Biológico Industrial "LABIND"

3.4. Recursos materiales disponibles

Componentes necesarios para que el tratamiento de residuos peligrosos se lleve acabo, los cuales se describen a continuación.

3.4.1. Material y equipo de seguridad

- 1 Campana de extracción
- 1 Potenciómetro
- 10 Beacker de 300 ml
- 3 Beacker de 25 ml
- 2 Vidrio de reloj
- 1 Espátula
- 1 Balanza
- 2 Balón aforado de 500 ml
- 2 Balón aforado de 200 ml
- 2 Probetas de 100 ml
- Embudo
- Papel filtro
- Guantes
- Mascarilla

3.4.2. Reactivos

- Hidróxido de sodio
- Hipoclorito de sodio
- Ácido sulfúrico [H₂SO₄]
- Sulfato de hierro [FeSO₄]
- Bisulfito de sodio [Na₂SO₄]

- Cloruro de hierro (III) (floculante)
- Carbón activado (polvo)
- Sulfato de aluminio (coagulante)
- Cemento portland con puzolana
- Cal
- Agua

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

El procedimiento para el tratamiento de residuos fue elaborado con el fin de reducir el contenido de los componentes que generan peligro, siendo este el objetivo principal, y se tomó en cuenta distintos puntos para elaborar el mismo.

Primero se observó las características cualitativas de la mezcla de desechos, las que se describen a continuación:

- Incompatibilidad entre sustancias
- Características peligrosas
- Reacciones peligrosas de ácidos
- Reacciones violentas con el agua
- Inflamación espontánea

Según estas observaciones, se puede realizar una mezcla de los residuos generados por las ocho pruebas estudiadas asegurando que no ocurre ningún peligro de que pueda provocar reacciones violentas ni incompatibilidades que generen más peligro; es como se obtiene un lote de mezcla de residuos, los cuales se tratan posteriormente con el procedimiento elaborado.

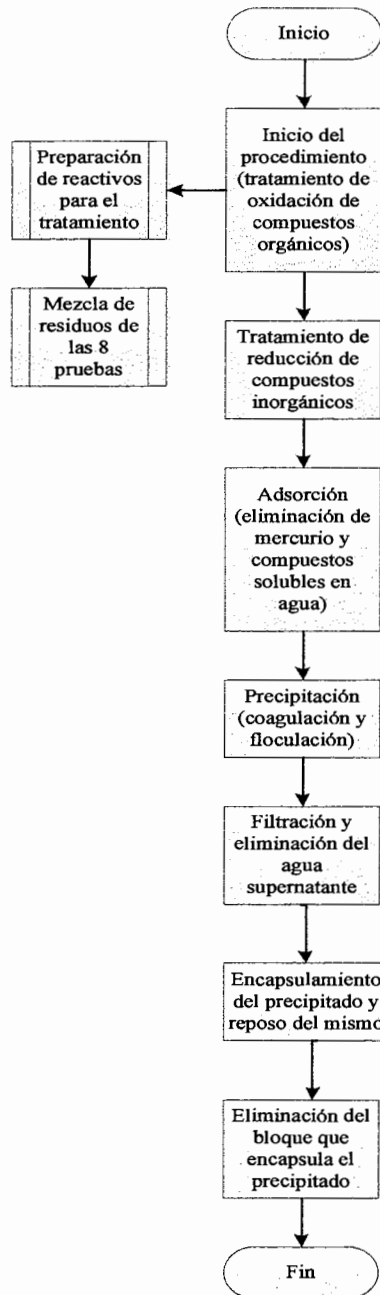
El procedimiento para el tratamiento encierra distintos tipos de reacciones, en las cuales se obtienen resultados favorables, cumpliendo así con una reducción en el contenido de los componentes peligrosos. Las reacciones que intervienen en el procedimiento son:

- Neutralización
- Precipitación
- Oxidación
- Reducción
- Intercambio iónico
- Fijación química (lodos)

Las reacciones descritas son las que componen el procedimiento en ese mismo orden, culminando con un encapsulamiento de los componentes reactivos, que consiste en la estabilización de un bloque sólido. El diagrama de flujo del procedimiento se presenta la figura 1.

3.6 Diagrama de flujo del procedimiento para el tratamiento

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del método para el tratamiento de desechos



Fuente: Elaboración propia

3.7. Análisis estadístico

Se empleó la media aritmética y la desviación estándar para observar el comportamiento de los datos calculados en este tipo de análisis.

3.7.1. Media aritmética

Es la cantidad total de la variable distribuida a partes iguales entre cada observación.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} = \frac{a_1 + \dots + a_n}{n} \quad (\text{Ecuación No. 1, ref. 2})$$

3.7.2. Desviación estándar

Es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio. Dicho de otra manera, la desviación estándar es simplemente el "promedio" o variación esperada con respecto a la media aritmética.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (\text{Ecuación No. 2, ref. 2})$$

Se emplearon estas ecuaciones para observar el comportamiento de los resultados obtenidos de las siete corridas que se realizaron para el tratamiento de residuos líquidos fisicoquímicos.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos del proyecto para el tratamiento de residuos químicos cumplen con cada uno de los objetivos planteados al inicio del proyecto. A continuación se muestran cada uno de los resultados, de tal forma que concuerde con los objetivos específicos planteados y finalmente se muestra en la tabla XVII y XVIII los resultados del objetivo general.

Tabla VI. **Caracterización de los residuos**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	DESECHOS
Determinación de hierro	Amonio tioglicolato, ácido tioglicólico, $C_3H_3N_3$ (triazina)
Determinación de manganeso	NH_3 , OH^-
Determinación de arsénico	$SnCl_2$, Zn, AsH_3 , KI
Determinación de sulfatos	$BaCl_2$, $Ba(IO_3)_2$
Determinación de fósforo	H_2SO_4 , H_3PO_4 , $C_6H_8O_6$
DQO	$K_2Cr_2O_7$ (Cr^{IV}), $HgSO_4$, Ag, H_2SO_4
Determinación de nitratos	H_2SO_4 , C_6H_6COOH (ácido benzoico)
Determinación de nitrógeno	H_2SO_4 , H_3PO_4 ,

Fuente: *Standard method for the examination of water and wastewater, test spectroquant®*

Tabla VII. Volumen generado y resguardado

ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS	VOLUMEN RESGUARDADO (litros)	VOLUMEN GENERADO POR MES (Litros)
Determinación de hierro	12	0.6
Determinación de manganeso	6	0.5
Determinación de arsénico	21	2.0
Determinación de sulfatos	11	0.4
Determinación de fósforo	7	0.5
DQO	15	1.0
Determinación de nitratos	3	0.5
Determinación de nitrógeno	5	0.5

Fuente: Elaboración propia

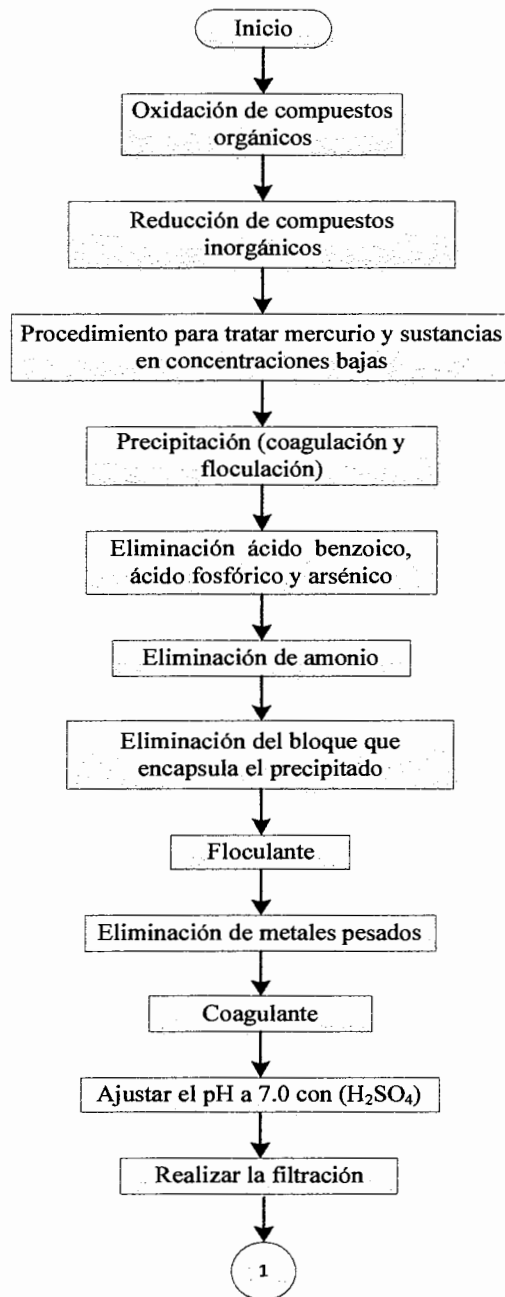
Tabla VIII. Composición de un lote de desecho para tratar

Prueba	% de la mezcla
Determinación de arsénico	30
DQO	20
Determinación de hierro	15
Determinación de nitrógeno	10
Determinación de fósforo	10
Determinación de nitratos	5
Determinación de sulfatos	5
Determinación de manganeso	5
TOTAL	100%

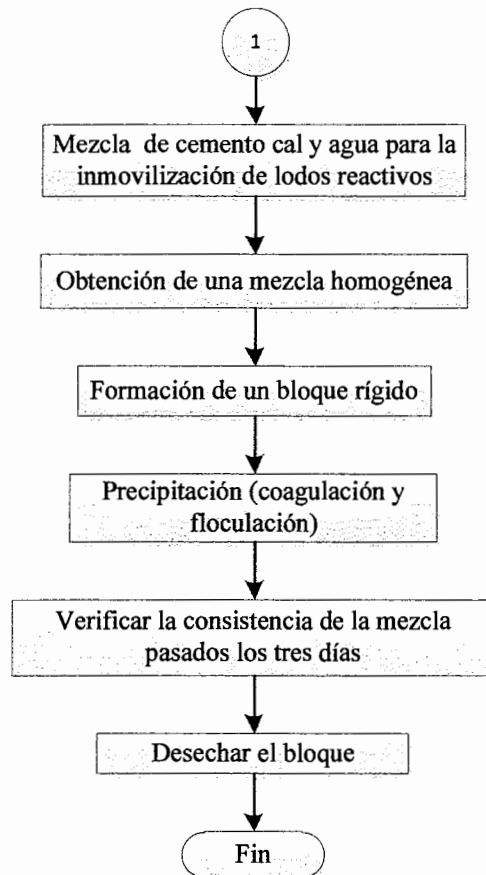
Fuente: Elaboración propia

4.1. Procedimiento propuesto para el tratamiento de residuos fisicoquímicos

Figura 2. Diagrama de flujo de las actividades del procedimiento propuesto para el tratamiento



Continuación diagrama de flujo de las actividades del procedimiento propuesto para el tratamiento.



