

ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE MANUAL PARA EL MANEJO DE
RESIDUOS QUÍMICOS PROVENIENTES DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE
LA FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL, UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE
VILLAVICENCIO



MARÍA ALEJANDRA TORRES ARDILA

FRANCEY VALENTINA RUIZ GACHA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2021

ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE MANUAL PARA EL MANEJO DE RESIDUOS
QUÍMICOS PROVENIENTES DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIOS DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL, UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE
VILLAVICENCIO

MARÍA ALEJANDRA TORRES ARDILA

FRANCEY VALENTINA RUÍZ GACHA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director

JONATHAN STEVEN MURCIA FANDIÑO

MSc. en Ciencia y Tecnología Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

VILLAVICENCIO, META

2021

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, OP

Rector General

P. EDUARD GONZÁLEZ GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de la Facultad

JONATHAN STEVEN MURCIA FANDIÑO

Director Trabajo de Grado

VALMA MARTINS BARBOSA

Codirector Trabajo de Grado

MARTHA JULIETH HERRERA

Jurado

CHRISTIAN JOSÉ ROJAS REINA

Jurado

Villavicencio, 11 de junio de 2021

Dedicatoria

“En memoria de mi mamá Johanna, mi papá Alexander y mi abuelita Rosa María, quiénes siempre hicieron un gran esfuerzo para que yo culminara exitosamente y sé que desde el cielo me ven y acompañarán por el resto de la vida”.

Alejandra Torres.

“Dedico este trabajo a todas aquellas personas que fueron un apoyo en el inicio de esta etapa de mi vida, a mi madre Tatiana Gacha que fue quién me motivó a iniciar una carrera profesional, a mi padre Gustavo Ruíz que fue un gran fundamento para culminar todos mis estudios, a mi abuelo Héctor Gacha, que aunque ya no esté en nuestras vidas nos acompaña en el corazón, me dio el consejo más importante “Que podría lograr todas mis metas si estudiada y me esforzaba”, a mi hermana Geraldine Ruíz que en procesos difíciles me apoyó y a mi perrita CHATA que todas las noches me acompañó en tiempos de estudio, éste triunfo es por y para cada uno de ustedes”.

Valentina Ruíz.

Agradecimientos

“Inicialmente, agradezco a Dios por darme sabiduría y capacidad en todo el desarrollo de la carrera, por darme mucha fuerza para continuar con el proceso, solamente él sabe las veces que sentí desfallecer y aun así me recuperé. Gracias infinitas a mi mamá Johanna que siempre con tanto amor y bondad me educó para ser una gran persona, con valores y principios. A mi papá Alexander agradezco todo el esfuerzo que hizo para sus hijas, fue el mejor, el más atento, generoso y aunque ambos no están presentes físicamente eternamente lo estarán espiritualmente. Les recuerdo todos los días con tanto cariño. A mis hermanas Gensy y Paula, quiénes son mi motor cada día para seguir creciendo personalmente y profesionalmente. Al docente Jonathan Murcia quién se desempeñó como director en nuestro trabajo de grado y con el cual creamos vínculos de mi amistad por ser tan excelente persona. La paciencia que tuvo en el desarrollo del trabajo fue increíble. A doña Marina, quién me ha recibido en su hogar como una cuarta hija tengo tanto por agradecerle y a sus hijas Tatiana, Daniela y Michelle Rodríguez, por el apoyo incondicional en momentos tan difíciles quiénes me han motivado cuando más lo he necesitado. A mis amigas de la Universidad, Pao Herrera, Lau Avendaño, Lu Cortés, Angelita Acosta, María Camila Rodríguez, Helyana Guevara, Daniela Garzón y amigo Luis Fernando Rivera, con quiénes me siento en deuda por tan excelente amistad, soy muy afortunada de tenerles. Al grupo Maravilla en general, porque ahora solo quedan recuerdos de los maravillosos momentos que pasamos juntos”.

Alejandra Torres

“Agradezco a mi pareja Vicente Pineda, por el apoyo que me brindó durante toda la carrera y también me dejó como enseñanza nunca perder la perseverancia en los estudios, por lo cual, fue una gran motivación para culminar esta etapa, ya que compartimos la misma carrera, la cual será una de las ocupaciones más importantes de nuestras vidas a nivel profesional. También, a la profesora Angélica Zapata una de las mejores docentes de la facultad, que fue un apoyo fundamental en uno de los momentos de mi vida, donde fue incondicional en sus experiencias y consejos, además, es una persona admirable como docente, lo cual siempre tendré presente como uno de los mejores momentos vividos en la Universidad”.

Valentina Ruíz

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	12
Abstract.....	13
1. Introducción	14
2. Justificación	17
3. Objetivos de la investigación.....	19
3.1. Objetivo general	19
3.2. Objetivos específicos	19
4. Objetivos de la auxiliatura	20
4.1. Objetivo General.....	20
4.2. Objetivos Específicos	20
5. Descripción metodológica.....	21
6.1. Área de estudio	21
6.2. Tipo de metodología	21
6.3. Etapa 1: Análisis de las guías de laboratorio	22
6.3.1. Gestión actual de los residuos	22
6.3.2. Solicitud de información de guías prácticas.....	22
6.3.3. Cálculos estequiométricos.....	23
6.3.4. Cuantificación y clasificación de residuos químicos	23
6.4. Etapa 2. Identificación de estrategias	24
6.4.1. Protocolo de procesos para control de residuos	24
6.4.2. Formulación de medidas de Elementos de Protección Personal (EPP)	24

6.4.3.	Consolidación y diseño del manual.....	25
6.5.	Etapa 3. Mecanismo de Concientización.....	25
6.5.1.	Divulgación de resultados	25
7.	Resultados.....	26
7.1.	Etapa 1. Análisis de las guías de laboratorio	26
7.1.1.	Gestión actual de los residuos	26
7.1.2.	Solicitud de información de guías prácticas.....	28
7.1.3.	Cálculos estequiométricos.....	31
7.1.4.	Cuantificación y clasificación de residuos	31
7.2.	Etapa 2. Identificación de estrategias	32
7.2.1.	Protocolo de procesos.....	33
7.2.2.	Formulación de medidas de Elementos de Protección Personal (EPP)	55
7.2.3.	Consolidación del manual	56
7.3.	Etapa 3. Mecanismo de Concientización.....	57
7.3.1.	Divulgación de resultados	57
8.	Análisis de las actividades realizadas.....	58
9.	Conclusiones	60
10.	Recomendaciones	62
11.	Bibliografía	63
12.	Anexos	73

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Zona de estudio, Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio.....	21
Figura 2. Comparación anual de residuos en peso (Kg)	28
Figura 3. Clasificación de residuos generados en las prácticas de laboratorio.....	32

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Asignación de tipos de residuos peligrosos- RESPEL	24
Tabla 2. Listado de clasificación RESPEL por procesos o actividades	27
Tabla 3. Fuentes generadoras de residuos químicos	28
Tabla 4. Plantilla general de protocolo de procesos.....	33
Tabla 5. Protocolo de proceso-formato 001	34
Tabla 6. Protocolo de proceso-formato 002	35
Tabla 7. Protocolo de proceso-formato 003.....	36
Tabla 8. Protocolo de proceso-formato 004.....	37
Tabla 9. Protocolo de proceso-formato 005.....	38
Tabla 10. Protocolo de proceso-formato 006.....	39
Tabla 11. Protocolo de proceso-formato 007	40
Tabla 12. Protocolo de proceso-formato 008.....	41
Tabla 13. Protocolo de proceso-formato 009	42
Tabla 14. Protocolo de proceso-formato 010.....	44
Tabla 15. Protocolo de proceso-formato 011	45
Tabla 16. Protocolo de proceso-formato 012.....	46
Tabla 17. Protocolo de proceso-formato 013.....	47
Tabla 18. Protocolo de proceso-formato 014.....	48
Tabla 19. Protocolo de proceso-formato 015.....	49
Tabla 20. Protocolo de proceso-formato 016.....	50
Tabla 21. Protocolo de proceso-formato 017	51
Tabla 22. Protocolo de proceso-formato 018.....	52
Tabla 23. Protocolo de proceso-formato 019.....	53
Tabla 24. Protocolo de proceso-formato 020.....	54
Tabla 25. Protocolo de proceso-formato 021	55
Tabla 26. Protocolo de proceso-formato 022	59

Lista de anexos

	Pág.
Anexo 1. Carta dirigida a Coordinación de Gestión Ambiental	73
Anexo 2. Clasificación de residuos con base al Decreto 1076 de 2015	74
Anexo 3. RESPEL PIRS UNAL.....	78
Anexo 4. Cálculos estequiométricos (Libro Excel adjunto).....	83
Anexo 5. Clasificación de los residuos químicos de la FIA	83
Anexo 6. Manual para la gestión de residuos químicos (Documento adjunto).....	86

Resumen

Actualmente, la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, en el desarrollo de sus actividades experimentales precisa de diversos reactivos químicos que se constituyen como fuente permanente de generación de residuos peligrosos en los laboratorios. De igual manera, la ausencia a nivel institucional de un sistema de documentación con criterios unificados, conlleva a la elaboración de una propuesta de manejo, mediante el diagnóstico de las guías de laboratorio, análisis estequiométrico, cuantificación y clasificación de los residuos químicos líquidos. Posteriormente, identificando tratamientos internos, mecanismos de aprovechamiento y disposición final de los mismos. Por último, consolidando el manual para el manejo adecuado de los residuos.

Palabras claves: Residuos químicos, laboratorios, manual.

Abstract

Currently, the Santo Tomás Environmental Engineering Faculty, in the development of its experimental activities, requires several chemical reagents that constitute a permanent source of hazardous waste generation in laboratories. Similarly, the absence at the institutional level of a documentation system with unified criteria, leads to the development of a management proposal, through the diagnosis of laboratory guides, stoichiometric analysis, liquid chemical waste quantification and classification. Subsequently, identifying internal treatments, mechanisms of use and final disposal of them. Finally, consolidating the manual for proper waste management.

Keywords: Chemical waste, laboratories, manual.

1. Introducción

El desarrollo de las diferentes actividades y asentamientos humanos generan en la actualidad una serie de residuos de variada naturaleza y en diferentes estados de la materia; algunos de estos residuos, debido a su composición química, física y/o biológica, provocan efectos adversos de diversa magnitud al hombre y al medio ambiente; tal es el caso de los residuos o desechos peligrosos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2016). Organizaciones como el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), han definido a los residuos peligrosos como aquellos que como consecuencia de su actividad química o característica tóxica, explosiva, corrosiva u otras, suponen o pueden suponer un peligro para la salud humana o el medio ambiente (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Dentro de las actividades generadoras de residuos químicos, se encuentran las llevadas a cabo en laboratorios de universidades e instituciones educativas, las cuales generan cantidades considerables de residuos químicos y desechos altamente peligrosos (Mooney, 2014). Internacionalmente, países como Estados Unidos (Anastas P. &, 2001) & (National Research Council, 2011), Argentina (Osicka, 2004), España (2007), México (Álvarez Chávez, 2013), Nicaragua (Martínez, 2013), entre otros, han participado activamente para mantener un ambiente práctico seguro en cuanto a la generación de residuos producto del desarrollo de las actividades experimentales. Un claro ejemplo es, la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA por sus siglas en inglés), se dió a la tarea de desarrollar proyectos que partiendo del origen de la contaminación ocasionada por las diversas conversiones químicas de las sustancias, incluyera alternativas capaces de reducir, reutilizar y reciclar los residuos peligrosos en función de las actividades realizadas en cada laboratorio universitario (Anastas P. , 2012).

De igual forma, en Colombia los laboratorios son una fuente permanente de generación de residuos que presentan una serie de características fisicoquímicas particulares, debido a la variedad de sustancias químicas para llevar a cabo experimentos (Salazar, 2020). Por tanto, en el marco de la legislación colombiana vigente, especialmente el Decreto 1076 de 2015 “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”, se definió como residuo peligroso (o por su abreviación RESPEL) aquel residuo o desecho que por sus

características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radioactivas, puede causar riesgo para la salud humana y el ambiente; así mismo, señala que cada generador en origen de los residuos tiene la responsabilidad de gestionarlos hasta la disposición final y de realizar las acciones necesarias para no ocasionar daño en su entorno (Presidencia de la República, 2005).

En Colombia, la gestión de los residuos peligrosos es llevada a cabo por varias entidades y actores en diferentes niveles jerárquicos, iniciando desde el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MINAMBIENTE) emitiendo las políticas y normativas. En materia de protocolos e investigación, se encuentra el IDEAM (Instituto Meteorológico y de Estudios Ambientales) administrando el sistema de información nacional sobre generadores de residuos peligrosos y el Inventario Nacional de PCB (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2016).

En el caso particular de las universidades colombianas, algunas instituciones como la Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad del Cauca entre otras, han intentado implementar y desarrollar metodologías para la separación de residuos y posterior envío a otras empresas para su respectivo tratamiento (Riascos, 2015)

Actualmente, la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, en el desarrollo de sus actividades experimentales precisa de diversos reactivos químicos que se constituyen como fuente permanente de generación de residuos peligrosos en los laboratorios. Por consiguiente, la ausencia a nivel institucional de un sistema de documentación con criterios unificados, que estandaricen de manera efectiva los procedimientos sobre la gestión de residuos para el conocimiento de toda la comunidad universitaria, conlleva a la elaboración de una propuesta que aborde el manejo adecuado e integral de los residuos provenientes de las prácticas en los laboratorios mediante la consolidación de un manual.

El presente proyecto de investigación aporta a la Fase II (ítem 3) y Fase III del macroproyecto “Estudio para la Gestión de Residuos Generados en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio ” (2019), mediante el diagnóstico de las guías de laboratorio, análisis estequiométrico, cuantificación y clasificación de los residuos químicos líquidos. Posteriormente, identificando tratamientos internos, mecanismos

de aprovechamiento y disposición final de los mismos. Por último, consolidando el manual para el manejo adecuado de los residuos.

2. Justificación

En la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio, la estructura curricular del programa académico de Ingeniería Ambiental incluye la integración de los estudiantes a trabajos prácticos relacionado a los espacios académicos, investigaciones o trabajos de carácter científico, lo cual vincula el uso de laboratorios (Universidad Santo Tomás , 2021). Para el desarrollo de estas actividades, son necesarios diversos reactivos químicos que se constituyen como fuente permanente de generación de residuos, cuyas características fisicoquímicas en pequeñas cantidades, variadas composiciones, mezcladas en diferentes concentraciones de naturaleza peligrosa, pueden desencadenar riesgos potenciales sobre la salud y el medio ambiente (Presidencia de la República, 2015).

Actualmente, las guías de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental carecen de un apartado de consulta para un manejo adecuado de los residuos provenientes de su desarrollo práctico, conforme a la normatividad legal vigente. Por tanto, surge la precisión de elaborar una propuesta de manual para la gestión específica de cada tipo de residuo, modificando las actividades existentes, por protocolos para estandarizar actividades que conformarán la prevención, minimización, separación en la fuente, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos peligrosos generados.

Sumado a esto, la falta tanto de comunicación como de sensibilización por parte de la Facultad de Ingeniería Ambiental, desde las diferentes asignaturas que emplean el uso de laboratorios y que contribuyen al acopio de residuos de la Universidad Santo Tomás como generador, conlleva a que los procedimientos y protocolos de manejo sean inapropiados. No existe un adecuado sentido de apropiación frente al uso y manipulación de materiales en las prácticas de laboratorio, al no haber un proceso o protocolo de alternativas de los residuos generados para su reaprovechamiento, como lo es por ejemplo, la sustitución de reactivos (Herrera., 2020).

De igual forma, es necesario que se encuentre familiarizada y capacitada con los procedimientos que contiene el manual, para llevar a cabo de manera individual y colectiva la identificación, clasificación, tratamiento, almacenamiento en la fuente, con el objetivo común de optimizar el manejo de las sustancias, disminuyendo el volumen de residuos y evitando la

acumulación peligrosa de los mismos, por tanto, traducido en un menor riesgo a la salud. Del mismo modo, promover una cultura de sostenibilidad ambiental en la comunidad universitaria con estrategias educativas permanentes, mejorando las condiciones de trabajo en el laboratorio, aplicando criterios de calidad y cumpliendo con la normatividad ambiental.

Dentro de las Políticas Ambiental y de Calidad como institución de educación con acreditación, es fundamental prevenir la contaminación resultado de sus actividades, mejorar la gestión de los residuos, tener buenas prácticas y condiciones de seguridad (Universidad Santo Tomás , 2021). No obstante, se han generado diferentes investigaciones relacionadas al recurso hídrico, recurso suelo, recurso aire, biodiversidad y desarrollo sostenible, sin embargo, hasta el momento ninguna resalta la gestión de residuos químicos originados del desarrollo de sus actividades internas, por lo que se desconoce el impacto que puede derivarse producto de la ejecución de estas prácticas experimentales (Herrera., 2020).

Por consiguiente, la ausencia a nivel institucional de documentación con criterios unificados que estandarice de manera efectiva las actividades experimentales propias de la Facultad de Ingeniería Ambiental, resulta necesaria la información del SG-SST (Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo) de la Universidad en cuanto en cuanto uso de Equipos de Protección Personal los (EPP), como la disposición de todos los residuos químicos de una manera segura, eficiente y de costo adecuado en cumplimiento con los requisitos legales vigentes, constituyente como un importante material de apoyo para los espacios académicos.

Así mismo, considerando la responsabilidad que tiene cada usuario en las prácticas experimentales, es necesario que se encuentre familiarizado y capacitado con los procedimientos que contiene el manual, para llevar a cabo de manera individual y colectiva la identificación, clasificación, tratamiento, almacenamiento en la fuente, con el objetivo común de optimizar el manejo adecuado de las sustancias y la peligrosidad de las mismas.