Fuente: Elaboración propia

Tabla IX. Procedimiento para el tratamiento de la actividad de oxidación de compuestos orgánicos

Pasos	Tratamiento de oxidación de compuestos orgánicos
1	Agregar hidróxido de sodio al 60% hasta alcanzar un pH por encima de 10.
2	Agregar el 60 % en volumen de hipoclorito de sodio NaClO al 10%, de la cantidad "X" de desecho que se quiera tratar o hasta alcanzar un ORP>400 mV.
3	Agitar durante 20 min manteniendo el pH por encima de 10. (iniciar la agitación desde el momento de agregar el NaClO).
4	Ajustar el pH por debajo de 3 paulatinamente con ácido sulfúrico H ₂ SO ₄ al 10 % por medio de agitación.

Fuente: Elaboración propia

Tabla X. Procedimiento para el tratamiento de la actividad de reducción de compuestos inorgánicos

Pasos	Tratamiento de reducción de compuestos inorgánicos
5	Agregar dos disoluciones al 25% y 15% de sulfato de hierro [FeSO ₄] y bisulfito de sodio [NaHSO ₃] de c/u respectivamente, el 40 % en volumen de la cantidad "X" de desechos a tratar o hasta alcanzar un ORP≥450 mV
6	Mantener el pH por debajo de 3 durante 25 minutos con agitación.
7	Ajustar la mezcla a un pH de 5 con NaOH.

Fuente: Elaboración propia

Tabla XI. Procedimiento para el tratamiento de la actividad de reducción de mercurio y sustancias solubles en agua en concentraciones bajas

Pasos	Tratamiento para reducir mercurio y compuestos en concentraciones bajas
8	Agregar el 20 % de carbón activado en masa (gramos), por la cantidad "X" de desecho líquido que se quiere tratar.
9	Mantener el pH de 5 y agitar durante 25 minutos
10	Dejar reposar durante una semana

Fuente: Elaboración propia

Tabla XII. Procedimiento para el tratamiento de las actividades de eliminación de ácido fosfórico, ácido benzoico, arsénico, amonio, metales pesados y agregación de floculante y coagulante

Pasos	
11	Ajustar el pH con NaOH entre 7.5 y 8.5, agitar por 20 minutos
12	Ajustar el pH con NaOH entre 10.5 y 11, agitar durante 15 minutos.
13	Añadir 35% en volumen de una disolución al 40% de cloruro de hierro (III), por la cantidad "X" de desecho que se quiere tratar. Mantener el pH arriba de 10.
14	Ajustar el pH entre 10.5 y 11, agitar durante 25 minutos.
15	Ajustar el pH a 8 y añadir 25 gramos de sulfato de aluminio por litro de desecho y agitar durante 15 minutos. Dejar reposar por 1 día.
16	Ajustar el pH a 7.0 con (H ₂ SO ₄)
17	Realizar la filtración

Fuente: Elaboración propia

Tabla XIII. Procedimiento para el tratamiento secundario de inmovilización de sólidos para las actividades de la mezcla de residuos con cal, cemento y agua para formar un bloque rígido

Pasos	
1	Agregar una proporción de 65:15:15:5 con relación a desechos, cemento, cal y agua (el agua puede variar según la consistencia de la mezcla) a los lodos obtenidos del tratamiento de los desechos (el tamaño de la proporción de la mezcla de cemento, cal y agua queda a criterio del analista, para que la masa de los lodos sea suficiente para cubrirlos).
2	Agitar durante 20 minutos la mezcla
3	Dejar secar la mezcla durante tres días
4	Verificar la consistencia de la mezcla pasados los tres días
5	Desechar el bloque

Fuente: Elaboración propia

4.2. Tabulación de concentraciones iniciales, media aritmética, desviación estándar y resultados obtenidos correspondientes a las siete corridas de tratamiento realizadas a los residuos fisicoquímicos

Tabla XIV. Concentraciones iniciales de los componentes peligrosos

CONDICIONES INICIALES DEL PROCESO	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6	Corrida 7
pH_o	0.21	0.23	0.4	0.31	0.25	0.33	0.27
Arsénico (mg/L)	95	107	125	111	96	102	110
Color (Pt/Co)	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Cromo total (mg/L)	721	712	730	717	721	725	728
Cromo VI (mg/L)	720	707	728	714	718	724	726
Zinc (mg/L)	250	210	234	219	211	234	238
Mercurio (mg/L)	130	125	110	114	120	123	124

Fuente: Elaboración propia

Tabla XV. Resultados finales de las pruebas realizadas al agua supernatante resultante del tratamiento de desechos

CONDICIONES INICIALES DEL PROCESO	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6	Corrida 7
pH _r	7.20	7.10	6.98	7.12	7.45	7.43	6.88
Potencial de oxidación redox (mV)	480	474	457	501	488	467	495
PRUEBAS							
Arsénico (mg/L)	0.022	0.01	0.02	0.012	0.014	0.025	0.01
Color (Pt/Co)	5	5	5	5	5	5	5
Cromo total (mg/L)	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.04
Cromo VI (mg/L)	0.03	0.05	0.04	0.05	0.02	0.05	0.03
Zinc (mg/L)	0.04	0.03	0.03	0.05	0.04	0.06	0.04
Mercurio (mg/L)	0.11	0.04	0.08	0.05	0.08	0.07	0.05
MASA Y VOLUMEN PRODUCIDOS DEL TRATAMIENTO							
Volumen de desecho tratado (L)	2	2	2	2	2	2	2
Masa de desecho reactivo (g)	540	478	502	494	535.3	458	485
Volumen de agua supernatante (L)	5.50	5.70	5.45	5.60	5.40	5.30	5.60

Fuente: Elaboración propia

Tabla XVI. **Resultados finales de las pruebas realizadas al agua del lixiviado**

PRUEBA	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6	Corrida 7
Arsénico (mg/L)	0.18	0.21	0.19	0.22	0.24	0.22	0.12
Color (Pt/Co)	5	5	5	5	5	5	5
Cromo VI (mg/L)	1.40	1.20	0.8	0.5	0.7	0.9	0.7
pH	7.11	7.41	6.65	6.82	7.23	7.30	7.24
Zinc (mg/L)	0.42	0.31	0.24	0.52	0.12	0.27	0.15
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03

Fuente: Elaboración propia

Tabla XVII. **Media aritmética de los datos iniciales de la mezcla de desechos**

PRUEBA	MEDIA ARITMÉTICA
Arsénico (mg/L)	109
Color (Pt/Co)	>1000
pH	0.29
Cromo VI (mg/L)	720
Zinc (mg/L)	228
Mercurio (mg/L)	121

Fuente: Sección de análisis estadístico

Tabla XVIII. **Media aritmética de los datos finales del agua supernatante**

PRUEBA	MEDIA ARITMÉTICA	VALOR PERMITIDO
Arsénico (mg/L)	0.02	0.5
Color	5	1500
pH	7.17	6 – 8
Cromo VI (mg/L)	0.04	1
Zinc (mg/L)	0.04	10
Mercurio (mg/L)	0.07	0.1

Fuente: Sección de análisis estadístico

Tabla XIX. **Media aritmética de los datos finales del lixiviado**

PRUEBA	MEDIA ARITMÉTICA	VALOR PERMITIDO
Arsénico (mg/L)	0.2	0.5
Color (Pt/Co)	5	1500
pH	7.11	6 – 8
Cromo VI (mg/L)	0.89	1
Zinc (mg/L)	0.29	10
Mercurio (mg/L)	0.02	0.1

Fuente: Sección de análisis estadístico

Tabla XX. Desviación estándar del agua supernatante

PRUEBA	MEDIA ARITMÉTICA
Arsénico (mg/L)	0.01
Color (Pt/Co)	0
pH	0.21
Cromo VI (mg/L)	0.01
Zinc (mg/L)	0.01
Mercurio (mg/L)	0.02

Fuente: Sección de análisis estadístico

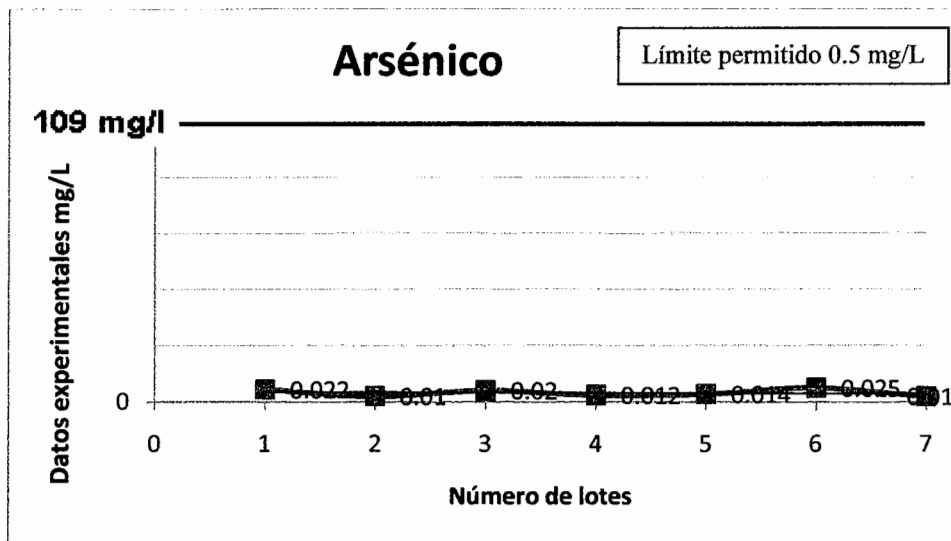
Tabla XXI. Desviación estándar de los datos del lixiviado

PRUEBA	MEDIA ARITMÉTICA
Arsénico (mg/L)	0.04
Color (Pt/Co)	0
pH	0.27
Cromo VI (mg/L)	0.31
Zinc (mg/L)	0.14
Mercurio (mg/L)	0.01