3. Objetivos de la investigación

3.1. Objetivo general

Estudiar la viabilidad de mejora en las guías de procedimientos experimentales de laboratorios, desarrollados por la Facultad de Ingeniería Ambiental de los principios de trabajo en microescala y química verde.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de los procedimientos experimentales desarrollados en diferentes espacios académicos de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás Sede de Villavicencio.
- Proponer medidas de manejo eficientes en las guías de procedimientos experimentales de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental, basados en el trabajo de microescala.
- Divulgar los resultados obtenidos a la Facultad de Ingeniería Ambiental, con el fin de sensibilizar y garantizar el correcto manejo de las sustancias y residuos generados.

4. Objetivos de la auxiliatura

4.1.Objetivo General

Elaborar una propuesta de un manual para el manejo adecuado de residuos químicos provenientes en las prácticas de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental Campus Aguas Claras, Universidad Santo Tomás Sede de Villavicencio.

4.2.Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de la gestión de los residuos peligrosos generados por el desarrollo práctico de las guías de laboratorio.
- Identificar estrategias de prevención, minimización, manejo externo e interno de los residuos químicos generados.
- Promover un mecanismo de concientización ambiental en el desarrollo de prácticas académicas.

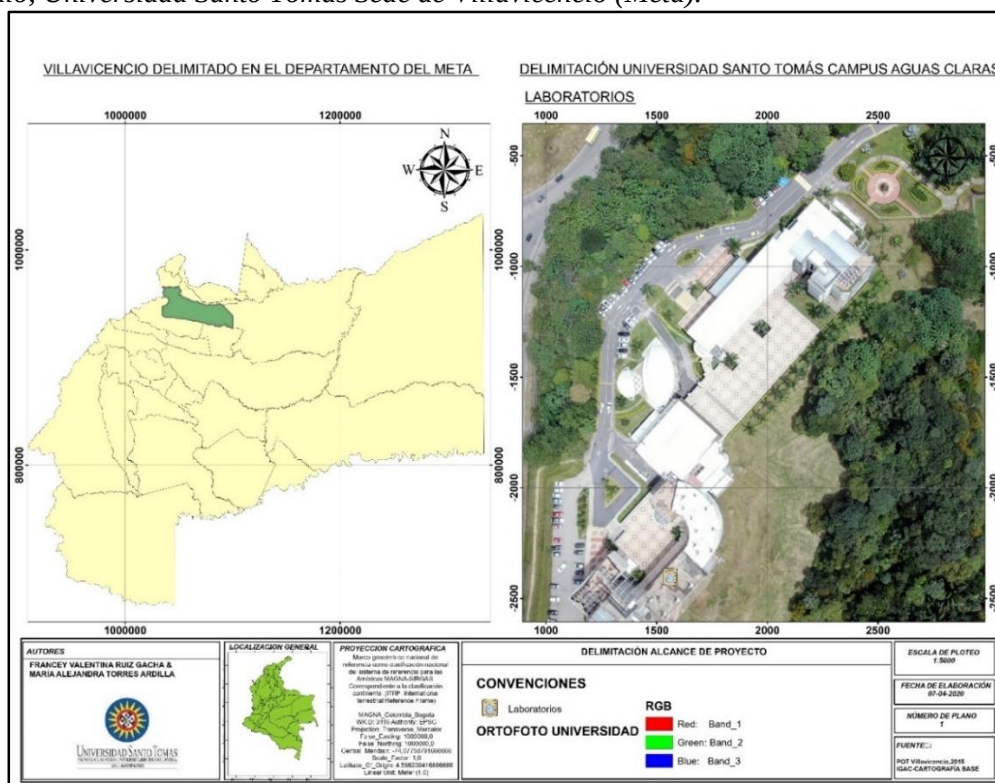
5. Descripción metodológica

6.1. Área de estudio

La ejecución de las actividades se realizó en el área de laboratorios de química, física mecánica, biología, suelos, hidráulica, calidad de agua y calidad de aire de los cuales hace mayor uso la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás Sede de Villavicencio, específicamente en el edificio Sol de Aquino, sótano del Campus Aguas Claras; la Universidad está ubicada al Este de la ciudad de Villavicencio, en del departamento del Meta, en las coordenadas: 4°8'31.2" latitud norte, 73° 37' 59" longitud oeste, en el piedemonte de la cordillera oriental (ver Figura 1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Figura 1

Zona de Estudio, Universidad Santo Tomás Sede de Villavicencio (Meta).



Nota. Por Torres & Ruíz, 2021.

6.2. Tipo de metodología

La metodología empleada en éste estudio es de tipo cuantitativa-cualitativa al abordar tanto los análisis estadísticos de la química desde la perspectiva numérica como las diferentes

agrupaciones y comportamientos resultantes de sus propiedades fisicoquímicas específicas. Ésta metodología mixta se divide en tres etapas de acuerdo a los objetivos de investigación, las cuales corresponden a: (i) recolección y análisis de las guías de laboratorio, (ii) identificación de estrategias de aprovechamiento o mejora y (iii) mecanismos de concientización.

Inicialmente, se llevó a cabo la recopilación de las guías de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental, seguido, en una base de datos autónoma a través del balance de masas en unidades de peso (gramos), se registraron las concentraciones de entrada de las sustancias (reactivos) y salidas (residuos químicos líquidos) de cada procedimiento. Consecutivamente, en orden ascendente se clasificó cada tipo de residuo con base en la mayor producción expresada en volumen (mililitro), generado en cada espacio académico.

Posteriormente, se realizó una revisión bibliográfica de las fichas técnicas de seguridad, las cuales permitieron conocer las características de peligrosidad de los residuos, de igual manera, una búsqueda profunda en base de datos permitió definir procedimientos adecuados de tratamiento y mecanismos de aprovechamiento. Finalmente, con la información recolectada se construyó y diseñó el manual.

6.3. Etapa 1: Análisis de las guías de laboratorio

6.3.1. *Gestión actual de los residuos*

Como primera medida, se diligenció una carta dirigida a Coordinación del Sistema de Gestión Ambiental de la universidad (ver Anexo 1), en la cual se solicitó información relacionada, tanto a la generación como a la gestión actual de los residuos químicos provenientes de las prácticas en laboratorios, ya que uno de los primeros aspectos a desarrollar para afrontar el problema de la gestión de residuos es conocer la situación real de los mismos. De éste modo, obtenida la información se realizó un análisis inicial del manejo, almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final de los residuos.

6.3.2. *Solicitud de información de guías prácticas*

Consecutivamente, considerando la información obtenida de la primera fase del macroproyecto, dirigida al análisis de peligrosidad de los reactivos resultantes de las prácticas de laboratorio (Herrera, 2020); se solicitó en el mes de agosto del año 2020 vía correo electrónico a

Coordinación de Gestión Ambiental, el listado actual de guías de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental según el espacio académico en el que se desarrollan respectivamente. De tal manera que, con la información suministrada se realizó una matriz en un libro Excel en la cual se recopiló la totalidad de guías que se llevan a cabo en el programa académico.

6.3.3. Cálculos estequiométricos

Una vez obtenidas las guías prácticas de laboratorio, se procede a determinar la cantidad estimada de residuos químicos líquidos en volumen (ml), generados en cada práctica de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental, se realizaron cálculos estequiométricos mediante el método de tanteo en un libro de cálculo Excel, en el cual se determinaron las proporciones entre reactivos, productos y subproductos en los casos en que la naturaleza de la práctica pueda generarlos en una reacción química (ver Ecuación 1). Para las sustancias que requirieron el procedimiento de goteo, se empleó el valor de 0,05 gramos para estandarizar la unidad de medida de masa.

$$\text{Entrada } |\text{Reactivo}_1 + \text{Reactivo}_2| = |\text{Producto}_1 + \text{Subproducto}_x| \text{ salida}$$

Ecuación 1. Estequiometría

6.3.4. Cuantificación y clasificación de residuos químicos

Recopilada la información de los cálculos estequiométricos de cada guía de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental, se realizaron las sumatorias correspondientes a la generación de residuos químicos por práctica, obteniendo así una estimación de producción por grupo químico.

Los residuos químicos se clasificaron en 20 tipos, tomando como referencia la metodología empleada en la Universidad Nacional de Colombia (ver Tabla 1.), la cual adoptó en sus laboratorios el Sistema Globalmente Armonizado (SGA) para las sustancias químicas y RESPEL (ver Anexo 3.) (Suárez Medina, 2018). Por tanto, se consideraron aquellos productos y subproductos que se generaron en mayor cantidad (ml), priorizando los residuos en función de la producción.

Tabla 1.*Asignación de Tipos de Residuos Peligrosos- RESPEL*

Tipo de residuo	Color representativo	Descripción
1-5		Residuos de recipientes.
6-10		Residuos sólidos variados.
11-13		Residuos de hidrocarburos alifáticos.
14-16		Residuos de hidrocarburos aromáticos.
17-19		Residuos de hidrocarburos cíclicos.
20-27		Residuos orgánicos con diferentes grupos funcionales.
28-35		Residuos orgánicos aromáticos con diferentes grupos funcionales.
36-39		Residuos de ácidos inorgánicos.
40-43		Residuos alcalinos.
44-49		Residuos de sales y soluciones acuosas de metal pesado.
50-53		Lodos.
54		Contenidos de recipientes a presión

Fuente. Tomado de la Universidad Nacional de Colombia, Programa de investigación sobre residuos.

6.4. Etapa 2. Identificación de estrategias

6.4.1. Protocolo de procesos para control de residuos

Una vez clasificados los residuos químicos generados en cada espacio académico y tomando como base en sus propiedades fisicoquímicas, se propusieron tratamientos para cada tipo de residuo que por su volumen y/o facilidad pueden llevarse a cabo dentro de los laboratorios. Consecutivamente, se realizaron también procesos de reducción de peligrosidad de residuos, de modo que, éstos puedan ser dispuestos de mejor forma. Finalmente, se determinó el potencial de aprovechamiento de los tipos de residuos.

6.4.2. Formulación de medidas de Elementos de Protección Personal (EPP)

Debido a que las actividades suponen riesgos para la integridad física de docentes, estudiantes y auxiliares, los Elementos de Protección Personal (EPP), deben ser adecuados para la naturaleza y característica de la actividad experimental para evitar accidentes en la zona de trabajo.

Considerando los tipos de residuos químicos obtenidos, la peligrosidad identificada para cada uno de los mismos y con base en la metodología del Sistema de Identificación de Materiales Peligrosos (Hazardous Material Identification System, por sus siglas en inglés HMIS), siguiendo las medidas de la Coordinación de Seguridad y Salud en el Trabajo y a manera de propuesta se plantearon los Elementos de Protección Personal (EPP) a emplear según el residuo manipulado, con el fin de garantizar la seguridad del personal que ingresa y realiza las prácticas en los laboratorios.

6.4.3. Consolidación y diseño del manual

De acuerdo con la revisión bibliográfica (Díaz, 2000), (Gauza, 2018) y conforme a los resultados obtenidos en la investigación, se establecieron las pautas e ítems del “Manual para la Gestión de Residuos Químicos de la Facultad de Ingeniería Ambiental”, diseñado en forma de cartilla que permitiría servir como instrumento de divulgación para la comunidad universitaria. Posteriormente, el manual fue enviado vía correo electrónico a Coordinación de Laboratorios para continuar el conducto regular para su aprobación.

6.5. Etapa 3. Mecanismo de Concientización

La implementación de una gestión segura de los residuos químicos en las prácticas de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental, hace que se deban analizar los procedimientos de trabajo existentes. Por tanto, corresponde a los usuarios de laboratorios (docentes, estudiantes y/o administrativos), que en el carácter pedagógico formativo al ingreso para la ejecución de las actividades experimentales sean capacitados en temas relacionados con los procedimientos del presente manual que detalla información actualizada sobre la peligrosidad de las sustancias con las que se trabaja, de igual manera, los mecanismos de aprovechamiento de los residuos.

6.5.1. Divulgación de resultados

Debido a la pandemia (Covid-19), de manera virtual a través de la plataforma Moodle se seleccionó un día en el que la Facultad de Ingeniería Ambiental, en participación con los directivos, docentes y estudiantes, llevaron a cabo el conversatorio de Química Verde aplicada en la gestión de residuos sólidos y problemáticas ambientales. Una vez allí, los participantes diligenciaron en la plataforma “Google formularios” la asistencia y evaluación en el evento.

7. Resultados

7.1. Etapa 1. Análisis de las guías de laboratorio

7.1.1. *Gestión actual de los residuos*

El Sistema de Gestión Ambiental (SGA) de la Universidad Santo Tomás Sede de Villavicencio en respuesta a la petición de información, afirma que existe un programa de gestión de residuos sólidos que abarca tanto peligrosos como no peligrosos, con alcance a las distintas áreas de la institución (bloques administrativos, biblioteca, salones de clase, entre otros), en el cual los residuos reciclables, no aprovechables y peligrosos, son recolectados internamente de manera diaria para ser llevados a la unidad de almacenamiento temporal.

De igual forma, los residuos peligrosos son gestionados por la empresa privada DESCONT, encargada de la recolección externa de transporte, aprovechamiento y disposición final. Mientras que, la recolección interna es llevada a cabo cada 15 días (programación antes de la pandemia, sin embargo, debido a la alternancia se realizaron cambios, por lo que la frecuencia es variable) por el vehículo de la empresa gestora, encargado de realizar recorrido por cada uno de los laboratorios, priorizando los recipientes de sustancias líquidas por su mayor cantidad y peligrosidad. Cabe recalcar que la etiqueta generada para la universidad fue aprobada por la Aseguradora de Riesgos Laborales (ARL), en cumplimiento con los requisitos del Sistema Globalmente Armonizado.

Adicionalmente, en Coordinación de Laboratorios la etapa de almacenamiento temporal para la segregación de residuos se encuentran estipuladas canecas con la siguiente coloración: (i) rojo, para aquellos en los que se deposita objetos de material y protección contaminado, (ii) gris, para materiales reciclables y (iii) verde, para residuos ordinarios. Para las sustancias químicas resultantes de mezclas, soluciones o pruebas, se utilizan contenedores, garrafas plásticas o de vidrio ámbar para sustancias ácidas.

Con respecto al almacenamiento central de los residuos químicos generados en los laboratorios, se hizo la adquisición de armarios de seguridad para controlar aspectos de corrosión

por humedad y otras sustancias ácidas que se presentan en la zona. También, se hace uso de un refrigerador horizontal neveras equipadas para contener los residuos biológicos.

Por otra parte, en la Tabla 2 con base en el Decreto 1076 de 2015 “Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible” (2015), la Coordinación de Gestión Ambiental realizó la siguiente clasificación acorde a las corrientes de los residuos definidos en el mencionado Decreto:

Tabla 2

Listado de clasificación de RESPEL por procesos o actividades.

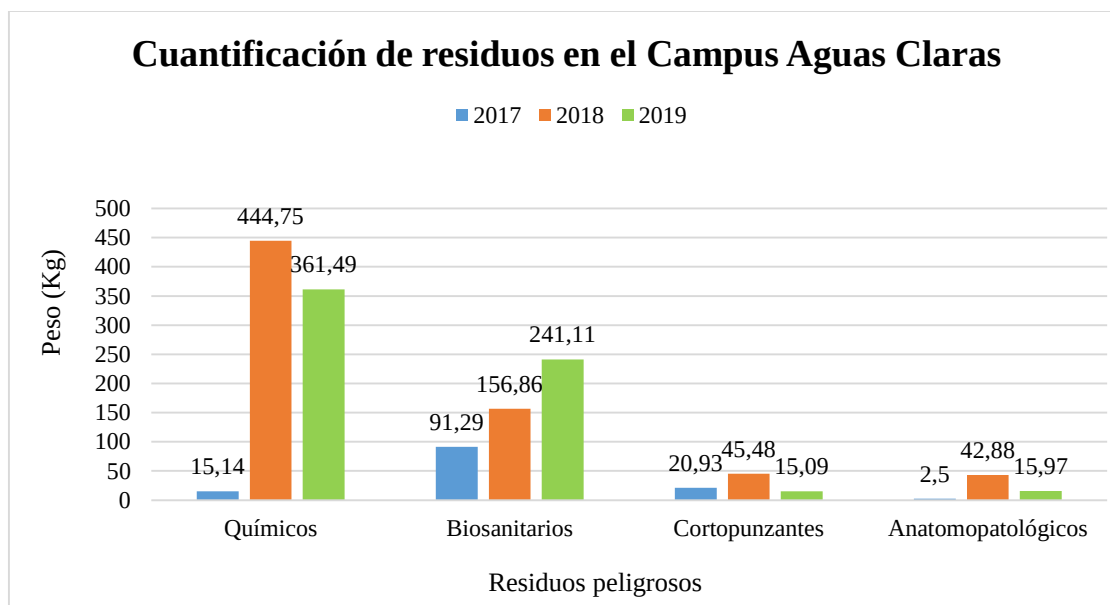
Corriente de residuos	Nombre del residuo	Descripción
Y ₁ , Y _{1.1} , Y _{1.2} , Y _{1.3}	Biosanitario, cortopunzante, anatomopatológicos, reactivos, guardián, apósitos, cajas de Petri, residuos de guantes y tapabocas, mallas, agares y vidriería.	Desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en enfermería.
Y ₁₄	Residuos químicos (soluciones), líquido colorante, químico colorante, amalgamas reactivos, reactivos vencidos.	Sustancias químicas de residuos nuevos o resultantes de la investigación y el desarrollo de las actividades de enseñanza, cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan.
A3110	Medios de cultivo	Desechos que contengan principalmente constituyentes orgánicos que pueden contener metales y materia orgánica.

Nota. Tomado del Anexo I³ “Lista de residuos o desechos peligrosos por procesos o actividades” y II “Lista A³ residuos o desechos peligrosos por corrientes de residuos”, 2015.

Durante el periodo académico 2018, la Universidad generó un promedio anual de 689,97 kg de residuos peligrosos siendo éste año el de mayor generación y a su vez el más representativo, seguido del año 2019 con 633,66 kg y 129,86 kg para el año 2017 (ver Anexo 2).

Figura 2

Comparación anual de residuos en peso (Kg) en los periodos 2017-2018-2019.



Fuente. Por Torres & Ruíz, 2021.

Según la Figura 2, para el año 2018 los residuos químicos representaron el 64% de la cantidad generada, seguido del 27% de los residuos biosanitarios para el periodo académico 2019. Finalmente, para el año 2018 se obtuvo un contraste drástico entre el 14% de residuos cortopunzantes y 2% de los residuos anatomopatológicos. En orden ascendente, los residuos químicos son de particular interés debido a la mayor cantidad generada en los periodos académicos 2018 y 2019, seguido de los biosanitarios, cortopunzantes y finalmente, anatomopatológicos.

7.1.2. Solicitud de información de guías prácticas

Considerando la información suministrada por Herrera (2020), se determinó que en 16 espacios académicos de la Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA) se realizan procedimientos experimentales, dentro de los cuales solamente en 12 de ellos se hace uso de reactivos químicos para un total de 42 guías de laboratorio (ver Tabla 3).

Tabla 3

Fuentes generadoras de residuos químicos.

Cantidad	Espacio académico	Descripción de guías de laboratorio
1	Introducción	Nº 1. Test de jarras.
2	Biología	Nº 1. Microscopía.

Tabla 3. Continuación

Cantidad	Espacio académico	Descripción de guías de laboratorio
2	Biología	Nº 2. Características de los seres vivos. Nº 3. Células vegetales. Nº 4. Células animales. Nº 5. Mitosis y meiosis. Nº 7. Protozoos, hongos y levaduras. Nº 8. Tejidos humanos. Nº 9. Genética.
3	Química inorgánica	Nº 1. Determinación de las propiedades físicas. Nº 3. Propiedades físicas y químicas de la materia. Nº 4. Métodos de separación de mezcla S1: Filtración, centrifugación, extracción, decantación y evaporación. Nº 5. Métodos de separación de mezcla S2: Cromatografía y destilación. Nº 6. Enlaces químicos. Nº 7. Funciones inorgánicas. Nº 8. Preparación de soluciones. Nº 9. Reacciones químicas y estequiometría.
4	Mecánica de fluidos	Nº 1. Propiedades de los fluidos.
5	Química orgánica	Nº 1. Diferencias entre compuestos orgánicos e inorgánicos. Nº 2. Reconocimiento de alcoholes y fenoles. Nº 4. Reacciones de aldehídos y cetonas. Nº 5. Identificación de ácidos carboxílicos y reacciones de esterificación.
6	Microbiología	Nº 3. Descripción macroscópica y microscópica. Nº 5. Curva de crecimiento.
7	Técnicas de campo	Nº 1. Características fisicoquímicas y biológicas de la calidad del agua.

Tabla 3. Continuación

Cantidad	Espacio académico	Descripción de guías de laboratorio
8	Tratamiento de Agua Potable (T.A.P)	Nº 1. Determinación de características físicas de agua. Nº 6. Test de jarras. Nº 7. Test de jarras + alcalinidad.
9	Energías alternativas	Nº 1. Caracterización de sustratos orgánicos.
10	Tratamiento de Agua Residual (T.A.R.)	Nº 1. Neutralización de las aguas residuales y densidad. Nº 5. Análisis DBO, DQO y DBO soluble en aguas residuales. Nº 6. Capacidad de autodepuración. Nº 7. Compuestos nitrogenados: Nitratos. Nº 8. Monitoreo del agua residual del municipio de Restrepo. Nº 9. Tanque de igualamiento Nº 10. Determinación de nutrientes nitrógeno y compuestos nitrogenados (Nitratos). Nº 11. Determinación de nutrientes de fósforo.
11	Electroquímica	Nº 1. Reacciones espontáneas, celdas galvánicas e hidrólisis. Nº 2. Medición de metales pesados (As, Pb, Hg y Cd) en agua subterránea con analizador de metales HM1000. Nº 3. Medición de pH. Nº 4. Construcción de electrocoagulador.
12	Termodinámica	Nº 1. Motor Stirling como máquina térmica.

Nota. En la Facultad de Ingeniería Ambiental se desarrollan experiencias prácticas semanales que pueden repetirse entre 3 y 16 veces, la cual depende tanto del espacio académico como la cantidad de estudiantes. Por Torres & Ruíz, 2021.

Con base en la Tabla 3, la gran demanda de guías experimentales se encuentra en los siguientes espacios académicos: biología, química inorgánica y tratamiento de agua residual.

7.1.3. Cálculos estequiométricos

Para llevar a cabo el método de tanteo de las guías de laboratorio, se asignó un espacio académico por cada hoja de cálculo del libro Excel (Ver Anexo 4) en la cual se registró el balance de masas, determinando las proporciones de entrada (reactivos) y salida (productos). En las reacciones químicas se identificó el reactivo límite, como aquel que se agota cuando se mezcla en proporciones y el reactivo en exceso que no se consume totalmente; por lo tanto, los cálculos se realizaron con base en el reactivo limitante (Garritz, 2001).

Es importante mencionar que tanto las concentraciones de sustancias como los volúmenes de residuos, fueron estimados para una sola práctica y que el 100% de eficiencia de la cantidad obtenida mediante el cálculo correspondió al rendimiento teórico del proceso. Contrario a esto, en la práctica experimental el margen de error es del 10% aproximadamente, debido a imprecisiones en los valores que conllevan a repetir los procedimientos o por los equipos empleados, ya que puede presentarse pérdida de sustancias al realizar trasvase de las mismas.

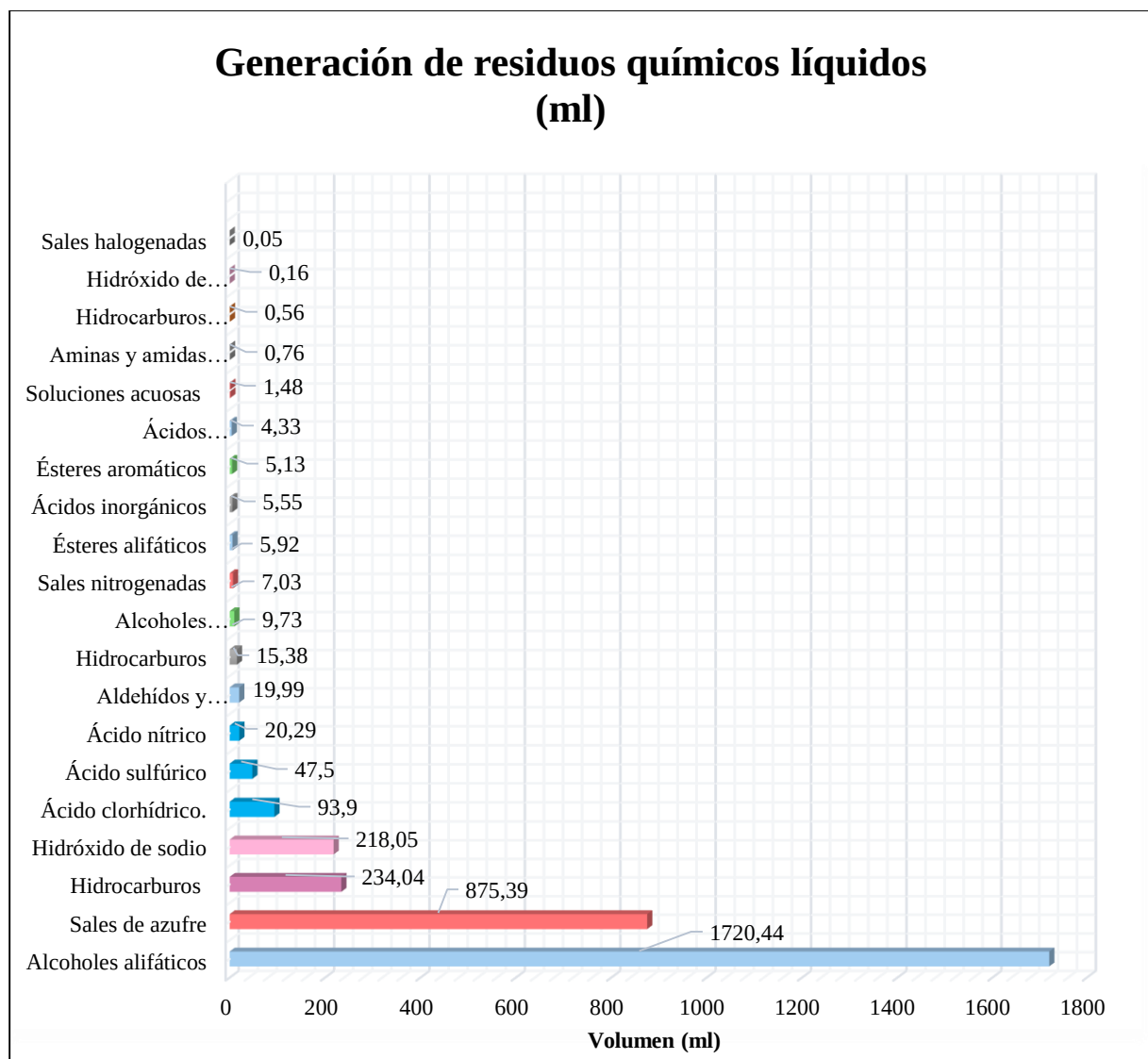
7.1.4. Cuantificación y clasificación de residuos

Realizados los cálculos estequiométricos de cada espacio académico, se tabuló en orden descendente la clasificación de 20 tipos de residuos cuyo volumen total obtenido fue de 3285,68 ml generados en las prácticas de laboratorios adelantadas por la Facultad de Ingeniería ambiental (ver Anexo 5). Cabe resaltar que, para la clasificación se tuvo en cuenta si un residuo era la mezcla de dos o más tipos, seleccionando aquel de mayor concentración.

Según la Figura 3, el 52% de los residuos de alcoholes alifáticos representan la mayor cantidad de generación en las prácticas experimentales. Seguido, se posicionan los residuos de sales de azufre con el 27% y con el 7% los hidrocarburos. Por el contrario, el porcentaje de las sales halogenadas es cercano a cero.

Figura 3

Clasificación de residuos generados en las prácticas de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental.



Nota. El tipo de residuos generados se identifica como: Alcoholes alifáticos (Tipo20), sales de azufre (Tipo46), hidrocarburos (Tipo11), hidróxido de sodio (Tipo40), ácido clorhídrico (Tipo37), ácido sulfúrico (Tipo36), ácido nítrico (Tipo38), aldehídos y cetonas (Tipo21), hidrocarburos (Tipo13), alcoholes aromáticos (Tipo28), sales nitrogenadas (Tipo45), esterres alifáticos (Tipo23), ácidos inorgánicos (Tipo39), ésteres aromáticos(Tipo31) (ácidos carboxílicos (Tipo22), soluciones acuosas (Tipo48), aminas y amidas (Tipo25), hidrocarburos (Tipo16), hidróxido de potasio (Tipo41) y sales halogenadas (Tipo44); el color asignado a cada uno de los tipos mencionados anteriormente, corresponde a la clasificación RESPEL PIRS UNAL (ver Anexo 3.). Por Torres & Ruíz, 2021.

7.2. Etapa 2. Identificación de estrategias

Los residuos químicos que se originan en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental en función de sus características fisicoquímicas, producción en cantidades variables y posibles

reacciones de incompatibilidad en caso de mezcla, son aspectos que inciden directamente en métodos de tratamiento que involucren la eliminación específica en la fuente, de modo que su disposición final al medio ambiente sea más favorable (Gómez C. , 2003).

Por consiguiente, los tratamientos con base a investigaciones “Propuesta de un modelo de gestión y manejo de residuos generado por un laboratorio químico” (Gutiérrez, 2014), “Propuesta para el manejo de residuos químicos en los laboratorios de química” (Riascos, 2015), “Manual de manejo de residuos peligrosos en los laboratorios de química básica” (Chávez Vargas, 2018), son propuestas teóricas que no se han corroborado en los laboratorios donde se adelantan prácticas de la Facultad pero la información base sirve para identificar que el residuo se puede tratar de una manera específica.

7.2.1. *Protocolo de procesos*

Los métodos químicos constituyen los procesos de transformación del residuo mediante la adición de sustancias químicas que alteran la naturaleza de los mismos, eliminando los componentes tóxicos y disminuyendo la concentración de constituyentes peligrosos, (Gómez C. , 2003). A continuación, se establece el formato para cada protocolo de procesos (ver Tabla 4.).

Tabla 4.

Plantilla general de protocolo de procesos.

SGA RESPEL Formato 000 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA 1956 - 1957 VELAZCO VARGAS - 2003 1701
Residuo: Nombre del tipo de residuo		
Familia química: Según corresponda.	Procedimiento No: <u>000</u>	
Protocolo de manejo de residuos químicos según el tipo de residuo		
¿Qué son?		
Medidas previas		
Tratamiento de residuos		
Mecanismo de aprovechamiento		

Nota. El presente formato se aplicará de manera general para los distintos tipos de residuos químicos generados en las guías experimentales. Por Torres & Ruíz, 2021.

Debido a que no todos los residuos peligrosos presentan el mismo tratamiento, se agrupan los tipos de residuos en función de sus propiedades fisicoquímicas y posibles reacciones de incompatibilidad en caso de mezcla.

Tabla 5.

Protocolo de proceso - formato 001.

SGA RESPEL Formato 001 Manejo interno de residuos químicos		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA 1826 - 1827 VEREDA MONTICORDA - DANE 1784
Residuos: Tipo 20		
Familia química: Disolventes no halogenados	Procedimiento No: 01	
Protocolo de manejo de residuos químicos de alcoholes alifáticos ¿Qué son? Compuestos que poseen el grupo –OH unido a un átomo de carbono (Durst, 2007), cuyo radical R es una cadena alifática (alcanos, alquenos, alquinos o cicloalcanos) (Químicas, 2015). Los alcoholes alifáticos se clasifican en (i) primarios, aquellos en que el átomo de carbono unido al grupo hidroxilo sólo se halla enlazado a otro átomo de carbono (son ejemplos el metanol y etanol); (ii) secundarios, el hidroxilo tiene ligados otros dos carbonos o (iii) terciarios, el carbono totalmente sustituido se halla unido al átomo de oxígeno (Aldabe, 2004). Se agrupa, por ejemplo: alcohol etílico (C₂H₅OH), metanol (CH₃OH), glicerina (C₃H₈O₃), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”). Medidas previas Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo. Tratamiento: Neutralización 1. En un recipiente añadir 23,5 g de sulfato de hierro (FeSO₄). 2. Añadir 7 g de agua (H₂O) y disolver en la mezcla. 3. Ajustar pH entre 5-6 con ácido sulfúrico (H₂SO₄). 4. Agitar durante 2 horas mientras la temperatura baja gradualmente hasta llegar al ambiente. 5. Dejar toda la noche. 6. Verter al desagüe con un gran exceso de agua. Mecanismo de aprovechamiento Estos residuos se esterifican con ácido bórico, en su proceso de mezcla la reacción tiene que mantener una temperatura entre 100 ° y 200 ° C para esterificar el alcohol libre durante un período de tiempo entre 10 y 100 minutos, seguidamente se realiza la técnica de destilación para eliminar las porciones volátiles, y el éster de borato obtenido se hidroliza para recuperar el alcohol, por lo tanto, el producto final son aductos de óxido de alquileo, que son usados para esterilización manual en equipos de pequeña y mediana capacidad (Koshida & Okuda, 1976).		

Tabla 6.

Protocolo de proceso - formato 002.

SGA RESPEL: Formato 002 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		 ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL DE ALTA CALIDAD DEL CONSEJO UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA SEDE VILLAVIEJA VIGILADA MINEDUCACIÓN - SINER 1704
Residuo: Tipo 46		
Familia química: Sales y soluciones acuosas.	Procedimiento No: 02	

Protocolo de manejo de residuos químicos de sales de azufre

¿Qué son?

Sustancias químicas creadas con compuestos de cobre en combinación con ácido sulfúrico, donde el azufre forma sales actuando con estados de oxidación (Químicas, 2015). Se agrupan por ejemplo: tampón de fosfato, sulfato de zinc (ZnSO₄), sulfato (SO₄²⁻), sulfato de cobre (CuSO₄), sulfato de diácido, sulfato de potasio (K₂SO₄), sulfato de sodio (Na₂SO₄), sulfato de manganeso (MnSO₄), sulfato de calcio (CaSO₄), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).

Medidas previas

Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.

Tratamiento: Neutralización

1. Añadir una disolución de cloruro de hierro (FeCl₃) con agitación.

2. Neutralizar con carbonato de sodio (Na₂CO₃) y agua (H₂O).

3. Verter al desagüe.

Mecanismo de aprovechamiento

Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se puede utilizar en la fabricación de formas básicas de caucho, mediante la tecnología de reutilización y valorización se someten los neumáticos en el proceso de vulcanizado, entrelazando cadenas de polímeros con moléculas de azufre a alta presión y temperatura, donde el caucho pasa de ser un material termoplástico a ser un elastómero (López, Delgado, & Manso, 2009).

Tabla 7.

Protocolo de proceso - formato 003.

SGA RESPEL: Formato 003 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		 ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL DE ALTA CALIDAD POR EL C.A.P.E.S. CONSEJO NACIONAL DE CALIDAD UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA 1988 VILLAVIEJA VIGILADA MINEDUCACIÓN - SINIS 1704
Residuo: Tipo 11		
Familia química: Sales y soluciones acuosas.	Procedimiento No: 03	

Protocolo de manejo de residuos químicos de hidrocarburos

¿Qué son?

Compuestos orgánicos cuya estructura molecular se forma de la unión entre átomos de carbono e hidrógeno, éstos dependiendo de la estructura química pueden ser de diferentes tipos: (i) hidrocarburos lineales, en el cual los carbonos se encuentran unidos formando una cadena lineal; (ii) hidrocarburos ramificados, en donde a la cadena lineal principal se le unen carbonos formando una estructura ramificada (Gutsche, 1979). Se agrupa, por ejemplo: amonio, cloruro de hidrógeno (**HCl**), cloruro de amonio (**NH₄Cl**), cloruro de sodio (**NaCl**), clorobutano (**C₄H₉Cl**), cloruro de magnesio (**MgCl₂**), cloruro de n-propilo (**C₃H₇Cl**), cloroetano (**C₂H₅Cl**), carbonato de potasio (**K₂CO₃**), carbonato de sodio (**NaHCO₃**), entre otros (ver Anexo 3.. “RESPEL PIRS UNAL”).