Fuente: Sección de análisis estadístico

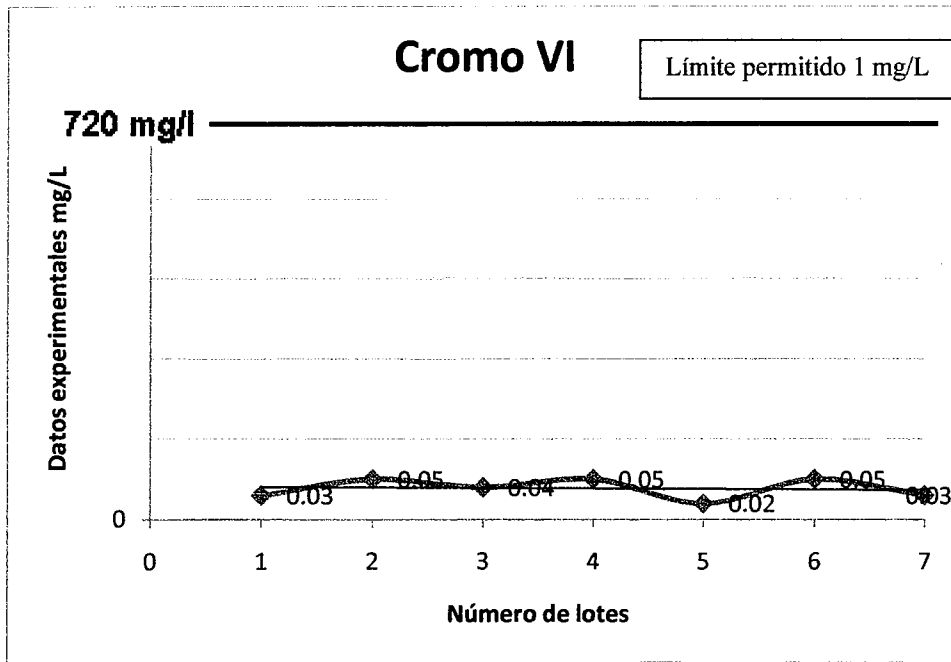
4.3. Representación grafica del comportamiento de los resultados obtenidos del tratamiento de residuos fisicoquímicos

Figura 3. Gráfica correspondiente a las pruebas de arsénico valores finales



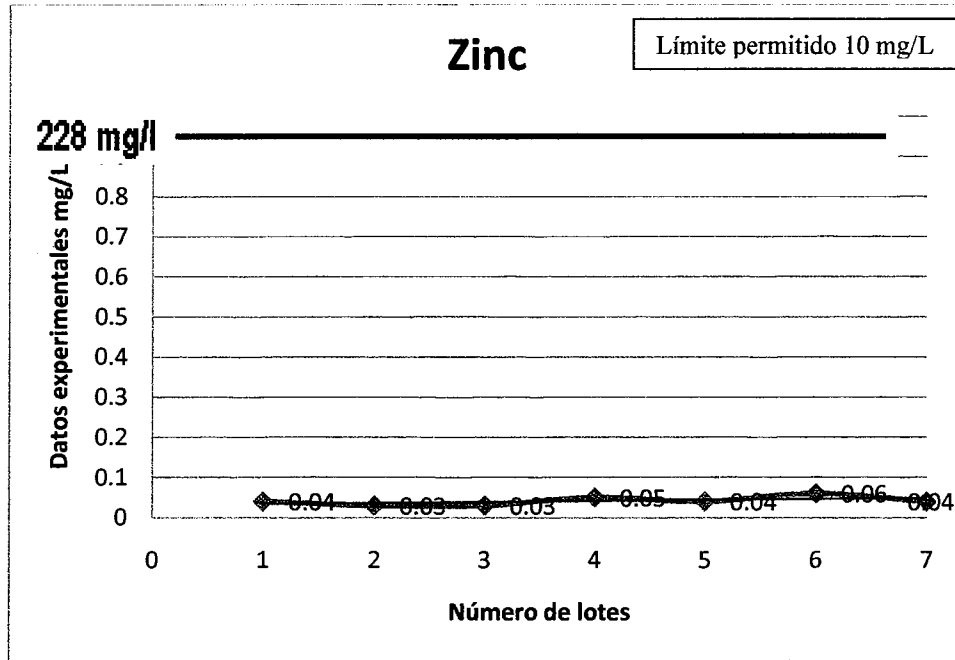
Fuente: Tabla XV y XVI, páginas 44 y 45

Figura 4. Gráfica correspondiente a las pruebas de DQO valores finales



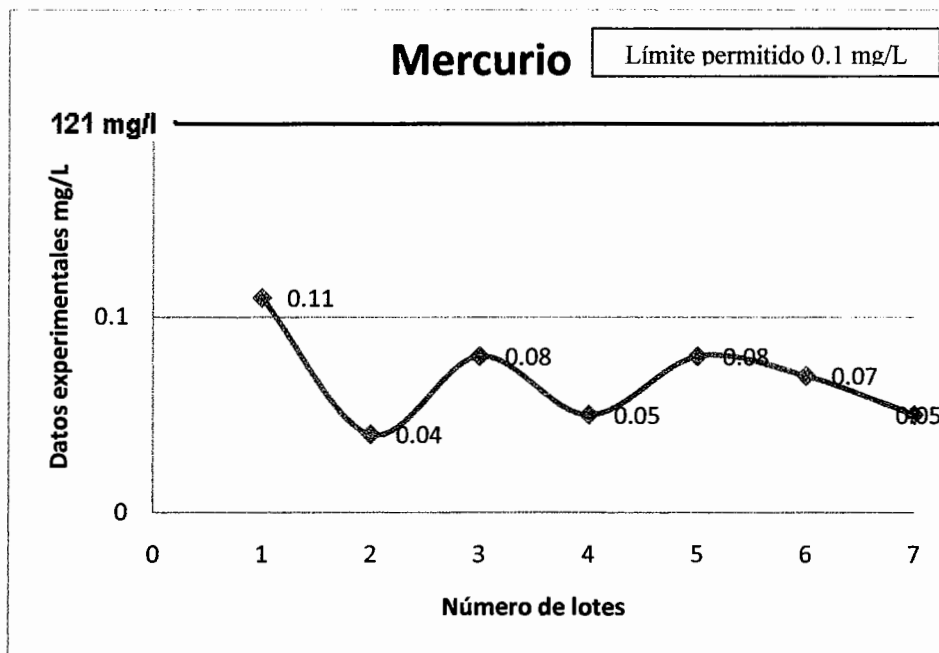
Fuente: Tabla XV y XVI, páginas 44 y 45

Figura 5. Gráfica correspondiente a las pruebas de zinc valores finales



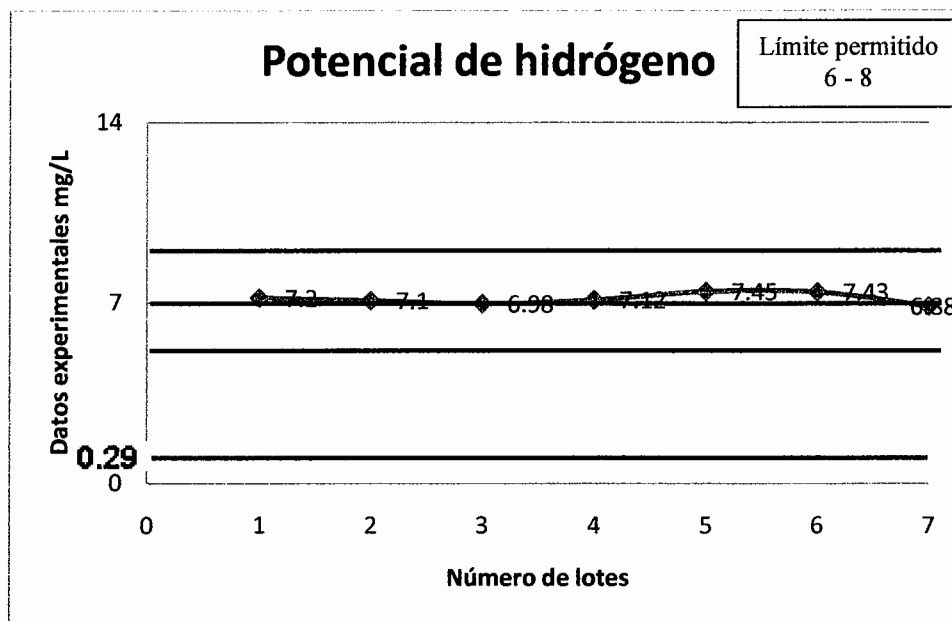
Fuente: Tabla XV y XVI, páginas 44 y 45

Figura 6. Gráfica correspondiente a las pruebas de DQO valores finales



Fuente: Tabla XV y XVI, páginas 44 y 45

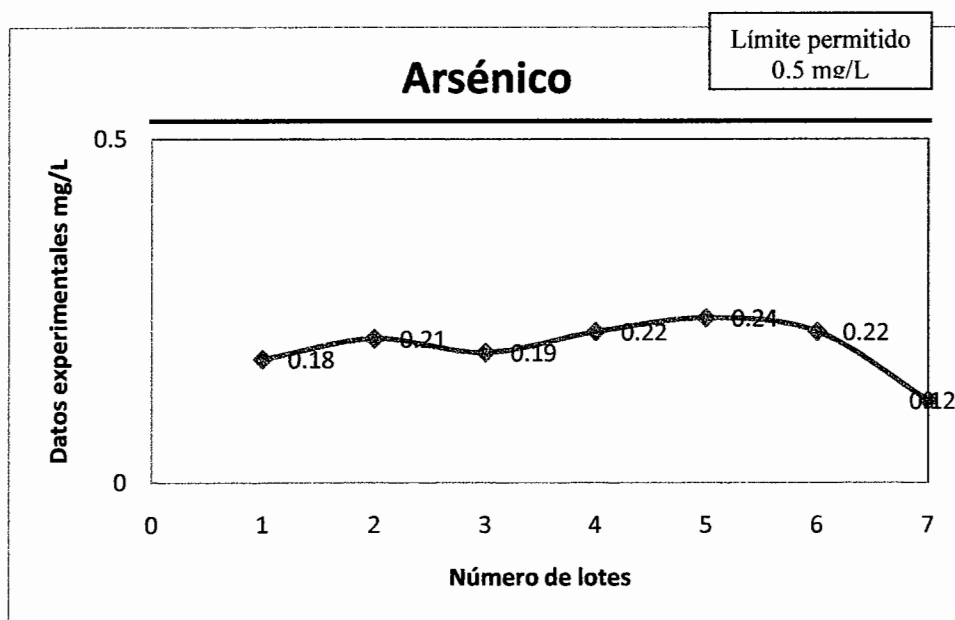
Figura 7. Gráfica correspondiente a las mediciones de pH final