Medidas previas

Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.

Tratamiento: Neutralización

1. Añadir un exceso de carbonato de sodio (**Na₂CO₃**) y agua.
2. Dejar en reposo (24 h).
3. Neutralizar con ácido clorhídrico (**HCl 6M**).
4. Verter al desagüe.

Mecanismo de aprovechamiento

Los residuos se pueden tratar mediante biotecnología de tensioactivos, en donde estos compuestos se reducen en el proceso de tensión superficial de la interfaz de aceite/agua, por lo tanto, su recuperación es eficiente para la recuperación de hidrocarburos (Eche, 2003), con el fin de que se utilicen como combustibles o materia prima para refinerías (Response, 2021).

Tabla 8.

Protocolo de proceso - formato 004.

SGA RESPEL: Formato 004 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		 ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL DE ALTA CALIDAD DEL C.A.P.E.R.U. UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA SEDE VILLAVIEJA VICELAXA MINEDUCACIÓN - SINER 1704
Residuo: Tipo 40		
Familia química: Bases.	Procedimiento No: 04	

Protocolo de manejo de residuos químicos de hidróxido de sodio

¿Qué son?

Soluciones acuosas básicas, libre de metales pesados que se disuelven con facilidad en agua generando gran cantidad de calor y disociándose por completo en sus iones; sus soluciones son alcalinas debido a la presencia del ion OH (Parry, 1973). Se agrupa, por ejemplo: hidróxido de sodio (NaOH), hidroxitetradecanoilcarnitina, sodio (Na), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).

Medidas previas

Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.

Tratamiento: Neutralización

1. Diluir con agua, en relación 1:5.

2. Añadir lentamente una disolución al 50% de ácido clorhídrico (HCl).

3. Agitar la base a eliminar.

4. Neutralizar hasta pH 6-8.

5. La solución resultante se vierte por el desagüe con un exceso de agua.

Fuente: (2003)

Mecanismo de aprovechamiento

Estos residuos resultantes, se transportan a una planta de tratamiento, puesto que, su actividad a realizar es la recuperación y la regeneración del hidróxido de sodio en el mismo giro activo, para su misma utilidad y recirculación económica; su método o tecnología, es a través de contenedores en almacenamiento, de forma que, cada uno sigue su debido proceso de hasta que se obtiene nuevamente el producto final (Reyes, 2008).

Tabla 9.

Protocolo de proceso - formato 005.

SGA RESPEL: Formato 005 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA — 100 AÑOS — VERBAN MORTUORUM 1803 1704
Residuo: Tipo 37 “Ácido clorhídrico”.		
Familia química: Ácidos inorgánicos.	Procedimiento No: 05	

Protocolo de manejo de residuos químicos de ácido clorhídrico

¿Qué son?

Disoluciones acuosas cuyas moléculas se constituyen de un átomo de cloro y otro de hidrógeno (Uriarte, 2020), empleadas comúnmente en la preparación de muestras para el análisis de laboratorio (Fisher scientific, 2019), también como reactivo químico y neutralizante de sustancias alcalinas (S.A., 2012). Se agrupa, por ejemplo: ácido clorhídrico (**HCl**), ácido bencenosulfónico (**C₆H₅SO₃H**), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).

Medidas previas

Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.

Tratamiento: Neutralización

1. Recipiente amplio que contenga un exceso de disolución acuosa de NaOH del 10%.

2. Verter lentamente y con agitación el ácido a destruir (HCl).

3. Controlar que la mezcla resultante tenga un pH neutro (7).

4. Verter en pequeñas porciones sobre un exceso de agua.

5. Eliminar la disolución resultante en el área de lavado de equipos.

Mecanismo de aprovechamiento

Los residuos se pueden reciclar mediante la técnica de diálisis por difusión, las cuales consisten en proceso de separación de membranas; la difusión tiene un movimiento espontáneo del residuo desde un área de mayor concentración a una de menor, mientras que la diálisis separa las moléculas utilizando la diferencia en la velocidad de movimiento de las mismas, a través de una membrana semipermeable y uso es para la esterilización de equipos (Mech-Chem Associates, 2021).

Tabla 10.

Protocolo de proceso - formato 006.

SGA RESPEL: Formato 006 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		
Residuo: Tipo 36		
Familia química: Ácidos inorgánicos.	Procedimiento No: 06	

Protocolo de manejo de residuos químicos de ácido sulfúrico

¿Qué son?

Compuesto químico líquido aceitoso, incoloro y de olor particular dependiendo su concentración, de igual manera, puede formar soluciones con el agua en cualquier proporción (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2020), y tiene gran efecto deshidratante por lo que puede utilizarse para el secado de gases y líquidos. Para la clasificación de otros tipos de residuos (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).

Medidas previas

Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.

Tratamiento: Neutralización

1. En un recipiente verter 5 volúmenes de agua fría.
2. Adicionar lentamente una base inorgánica: bicarbonato de sodio (NaHCO_3), carbonato de sodio (Na_2CO_3), hidróxido de sodio (NaOH) o de potasio (KOH).
3. Mezcla resultante con pH básico.
4. Verter al desagüe.

Mecanismo de aprovechamiento

Este residuo puede ser recuperado mediante el proceso de decapado y destilado (mecanismo que se puede usar en el laboratorio), a través de la preparación de superficies metálicas galvánicas donde los residuos de ácido sulfúrico se utilizan como catalizador o desecante; otra alternativa es el proceso SATCO, el cual descompone el ácido y se obtiene dióxido de azufre que luego se utiliza para producir más ácido sulfúrico (Industry, 2021).

Tabla 11.

Protocolo de proceso - formato 007.

SGA RESPEL: Formato 007 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		
Residuo: Tipo 38		
Familia química: Ácidos inorgánicos.	Procedimiento No: <u>07</u>	

Protocolo de manejo de residuos químicos de ácido nítrico

¿Qué son?

Sustancias químicas líquidas cuyo color varía de incoloro a amarillo pálido, con un característico olor irritante en concentraciones altas, el cual contiene propiedades químicas que se descomponen cuando se encuentra en forma diluida generando óxidos de nitrógeno (Roth, 2018). Se agrupa, por ejemplo: ácido nítrico (HNO_3), ácido nitroso (HNO_2), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).

Medidas previas

Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.

Tratamiento: Neutralización

1. En un recipiente amplio que contenga un exceso de disolución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH), se vierte lentamente y con agitación el ácido a destruir.
2. La mezcla resultante, ha de tener pH básico.
3. Verter al desagüe en pequeñas porciones sobre un gran exceso de agua.

Mecanismo de aprovechamiento

Estos residuos se pueden tratar mediante el proceso de sintetizado, el ácido nítrico (HNO_3) y el amoníaco (NH_3) es sintetizado en fuentes de distribución, esto realiza la reducción electrocatalítica de oxidación de los residuos de nitrato y nitrógeno en el aire; cabe aclarar que estas tecnologías o sistemas son efectivos para eficiencia energética (Wang, Yu1, Jia, & Zhang, 2019).

Tabla 12.

Protocolo de proceso - formato 008.

SGA RESPEL: Formato 008 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		 ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL DE ALTA CALIDAD MULTICAMPUS Registra el año 2015 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA SEDE VILLAVICENCIO VIGILADA MINEDUCACIÓN - SINIES 1704
Residuo: Tipo 21		
Familia química: Disolventes no halogenados.	Procedimiento No: 08	

Protocolo de manejo de residuos químicos de aldehídos y cetonas alifáticas

¿Qué son?

Compuestos orgánicos para ser usados como disolventes y materias primas, los cuales se caracterizan por presentar reacciones comunes que se deben a la estructura del grupo carbonilo (Tovar, 2019). Los aldehídos son compuestos que en su estructura se une a un átomo de hidrógeno y a un radical alquilo, contienen el grupo carbonilo en uno de los extremos de la cadena (Carrascal, 2014). Por el contrario, en las cetonas el grupo carbonilo es intermedio, está unido a dos radicales que pueden ser iguales, diferentes, o alquílicos; sin embargo, los aldehídos y las cetonas pueden atraerse entre sí mediante las interacciones polar-polar de sus grupos carbonilo y son funciones en segundo grado de oxidación (Ministerio de Educación, 2016). Se agrupa, por ejemplo: acetocarmín (C₂₂H₂₀O₁₃), acetona (C₃H₆O), metanodiol (CH₄O₂), formaldehído (CH₂O), dihidroxiacetona, entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).

Medidas previas

Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.

Tratamiento: Oxidación (aldehídos)

- Mezclar 100 ml de agua (H₂O) y 0.1 mol de aldehído en un matraz de fondo redondo de 1 L equipado con termómetro, embudo de goteo, agitador y baño de vapor. Si el punto de ebullición del aldehído es inferior a 100 ° C, usar un condensador.
- Una vez obtenida la solución, dentro de los 10 minutos, agregar aproximadamente 30 ml de 12,6 g (0,08 mol, 20% de exceso) de solución de permanganato de potasio (KMnO₄) a 250 ml de agua (H₂O).
- Si la temperatura supera los 45 ° C, la solución debe enfriarse.
- Si esta adición no va acompañada de un aumento de temperatura y pérdida del color del permanganato púrpura, la mezcla se calienta a través de un baño de vapor hasta alcanzar la temperatura a la que se descarga el color.
- El resto de la solución de permanganato (KMnO₄), se agrega lentamente dentro de los 10°C de esta temperatura.

Tabla 12. Continuación

6. A continuación, aumentar la temperatura de 70 ° C a 80 ° C y continuar revolviendo durante 1 hora o hasta que desaparezca el color púrpura.
7. La mezcla se enfría a temperatura ambiente y acidificar con sulfúrico 6 N, con agitación de 20 a 40 ° C.
8. Agregar suficiente bisulfito de sodio sólido (al menos 8,3 g, 0,08 mol) para reducir todo el manganeso, como lo indica la desaparición del color púrpura y la disolución del dióxido de manganeso sólido.
9. Verter la mezcla por el desagüe con abundante agua (H_2O).

Mecanismo de aprovechamiento

Los residuos se pueden utilizar como disolventes residuales para el tratamiento térmico y la recuperación de energía, por lo que la contaminación relativamente es baja, debido a que su calor térmico libre de halógenos se puede utilizar como insumos rentables (Sören, 2021), de igual manera, con la técnica de destilación se pueden sobreponer los residuos de disolventes orgánicos (alcoholes alifáticos), puesto que, en su proceso se tiene que mantener una temperatura inferior a 100° C, también se debe tener en cuenta que éstos compuestos se forman durante el proceso de producción; como los peróxidos que se tienen que descartar inmediatamente (Shanley, 1990).

Tabla 13.

Protocolo de proceso - formato 009.

SGA RESPEL: Formato 009 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA SEDE VILLAVICENCIO VIGILADA MINEDUCACIÓN - SINIES 1704
Residuo: Tipo 13		
Familia química: Disolventes halogenados.	Procedimiento No: <u>09</u>	
Protocolo de manejo de residuos químicos de hidrocarburos ¿Qué son? Compuestos orgánicos cuya estructura molecular se forma de la unión entre átomos de carbono e hidrógeno, son hidrofóbicos (insolubles en agua), éstos pueden encontrarse en diferentes estados de la materia, tales como: líquido, gaseoso y sólido (Soto, 2005). Los hidrocarburos alifáticos son aquellos que carecen de anillo aromático, sus cadenas son abiertas y pueden ser tanto lineales como ramificadas (Ingeoexpert, 2020). Se agrupa, por ejemplo, el hexano (C₆H₁₄), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).		

Tabla 13. Continuación**Medidas previas**

Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.

Tratamiento: Oxidación

1. Estos compuestos de nitrógeno se pueden eliminar por el método oxidación
2. Primero todo el nitrógeno se oxida a nitrato utilizando bacterias nitrificantes
3. Luego, el nitrato es desnitrificado por las bacterias convertido en nitrógeno molecular, que luego escapa del agua
4. La segunda etapa de reducción de nitratos requiere sustancias oxidadas, por lo que, si es necesario, se puede agregar metanol y luego convertirlo en CO₂
5. Para lidiar con fugas o desbordamientos:
6. Ventile las áreas con fugas o derrames
7. Recoja el líquido que gotea en recipientes herméticos tanto como sea posible
8. Diluir los materiales recolectados sin agua
9. Neutralizar el alcalino diluido como carbonato de sodio a cal viva
10. No intente absorber materiales combustibles como aserrín

(Ministerio de Ambiente, 2003).

Mecanismo de aprovechamiento

Los residuos pueden ser utilizado mediante la técnica de pirólisis, la cual consiste en la conversión de biomasa en residuos de polímeros, productos químicos y combustibles automotrices, son un modelo de hidrocarburos y materias primas no convencionales dependiendo de los parámetros de temperatura, tiempo de resistencia y presión parcial, empleado en los reactores del laboratorio (Hájeková, 2015).

Tabla 14.

Protocolo de proceso - formato 010.

SGA RESPEL: Formato 010 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA 1956 VEREDAS MONTAGNOLA - SILES 1984
Residuo: Tipo 28		
Familia química: Disolventes no halogenados.	Procedimiento No: 010	
Protocolo de manejo de residuos químicos de alcoholes aromáticos		
¿Qué son? Compuestos orgánicos, cuya presencia del grupo funcional O-H unido al anillo aromático confiere a éstos compuestos propiedades químicas características (Aldabe, 2004), poco solubles en agua y de olor agradable (Hans, 1987). Se agrupa, por ejemplo: azul lactofenol, orceína ($C_{28}H_{24}N_2O_7$), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).		
Medidas previas Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.		
Tratamiento: <u>Oxidación química</u> 1. El método de eliminación en el tratamiento con fenol es a través del ozono. 2. Por la cual provoca la degradación del fenol y libera ácido oxálico y oxígeno. 3. La cinética de la reacción de oxidación depende decisivamente de dos parámetros, la temperatura y el pH. 4. Por lo tanto, si el valor del pH cambia de 8 a 11, la tasa de degradación del fenol se duplicará, por la cual es requerido para degradar parte del fenol. 5. Siempre que haya un desbordamiento o una fuga, se deben seguir los siguientes pasos: 6. Ventile las áreas con fugas o desbordes. 7. Recoja los materiales derramados de la manera más conveniente para reciclarlos o eliminarlos en un vertedero seguro. 8. Cuando el fenol es sólido y se derrama una pequeña cantidad, se puede recolectar en papel u otros materiales adecuados y luego quemar en un lugar seguro. 9. Si se desborda una gran cantidad de fenol sólido, puede recolectarse y reutilizarse, o puede disolverse en alcohol y luego atomizarse en una cámara de combustión adecuada. 10. Cuando el fenol es líquido, use papel absorbente para recolectar una pequeña cantidad, recolecte y atomice una gran cantidad en la cámara de combustión).		
Mecanismo de aprovechamiento La recuperación de los residuos se realiza mediante una reacción química con hidróxido de sodio, obteniendo fenolató de sodio, que se utilizan para las resinas fenólicas tipo novolacas; los residuos resultantes se absorben completamente por el lecho de carbón activado granular, para asegurar que no queden trazas de residuos expuestas por el proceso, luego puede ser vertidos al alcantarillado o desagüe (Rivera, 2010).		

Tabla 15.

Protocolo de proceso - formato 011.

SGA RESPEL: Formato 011 <i>Manejo interno de residuos químicos</i>		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA FUNDADA EN 1950
Residuo: Tipo 45		
Familia química: Sales y soluciones acuosas.	Procedimiento No: 011	

Protocolo de manejo de residuos químicos de sales nitrogenadas

¿Qué son?
Compuestos inorgánicos iónicos que forman parte del ciclo del nitrógeno. Se agrupa, por ejemplo: nitrato de cobre (**Cu (NO₃)₂**), nitrato (**NO₃-**), óxido nitroso (**N₂O**), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).

Medidas previas
Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.

Tratamiento: Oxidación

1. Estos compuestos de nitrógeno se pueden eliminar por el método oxidación
2. Primero todo el nitrógeno se oxida a nitrato utilizando bacterias nitrificantes
3. Luego, el nitrato es desnitrificado por las bacterias convertido en nitrógeno molecular, que luego escapa del agua
4. La segunda etapa de reducción de nitratos requiere sustancias oxidadas, por lo que, si es necesario, se puede agregar metanol y luego convertirlo en CO₂
5. Para lidiar con fugas o desbordamientos:
6. Ventile las áreas con fugas o derrames
7. Recoja el líquido que gotea en recipientes herméticos tanto como sea posible
8. Diluir los materiales recolectados sin agua
9. Neutralizar con álcali diluido como carbonato de sodio o cal viva
10. No intente absorber materiales combustibles como aserrín

Mecanismo aprovechamiento
Se pueden tratar con la técnica de absorción de óxidos de nitrógeno (NO_x), mediante una reacción química en fase líquida a través del ácido sulfúrico, esto resulta por que en su reacción con los óxidos de nitrógeno, forma el compuesto HSO₄NO (ácido nitrosil sulfúrico), esto permanece en fase líquida con condiciones de alta presión a (2atm) y baja temperatura (35°C), los óxidos de nitrógeno (NO_x) se absorbe en la fase líquida. De igual forma, el proceso se puede invertir a alta temperatura (180°C) y baja presión (0,5 atm), esto quiere decir que, en estos términos, la molécula de nitrógeno (que se convierte en ácido nítrico debido a la presencia de agua) se separa del ácido sulfúrico y su uso es para esterilización (Tuset, 2021).

Tabla 16.

Protocolo de proceso - formato 012.