Fuente: Tabla XV y XVI, páginas 44 y 45

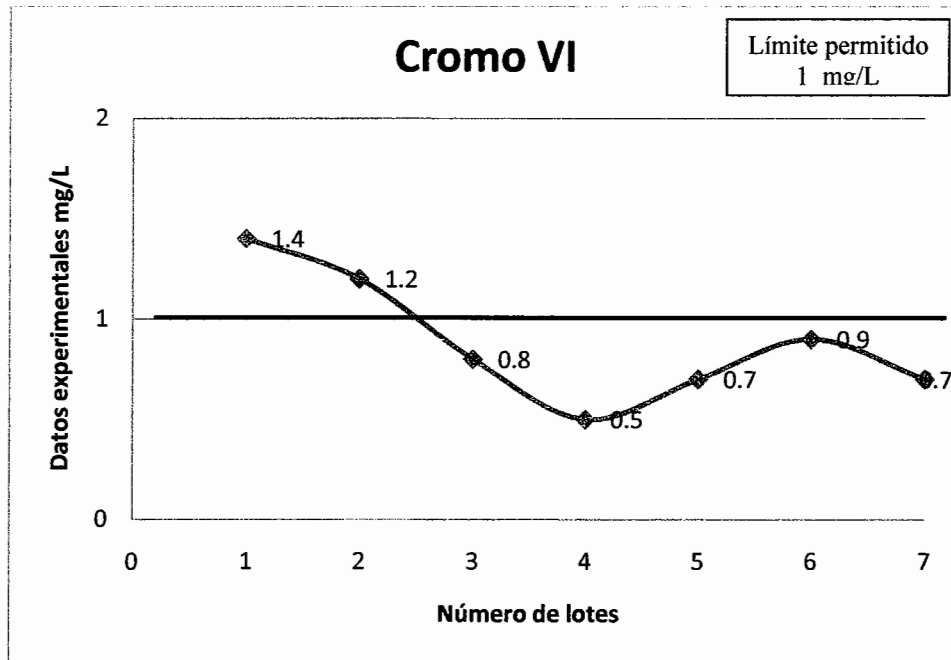
4.4. Gráficas correspondientes a los resultados del agua resultante del lixiviado del sólido

Figura 8. Gráfica correspondiente a las pruebas de arsénico valores finales



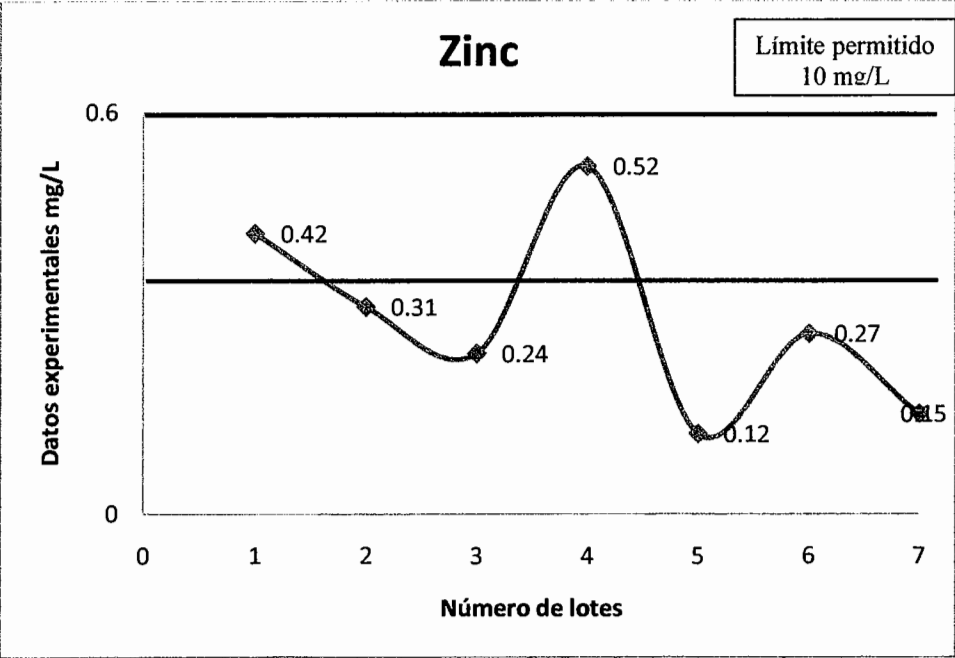
Fuente: Tabla XV y XVI, páginas 44 y 45

Figura 9. Gráfica correspondiente a las pruebas de DQO valores finales



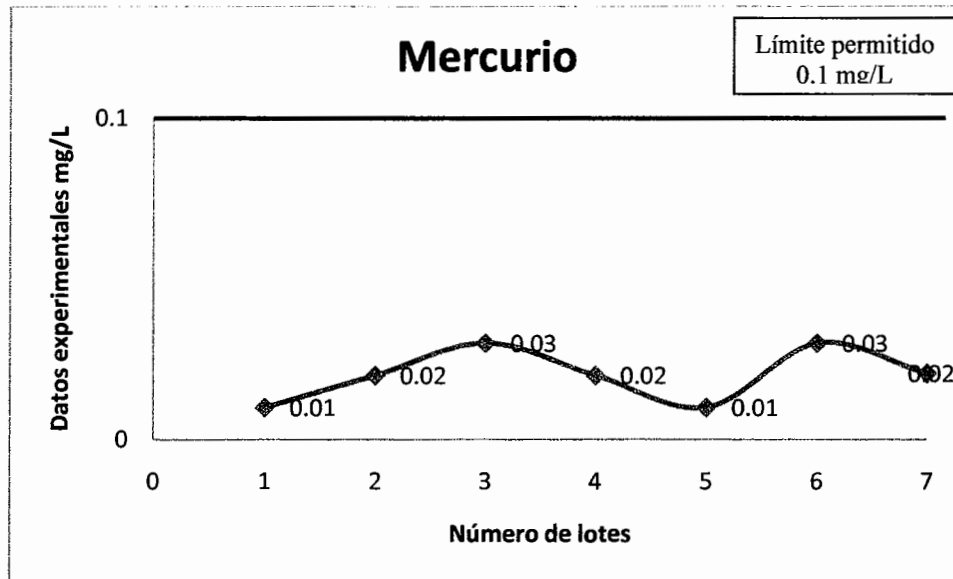
Fuente: Tabla XV y XVI, páginas 44 y 45

Figura 10. Gráfica correspondiente a las pruebas de zinc valores finales



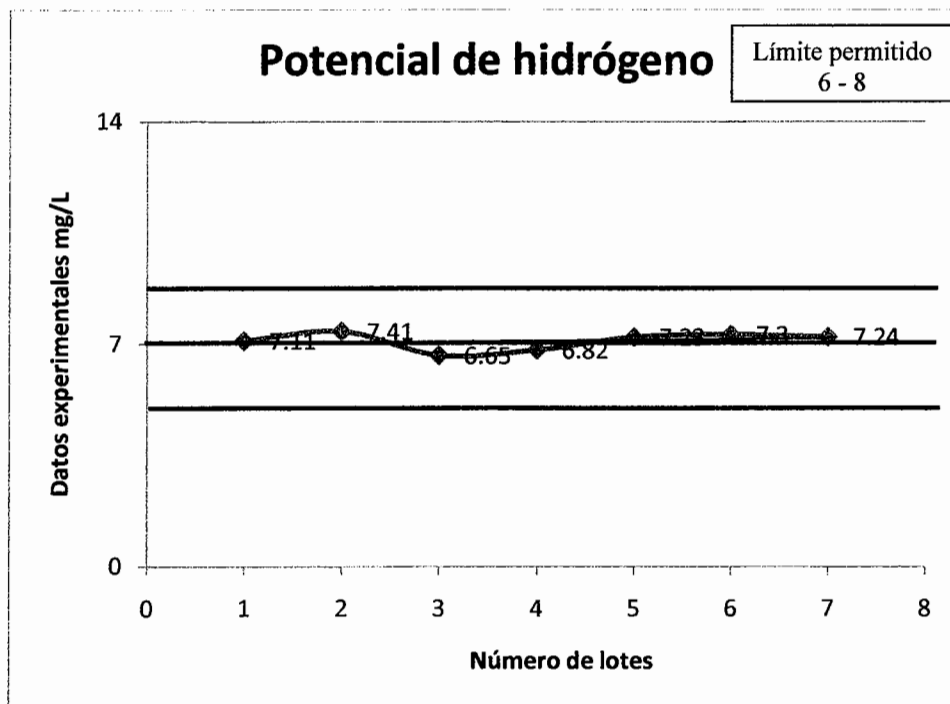
Fuente: Tabla XV y XVI, páginas 44 y 45

Figura 11. Gráfica correspondiente a las pruebas de DQO valores finales



Fuente: Tabla XV y XVI, páginas 44 y 45

Figura 12. Gráfica correspondiente a las mediciones de pH final



Fuente: Tabla XV y XVI, páginas 44 y 45

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el Laboratorio Biológico Industrial se realizan análisis a agua de desecho proveniente de distintas fuentes, los análisis que se le realizan al agua producen desechos que representan peligro debido a sus propiedades, por lo que necesitan un tratamiento antes de ser descartados, de no tener tratamiento provocaría daño al medio ambiente. El proyecto de E.P.S. que tiene como título “elaboración de un método para el tratamiento de desechos líquidos, provenientes de análisis fisicoquímico realizado a agua de distinto tipo”, cubre las ocho pruebas que son las que generan desecho al momento de realizar los análisis; los análisis tomados en cuenta son la demanda química de oxígeno (DQO), determinación de fósforo, nitrógeno, manganeso, sulfatos, nitratos, hierro y arsénico.

Para eliminar la contaminación que generan los análisis fisicoquímicos se elaboró un tratamiento práctico y adecuado para reducir la concentración de los contaminantes, de tal forma que se puedan desechar sin ningún riesgo. Los parámetros máximos permitidos se toman del Acuerdo Gubernativo No.236 – 2006 “reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos”, donde se indica en el artículo 20 (columna valores iniciales) los parámetros que permite la ley de Guatemala.

El método para el tratamiento propuesto tiene como finalidad reducir la peligrosidad del mercurio, arsénico, cromo VI, compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos y metales pesados, para ello se utilizan las técnicas de oxidación, reducción, adsorción (carbón activado) y precipitación de metales pesados en forma de hidróxidos con la ayuda de dos coagulantes ($\text{FeO}(\text{OH})^-$ y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Para concluir se estabiliza el pH a 7 ± 1 , de esta forma se obtienen dos fases, una líquida (agua supernatante) que es desechada al alcantarillado sin ningún peligro según los resultados de las pruebas realizadas (resultado del agua supernatante, tabla XI), y la segunda, el precipitado (sólido reactivo) es tratado por la técnica de inmovilización de sólidos que no es más que la mezcla del desecho con cal y cemento portland con puzolana, este inmoviliza el precipitado como un bloque sólido que a su vez no genera ningún peligro al medio ambiente, según los resultados del lixiviado (resultados del precipitado, tabla XII). Estos resultados están por debajo del valor máximo establecido por las leyes guatemaltecas; como se muestran en el análisis gráfico de la sección de resultados (figura 2- 11), sin embargo en el primer y segundo lote de tratamiento se obtiene un resultado elevado por parte de la prueba de mercurio en el agua supernatante y de cromo IV en el precipitado de los dos primeros lotes, estos superan el límite por 0.1 mercurio, 0.4 cromo VI y 0.2 cromo VI, para que esto no ocurra se modificó de tal forma que la dilución de la mezcla de desechos fuera de 1:0.5 a 1:1.5 para cada tratamiento, de esta forma se obtuvieron datos por debajo de los permitidos en los siguientes tratamientos, lo que indica que sí cumple con los parámetros máximos permitidos.

Con nivel de confianza del noventa por ciento, el método propuesto para el tratamiento de desechos cumple con la reducción del nivel de contaminación de los componentes por debajo de los valores máximos permitidos.

6. LOGROS OBTENIDOS

Se cumplió con los parámetros establecidos en el artículo No. 20 del Acuerdo Gubernativo No.236 – 2006 “DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICION DE LODOS” (columna valores iniciales). Se obtuvieron resultado muy por debajo de los establecidos por el mencionado acuerdo, a continuación se muestran las pruebas realizadas después del tratamiento y su respectivo parámetro promedio, provenientes del análisis estadístico (media aritmética) tomados de siete corridas resultantes de tomar un nivel de confianza del 90% de certeza de los datos:

Tabla XXII. **Comparación de los resultados del agua supernatante versus los límites permitidos**

PRUEBA	MEDIA ARITMÉTICA CONCENTRACIÓN INICIAL	MEDIA ARITMÉTICA CONCENTRACIÓN FINAL	LÍMITE PERMITIDO
Arsénico (mg/L)	109	0.02	0.5
Color (Pt/Co)	>1000	5	1500
pH	0.29	7.17	6 – 8
Cromo VI (mg/L)	720	0.04	1
Zinc (mg/L)	228	0.04	10
Mercurio (mg/L)	121	0.07	0.1

Fuente: Tabla XVIII y XIX, página 47

Tabla XXIII. Media aritmética de los resultados del lixiviado

PRUEBA	MEDIA ARITMÉTICA	LÍMITE PERMITIDO
Color (Pt/Co)	5	1500
pH	7.11	6 - 8
Cromo VI (mg/L)	0.89	1
Zinc (mg/L)	0.29	10
Mercurio (mg/L)	0.07	0.1

Fuente: Tabla XVIII y XIX, página 47

Estos resultados son obtenidos del tratamiento, donde se consolida el logro más importante cumpliendo así con el objetivo general, la reducción máxima de peligrosidad de los desechos líquidos proveniente de ocho análisis químicos que se le realizan a aguas de distinto tipo.

CONCLUSIONES

1. Se caracterizó cada compuesto de los residuos generados por las pruebas de hierro, arsénico, manganeso, sulfatos, fósforo, nitratos, nitrógeno y DQO. Y se cuantificó un mayor volumen de residuo para la prueba de arsénico (2 litros) y una menor generación para la prueba de sulfatos (0.4 litros).
2. Según generación en volumen de cada prueba fisicoquímica, se determinó experimentalmente que la composición de mezcla para un lote de desecho es: 30% arsénico, 20% DQO 15% hierro, 10% nitrógeno, 10% fósforo, 5% nitratos, 5% sulfatos y 5% manganeso.
3. De acuerdo a la caracterización y compatibilidad de mezcla de las pruebas de hierro, arsénico, manganeso, sulfato, fósforo, nitratos, nitrógeno y DQO, se elaboró con un nivel de confianza del 90% el procedimiento para el tratamiento de residuos fisicoquímicos.
4. Los resultados obtenidos del procedimiento propuesto para el tratamiento de residuos fisicoquímicos cumplen con los valores iniciales de los parámetros máximos permisibles para la descarga y reuso de aguas residuales y disposición de lodos, artículo 20, Acuerdo Gubernativo 236-2006, para las pruebas de arsénico, color, pH, cromo IV, zinc y mercurio.

RECOMENDACIONES

1. El procedimiento para el tratamiento se debe realizar en periodos de seis meses, para que de esta manera, se garantice la disminución de la acumulación de residuos, así también se estarían reduciendo costos.
2. Asignar una persona capacitada para que se encargue de todos los residuos peligrosos que se generan y también aplique el tratamiento de residuos para reducir el contenido.
3. Establecer un área y cristalería exclusiva para realizar el tratamiento de residuos.
4. Evitar desechar en el vertedero de basura, papel filtro, trapos y papel mayordomo; que se encuentre contaminado con los residuos.
5. Almacenar los residuos de cada prueba en el recipiente específico, evitar mezclar el contenido de las mismas con otras pruebas, de esta manera se disminuye el riesgo a derrame por deterioro del recipiente, que podría ser causado por valor de pH, que se encuentra por debajo de 1, cuando se realiza una mezcla de los residuos.

BIBLIOGRAFÍA

1. A.P.H.A.-A.W.W.A.-W.E.F. *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*. 19th. Edition. U.S.A.: American Public Health Association. 2005.
2. BERNABEI, D. "Seguridad. Manual para el laboratorio". E. Merck, GIT Verlag, Darmstadt RFA, 1994.
3. DÍAZ PEÑALVER, Natalia. *Manual de gestión de los residuos especiales de la Universidad de Barcelona*, publicaciones de la universidad de Barcelona, 2000, p. 23-83.
4. FISCHER, K. E.; I CLARKE, A. N. "*Hazardous waste: detection, control, treatment*". Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam. Netherlands. 1988.
5. GADEA CARRERA, Erique. *Eliminación de residuos en el laboratorio procedimientos generales*. edición 2008.
6. GADEA CARRERA, Enrique. *Seguridad en el laboratorio: gestión de residuos tóxicos y peligrosos en pequeñas cantidades*. Notas Técnicas de Prevención, 359-1994.

7. LA GREGA, M.D. *"Gestión de Residuos Tóxicos"*. Volumen 1. McGraw Hill. México. 1996.
8. Ministerio de trabajos sociales España, *"Tratamiento generales para desechos"*, www.uv.es/SSSQA/mediambient/documents/ntp276.pdf.
9. PÚRSCHER, Wolibang. *Calidad de las Aguas y su Tratamiento*. 3ª edición. España, URMO, 2000.

APÉNDICE

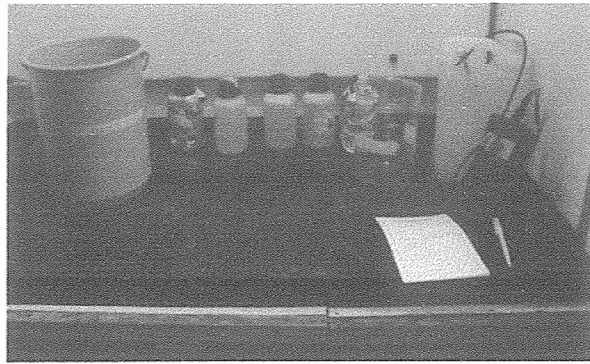
1. Preparación de soluciones necesarias para el tratamiento

1.1 Desechos sólidos clasificados



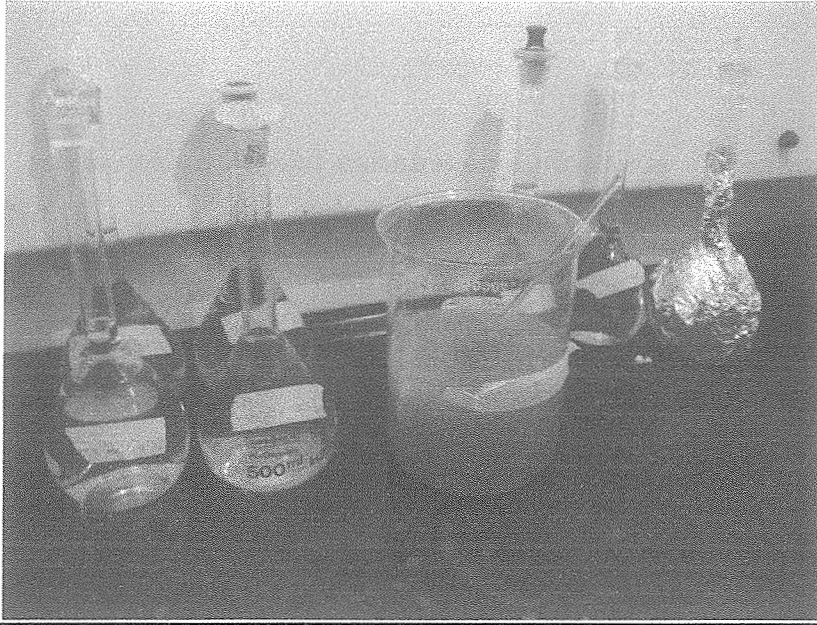
Fuente: Elaboración propia

1.2 Soluciones preparadas

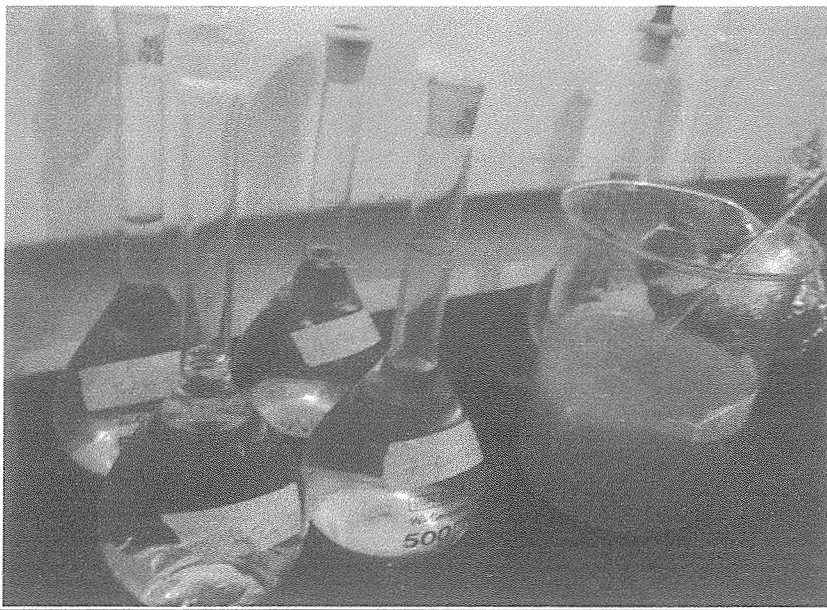


Fuente: Elaboración propia

1.3 Inicio del procedimiento mezcla de desechos



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

1.4 Inicio del tratamiento



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Continuación inicio de tratamiento.