SGA RESPEL: Formato 012 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		  UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA SEDE VILLAVIEJA VIGILADA MINEDUCACIÓN - ENIES 1704
Residuo: Tipo 23		
Familia química: Disolventes no halogenados.	Procedimiento No: <u>012</u>	
Protocolo de manejo de residuos químicos de ésteres alifáticos		
¿Qué son? Compuestos orgánicos que contienen un grupo funcional éster y algún tipo de cadena de carbono alifático, es decir, un átomo de carbono contiene un enlace doble a un átomo de oxígeno y un enlace sencillo a un segundo átomo de oxígeno; además, son versátiles ya que pueden disolver una amplia gama de compuestos (Rodríguez, 2019). Se agrupa, por ejemplo: acetato de amilo ($C_7H_{14}O_2$), acetato de etilo ($C_4H_8O_2$), etanolato de sodio (C_2H_5ONa), acetato de isobutilo ($C_6H_{12}O_2$), etanolato de potasio (C_2H_5KO), terbutanolato de sodio, propanolato de sodio ($C_3H_5NaO_2$), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).		
Medidas previas Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.		
Tratamiento: <u>Hidrólisis</u> 1. El mecanismo de esterasas de hidrólisis para ésteres incluye tres pasos: 2. En el éster se une al sitio activo de la enzima, la serina ataca al grupo carbonilo para formar un intermedio tetraédrico estabilizado por los residuos catalíticos (His y Asp) 3. En este se colapsa del tetraedro, que libera alcohol y el complejo de acilo-enzima 4. Esta formación genera un nuevo intermedio tetraédrico 5. Entonces este segundo intermedio tetraédrico se hidroliza para formar el producto resultante, que se libera y se regenera en una enzima. 6. Los residuos restantes se les agrega lecho de carbón activado y se deposita al grifo. (Ortíz, 2012).		
Mecanismo de aprovechamiento Los residuos de ésteres alifáticos se pueden tratar mediante el proceso de esterasa, un sistema degradación (Ortíz, 2012), puesto que, en su proceso las enzimas catalizan la hidrólisis de enlaces éster en sus propiedades enzimáticas de sustrato (Jiménez, 2016). Después de esto, se pueden utilizar para sintetizar compuestos antioxidantes (Ortíz, 2012).		

Tabla 17.

Protocolo de proceso - formato 013.

SGA RESPEL: Formato 013 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		
Residuo: Tipo 39		
Familia química: Ácidos.	Procedimiento No: <u>013</u>	
Protocolo de manejo de residuos químicos de ácidos inorgánicos		
¿Qué son? Compuestos que tienen hidrógeno de uno o más elementos que cuando se disuelve en agua u otro solvente se descompone o disocia para liberar iones de hidrógeno, de igual manera, se utilizan como sustancias químicas intermedias, colorantes y catalizadores en reacciones químicas. Se agrupan, por ejemplo, el ácido tetraoxosilícico (H₄SiO₄), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).		
Medidas previas Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.		
Tratamiento: <u>Neutralización</u> 1. Tomar un recipiente cuyo contenido de solución acuosa a temperatura ambiente supere el 10% en peso de hidróxido de sodio (NaOH). 2. Luego se vierte lentamente y con la agitación del ácido. 3. Cuando el ácido es muy fuerte o concentrado se agrega el ácido diluido a (1:10) por volumen de agua helada. 4. Se debe controlar la temperatura en el principio de la adición, ya que es una reacción exotérmica. 5. A la mezcla resultante, se le toma el pH y si esta entre 5,5 a 9, esta disolución ya se puede eliminar al desagüe o entierro en una fosa o zanja. 6. Si no se tiene disponible el hidróxido de sodio (NaOH) como base, se puede utilizar carbonato de sodio, hidróxido/óxido de calcio (Na₂CO₃) o (cal), es preferible el uso de la cal como base neutralizante, ya que de esta forma hay menos sales solubles en el agua, que se pueden eliminar con mayor seguridad y facilidad. 7. Para eliminar derrames de ácidos inorgánicos fuertes, se cubre la zona contaminada con bicarbonato de sodio sólido. 8. Este residuo restante se vierte en porciones pequeñas, después se colocar abundante agua hasta que su pH este en 6-8 y finalmente verter al desagüe.		
Mecanismo de aprovechamiento Los residuos se pueden utilizar para la acidificación, en el refinado de minerales de estaño y tantalio, de igual manera, con la eliminación de capas de óxido de calderas y equipos de intercambio de calor (Finklea, 1998).		

Tabla 18.

Protocolo de proceso - formato 014.

SGA RESPEL: Formato 014 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA SEDE VILLAVICENCIO VIGILADA MINERUCACIÓN - SERIES 1704
Residuo: Tipo 31		
Familia química: Disolventes no halogenados.	Procedimiento No: 014	
Protocolo de manejo de residuos químicos de ésteres aromáticos		

¿Qué son?

Compuestos que se forman por la unión de ácidos con alcoholes, generando agua como subproducto (Yamaguchi, 2020) y según el tipo de ácido orgánico que se usó en formación éste se puede clasificar en aromático, correspondiente a los derivados de los anillos bencénicos (Pérez, 2011). Se agrupa, por ejemplo: ión benzoato (C_6H_5COONa), silicato de etilo ($C_8H_8O_3$), benzoato de etilo ($C_9H_{10}O_2$), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).

Medidas previas

Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.

Tratamiento: Evaporación

1. Tomar diferentes cantidades de éster aromático (Et2O).

2. Pero se tiene que tener en cuenta que el éster Aromático (Et2O) no contenga peróxido o inhibidores, evitando la formación de mezclas combustibles de vapor/aire, y manteniéndolo lejos de llamas abiertas u otras fuentes de inflamación.

3. Por lo cual se puede proceder a evaporar en una caja de vidrio.

4. También el éster aromático Et2O también se puede combinar con al menos 10 volúmenes de disolventes con puntos de ebullición más altos, en utilidad para la incineración.

Mecanismo de aprovechamiento

Los residuos se pueden recuperar mediante el proceso de separación de membranas de nanofiltración, el cual puede utilizarse como único complemento de las operaciones de separación básicas en procedimientos químicos; a través de las membranas de nanofiltración se pueden retener las moléculas de agua después de su separación previa, por ende esto se ablanda para eliminar los metales pesados de los solventes orgánicos de los esteres en su tratamiento durante su ósmosis inversa (Evitech, 2018).

Tabla 19.

Protocolo de proceso - formato 015.

SGA RESPEL: Formato 015 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CENESTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA 1958 FUNDACIÓN - 2018
Residuo: Tipo 22		
Familia química: Ácidos orgánicos.	Procedimiento No: 015	
Protocolo de manejo de residuos químicos de ácidos carboxílicos alifáticos ¿Qué son? Compuestos caracterizados por la presencia del grupo carboxilo (-COOH), unido a un grupo alquilo; éstos hierven a temperaturas aún más altas que los alcoholes, debido a la presencia de doble puente de hidrógeno (Cruz, 2017). Se agrupa, por ejemplo: ácido glicólico (C₂H₄O₃), ácido valérico (C₅H₁₀O₂), ácido carbónico (H₂CO₃), ácido butírico (C₄H₈O₂), ácido propanoico (C₃H₆O₂), ácido acético (CH₃COOH), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”). Medidas previas Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo. Tratamiento: <u>Neutralización</u> 1. Tomar 50 mg (o 1 gota) del ácido carboxílico de la muestra problema. 2. Agregan unas gotas de agua para comprobar si éste es soluble. 3. Luego en una balanza analítica pesar una muestra seca (alrededor de 0.5 g) en un vaso de precipitados de 100 ml y agregue 10 ml de agua (o de etanol si la muestra es poco o insoluble en agua). 4. Disolver la muestra, calentar a baño de María si es necesario, transfiera la solución a un Erlenmeyer de 250 ml, lavar el vaso de precipitados con el solvente para asegurar que no quede muestra en dicho vaso y adicionar completamente al Erlenmeyer. 5. Agregar 2 gotas de solución de fenolftaleína al 0.2 % (p/v) y titular con hidróxido de sodio NaOH de normalidad conocida (0,5 N). 6. En el punto final de la titulación se produce un viraje que va de incoloro a rosa tenue que permanece por al menos 30 segundos. 7. Cuando se utilice alcohol como solvente el punto final con fenolftaleína no es claro, por eso debe utilizarse preferencialmente azul de bromotimol como indicador. 8. En caso de que estos residuos de ácidos orgánicos se desborden, la superficie contaminada se cubrirá con un exceso de bicarbonato de sodio (NaHCO₃) (Plan de manejo de residuos peligrosos para el laboratorio del centro de investigaciones de Ingeniería Ambiental [Trabajo de grado, Universidad de los Andes], 2003). (Urbina, Gonzalez, & Urbina, 2013) Mecanismo de aprovechamiento Los residuos pueden ser tratados mediante el proceso de reciclaje de soluciones acuosas, por ejemplo, con el sistema de bomba circulación cerrada de Temarry, por lo cual se pueden recuperar de los residuos químicos a base de agua: la corrosividad del líquido (ácido), agua aceitosa y refrigeración del agua disponible, también permite reducir en gran medida el uso de agua limpia, por lo tanto, en su proceso final, toda el agua es solo para uso interno, es decir que se emplea en la torre de enfriamiento para el proceso de destilación de solventes y en la cámara de combustión principal para el aprovechamiento energético (Temarry, 2008).		

Tabla 20.

Protocolo de proceso - formato 016.

SGA RESPEL: Formato 016 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		
Residuo: Tipo 48		
Familia química: Disoluciones acuosas.	Procedimiento No: <u>016</u>	
Protocolo de manejo de residuos químicos de soluciones acuosas de metales pesados ¿Qué son? Productos inorgánicos donde se establece la división de metales pesados con un número atómico más alto que el del calcio, por ejemplo, el cobre (Cu), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”). Medidas previas Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo Tratamiento: <u>Oxidación</u> 1. Diluir el residuo de cobre en 4 ml de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). 2. Si no se encuentra el reactivo disponible, utilizar sulfato ferroso (FeSO_4), metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) o dióxido de azufre ($\text{SO}_2$). 3. Luego se precipita alcalizándolo. 4. Para que la reducción en la reacción suceda de manera más acelerada. 5. Agregar el compuesto orgánico óxido de titanio (TiO_2) un elemento común en la tierra como mineral. 6. Luego puede ser vertido al grifo o desagüe. Mecanismo de aprovechamiento Los residuos se pueden tratar por medio de sistema oxidación fotocátalisis, donde consiste en la destrucción de los contaminantes mediante el empleo de radiación solar ultravioleta y catalizadores con el objeto de formar radicales hidroxilos, los cuales posteriormente tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes químicos y se pueden usar como fuente de energía solar (Garcés, 2004).		

Tabla 21.

Protocolo de proceso - formato 017.

SGA RESPEL: Formato 017 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		
Residuo: Tipo 25		
Familia química: Disolventes no halogenados.	Procedimiento No: <u>019</u>	
Protocolo de manejo de residuos químicos de aminas y amidas alifáticas		
¿Qué son? Compuestos producidos a menudo en la descomposición de la materia orgánica cuando uno o más átomos de hidrógeno del amoníaco (NH ₃), son sustituidos por uno, dos o tres radicales alquil o alcanol (Propiedades de las aminas alifáticas). Según el número de grupos que se unen al nitrógeno se clasifican en primarias (NH ₂ R) , secundarias (NHR ₂) o terciarias (NR ₃), los cuales sirven como productos químicos intermedios, disolventes, catalizadores (Lara, 2009). Se agrupa, por ejemplo, butilamina (C ₄ H ₁₁ N), entre otros (ver Anexo 3.“RESPEL PIRS UNAL”).		
Medidas previas Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.		
Tratamiento: <u>Neutralización</u> 1. Diluir 1 g de residuo de nitrosa amida en 30 ml de metanol. 2. Agregar 30 ml de solución saturada de bicarbonato de sodio (NaHCO₃). Dejar la mezcla a temperatura ambiente 24 h. 3. Luego, agregar 30 ml de Na₂CO₃ con una concentración de 1 mol L⁻¹ y 10 g, seguir revolviendo durante 24 horas. 4. Posteriormente, agregar 30 ml de solución concentrada de hidróxido de potasio (KOH) 1 mmol L⁻¹, a continuación, agitar la mezcla durante 24 horas y luego filtrarla. 5. Finalmente, verter al desagüe con exceso de agua. Fuente: (Peñalver N. , 2000)		
Mecanismo de aprovechamiento Se utilizan ampliamente como productos intermedios, disolventes, catalizadores, estabilizantes, esto resulta por sus compuestos en sus bases débiles, por lo que pueden reaccionar con ácidos fuertes (corrosivos), esto puede ser útil para los sistemas de generación de vapor en sus líneas de transacciones de agua condensada, por lo que al reaccionar con el dióxido de carbono (CO ₂) existente, produce ácido carbónico, lo cual que se agota en la presencia de las aminas o amidas a neutralizar; que de igual manera, por su capacidad neutralizante interviene en la corrosión en el sistema de generación de vapor en el cual deben ser alimentadas estratégicamente, ya que su efectividad en el canal del proceso depende proporcionalmente de su volatilidad (Maquimex, 2021).		

Tabla 22.

Protocolo de proceso - formato 018.

SGA RESPEL: Formato 018 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		
Residuo: Tipo 16		
Familia química: Disolventes halogenados.	Procedimiento No: <u>018</u>	
Protocolo de manejo de residuos químicos de hidrocarburos aromáticos		

¿Qué son?
Compuestos cuyas moléculas están formadas por una o más estructuras de anillo bencénico, conformados por átomos de carbono e hidrógeno (Propiedades de los hidrocarburos aromáticos). Por otra parte, por su intenso y agradable aroma de un gran número de sus derivados son llamados compuestos aromáticos (Restrepo, 1950). Se agrupa, por ejemplo, azul de metileno (**C₁₆H₁₈ClN₃S**), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).

Medidas previas
Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.

Tratamiento: Evaporación

1. Este disolvente se puede eliminar por evaporación a presión reducida.
2. Por cada 5 mg de residuo hidrocarburo aromático (HAP), se agrega 2 ml de acetona y verifique que los hidrocarburos estén completamente disueltos, incluidos los hidrocarburos que puedan adherirse a las paredes del recipiente.
3. Luego por cada 5 mg de residuo hidrocarburo aromático (HAP), se añade 10 ml de solución de permanganato de potasio (KMnO₄) con una concentración de 0.3 mol L⁻¹ a la solución de ácido sulfúrico (H₂SO₄).
4. Después concentrar 3 moles de L-1 (recién preparado), remover la mezcla y dejar reaccionar durante 1 hora.
5. En cuanto al color púrpura seguirá siendo el mismo durante todo el tiempo de reacción, pero si se puede agregue más permanganato de potasio (KMnO₄) hasta que la mezcla de reacción permanezca violeta durante 1 hora.
6. Simultáneamente en la reacción, use ácido ascórbico para decolorar y neutralizar la solución y verifique si la destrucción se completó.
7. Finalmente use exceso de agua para verterla en el alcantarillado.
8. Para lidiar con derrames, se puede cubrir la zona con carbón activado granular, que puede remover hasta el 99% de estos hidrocarburos volátiles.

Fuente: (Gómez C. , 2003)

Mecanismo de aprovechamiento
Los residuos pueden ser utilizados como gas de combustión adsorbido en carbón activado, el cual consiste en cadenas moleculares básicas y complejas, además pueden eliminar del gas otros componentes orgánicos volátiles (COV), por sus hornos de activación en el proceso de purificación de gases de combustión que deshace los hidrocarburos volátiles (Wouter, 2021).

Tabla 23.

Protocolo de proceso - formato 019.

SGA RESPEL: Formato 019 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA SEDE VILLAVICENCIO VIGILADA MINEDUCACIÓN - DISEÑO 1704
Residuo: Tipo 41		
Familia química: Bases.	Procedimiento No: <u>019</u>	
Protocolo de manejo de residuos químicos de hidróxido de potasio		
¿Qué es? Compuesto químico inorgánico, el cual es soluble en agua desprendiéndose calor, para la clasificación de tipos de residuos (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).		
Medidas previas Como primera medida, recuerde contar con los elementos de protección personal (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y la limpieza del área de trabajo.		
Tratamiento: <u>Neutralización</u> 1. Diluir relación de 1;5 de agua (H_2O), neutralizar hasta un pH 6-8 y añadir ácido sulfúrico (H_2SO_4) lentamente. 2. Obtener disolución a 1:10 3. Verter en el desagüe con exceso de agua (H_2O).		
Mecanismo de aprovechamiento Los residuos se pueden reciclar y utilizar para producir biodiésel, con base a la reacción transesterificación, optimizando las variables del proceso como el exceso de metanol y catálisis para la desactivación del (hidróxido de potasio KOH) y no puede tener una temperatura superior a 100° C, los residuos restantes de la reacción como el agua y los desechos se utilizan como fertilizantes, se debe tener en cuenta que el resultado esperado es según las condiciones óptimas en el proceso, esto hace referencia el exceso de metanol, catálisis, desactivación del catalizador, agitación y temperatura (Jaramillo & & Zapata, 2008).		

Tabla 24.

Protocolo de proceso - formato 020.

SGA RESPEL: Formato 020 <u>Manejo interno de residuos químicos</u>		  UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA SEDE VILLAVICENCIO VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1704
Residuo: Tipo 44		Procedimiento No: <u>020</u>
Familia química: Disolventes halogenados.		
Protocolo de manejo de residuos químicos de sales halogenadas		
¿Qué son? Compuestos cuaternarios que contienen oxígeno e hidrógeno, resultan de la reacción de un ácido hidrácido con hidróxidos, formados de la combinación de un metal con un no metal de los grupos o familias VII y VI de la tabla periódica (Carrillo, 2018). Se agrupa, por ejemplo: Yodo (I), entre otros (ver Anexo 3. “RESPEL PIRS UNAL”).		
Medidas previas Recuerde contar con los elementos de protección personal básicos (EPP) previo al ingreso del laboratorio, revisar el estado actual de los elementos y equipos de trabajo, leer la información consignadas en las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos a emplear y realizar la limpieza del área de trabajo.		
Tratamiento: <u>Incineración</u> 1. Estos disolventes se deben eliminar por incineración. 2. Los residuos obtenidos se deben mezclar con carbonato de sodio (Na_2CO_3). 3. Luego se pasan a una vitrina de gases o en un horno de combustión. 4. Se tienen que tomar precauciones adecuadas. 5. Después se agregar alcohol o acetona, para limitar la formación de humos. 6. Se tiene que tener en cuenta, que las áreas a evaporar deben ser seguras. 7. Finalmente, considerar los límites de emisión a la atmósfera. Fuente: (Peñalver N. D., 2000).		
Mecanismo de aprovechamiento Los residuos se pueden tratar mediante oxidación térmica bajo ciertas condiciones específicas, posteriormente, se recicla en forma de ácido mineral de alta pureza (Ichem, 2021).		

7.2.2. *Formulación de medidas de Elementos de Protección Personal (EPP)*

La seguridad en el lugar de trabajo es un aspecto muy importante para el buen funcionamiento de las actividades experimentales, en consecuencia, la manipulación de sustancias químicas debe realizarse con Elementos de Protección Personal (o por su abreviatura EPP), debido a que cada situación requiere un procedimiento de seguridad específico, es necesario adecuar al individuo (estudiante, investigador) tanto al medio como al grado de exposición, controlando el origen y la fuente de contaminación (Gómez N. , 2014). Aunque las operaciones que se realicen sean de corta duración o esporádicas, estos implementos garantizan la integridad de quienes lo utilizan, así como también se constituyen un complemento fundamental para el impedimento de ocurrencia de accidentes en los lugares de trabajo.

Por tanto, siguiendo los lineamientos del programa de Elementos de Protección Personal uso y mantenimiento del 2017 (Ministerio de Salud de Colombia, 2017), se seleccionaron los EPP básicos de uso obligatorio en el laboratorio. A continuación, se presentan las medidas seleccionadas (ver Tabla 25.).

Tabla 25.
Elementos de Protección Personal (EEP) básicos en el laboratorio.

Elementos de Protección Personal		Recomendaciones	Criterios de cambio y disposición final
Bata		Usar bata manga larga, totalmente abotonada o con el cierre cerrado, en ningún caso recoger las mangas.	Retire al terminar la actividad y salir del laboratorio.
Tapabocas		Ubique de tal manera que se ajuste a su contorno facial.	Retire y disponga en bolsa roja.

Tabla 25. Continuación

Elementos de Protección Personal	Recomendaciones	Criterios de cambio y disposición final
Gafas		Ubique de tal forma que se ajuste totalmente a la cara, evitando que se caigan utilizando ajustes, para protección contra partículas y salpicaduras químicas. Al finalizar la actividad, disponga para reutilización, luego de limpieza y desinfección. Se desechan ante deterioro evidente de sus características protectoras y visuales.
Guantes		La selección del guante depende del uso que se les va a dar, éstos deben cubrir los puños de la bata para evitar todo contacto directo con la piel durante el procedimiento. Retire luego de la actividad, si la contaminación es alta, posteriormente, su disposición final será en la bolsa roja.

Nota. Cualquier operación de manipulación o transporte de residuos deberá iniciarse con la utilización de los equipos de protección que se hayan definido en los procedimientos. Imágenes obtenidas de <https://cootranserp.com.co/politicas/uso-de-elementos-de-proteccion-personal/>

7.2.3. Consolidación del manual

El manual de carácter informativo, es una herramienta de consulta y orientación principalmente para las partes responsables (Docentes, estudiantes y auxiliares de laboratorio), mediante el cual se identifican las soluciones más óptimas para el manejo adecuado de los residuos químicos que se producen en cada una de las prácticas de los diferentes espacios académicos (ver Anexo 6).

Por consiguiente, el documento está estructurado con los siguientes ítems: breve introducción, objetivos, alcance, trabajo seguro en el laboratorio teniendo presente la responsabilidad del personal que ingrese al laboratorio, así como los Elementos de Protección Personal (EPP), la manipulación de sustancias químicas, los procedimientos según la clasificación de 20 tipos de residuos químicos generados en los laboratorios donde se adelantan prácticas de la

Facultad de Ingeniería Ambiental, en los cuales se identifican los peligros, incompatibilidades, tratamiento que se deben aplicar a cada grupo y mecanismos de aprovechamiento. Adicionalmente, el anexo “RESPEL PIRS UNAL”, el cual se relaciona constantemente durante la lectura del documento.

7.3.Etapa 3. Mecanismo de Concientización

7.3.1. *Divulgación de resultados*

La comunidad universitaria que desarrolla sus actividades en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental tendrá como referencia el manual para temas específicos sobre la gestión de los residuos químicos que incluyen recomendaciones con relación a su peligrosidad. Cabe resaltar que, el manual estará a disposición de docentes, estudiantes y auxiliares, por tanto, la participación, colaboración y claridad sobre la responsabilidad tanto individual como colectiva es necesaria por parte de los usuarios que hacen uso de los laboratorios, para aplicar los procedimientos más adecuados en la manipulación, tratamiento, recuperación o disposición final de los mismos.

Por otra parte, mediante el liderazgo de los docentes de la Facultad de Ingeniería Ambiental, de manera virtual a través de la plataforma Moodle el día 24 de noviembre del 2020 se llevó a cabo el conversatorio de Química Verde aplicada en la gestión de residuos sólidos y problemáticas ambientales (Murcia, 2021), con la presentación de seis ponencias, y la participación de la Universidad Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Los participantes diligenciaron en la plataforma “Google formularios”, el registro para el evento, la asistencia y evaluación.

De igual manera, se presentó ante los miembros de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, los resultados de las actividades llevadas a cabo en el proyecto interinstitucional “Estudio para la Gestión de Residuos Generados en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio” (2019).

8. Análisis de las actividades realizadas

Según el registro de Coordinación de Gestión Ambiental, para el periodo académico 2018 se generaron 364,11 kg/año de residuos peligrosos en el Campus Aguas Claras, siendo el valor más representativo. Consecutivamente, para el año 2019 el inventario fue de 355,17 kg/año, en contraste de 132,32 kg/año originados en el periodo académico 2017.

Por otra parte, al realizar la matriz de guías experimentales empleadas en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental, se obtuvo que por los siguientes espacios académicos había 8 guías: Biología, química inorgánica y tratamiento de agua residual. Por el contrario, en orden ascendente se encuentran química orgánica (4), tratamiento de agua potable (3) y microbiología (2). Finalmente, aquellos espacios académicos que solamente contemplan una guía son: introducción, mecánica de fluidos, técnicas de campo, energías alternativas y termodinámica.

Respecto a la cuantificación realizada mediante los cálculos estequiométricos de las guías de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental, se generó un valor total teórico de 3.285,68 ml de residuos químicos líquidos, de los cuales el 52% pertenece al tipo 20 “Alcoholes alifáticos” siendo el de mayor cantidad, por factores tales como: se usan como disolventes, de igual manera para la limpieza del equipo de laboratorio antes y después de cada práctica.

Los procesos experimentales generan residuos químicos que no pueden eliminarse en su forma original, ni deben ser vertidos de forma directa por el desagüe, es por ello que, se proponen tratamientos, con el fin de reducir su potencial contaminante para que el efluente pueda ser reutilizado o vertido. En caso tal de ser recuperado

En la Tabla 26, se agruparon aquellos residuos químicos líquidos que por sus características fisicoquímicas pueden recibir el mismo tratamiento, con el fin de reducir su potencial contaminante, como se observa a continuación:

Tabla 26

Tratamientos propuestos para el manejo de residuos químicos líquidos en el punto de generación.

Grupo de residuos		Residuo químico	Tratamiento sugerido	
		Especificaciones	Proceso propuesto	Productos recomendados
Disolventes no halogenados	Orgánicos	Tipo 20: Alcoholes alifáticos (Alcohol etílico, metanol).	—	—
		Tipo 21: Aldehídos y cetonas alifáticas (Acetocarmín, acetona, metanodiol, formaldehído).		
Ácidos	Inorgánicos	Tipo 36: Ácido sulfúrico	Neutralización con base inorgánica	Bicarbonato de sodio (NaHCO ₃)
		Tipo 37: Ácido clorhídrico		Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃)
		Tipo 38: Ácido nítrico		Hidróxido de sodio (NaOH)
	Orgánicos	Tipo 22: Ácidos carboxílicos alifáticos		Hidróxido de potasio (KOH)
Bases y sus disoluciones	Inorgánicas	Tipo 40: Hidróxido de sodio	Neutralización con una solución diluida	Ácido clorhídrico (HCl)
		Tipo 41: Hidróxido de potasio		Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)
Disolventes halogenados	Orgánicos	Tipo 16: Hidrocarburos (azul de metileno)	—	—
		Tipo 23: Ésteres alifáticos: acetato y propanolato de sodio		
		Tipo 25: Aminas y amidas alifáticas: Butilamina	Neutralizar	Bicarbonato de sodio (NaHCO ₃)
		Tipo 44: Sales halogenadas (Yodo)	REDOx	Permanganato de potasio (KMnO ₄)
Metales	Pesados	Tipo 48: Cobre (Cu)	Precipitación con agente reductor	Borohidruro de sodio (NaBH ₄)

Nota: Los distintos tipos de 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. Por Torres & Ruíz, 2021.

Con base en la compatibilidad con el residuo generado en el laboratorio se llevó a cabo la neutralización en 10 tipos de residuos distintos plasmados en los protocolos de procesos, seguido del tratamiento oxidación cuya cantidad fue 3.

9. Conclusiones

La clasificación de los residuos en el Campus Aguas Claras se llevó a cabo mediante el Decreto 1076 de 2015, en el cual para el periodo académico 2018 se generó 689,97 kg de los cuales el 64% son representados por residuos químicos siendo la mayor generación de los mismos. Por otra parte, el 27% de los residuos biosanitarios para el año 2019 totalizaron 633,66 kg. Finalmente, contratando drásticamente para el periodo académico 2017 se generó 129,86 kg de residuos.

La pandemia de COVID-19, tuvo un impacto directo en la cantidad de cálculos estequiométricos, ya que cada docente priorizó las guías experimentales de cada espacio académico. Respecto a la Facultad de Ingeniería Ambiental, se determinó que en 12 espacios académicos se realizan procedimientos experimentales para un total de 42 guías de laboratorio, a las cuales se les realizó el método de tanteo para el registro de balance de masas, determinando las proporciones de entrada y salida de productos. Posteriormente, se tabuló la clasificación de 20 tipos de residuos cuyo volumen total obtenido fue de 3.285,68 ml. El 52% de los residuos de alcoholes alifáticos representó la mayor cantidad de generación en las prácticas experimentales, seguido de los residuos de sales de azufre con el 27% y el 7% de hidrocarburos.

Con base en los residuos químicos originados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental en función de sus características fisicoquímicas, se propusieron tratamientos para llevar a cabo en el lugar de la fuente. Debido a que, la Universidad Santo Tomas de Villavicencio como generador de residuos químicos peligrosos, según la normatividad ambiental presente en el Decreto 4741 del 2005, por contricción tiene que elaborar un plan de gestión para los residuos químicos peligrosos, de este modo el manual para gestión de residuos químicos peligrosos, puede contemplar un parte y ser de referencia para una segunda propuesta actualizada, pero contribuyendo a todas las facultades de la Universidad.

Es fundamental el manejo preventivo en cada uno de los residuos químicos peligrosos, es por esto que el manual se centralizo en cada una de las regulaciones de seguridad y salud para la comunidad universitaria, lo cual conlleva a sobresalir en las prácticas evitando los riesgos, peligrosos y efectos arduos en el personal que maneja este tipo de sustancias en objetos educativos.

Finalmente, mediante el conversatorio se presentó los resultados de las actividades del proyecto interinstitucional.

10. Recomendaciones

Si bien, el presente Manual parte de la experiencia específica de la Facultad de Ingeniería Ambiental sede Villavicencio durante el desarrollo de las prácticas de los laboratorios de sus diferentes espacios académicos, la intención es que sea referente general para aquellas Facultades que hagan uso de reactivos químicos en los laboratorios de la Universidad Santo Tomás.

De igual manera, el manual debe seguir actualizándose y retroalimentándose frente a cambios en los procedimientos de trabajos, conforme surjan nuevas sustancias que no estén contempladas en la clasificación, ya que la propuesta está basada en las guías de laboratorios que se encuentran actualmente.

Cabe resaltar la importancia del manual como material de consulta para futuros proyectos de investigación, cuya modificación se adapte, ajuste y esté susceptible para el manejo particular de los residuos provenientes de las prácticas de laboratorio de cada Facultad en el Campus Aguas Claras.

Finalmente, es importante contar con un registro de los residuos generados durante el semestre, para así tener una visión de las sustancias que se pueden someter a tratamiento para minimizar el almacenamiento de residuos en el laboratorio.

11. Bibliografía

- Aldabe, S. B. (2004). Química en acción. En *Química 2*. Buenos Aires: Colihue. Obtenido de <https://books.google.co.cr/books?id=nsTjBmyABXsC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Álvarez Chávez, C. A. (2013). *Manual de residuos peligrosos químicos para la Universidad de Sonora*. México, D.F: Universidad de Sonora. Obtenido de <https://qb.unison.mx/PISSA/manual.pdf>
- Anastas, P. &. (2001). Origins, current status, and future challenges of green chemistry. *Accounts of chemical research*, 35(9), 686-694. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ar010065m>
- Anastas, P. (2012). Fundamental changes to EPA's research enterprise: The path forward. *Environmental Science and Technology*, 46(2), pp. 580-586. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es203881e>
- Carrascal, D. S. (2014). *Algunas propiedades químicas de aldehídos y cetonas*. Uniersidad de Sucre, Programa de Biología. Obtenido de https://www.academia.edu/8945557/Algunas_propiedades_qu%C3%ADmicas_de_Aldeh%C3%ADdos_y_Cetonas
- Carrillo, E. &. (2018). *Nomenclatura química inorgánica*. Universidad Internacional SEK. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3216/1/LD0002.pdf>
- Chávez Vargas, R. (2018). *Manual de manejo de residuos peligrosos en los laboratorios de química básica [Trabajo de grado, Universidad Veracruzana]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://www.uv.mx/coatza/cq/files/2020/09/MANUAL-DE-MANEJO-DE-RESIDUOS-PELIGROSOS.pdf>
- Cruz, F. H. (2017). *Guía temática para el curso de química orgánica II*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Díaz, N. (2000). *Manual de gestión de los residuos especiales de la Universidad de Barcelona*. Publicacions de la Universitat de Barcelona.
- Eche, J. J. (2003). *Tratamiento y disposición final de residuos industriales generados en una refinería*. Peru: Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas.

- Evitech, C. (2018). *Recuperación de disolventes orgánicos*. Obtenido de <https://condorchem.com/es/reciclado-disolventes-organicos/>
- Finklea, J. M. (1998). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. España: Chantal Dufresne, BA. Obtenido de <http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/proteccioncivil/normatividad/Enciclopedia%20de%20salud%20y%20seguridad%20en%20el%20trabajo.pdf>
- Fisher scientific. (2019). Obtenido de Ácido clorhídrico (HCl): <https://www.fishersci.es/es/es/products/I9C8K49K/hydrochloric-acid.html>
- Garcés, L. M. (2004). La fotocátalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. I, 83-92. Obtenido de <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/195/1/083-92%20La%20fotocat%C3%A1lisis%20como%20alternativa%20para%20el%20tratamiento.pdf>
- Garritz, A. &. (2001). En *Tú y la química*. Pearson Educación de México, S. A. Obtenido de http://www.joseantoniochamizo.com/pdf/quimica/libros/002_Quimica_general.pdf
- Gauza, O. (2018). *Gerenciamento de resíduos sólidos em laboratórios de química: casi de uma instituição de ensino superior (Tesis en Máster en Ciencia y Tecnología Ambiental, Universidad Tecnológica Federal de Paraná-Curitiba)*. Repositorio institucional. Obtenido de http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4228/1/CT_PPGCTA_M_Gauza%2C%20Olga%20Regina_2019.pdf
- Gómez, C. (2003). *Plan de manejo de residuos peligrosos para el laboratorio del centro de investigaciones de Ingeniería Ambiental [Tesis de Ingeniería Ambiental, Universidad de los Andes]*. Repositorio institucional.
- Gómez, N. (2014). *Implementación de un sistema de gestión e información de sustancias químicas para mejorar su manipulación, uso y disposición [Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Occidente]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/flip/index.jsp?pdf=/bitstream/handle/10614/7821/T05819.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gutiérrez, A. (2014). *Propuesta de un modelo de gestión y manejo de residuos generado por un laboratorio químico [Trabajo de grado, Universidad Nacional de San Agustín]*. Repositorio institucional. Obtenido de

- <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2670/IMgucaaaj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gutsche, C. &. (1979). Fundamentos de química orgánica. En *Hidrocarburo lineal y ramificado* (págs. 463-464). Reverté, S.A. Obtenido de <https://books.google.hn/books?id=fgUboUID62oC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Hájeková, E. (2015). *Laboratory of thermal decomposition of hydrocarbon raw materials, waste tires, plastics and biomass to chemicals and fuels*. Europa, Slovenska: Institute of organic chemistry. Obtenido de https://www.stuba.sk/english/science-and-research/other-research-centres-and-laboratories/laboratory-of-thermal-decomposition-of-hydrocarbon-raw-materials-waste-tires-plastics-and-biomass-to-chemicals-and-fuels.html?page_id=10604
- Hans, B. &. (1987). *Manual de química orgánica*. Reverté, S.A. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=Pm7lNZzKlaoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Herrera, D. (2020). *Análisis de peligrosidad de los reactivos usados en las prácticas de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental [Tesis de ingeniería ambiental, Universidad Santo Tomás sede Villavicencio]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/28162/2020dianaherrera.pdf?sequence=11&isAllowed=y>
- Ichem. (05 de Mayo de 2021). *The vichem group* . Obtenido de <https://www.vichemgroup.com/es/product/tratamiento-de-residuos/recuperacion-de-cido>
- Industry, G. (10 de 05 de 2021). *Greener Industry*. Obtenido de http://www.greener-industry.org.uk/pages/sulphuric_acid/8SulphuricAcidRecycling.htm#:~:text=Sulphuric%20Acid%3A%20Recycling&text=Spent%20sulphuric%20acid%20and%20other,dioxide%20for%20sulphuric%20acid%20manufacture.&text=The%20acid%20is%20pre%2Dheated,the
- Ingeoexpert. (2020). Obtenido de Hidrocarburos: Características y clasificación: <https://ingeoexpert.com/2020/10/16/hidrocarburos-caracteristicas-y-clasificacion/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2016). *Informe nacional de generación y manejo de residuos o desechos peligrosos en Colombia*. Bogotá. Obtenido