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

1.5 Filtración al vacío



Fuente: Elaboración propia

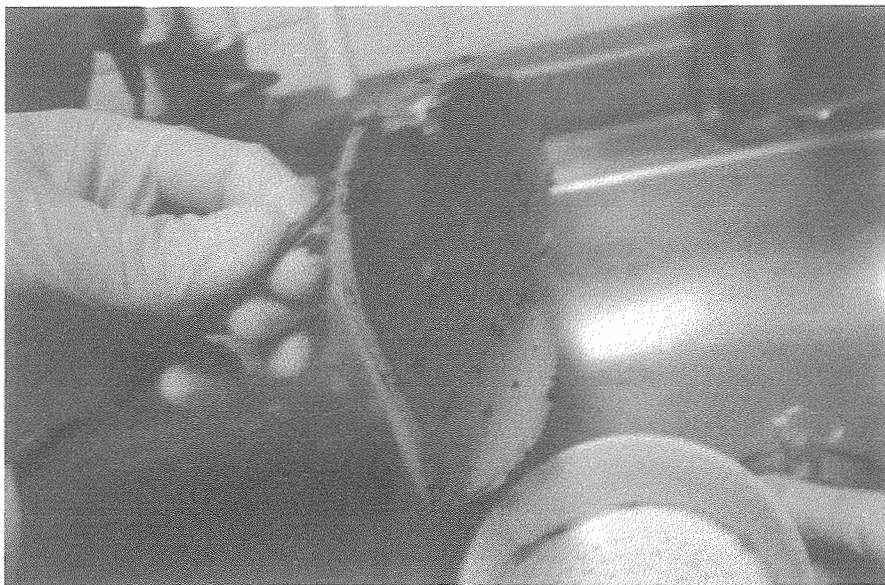


Fuente: Elaboración propia

Continuación filtración al vacío.



Fuente: Elaboración propia

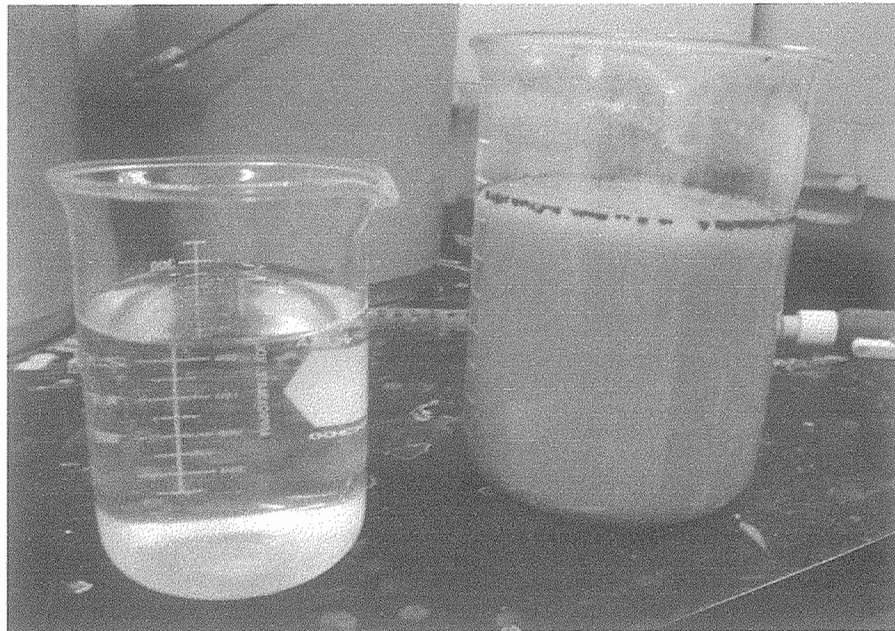


Fuente: Elaboración propia

Continuación filtración al vacío.



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

1.6 Filtración por gravedad

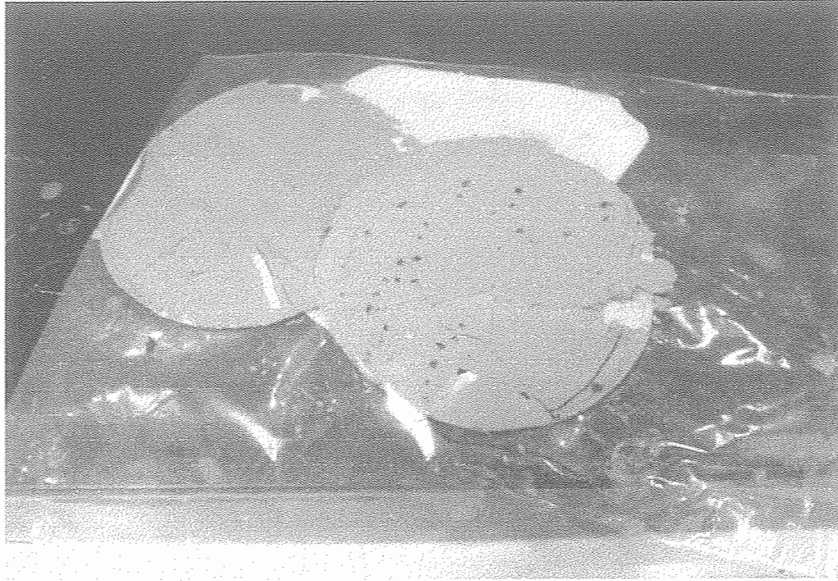


Fuente: Elaboración propia

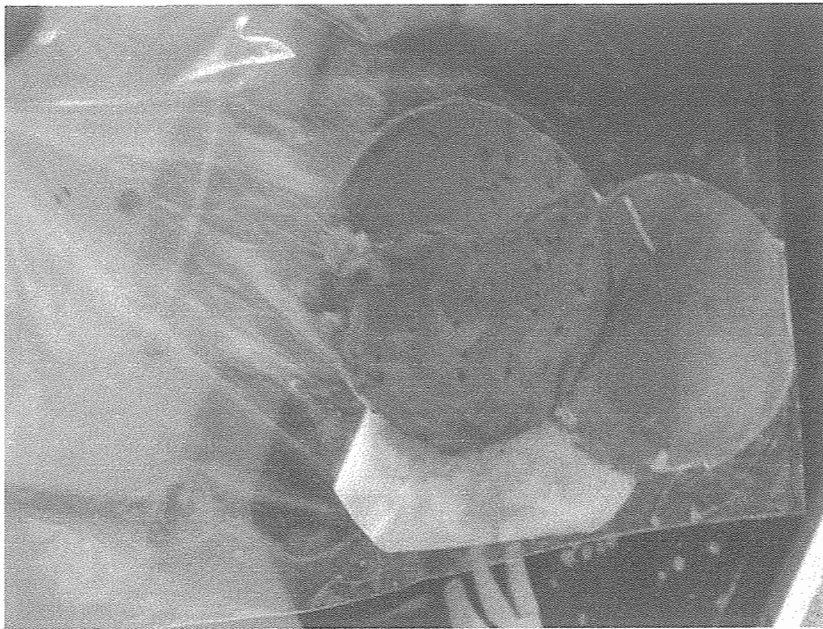


Fuente: Elaboración propia

1.7 Sólido producto del tratamiento



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

1.8 Inmovilización de sólidos para reducir la peligrosidad



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Continuación inmovilización de sólidos para reducir la peligrosidad.



Fuente: Elaboración propia

1.9 Procedimiento de lixiviación (reposo de 7 días)



Fuente: Elaboración propia

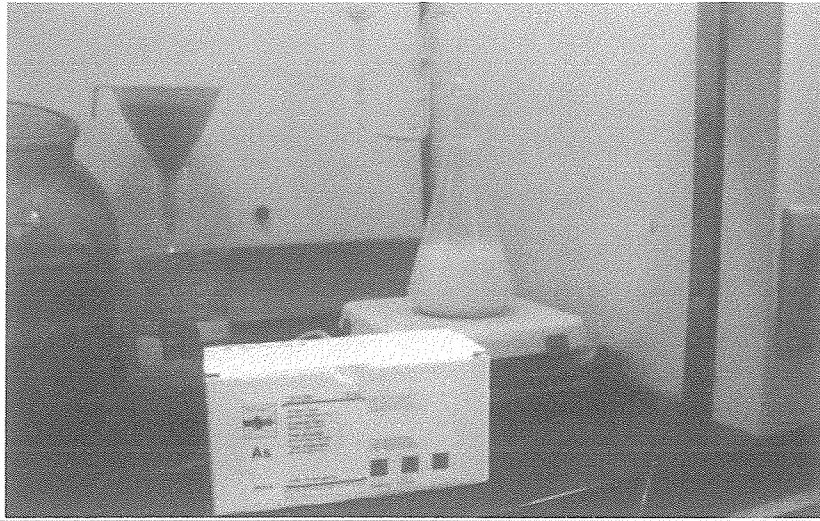
Continuación procedimiento de lixiviación (reposo de 7 días).



Fuente: Elaboración propia

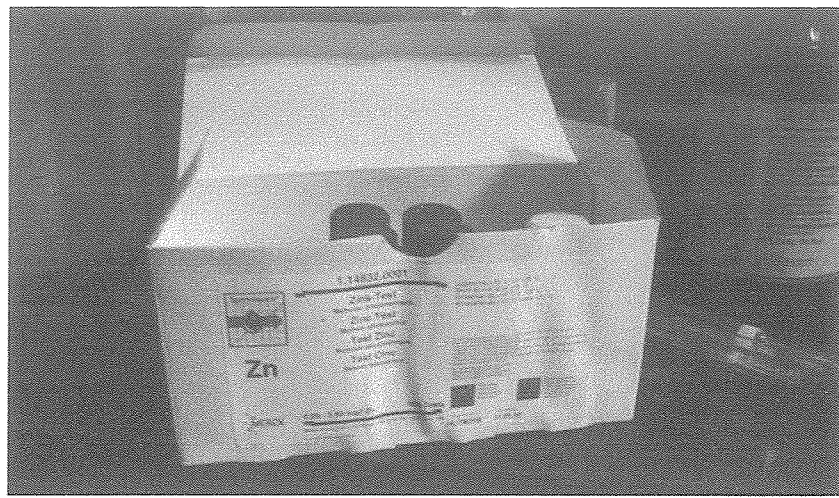
2 Pruebas realizadas al agua del lixiviado y al agua supernatante

2.1 Prueba de arsénico



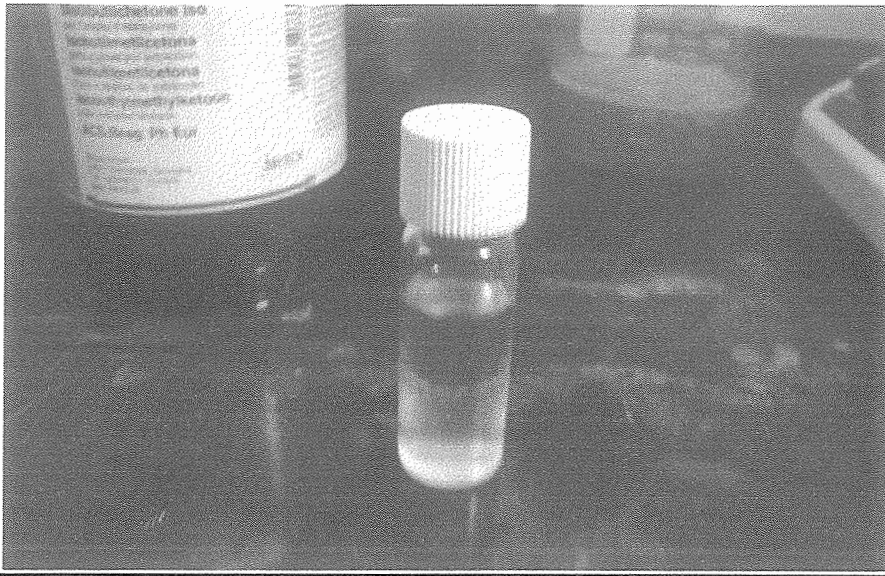
Fuente: Elaboración propia

2.2 Prueba de zinc



Fuente: Elaboración propia

Continuación prueba de zinc.



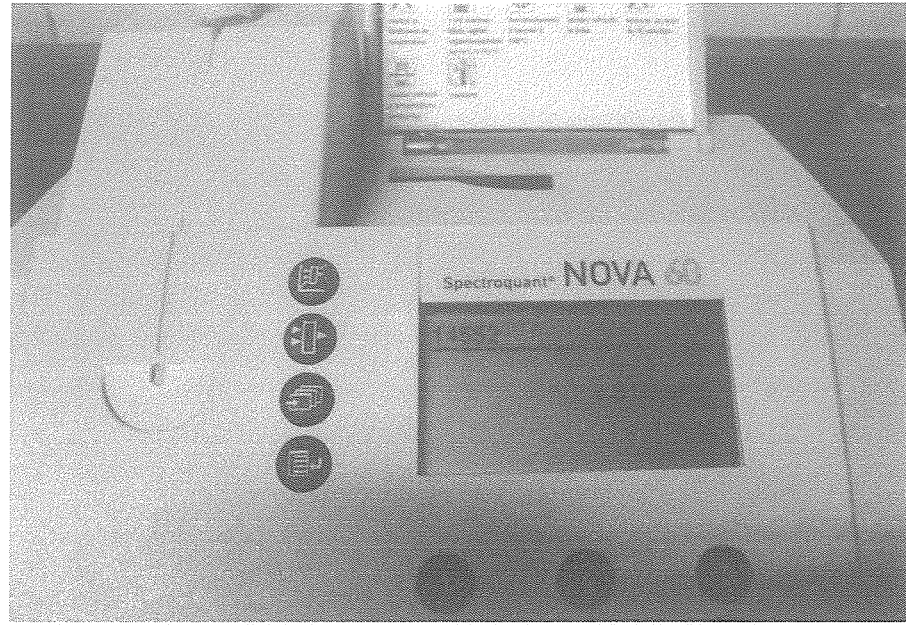
Fuente: Elaboración propia

2.3 Prueba de Cromo



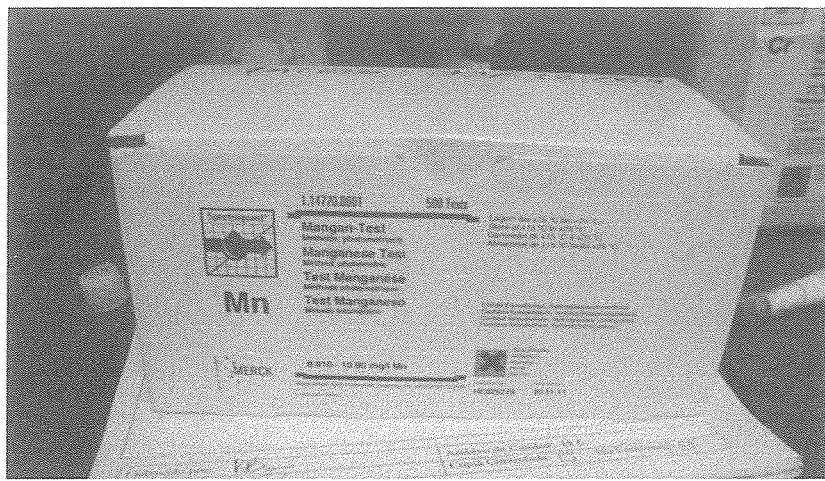
Fuente: Elaboración propia

Continuación prueba de cromo.



Fuente: Elaboración propia

2.4 Prueba de manganeso



Fuente: Elaboración propia

3 Equipo de medición utilizado

3.1 Potenciómetro



Fuente: Elaboración propia

3.2 *Espectroquant Nova 60*



Fuente: Elaboración propia

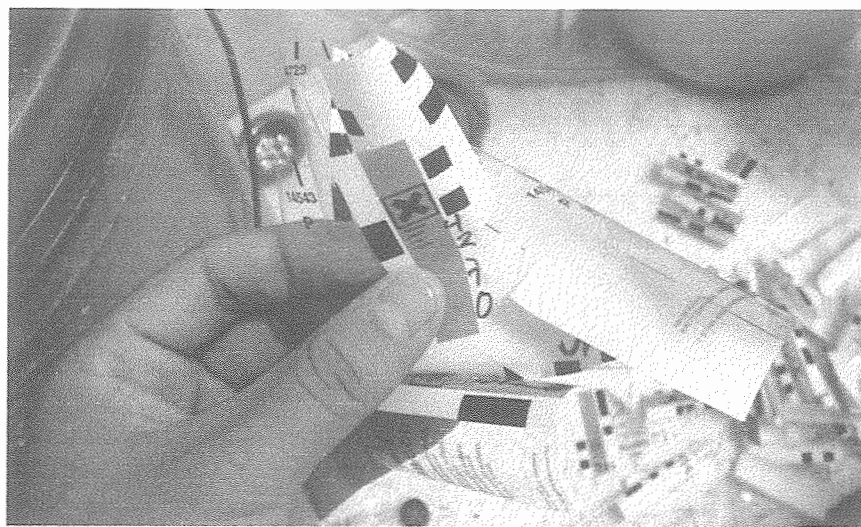
4 Limpieza de tubos de ensayo de los *kits* que contenían los desechos

4.1 *Kits Espectroquant* con desechos



Fuente: Elaboración propia

4.2 Limpieza de tubos



Fuente: Elaboración propia

Continuación limpieza de tubos.



Fuente: Elaboración propia

4.3 Tubos de ensayo limpios



Fuente: Elaboración propia

Continuación tubos de ensayo limpios.



Fuente: Elaboración propia

ANEXOS

Tabla XXIV. Clasificación según peligrosidad química








Clasificación según sus propiedades físico químicas	
F	Fácilmente inflamables
	Las sustancias y preparados en estado líquido cuyo punto de inflamación es muy bajo, o las sustancias y preparados que, en contacto con agua o con aire húmedo, desprenden gases extremadamente inflamables en cantidades peligrosas.
R10 (sin símbolo)	Inflamables
	Las sustancias y preparados líquidos cuyo punto de inflamación es bajo.
Clasificación según sus propiedades toxicológicas	
T+	Muy tóxico
	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en muy pequeña cantidad, pueden provocar la muerte o efectos agudos o crónicos para la salud.
T	Tóxico
	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades, provocan la muerte o efectos agudos o crónicos para la salud.
Xn	Noctivos
	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden provocar la muerte o efectos agudos o crónicos para la salud.
C	Corrosivos
	Las sustancias y preparados que, en contacto con tejidos vivos, pueden ejercer una acción destructiva de los mismos.
Xi	Irritantes
	Las sustancias y preparados no corrosivos que, por contacto breve, prolongado o repetido con la piel o las mucosas, pueden provocar una reacción inflamatoria.
Clasificación según sus efectos sobre la salud humana	
R42 y/o R43 (sin símbolo)	Sensibilizantes
	Las sustancias y preparados que, por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción de hipersensibilización, de forma que una exposición posterior a esa sustancia o preparado dé lugar a efectos nocivos característicos.
Carc. Cat. (1, 2 o 3) (sin símbolo)	Carcinogénicos
	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden producir cáncer o aumentar su frecuencia.
Mut. Cat. (1, 2 o 3) (sin símbolo)	Mutagénicos
	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden producir defectos genéticos hereditarios o aumentar su frecuencia.
Repr. Cat. (1, 2 o 3) (sin símbolo)	Tóxicos para la reproducción
	Las sustancias o preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden producir efectos nocivos no hereditarios en la descendencia, o aumentar la frecuencia de éstos, o afectar de forma negativa a la función o a la capacidad reproductora masculina o femenina.
Clasificación según sus efectos para el medio ambiente	
N	Peligroso para el medio ambiente
	Las sustancias o preparados que, en caso de contacto con el medio ambiente, constituyen o podrían constituir un peligro inmediato o futuro para uno o más componentes del mismo.

Figura 13. Relación de peligrosidad del pictograma de compuestos químicos

	+	-	-	-	+
	-	+	-	-	-
	-	-	+	-	+
	-	-	-	+	0
	+	-	+	0	+

+	Se pueden almacenar juntos
0	Solamente podrán almacenarse juntos, adoptando ciertas medidas
-	No deben almacenarse juntos

Figura 14. Ejemplo de etiquetación de un compuesto químico

EJEMPLO DE ETIQUETA

Identificación de peligros

T **F**

Tóxico

Fácilmente inflamable

Descripción del riesgo (Frases R)

R 11.23.25:
Tóxico por inhalación y por ingestión

Medidas Preventivas (Frases S)

S 7.16.24.45:
Manténgase el recipiente bien cerrado
Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas. - No fumar
Evítese el contacto con la piel
En caso de accidente o malestar, acudase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrele la etiqueta)

Identificación del producto
(Nombre químico de la sustancia o nombre comercial (si preparado))

Composición
(Para los preparados: relación de sustancias peligrosas presentes, según concentración y toxicidad)

Responsable de la comercialización
(Nombre, dirección y teléfono)

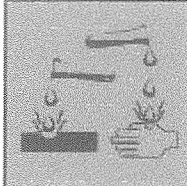
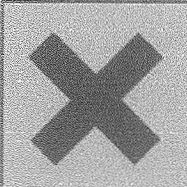


ABCDE-33

Contiene...


XXX, S.A.
Av. ABY...
Tel...