- de http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/informes-nacionales-de-generacion-de-residuos-o-desechos-peligros?p_p_id=110_INSTANCE_7zHDIepiRPD1&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2016). *Informe Nacional de residuos o desechos peligrosos en Colombia*. Bogotá. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022431/INFORMENACIONALWEB.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2020). Obtenido de Ácido sulfúrico: propiedades, beneficios y precauciones: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia4.pdf>
- Jaramillo, G., & Zapata, L. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia [Tesis de posgrado, Universidad de Antioquia]*. Colombia: Universidad De Antioquia. Obtenido de <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
- Jiménez, S. (2016). *Identificación y caracterización de una esterasa proveniente del acuífero de Yucatán [Tesis de posgrado, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.]*. México, Merida, Yucatán: Centro de Investigación Científica de Yucatán. Obtenido de https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1155/1/PCB_BT_M_Tesis_2016_Ramos_Sergio.pdf
- Koshida, N. K., & Okuda, T. F. (1976). *Method of manufacturing alkylene oxide adducts of an aliphatic alcohol*. United States: United States Patent. Obtenido de <https://patentimages.storage.googleapis.com/c2/7e/82/cc4074d9c3504e/US3932531.pdf>
- Lara, A. (2009). *Química orgánica I: Aminas*. OpenCourseWare UAM. Obtenido de <http://investigacion.izt.uam.mx/aeroespacial/ocwquimorg109i/tarnh2qo109i.pdf>
- López, F., Delgado, A. L., & Manso, F. y. (2009). *Situación actual del tratamiento de neumaticos fuera de uso y posibilidades de obtención de negro humo de alta pureza*. España Madrid : Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Obtenido de https://digital.csic.es/bitstream/10261/17979/1/NFU's_revision.pdf

- Maquimex. (2021). *Especialista en soluciones químicas*. Obtenido de <https://maquimex.com/blog/que-tipo-de-aminas-debo-de-elegir-para-inhibir-la-corrosion-de-un-proc>
- Martínez, D. (2013). *Guía técnica para el manejo de los residuos peligrosos generados en los laboratorios de docencia [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]*. Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad de Ciencias y Tecnología. Obtenido de <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6339/1/223813.pdf>
- Mech-Chem Associates, I. (2021). *Acid Recycling at Electronics Plating Company*. Obtenido de <https://mech-chem.com/images/stories/Acid-Brochure/HCL.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*. Obtenido de Dirección de desarrollo sectorial sostenible: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_qu%C3%ADmicas_y_residuos_peligrosos/gestion_integral_respel_bases_conceptuales.pdf
- Ministerio de Educación. (2016). *Química orgánica*. Obtenido de <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/10/GUIA-DIDACTICA-BLOQUE-3-QUIMICA-SUPERIOR.pdf>
- Ministerio de Salud de Colombia. (09 de 2017). *Ministerio de Salud de Colombia*. Obtenido de Programa de elementos de protección personal uso y mantenimiento: <https://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Institucional/Procesos%20y%20procedimientos/GTHS02.pdf>
- Mooney, B. D. (2014). Effectively minimizing hazardous waste in academia : The green chemistry approach. Chemical health & safety. *ResearGate*, 3(11), 24-28. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/238503944_Effectively_minimizing_hazardous_waste_in_academia_The_Green_Chemistry_approach
- Mosquera, Y. M. (2019). Estudio para la gestión de residuos generados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio [Auxiliatura de investigación, Universidad Santo Tomás]. Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio. Obtenido de

- <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/22663/Documento%20de%20Trabajo%20N%C2%B0%20017.%20Gestio%cc%81n%20de%20residuos%20qui%cc%81micos%20generados%20en%20los%20laboratorios%20de%20la%20USTA.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Murcia, J. (2021). *Informe conversatorio de Química Verde aplicada a la gestión de residuos sólidos y problemáticas ambientales*. Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, Facultad de Ingeniería Ambiental.
- National Research Council. (2011). *Prudent practices in the laboratory: Handling and management of chemical hazards*. Washington, D.C: The national academies press. Obtenido de <https://chme.nmsu.edu/files/2013/11/Prudent-Practices.pdf>
- Ortíz, P. (2012). *Estudio de la actividad en síntesis e hidrólisis de la esterasa recombinante LipC de Haloarcula marismortui en medios de reacción no convencionales*. México, Guadalajara: Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del estado de Jalisco. Obtenido de <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/56/1/Priscila%20Sutto%20Ortiz.pdf>
- Osicka, R. B. (2004). *Gestión y manejo de residuos químicos en el laboratorio: Una manera de prevenir la contaminación del medio ambiente*. Argentina: Universidad Nacional del Noreste, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44858905/articulo_gestion_de_residuos_en_el_laboratorio.-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1628576967&Signature=eepM3MocCEptuf0oWnpfcEOG6rdK2cn8sm6eS8NZbpiQ1NzHW5Qcj-9HXsK8eUARl0FV0-Ttyd6hznAbNSCLjVUFLt8bmbpI7mj4DHRI3jR
- Parry, R. S. (1973). *Química fundamentos experimentales*. Reverté, S.A. Obtenido de https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=qYRCOe8LifgC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Parry,+R.,+Steiner,+L.,+Tellefsen,+R.,+%26+Dietz,+P.&ots=rR9uRqx_ax&sig=FWHFRfdHvuUOjAT34zFbeQQ4oeo#v=onepage&q&f=false
- Peñalver, N. D. (2000). *Manual de gestión de los residuos especiales de la UB*. España, Barcelona: Publicacions de la Universitat de Barcelona. Obtenido de https://www.ub.edu/ossma/wp-content/uploads/2016/03/manual_residus_especials_cs.pdf

Pérez, P. (2011). *BudoWebs Studio*. Obtenido de Química y algo más:

<https://quimicayalgomas.com/>

(2003). *Plan de manejo de residuos peligrosos para el laboratorio del centro de investigaciones de Ingeniería Ambiental [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15803/u239225.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Presidencia de la República. (2005). *Decreto 4741 de 2005: Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de gestión integral*. Bogotá, D.C.: Diario oficial, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/526371/Decreto+4741+2005+PREVENCION+Y+MANEJO+DE+REIDUOS+PELIGROSOS+GENERADOS+EN+GESTION+INT+EGRAL.pdf/491df435-061e-4d27-b40f-c8b3afe25705>

Presidencia de la República. (2015). *Decreto 1076 de 2015: Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Bogotá: Diario oficial, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

(s.f.). *Propiedades de las aminas alifáticas*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/162038/3.+Amidas+-+Aminas+alif%C3%A1ticas+-+Formaci%C3%B3n+de+nitrosaminas+-+Aminas+arom%C3%A1ticas#:~:text=Las%20amidas%20son%20un%20tipo,sustituye%20por%20un%20grupo%20%2DNH2.>

(s.f.). *Propiedades de los hidrocarburos aromáticos*. Guía de productos químicos.

Químicas. (2015). Obtenido de Química orgánica: alcoholes:

<https://www.quimicas.net/2015/05/ejemplos-de-alcoholes.html>

Químicas. (2015). Obtenido de Propiedades del azufre: <https://www.quimicas.net/2015/07/el-azufre.html>

Response, P. E. (2021). *Eliminación de hidrocarburos y desechos*. Obtenido de

https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v06_n11/trata_dispo.htm

Restrepo, F. &. (1950). ¿Qué son los hidrocarburos aromáticos? En *Hola, química* (pág. 133).

Susaeta ediciones S. A. Obtenido de

- <https://www.insst.es/documents/94886/162038/6.+Hidrocarburos+arom%C3%A1ticos+-+Hidrocarburos+arom%C3%A1ticos+halogenados++-+Hidrocarburos+poliarom%C3%A1ticos++-+Isocianatos+-+Cetonas>
- Reyes, A. (2008). *Proyecto de reciclaje de hidróxido de sodio*. México, Pesquería Nuevo León: ATR Consultores, Gestión Ambiental y Seguridad Industrial. Obtenido de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/nl/estudios/2008/19NL2008ID019.pdf>
- Riascos, L. &. (2015). *Propuesta para el manejo de residuos químicos en los laboratorios de química de la Universidad de Nariño [Tesis en desarrollo sostenible, Universidad de Manizales]*. Repositorio institucional. Obtenido de https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2385/Riascos_Lucila_Tupaz_Mabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rivera, G. (2010). *Método para la recuperación de fenol en aguas residuales industriales y su contribución para minimizar el impacto al ecosistema acuático*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1611>
- Rodríguez, R. (2019). *Estudyando*. Obtenido de Éster alifático: <https://estudyando.com/que-es-un-ester-alifatico-definicion-sintesis-y-disolvente/>
- Roth, C. (2018). *Hoja de seguridad*. Obtenido de Ácido nítrico: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-9274-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wzMTA0NDd8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oZjUvaDg0Lzg5ODE2NzkyMTA1MjYucGRmfDE3ZDA0OTQ1NzE2OGM4NTU5YjY1MTY1ZDdkOTQ5ZDRjNzA1MmNjMDQ3OTZjZjg3MjFkZjA3>
- S.A., Q. d. (2012). Obtenido de Hoja de seguridad del ácido clorhídrico: <https://www.quimpac.com.co/pdfs/SA-005-2.pdf>
- Salazar, M. L. (2020). Safety climate perceived by users of academic laboratories in higher education institutes. *Safety Science*, 121, 93-99. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0925753519306198>
- Shanley, E. S. (1990). *Organic peroxides*. Estados Unidos, Washington: Sociedad Química Americana. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja01638a012>

- Sören, A. (2021). *Nachhaltigkeit im organisch-chemischen Praktikum*. Obtenido de Solvent Wastes in the Laboratory – Disposal and/or Recycling: https://www.oc-praktikum.de/nop/en/articles/pdf/SolventRecyclingDisposal_en.pdf
- Soto, J. (2005). *Química orgánica II: Hidrocarburos y sus derivados halógenos*. Obtenido de <https://www.casadellibro.com/libro-quimica-organica-ii-hidrocarburos-y-sus-derivados-halogenos/9788477389057/793714>
- Suárez Medina, O. (2018). Implementación del Sistema Globalmente Armonizado para las sustancias químicas y RESPEL en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia, Programa de investigación sobre residuos. Obtenido de https://gqspcolombia.org/wp-content/uploads/2019/06/6.-Implementacion-SGA-en-la-UN-Oscar-Suarez-lanzamiento-programa-GQSP-new_compressed.pdf
- Temarry. (2008). *Servicio de reciclaje de soluciones acuosas*. Obtenido de <http://recicladoratemarry.com/reciclaje-de-soluciones-acuosas/>
- Tovar, J. &. (2019). *Aldehídos y cetonas*. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias, Escuela de Química. Obtenido de https://www.academia.edu/40071896/Lab._Qu%C3%ADmica_Org%C3%A1nica_I_Informe_8._Aldehidos_y_Cetonas
- Tuset, S. (2021). *Condorchem envitech smart ideas for wastewater y air treatment*. Obtenido de <https://blog.condorchem.com/eliminacion-de-nox/>
- Universidad Santo Tomás . (2021). Obtenido de Sistemas de gestión de calidad: Política ambiental: <https://www.ustavillavicencio.edu.co/index.php/sistema-gestion-calidad-gestion-ambiental>
- Universidad Santo Tomás . (2021). Obtenido de Información de los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería Ambiental: <https://www.ustavillavicencio.edu.co/index.php/ingenieria-ambiental-grupos-de-investigacion>
- Urbina, L., Gonzalez, A., & Urbina, J. (2013). *Manual prácticas de laboratorio I de química orgánica*. Colombia, Santander: Universidad Industrial de Santander. Obtenido de http://ciencias.uis.edu.co/quimica/sites/default/files/paginas/archivos/V01Man07OrgaI_MFOQ-OR.01_08072013.pdf

Uriarte, J. (2020). *etecé*. Obtenido de Características del ácido clorhídrico:

<https://www.caracteristicas.co/acido-clorhidrico/>

Wang, Y., Yu1, Y., Jia, R., & Zhang, C. Z. (2019). *Electrochemical synthesis of nitric acid from air and* (Vol. 6). China, Tianjin: National Science Review. Obtenido de

https://watermark.silverchair.com/nwz019.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAApUwggKRBgkqhkiG9w0BBwagggKCMiICfgIBADCCAncGCSqGSib3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQM5UBrqOASRx1cxqNDAgEQgIICSNJS5_zTjtOc6jfXAIImDIImNsVqEVeK19FJulBygIIaw3mbUL

Wouter, L. (2021). *Desotec activate carbon*. Obtenido de

<https://www.desotec.com/es/carbonologia/casos/eliminaci-n-de-haps-en-gases-de-combusti-n>

12. Anexos

Anexo 1

Carta dirigida a Coordinación de Gestión Ambiental.

Villavicencio, 10 de agosto del 2020

Respetada
Martha Julieth Herrera
Coordinación de Gestión Ambiental
Universidad Santo Tomás sede Villavicencio

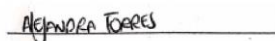
Asunto: Solicitud información sobre la gestión de residuos provenientes de las prácticas en laboratorios

Cordial saludo

Desde el proyecto interinstitucional “Estudio para la Gestión de Residuos Generados en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio”, se está desarrollando la propuesta de trabajo de grado titulada “Elaboración de una propuesta de manual para el manejo de residuos químicos provenientes de las prácticas de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás sede Villavicencio”, dirigido por el docente **Jonathan Steven Murcia Fandiño** de la Facultad de Ingeniería Ambiental; yo, **María Alejandra Torres Ardila**, identificada con cédula de ciudadanía **1.120.505.929** de San Martín (meta), en compañía de **Francey Valentina Ruíz Gacha**, identificada con cédula de ciudadanía **1.014.298.73**, estudiantes del programa académico **Ingeniería Ambiental**, solicitamos amablemente información sobre los programas de gestión de residuos químicos provenientes de las prácticas en laboratorios con el fin de analizar descripción del manejo, almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final. Agradecemos la atención brindada y quedamos atentos.

Atentamente,

Estudiantes



Docente



Anexo 2.

Clasificación de residuos con base al Decreto 1076 de 2015 en el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio.

Periodo académico 2017				
Nombre del residuo	Clasificación (Decreto 1076 de 2015)	Fecha	Cantidad Peso (kg)	Mensual Kg
Guardián y cajas de Petri.	Y 1.3	24/01/2017	1,14	12,02
Reactivos vencidos	Y14	24/01/2017	8,42	
Agares y vidriería	Y 1.3	24/01/2017	2,46	
Residuos de cerebros	Y 1.1	25/04/2017	2,5	2,5
Residuos de guantes y tapa bocas	Y 1.2	25/04/2017	6,1	
Residuos de guantes y tapa bocas	Y 1.2	25/04/2017	15,5	
Residuos de guantes y tapa bocas	Y 1.2	25/05/2017	4	15,5
Residuos de guantes y tapa bocas	Y 1.2	25/05/2017	9	
Residuos químicos (Soluciones)	Y14	25/05/2017	2,5	
Residuos químicos (Soluciones)	Y14	4/07/2017	4,22	35,27
Biosanitarios	Y 1.2	4/07/2017	9,75	
Cortopunzantes	Y 1.3	25/07/2017	1	
Biosanitarios	Y 1.2	25/07/2017	7,8	

Anexo 2. Continuación.

Periodo académico 2017				
Nombre del residuo	Clasificación (Decreto 1076 de 2015)	Fecha	Cantidad Peso (kg)	Mensual Kg
Cortopunzantes	Y 1.3	25/07/2017	1,5	35,27
Cortopunzantes	Y 1.3	25/07/2017	9	
Biosanitarios	Y 1.2	22/08/2017	3,4	4,53
Cortopunzantes	Y 1.3	22/08/2017	0,43	
Biosanitarios	Y 1.2	22/08/2017	0,7	
Biosanitarios	Y 1.2	14/09/2017	8	17,4
Biosanitarios	Y 1.2	14/09/2017	1	
Biosanitarios	Y 1.2	26/09/2017	3,8	
Biosanitarios	Y 1.2	26/09/2017	0,6	
Biosanitarios	Y 1.2	26/09/2017	4	
Cortopunzantes	Y 1.3	18/10/2017	9	23,5
Biosanitarios	Y 1.2	18/10/2017	2,5	
Biosanitarios	Y 1.2	18/10/2017	8,5	
Biosanitarios	Y 1.2	18/10/2017	3,5	
Total anual			132,32	
Periodo académico 2018				
Nombre del residuo	Clasificación (Decreto 1076 de 2015)	Fecha	Cantidad Peso (kg)	Mensual Kg
Biosanitario	Y1	4/05/2018	13,42	70,22
Cortopunzante	Y1	4/05/2018	8,48	
Amalgamas reactivos	Y14	4/05/2018	12,20	70,22
Biosanitario	Y1	18/05/2018	14,12	
Reactivos	Y14	18/05/2018	5,00	

Anexo 2. Continuación.

Periodo académico 2018				
Nombre del residuo	Clasificación (Decreto 1076 de 2015)	Fecha	Cantidad Peso (kg)	Mensual Kg
Reactivos	Y14	18/05/2018	1,00	
Biosanitario	Y1	10/05/2018	8	70,22
Biosanitario	Y1	24/05/2018	8	
Biosanitario	Y1	19/06/2018	18	
Cortopunzante	Y1	19/06/2018	1	
Vidrio	Y1	19/06/2018	3	
Químicos	Y14	19/06/2018	7,59	62,59
Biosanitario	Y1	1/06/2018	10	
Cortopunzante	Y1	1/06/2018	3	
Químicos	Y14	1/06/2018	6	
Biosanitario	Y1	29/06/2018	14	
Biosanitario	Y1	13/07/2018	13	16
Biosanitario	Y1	22/07/2018	3	
Biosanitario	Y1	21/08/2018	11	14
Vidrio	Y1	21/08/2018	3	
Biosanitario	Y1	7/09/2018	15,2	
Anatomopatológicos	Y1	7/09/2018	3	
Tierra contaminada	Y14	7/09/2018	27	
Colorante	Y14	7/09/2018	30,88	108,08
Biosanitario	Y1	7/09/2018	10	
Cortopunzante	Y1	7/09/2018	1	
Químicos colorante	Y14	7/09/2018	13	
Anatomopatológicos	Y14	7/09/2018	8	
Biosanitario	Y1	5/10/2018	6	
Vidrio	Y1	5/10/2018	2	51,9
Líquido colorante	Y14	5/10/2018	3	

Anexo 2. Continuación.

Periodo académico 2018				
Nombre del residuo	Clasificación (Decreto 1076 de 2015)	Fecha	Cantidad Peso (kg)	Mensual Kg
Reactivos	Y1	5/10/2018	5,9	51,9
Biosanitario	Y14	19/10/2018	3	
Anatomopatológicos	Y14	19/10/2018	19	
Reactivos	Y1	19/10/2018	13	
Biosanitario	Y1	2/11/2018	4,12	13,12
Reactivos	Y1	2/11/2018	7	
Reactivos	Y1	2/11/2018	2	
Biosanitario	Y14	11/12/2018	3	28,2
Cortopunzante	Y1	11/12/2018	12	
Anatomopatológicos	Y1	11/12/2018	2	
Vidrio	Y1	11/12/2018	7	
Reactivos	Y1	11/12/2018	4,2	
Total anual			364,11	
Periodo académico 2019				
Nombre del residuo	Clasificación (Decreto 1076 de 2015)	Fecha	Cantidad Mensual (kg)	Total mensual (Kg)
Biosanitario	Y 1.2	18/07/2019	85,6	132,17
Cortopunzante	Y 1.3	18/07/2019	8,59	
Residuos químicos	Y14	18/07/2019	29,69	
Anatomopatológicos	Y 1.1	18/07/2019	1,97	
Medios de cultivo	A3110	18/07/2019	6,32	
Biosanitario	Y 1.2	27/08/2019	10	22

Anexo 2. Continuación.

Periodo académico 2019				
Nombre del residuo	Clasificación (Decreto 1076 de 2015)	Fecha	Cantidad	
			Mensual (kg)	Total mensual (Kg)
Medios de cultivo	A3110	27/08/2019	5	22
Biosanitario	Y 1.2	27/08/2019	7	
Anatomopatológicos	Y 1.1	2/10/2019	14	45
Biosanitario	Y 1.2	2/10/2019	29,5	
Cortopunzante	Y 1.3	2/10/2019	1,5	
Biosanitario	Y 1.2	10/12/2019	73	156
Residuos químicos	Y14	10/12/2019	78	
Cortopunzante	Y 1.3	10/12/2019	5	
Total anual			355,17	

Anexo 3.

RESPEL PIRS UNAL

Tipo	Residuo	Descripción
Tipo 1	Vidrio	Refractario, ámbar verde y vidrio plano que estuvo en contacto con sustancias químicas.
Tipo 2	Envases de refrigerantes a SAOs	Latas vacías de productos químicos, cilindros o balas de gases vacías y sin presión.
Tipo 3	Envases y contenedores plásticos	Que contenían sustancias con características peligrosas, cárpas vacías, recipientes vacíos de plástico que contenían residuos peligrosos.
Tipo 4	Todo empaque, embalaje, cinta, PPP	Máscaras, guantes, cofias y demás dispositivo con el que se manejó o transportó una sustancia química.

Anexo 3. Continuación

Tipo	Residuo	Descripción
Tipo 5	Equipos contaminados	Que estuvieron en contacto con sustancias químicas con características de peligro, entre ellos están las neveras, microondas, balanzas, etc., son en particular residuos de aparatos eléctricos y electrónicos-RAEES contaminados.
Tipo 6	Resinas poliméricas	De carácter peligroso en estado sólido, como acrílicos, epóxidos, látex, resinas no entrecruzadas o en estado gel.
Tipo 7		Particularmente a las amalgamas de mercurio.
Tipo 8	Sólidos	Que estuvieron en contacto con mercurio, o fueron contaminados con éste metal pesado. Guantes, caretas, tubos de termómetro, bulbos de manómetros, contactores eléctricos, etc.
Tipo 9	Metales alcalinos	Principalmente en estado sólido (litio, sodio, potasio) y otros no alcalinos pero que por su carácter son explosivos al contacto con el agua o inflamables en presencia de fuente de ignición como el magnesio y otros.
Tipo 10	Otros residuos de metales pesados	En estado sólido que no reaccionan violentamente con el agua o no son inflamables en presencia de fuente de ignición, pero son de carácter tóxico como el manganeso, plomo, cromo, plata, todos los catalizadores (agente activo + promotor), etc.
Tipo 11	Hidrocarburos de cadena lineal o ramificada	Tiene reemplazos de hidrógeno por halógeno, tales como: Di cloro etano, cloruro de vinilo, cloruro de alilo, epiclorhidrina, cloroformo, tricloroetileno, tetracloruro de carbono, triclorotrifluoretano, bromometano, clorometano.
Tipo 12	Hidrocarburo de cadena lineal o ramificada	Tiene reemplazos de hidrógeno por metal pesado; todos los antidetonantes como tetra etilo de plomo, de hierro y de cobalto; las gasolinas que los contienen, algunos maltenos asfalttenos alifáticos.

Anexo 3. Continuación

Tipo	Residuo	Descripción
Tipo 13	Hidrocarburo de cadena lineal o ramificada	No contemplados en el Tipo 11 o Tipo 12, como: pentano, hexano, decano, etc.
Tipo 14	Hidrocarburos aromáticos	Tiene reemplazos de hidrógeno por halógeno, como: cloro benceno, diclorobenceno, todos los PCB, orto, meta y para cloro tolueno, entre otros.
Tipo 15	Hidrocarburos aromáticos	Tiene reemplazos de hidrógeno por metal pesado; particularmente fracciones pesadas de hidrocarburos tipo maltenos y asfaltenos.
Tipo 16	Hidrocarburos aromáticos	No clasificados en el Tipo 15, ni en el Tipo 15, como: benceno, tolueno, xileno, antraceno, naftaleno, pireno, thiner (con más del 50% de tolueno y xileno), residuos de trementina (más del 60% de terpenos y compuestos aromáticos), etc.
Tipo 17	Hidrocarburos cíclicos halogenados	1 cloro-ciclobutano, 1 cloro ciclo pentano y 1, 2 dicloro ciclo hexano, etc.
Tipo 18	Hidrocarburos cíclicos con reemplazos de metal pesado	1 plomo-ciclobutano, 1 plomo ciclo pentano, entre otros.
Tipo 19	Hidrocarburos cíclicos	Ciclo butano, ciclo pentano y ciclo hexano principalmente.
Tipo 20	Alcoholes alifáticos	Metanol, etanol, propanol, butanol, octano, etc. Isopropanol (IPA), alcohol amílico, alcohol alílico, etilenglicoles, polialcoholes.
Tipo 21	Aldehídos y cetonas alifáticas	Formol, acetona, propanaldehído, butanona, acetaldehído, hexanona, metil butanal.
Tipo 22	Ácidos carboxílicos alifáticos	Ácido fórmico, ácido acético, ácido propiónico, ácido valérico y ácido caprílico.
Tipo 23	Ésteres alifáticos	Acetato de etilo, acetato de butilo, acetato de vinilo, propanoato de etilo, propanoato de butilo.

Anexo 3. Continuación

Tipo	Residuo	Descripción
Tipo 24	Éteres alifáticos	Éter etílico, éter propílico, éter butílico.
Tipo 25	Aminas y amidas alifáticas	Metilamina, dimetil amina, metil propil amina, metanamida, propanamida, 3 butanamida, etc.
Tipo 26	Nitrogenados	No clasificados en el Tipo 25, tales como: nitrilos, azocompuestos.
Tipo 27	Alifáticos con azufre	Tioles, sulfuros, tioeteres, tioesteres, tiocetonas, etc.
Tipo 28	Alcoholes aromáticos	Fenol, 1, 2 dihidroxifenol, orto metil fenol, 2 fenil etanol, 2 iso propil fenol, etc.
Tipo 29	Aldehídos y cetonas aromáticas	Benzaldehído, difenilmetanona, acetofenona, p-etil benzaldehído, p-totualdehído, etc.
Tipo 30	Ácidos carboxílicos aromáticos	Ácido benzoico, ácido fenil acético, ácido p-metoxi benzoico, ácido m-nitro benzoico, ácido ftálico, ácido isoftálico, ácido tereftálico, ácido naftaleno-1,3,5, tricarboxílico, entre otros.
Tipo 31	Ésteres aromáticos	Benzoato de metilo, benzoato de propilo, etc.
Tipo 32	Éteres aromáticos	Metoxi benceno, éter difenílico, 2-metoxi antraceno, éter etilfenílico, etc.
Tipo 33	Aminas y amidas aromáticas	Anilinas, metilanilinas, benceno carboxamida, difenilammina, para toluidina, entre otras.
Tipo 34	Aromáticos nitrogenados	No clasificados como Tipo 33, tales como: nitrilos y azocompuestos aromáticos, piridina, quinoleína.
Tipo 35	Aromáticos con azufre	Ácido bencensulfónico, derivados del ácido bencensulfónico, venzo tiofenos, dibenzotiofenos.
Tipo 36	Ácido sulfúrico	En todas concentraciones y soluciones acuosas.
Tipo 37	Ácido clorhídrico	En todas las concentraciones y soluciones acuosas.
Tipo 38	Ácido nítrico	En todas las concentraciones y soluciones acuosas.
Tipo 39	Mezclas de los ácidos	Tipos 36, 37 y 38, a sus soluciones acuosas o residuos de otros ácidos inorgánicos, sus soluciones o sus mezclas.
Tipo 40	Hidróxido de sodio	Y a sus soluciones acuosas en cualquier concentración.
Tipo 41	Hidróxido de potasio	Y a sus soluciones acuosas en cualquier concentración.

Anexo 3. Continuación

Tipo	Residuo	Descripción
Tipo 42	Hidróxido de amonio	Y a sus soluciones acuosas en cualquier concentración.
Tipo 43	Alcalinos inorgánicos	Y/o sus soluciones acuosas en cualquier concentración. Además, a las mezclas de residuos de los Tipos 40, 41 y 42.
Tipo 44	Sales halogenadas	Cloro, yodo, bromo y flúor, ya sea sal sólida o soluciones acuosas.
Tipo 45	Sales nitrogenadas	Principalmente nitritos y nitratos, o sus soluciones acuosas.
Tipo 46	Sales de azufre	Principalmente sulfatos y sulfitos, en estado sólido o sus soluciones acuosas.
Tipo 47	Cianuro en todas sus formas	Principalmente sus sales y sus soluciones acuosas.
Tipo 48	Soluciones acuosas de metales pesados	Principalmente, los provenientes de cromatógrafos, espectrofotómetros y otros residuos de equipos de análisis, reveladores y fijadores fotográficos a base de plata.
Tipo 49	Diferentes tipos de fósforo	Blanco, rojo o amarillo.
Tipo 50	Borras o ripios de tuberías o recipientes	Lavado de equipos, lavados de tanques, lavados de recipientes o trampas de grasa que tengan hidrocarburos, emulsiones con agua, entre otros.
Tipo 51	Lodos de recipientes o tanques	Limpieza de equipos o plantas que contengan sustancias halogenadas, aceites usados.
Tipo 52	Lodos de trampas	Plantas de tratamiento, lavado de equipos, tanques o recipientes que contengan metales pesados.
Tipo 53	Lodos provenientes de precipitados de tanques	Limpieza de tuberías, trampas de grasa, plantas de tratamiento y lavado de equipos, que no estén contemplados en los Tipos 50, 51 o 52.
Tipo 54	Gases industriales en recipientes a alta presión	Bombonas de baja presión y aerosoles industriales residuales en su recipiente.

Anexo 4

Cálculos estequiométricos (Libro Excel adjunto)

Anexo 5

Clasificación de los residuos químicos líquidos de la Facultad de Ingeniería Ambiental.

Cantidad priorizada	Clasificación RESPEL	Residuo químico	Volumen (ml)	Volumen total (ml)
1	Tipo 20: Residuos de alcoholes alifáticos	Alcohol etílico (C ₂ H ₅ OH)	1718,26	1720,44
		Metanol (CH ₃ OH)	1,39	
		Glicerina (C ₃ H ₈ O ₃)	0,79	
2	Tipo 46: Residuos de sales de azufre	Tampón de fosfato	648,08	875,39
		Sulfato de zinc (ZnSO ₄)	141,24	
		Sulfato (SO ₄ ²⁻)	76,85	
		Sulfato de cobre (CuSO ₄)	6,94	
		Sulfato de diácido	1,11	
		Sulfato de potasio (K ₂ SO ₄)	0,53	
		Sulfato de sodio (Na ₂ SO ₄)	0,32	
		Sulfato de manganeso (MnSO ₄)	0,27	
		Sulfato de calcio (CaSO ₄)	0,05	
3	Tipo 11: Residuos de hidrocarburos de cadena lineal o ramificada	Amonio (NH ₄ ⁺)	138,88	234,04
		Cloruro de hidrógeno (HCl)	59,68	
		Cloruro de amonio (NH ₄ Cl)	9,66	
		Permanganato de potasio (KMnO ₄)	9,25	
		Cloruro de sodio (NaCl)	5,77	
		Clorobutano (C ₄ H ₉ Cl)	2,88	
		Cloruro de magnesio (MgCl ₂)	2,84	
		Cloruro de n-propilo (C ₃ H ₇ Cl)	2,42	
		Cloroetano (C ₂ H ₅ Cl)	1,92	
		Carbonato de potasio (K ₂ CO ₃)	0,17	
		Carbonato de sodio (NaHCO ₃)	0,57	

Anexo 5. Continuación.

Cantidad priorizada	Clasificación RESPEL	Residuo químico	Volumen (ml)	Volumen total (ml)
4	Tipo 40: Residuos de hidróxido de sodio	Hidróxido de sodio (NaOH)	213,74	218,05
		Hidroxitetradecanoilcarnitina	2,65	
		Sodio (Na)	1,66	
5	Tipo 37: Residuos de ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico (HCl)	89,28	93,9
		Ácido bencensulfónico $C_6H_5SO_3H$	4,62	
6	Tipo 36: Residuos de ácido sulfúrico	Ácido sulfúrico (H_2SO_4)	47,5	47,5
7	Tipo 38: Residuos de ácido nítrico	Ácido nítrico (HNO_3)	19,36	20,29
		Ácido nitroso (HNO_2)	0,93	
8	Tipo 21: Residuos de aldehídos y cetonas alifáticas	Acetocarmín	10,2	19,99
		Acetona (C_3H_6O)	6,83	
		Metanodiol ($CH_2(OH)_2$)	1,42	
		Formaldehído (CH_2O)	0,8	
9	Tipo 13: Residuos de hidrocarburo de cadena lineal o ramificada	Dihidroxiacetona	0,74	15,38
		Hexano C_6H_{14}	15,38	
10	Tipo 28: Residuos de alcoholes aromáticos	Orceína $C_{28}H_{24}N_2O_7$	5	9,73
		Azul de lactofenol	4,73	

Anexo 5. Continuación.

Cantidad priorizada	Clasificación RESPEL	Residuo químico	Volumen (ml)	Volumen total (ml)
11	Tipo 45: Residuos de sales nitrogenadas y a sus soluciones acuosas	Nitrato de cobre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$)	2,7	7,03
		Óxido nitroso	2,6	
		Nitrato (NO_3^-)	1,73	
12	Tipo 23: Residuos de ésteres alifáticos	Acetato de amilo ($\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$)	0,94	5,92
		Acetato de etilo ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$)	0,85	
		Etanolato de sodio ($\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}$)	0,85	
		Acetato de isobutilo ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$)	0,84	
		Etanolato de potasio ($\text{C}_2\text{H}_5\text{KO}$)	0,84	
		Terc-butanolato de sodio	0,82	
		Propanolato de sodio	0,78	
13	Tipo 39: Residuos de ácidos inorgánicos, sus soluciones o mezclas	Ácido tetraoxosilícico H_4SiO_4	5,55	5,55
14	Tipo 31: Residuos de ésteres aromáticos	Benzoato de sosa ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$)	2,67	5,13
		Salicilato de etilo ($\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$)	1,88	
		Benzoato de etilo ($\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_2$)	0,58	

Anexo 5. Continuación.

Cantidad priorizada	Clasificación RESPEL	Residuo químico	Volumen (ml)	Volumen total (ml)
15	Tipo 22: Residuos de ácidos carboxílicos alifáticos	Ácido glicólico ($C_2H_4O_3$)	0,85	4,33
		Ácido valérico ($C_5H_{10}O_2$)	0,69	
		Ácido carbónico (H_2CO_3)	0,44	
		Ácido butírico ($C_4H_8O_2$)	0,43	
		Ácido propanoico ($C_3H_6O_2$)	1,58	
		Ácido acético (CH_3COOH)	0,34	
16	Tipo 48: <i>Soluciones acuosas de metales pesados</i>	Cobre (Cu)	1,48	1,48
17	Tipo 25: <i>Residuos de aminas y amidas alifáticas</i>	Butilamina ($C_4H_{11}N$)	0,76	0,76
18	Tipo 16: <i>Residuos de hidrocarburos aromáticos</i>	Azul de metileno $C_{16}H_{18}ClN_3S$	0,56	0,56
19	Tipo 41: <i>Residuos de hidróxido de potasio y a sus soluciones acuosas en cualquier concentración</i>	Hidróxido de potasio (KOH)	0,16	0,16
20	Tipo 44: <i>Residuos de sales halogenadas, ya sea sólida o soluciones acuosas:</i>	Yodo (I)	0,05	0,05

Anexo 6

Manual para la gestión de residuos químicos provenientes de las prácticas de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental (Documento PDF adjunto)