Tabla XXV. Pictogramas de peligrosidad


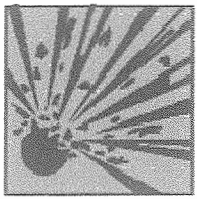
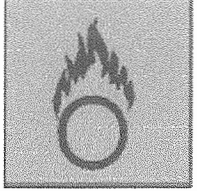
En las etiquetas de algunos reactivos pueden encontrarse 1 ó 2 de los pictogramas mostrados a continuación. Estos símbolos muestran, gráficamente, el nivel de peligrosidad de la sustancia etiquetada:

 <p>Corrosivo Corrosive Corrosif</p> <p>C</p>	<p>Corrosivos: las sustancias y preparados que, en contacto con tejidos vivos, puedan ejercer una acción destructiva de los mismos.</p>
 <p>Irritante Irritant Irritant</p> <p>Xi</p>	<p>Irritantes: las sustancias y preparados no corrosivos que, por contacto breve, prolongado o repetido con la piel o las mucosas puedan provocar una reacción inflamatoria.</p>
 <p>Tóxico Toxic Toxique</p> <p>T</p>	<p>Tóxicos: las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades puedan provocar efectos agudos o crónicos, o incluso la muerte.</p>
 <p>Muy Tóxico Very Toxic Très Toxique</p> <p>T+</p>	<p>Muy tóxicos: las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en muy pequeña cantidad puedan provocar efectos agudos o crónicos o incluso la muerte.</p>

Continuación pictogramas de peligrosidad.

 <p>Inflamable Flammable Inflammable</p> <p>F</p>	<p>Inflamables: las sustancias y preparados líquidos cuyo punto de ignición sea bajo.</p> <p>Identifica a aquellas sustancias que se inflaman por un contacto breve con una fuente de ignición y después de haberse separado de dicha fuente de ignición continúan quemándose.</p> <p>Fácilmente inflamables: las sustancias y preparados que puedan calentarse e inflamarse en el aire a temperatura ambiente sin aporte de energía, o sólidos que puedan inflamarse fácilmente tras un breve contacto con una fuente de inflamación y que sigan quemándose o consumiéndose una vez retirada dicha fuente, o en estado líquido cuyo punto de inflamación sea muy bajo, o que, en contacto con agua o con aire húmedo, desprendan gases extremadamente inflamables en cantidades peligrosas.</p>
---	--

Continuación pictogramas de peligrosidad.

 <p>Extremadamente inflamable Extremely flammable Extrêmement inflammable</p> <p>F+</p>	<p>Extremadamente inflamables: las sustancias y preparados líquidos que tengan un punto de inflamación extremadamente bajo y un punto de ebullición bajo, y las sustancias y preparados gaseosos que, a temperatura y presión normales, sean inflamables en el aire.</p> <p>Identifica a aquellas sustancias que a temperatura ambiente y en contacto con el aire arden espontáneamente.</p>
 <p>Explosivo Explosive Explosible</p> <p>E</p>	<p>Explosivos: las sustancias y preparados sólidos, líquidos, pastosos o gelatinosos que, incluso en ausencia de oxígeno del aire, puedan reaccionar de forma exotérmica con rápida formación de gases y que, en condiciones de ensayo determinadas, detonan, deflagran rápidamente o, bajo el efecto del calor, en caso de confinamiento parcial, explotan.</p> <p>Identifica a aquellas sustancias que pueden hacer explosión por efecto de una llama, choque o fricción.</p>
 <p>Comburente Oxidising Comburant</p> <p>O</p>	<p>Comburentes: las sustancias y preparados que, en contacto con otras sustancias, en especial con sustancias inflamables, produzcan una reacción fuertemente exotérmica.</p>

Continuación pictogramas de peligrosidad.

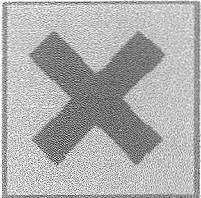
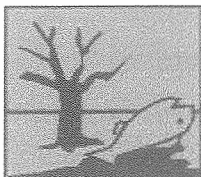
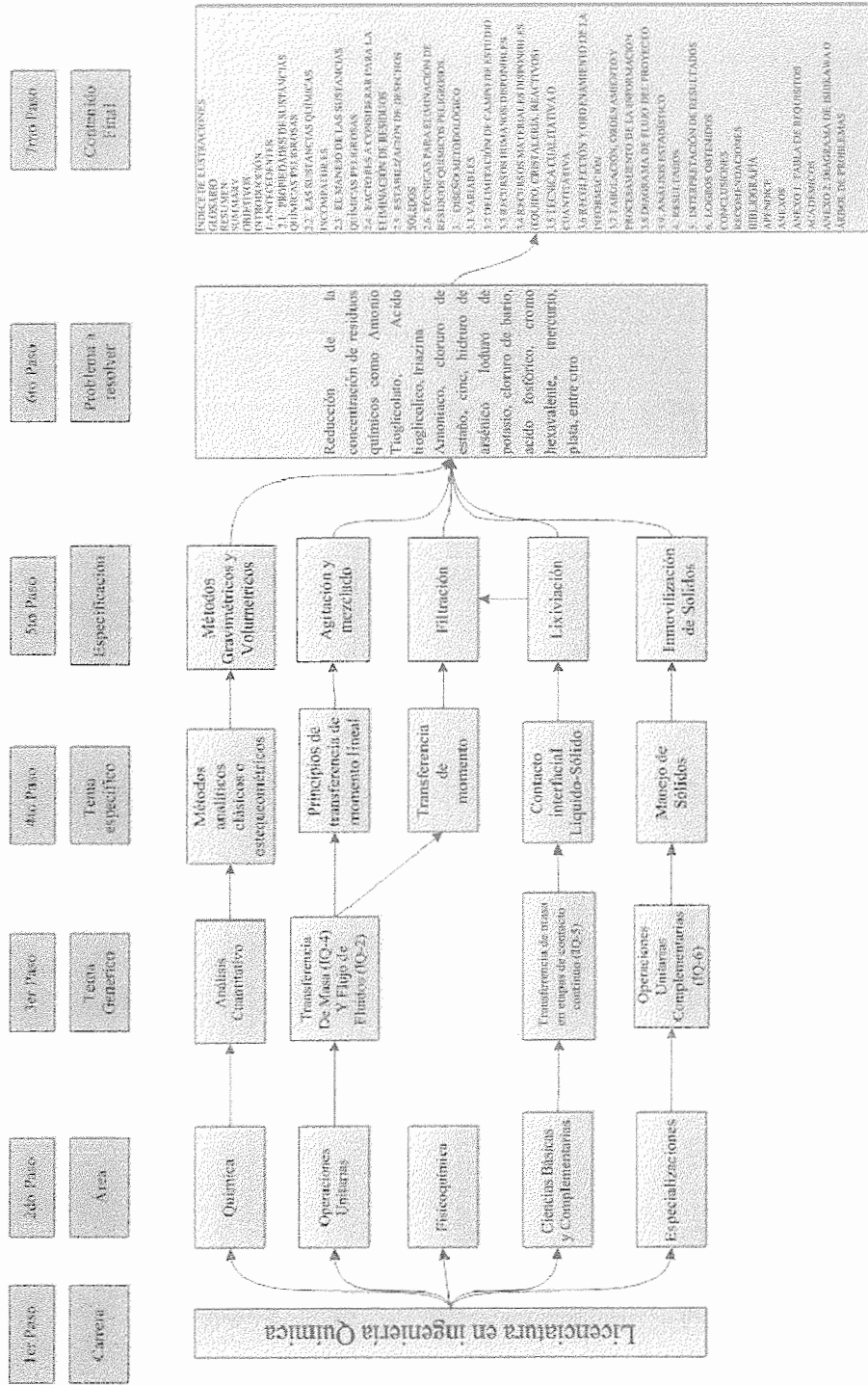
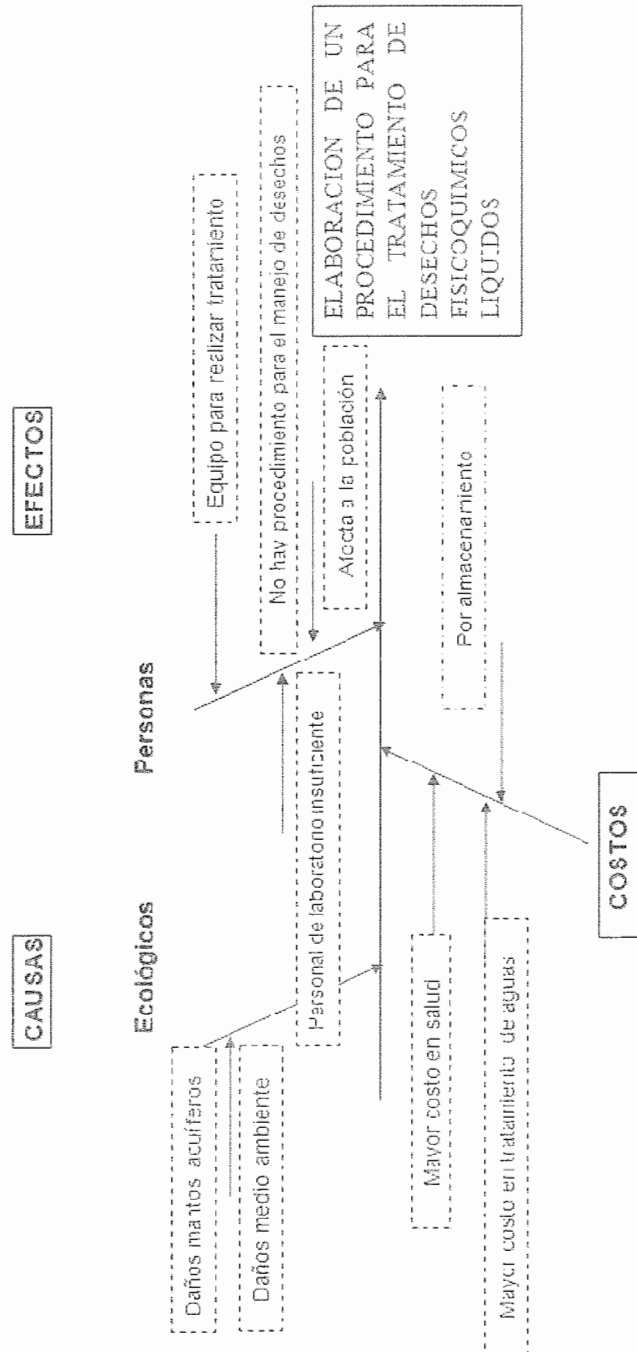
	<p>Nocivos: las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan provocar efectos agudos o crónicos, o incluso la muerte.</p>
<p>Nocivo Harmful Nocif</p>	<p>Xn</p>
	<p>Peligrosos para el medio ambiente: las sustancias o preparados que, en caso de contacto con el medio ambiente, presenten o puedan presentar un peligro inmediato o futuro para uno o más componentes del medio ambiente.</p>
<p>Peligroso para el Medio Ambiente</p>	<p>N</p>

Figura 15. Cursos y/o herramientas de ingeniería química



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Diagrama de Ishikawa o árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia